

16

ECOSSISTEMAS TERRESTRES DE RORAIMA: ÁREA E MODELAGEM ESPACIAL DA BIOMASSA

Reinaldo Imbrozio BARBOSA¹

Edwin KEIZER²

Flavia PINTO¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Núcleo de Pesquisas de Roraima.

² Greenpeace Brasil (Amazonas).

TERRESTRIAL ECOSYSTEMS OF RORAIMA: AREA AND SPATIAL MODELING OF BIOMASS

ABSTRACT

This chapter summarizes the current knowledge on the area and total biomass (below and aboveground) of the terrestrial ecosystems in Roraima, presenting a spatial analysis and an estimate of the carbon stock in these ecosystems. SIPAM database (Amazonian Protection System 2007; version 6) was used for calculated area while the forest inventories from Project RADAMBRASIL were used for biomass. The spatial analysis for biomass indicated a good visual relationship between forest (135-480 Mg.ha⁻¹) and non forest (0.5-25.5 Mg.ha⁻¹) phytofisionomies, recording an average for all ecosystems of 292 Mg.ha⁻¹. Relationship was low pronounced in some contact areas (middle-west), besides other smaller ones as open forests and campina/campinarana from low course of Rio Branco. Few inventoried points in some ecosystems and high concentration of the existent ones didn't allow a better analysis. The lack of investigations on forest biomass in Roraima using the direct method (destructive) to generate comparative parameters of better quality also no allow a better analysis. With the new values was possible to estimate both biomass (12,734.68 x 10⁶ Mg) and carbon (6,367.34 x 10⁶ Mg C) stock in Roraima, taking 1990 as year base. Depending on the general calculation for whole Amazonia, this value represent among 4-8% of all stock in the region.

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira³ é uma região de proporções continentais formada principalmente por florestas e savanas (cerrados) que possuem grande importância ecológica global, principalmente nos estoques de carbono. Estimativas desse estoque, em larga escala, que contemplem a área e a biomassa total (acima e abaixo do solo) dos ecossistemas amazônicos providenciam uma forte base para o cálculo tanto do estoque quanto da emissão de gases do efeito estufa devido a atividades antrópicas na região (Fearnside, 1997; Eva *et al.*, 2003; Saatchi *et al.*, 2007). As estimativas desses dois parâmetros (área e biomassa) é fonte de

³ A "Amazônia brasileira" neste trabalho será considerada como sinônimo de "Amazônia Legal Brasileira" (ALB). É uma região geopolítica desenhada desde 1953, com a criação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia - SPVEA (Lei 1806 de 06.01.1953). Neste ato, foram incorporados aos tradicionais Estados e Territórios da região norte (Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Rondônia e Acre), parte dos estados de Goiás (norte do paralelo 13° S), Maranhão (oeste do meridiano 44° W) e Mato Grosso (norte do paralelo 16° S). O Artigo 45 da Lei Complementar nº 31 (11.10.1977), ampliou os limites da ALB com a inclusão de todo o atual Mato Grosso. A Constituição de 1988 redefiniu a área da ALB apenas do ponto de vista dos novos Estados criados, incorporando quase toda a área do então criado estado do Tocantins e pequenos trechos de Goiás. A área total estimada para a região é de pouco mais de 5 x 10⁶ km².

acentuadas controvérsias desde meados dos anos 1980, e tem ocupado boa parte das discussões científicas providenciadas pelo Painel da Convenção Quadro de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (UNFCCC), que dão apoio às decisões políticas implementadas, por exemplo, no âmbito do Protocolo de Kyoto (ver <http://ipcc.ch>).

As controvérsias devem-se ao grau de incertezas que ambos os parâmetros ainda possuem, mesmo levando em consideração os avanços crescentes em geotecnologias. Estas incertezas geram erros multiplicativos durante o processo de modelagem de cálculo das emissões e/ou dinâmica do estoque de carbono nos sistemas naturais e antrópicos (Robinson, 1989). As primeiras tentativas ordenadas de cálculos gerais de biomassa total para a região Amazônica foram realizadas por Brown & Lugo (1984), a partir de dados volumétricos ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) derivados dos inventários florestais que a FAO (Organização para Alimentação e Agricultura) realizou na década de 1950 (Heinsdijk, 1957-58). O valor médio para florestas da Amazônia foi estimado em $155,1 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, muito abaixo das atuais estimativas ($300\text{-}400 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) devido à omissão ou sub/super estimativa de componentes da vegetação na formatação final do valor. O debate foi ampliado principalmente em Brown & Lugo (1992), Fearnside (1992; 1994) e Brown et al. (1989), que inferiram vários ajustes para tentar reduzir o erro inserido naturalmente neste tipo de abordagem. Os trabalhos seguintes (Fearnside, 1997; Houghton et al., 2001; Achard et al., 2004; Houghton, 2005; Nogueira et al. 2007, Saatchi et al., 2007 e a grande maioria dos trabalhos do RAINFOR⁴) vem destacando não só a necessidade de ajustes nos valores de biomassa, como também na área afetada pela ação antrópica, além dos efeitos destes ajustes no cálculo de emissão de gases do efeito estufa. Este debate ainda está longe de ser encerrado por que a Amazônia possui diferentes sistemas terrestres que podem assumir diferentes valores de biomassa acima e abaixo do solo, dependendo muito de sua associação com a pedologia, relevo ou tipo de clima onde esteja estabelecido.

Muitos avanços foram realizados nestes últimos anos, principalmente no que diz respeito ao aproveitamento dos valores de volume de madeira comercial ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) derivados do Projeto RADAMBRASIL⁵ (p. ex. Fearnside, 1997; Paez, 2002; Cummings, 1998; Sales et al., 2007; Nogueira et al., 2008). Estes valores foram derivados de inventários florestais realizados em parcelas de 1 ha apenas para árvores com circunferência acima do peito (CAP) maior ou igual a 100 cm ($\text{DAP} \geq 31,8 \text{ cm}$). Junto com amostragens de volume de lenha (metro estéreo – m st) realizadas nos cerrados do Brasil

⁴ Rede Amazônica de Inventários Florestais. Faz parte do LBA-Carbonsink; uma parceira do Brasil com a União Européia em prol dos estudos do ciclo de carbono.

⁵ Este estudo foi inicialmente denominado Projeto RADAM (Radar da Amazônia), sendo instituído em outubro de 1970 com recursos do PIN (Plano de Integração Nacional). O objetivo do RADAM era o de reconhecer a cartografia, geologia, vegetação e natureza dos solos da Amazônia e do nordeste brasileiro. Os primeiros vãos para imageamento foram iniciados em junho de 1971 através de um radar de visada lateral (SLAR: Side-Looking Airborne Radar). Foi ampliado três vezes (1971, 1973 e 1975) sendo que, da última, o projeto foi destinado a expandir e integrar o levantamento para todo o território nacional, sendo rebatizado de Projeto RADAMBRASIL (ver <http://www.dnrm.gov.br/mosaicos/3rArte/fontede.htm>).

Central (Bioma Cerrado), eles formam um conjunto de 3.241 parcelas com área equivalente a 3.058,5 ha (2.893 ha de florestas, 7,5 ha de savana florestada, 154 ha de savana arborizada e 4 ha de campina arborizada)⁶ espalhadas por toda a Amazônia Legal Brasileira (ALB). Cada um destes pontos representa, isoladamente ou em conjunto, uma região fitogeográfica situada em um Estado amazônico. Associando estes valores a ajustes que foram realizados, por comparação, principalmente com medidas diretas de biomassa (morta e viva), densidade básica da madeira (g.cm^{-3}) (ver outros fatores utilizados em Fearnside *et al.*, 1993), e um sistema de expansão de volume para biomassa (Brown & Lugo, 1992; Fearnside, 1992; Brown, 1997), foi possível montar um banco de dados para a Amazônia com ajustes e estimativas mais precisas (Fearnside, 2000; Nogueira *et al.*, 2008).

Recentemente, o IBGE recuperou os dados originais dos inventários do Projeto RADAMBRASIL (árvore a árvore) e os disponibilizou ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM 2007), para serem inseridos em um sistema de banco de dados georreferenciado. Toda a base de limite físico dos ecossistemas também foi refeita dentro deste processo, associando os resultados de tipo de solo, vegetação, geomorfologia e uso do solo para cada inventário realizado. Os limites topográficos foram refinados em uma escala de trabalho de 1:250.000. A base dos inventários ainda contém erros de digitação dos valores de altura do fuste e CAP (circunferência a altura do peito), impedindo a sua completa utilização para um refinamento geral nos cálculos de volume e biomassa para toda a ALB. Assim sendo, os valores médios de volume por unidade de área ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) descritos em cada um dos anexos dos livros-texto do RADAMBRASIL (chamados também de livros brancos) continuam sendo as melhores fontes derivativas para cálculo de biomassa a partir de valores de volumes de madeira comercial (fuste) dos inventários regionais.

Neste capítulo foi realizado um estudo de caso para Roraima, que ainda é um dos estados amazônicos com baixa taxa de desflorestamento⁷ anual, mas com elevadas taxas de crescimento populacional, principalmente a partir de meados dos anos 1980, sendo esse cenário um fator de retro-alimentação positiva para o incremento da área desmatada em todo o Estado. O objetivo é o de estimar os valores de área original total dos ecossistemas terrestres de Roraima, a partir da base formatada pelo IBGE para o SIPAM (2007), associando a cada uma das fitofisionomias determinadas nesta base, o valor de sua biomassa correspondente (viva/morta e acima/abaixo do solo). Esta biomassa será derivada dos valores de volume de madeira comercial descritos nos livros-texto de números 8, 9 e 18 do Projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1975a; 1975b; 1978),

⁶ Algumas poucas parcelas dos primeiros inventários possuíam menos de 1 ha de área amostrada.

⁷ Termo adotado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para indicar que apenas os sistemas tipicamente florestais estavam sendo monitorados. O uso da palavra "desmatamento" implicaria no monitoramento de todos os sistemas vegetais, incluindo as savanas (abertas e fechadas).

utilizando os ajustes descritos por Brown & Lugo (1992; 1997) e Fearnside (1992; 1997), além de refinamentos derivados de Nogueira *et al.* (2005; 2007; 2008) para densidade da madeira e ajustes no sistema de expansão de volume em biomassa. Todos os dados de biomassa de florestas foram espacializados aproveitando a base geográfica do SIPAM, permitindo identificar cada uma das parcelas do RADAMBRASIL por coordenadas geográficas. Os resultados de outros estudos de biomassa para ecossistemas não-florestais (campinas e savanas) realizados em Roraima também foram inseridos na base geográfica para complementarem a análise de distribuição espacial.

ÁREA ORIGINAL DOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

Duas dúvidas recaem sobre o uso da área dos ecossistemas de Roraima para determinação dos estoques de carbono: (1) o correto limite da região a ser utilizado como base dos cálculos e (2) a identificação e quantificação de cada um dos sistemas ecológicos originais, geograficamente inseridos em Roraima. Neste sentido, entenda-se como "original", algo próximo da vegetação existente antes do aumento do fluxo migratório iniciado ao final da década de 1970 e incrementado entre os anos 1980-90 devido ao "boom" do garimpo em plena Terra Indígena Yanomami (Albert, 1992). Isto porque, até 1975, Roraima possuía apenas 0,024% de área desmatada total (savanas e florestas), sendo considerado como praticamente intocado (PMCFB, 1984; Barbosa *et al.*, 2008).

Como breve histórico, é importante frisar que até o final da década de 1990 poucos eram os estudos de abrangência e de utilização da mesma base geográfica de interpretações na Amazônia. A grande maioria se utilizava (e ainda hoje continua se utilizando) do Projeto RADAMBRASIL, visto que esta fonte foi a primeira tentativa de ampla escala a utilizar recursos técnicos espaciais para reconhecimento das potencialidades naturais do Brasil na década de 1970, e em particular da Amazônia. No que se refere à vegetação, as regras de identificação e classificação seguiram uma evolução ao longo de todo o projeto na tentativa de levar em consideração as afinidades e/ou as diferenças estruturais e funcionais entre as tipologias observadas. Isto acabou resultando em uma primeira tentativa organizada de classificação fitoecológica (MME, 1982), ajustada pelo IBGE como padrão para a classificação da vegetação brasileira (IBGE, 1992). Nós utilizamos esta classificação como forma de manter um padrão de definição dos ambientes fitoecológicos que seja entendido e facilmente detectado pelo leitor.

Para Roraima, nós utilizamos a base fitoecológica para toda a Amazônia do SIPAM (2007) fornecida ao SIGLAB/INPA (Laboratório de Sistemas de Informações Geográficas do INPA, Manaus). É uma versão atualizada de um grande mosaico formado pelos mapas

“fisionômico-ecológicos” (escala 1:250.000) apresentados na seção “Vegetação” da maioria dos livros-texto do Projeto RADAMBRASIL. Esta base leva em consideração as áreas desmatadas até o ano de 1990, indicando ambientes antropizados como “degradados” derivados das possíveis fitofisionomias originais observadas até meados da década de 1970. Utilizando o software ArcGIS versão 9.0 (ESRI, 1999), nós extraímos a tabela de atributos da vegetação presente dentro do limite geopolítico de Roraima, definido pela própria base de dados do SIPAM. Nesta tabela de atributos, várias informações são fornecidas, sendo a mais importante a dos grandes “grupos” de vegetação (campinarana, floresta ombrófila, etc.) (Figura 1), as “fitofisionomias” (ecossistemas derivados dos grandes grupos) e a “área” de cada um dos ecossistemas dispostos na base. Como existem pequenas incongruências entre os limites da base geográfica do IBGE (padrão nacional) e a do SIPAM, pequenas áreas são excluídas na caracterização da vegetação quando as duas bases são cruzadas. Estas áreas somaram 729,79 km² (~0,32%) e são

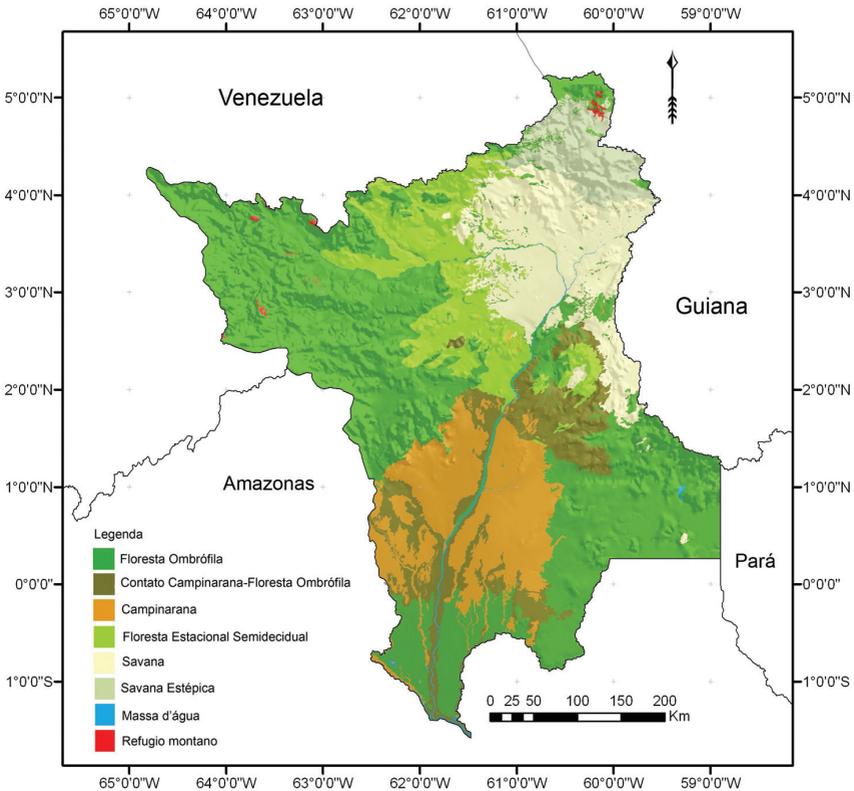


Figura 1 – Distribuição espacial dos grandes grupos de vegetação de Roraima.

integralmente derivadas dos ecossistemas de Floresta Ombrófila Densa. Para evitar maiores distorções entre a área total oficial do Estado (224.210,7 km²) e a soma das áreas dos ecossistemas (223.480,9 km²) derivados da base do SIPAM, nós distribuímos proporcionalmente este valor entre todos os ecossistemas especificados como Floresta Ombrófila Densa (Tabela 1).

Tabela 1 – Área (km²) dos ecossistemas terrestres de Roraima naturais e antropizados (A) sem discriminação a partir da base geográfica do SIPAM (2007).

Sistema	Grupos	Sub-grupos	Legenda	Área (km ²)		
				Ecossistema	Grupo	%
Florestal	Floresta Ombrófila Densa	Aluvial	Da	746,6	95.875,7	42,76
		Terras Baixas	Db	9.896,7		
		Montana	Dm	25.383,4		
		Submontana	Ds	57.335,3		
		Antropizado	D	2.513,7		
	Floresta Ombrófila Aberta	Terras Baixas Submontana Antropizado	Ab	271,3	5.406,9	2,41
			As	5.135,0		
			A	0,6		
	Floresta Estacional Semidecidual	Aluvial Submontana Antropizado	Fa	678,3	3.831,8	1,71
			Fs	2.678,6		
			F	474,9		
	Campinarana	Florestada Antropizado	Ld	21.317,2	21.354,6	9,52
			L	37,4		
	Savana Estépica	Florestada	Td	3.518,1	3.518,1	1,57
	Contato	Campinarana-Flor. Ombrófila	LO	20.606,8	52.562,6	23,44
LO (A)			53,6			
Flor. Ombrófila-Flor.Estacional		ON	24.980,4			
		ON (A)	987,2			
Savana-Floresta Estacional		SN	709,7			
		SN (A)	16,2			
Savana-Floresta Ombrófila Savana Estépica-Flor.Estacional	SO	2.456,5				
	TN	2.752,2				
Não-florestal	Formação Pioneira	Influência Fluvial	Pa	27,9	27,9	0,01
	Campinarana	Arborizada Gramíneo-lenhosa	La	1.089,8	8.941,0	3,99
			Lg	7.851,2		
	Refugio Montano	Arbustivo (b) e Herbáceo (h)	rm	400,3	400,3	0,18
	Savana	Arborizada Gramíneo-lenhosa Gramíneo-lenhosa Parque Antropizado	Sa	4.125,5	26.494,6	11,82
			Sg	9.645,8		
			Sg (A)	41,9		
			Sp	12.606,7		
			S (A)	74,7		
	Savana Estépica	Arborizada Gramíneo-lenhosa Parque Antropizado	Ta	3,1	3.998,6	1,78
			Tg	912,2		
			Tp	3.082,7		
			T (A)	0,7		
			Água	1.798,5		
	Massa D'Água				1.798,5	1.798,5
TOTAL				22.4210,7	22.4210,7	100

Com este método e nesta escala de trabalho (1:250.000) foram identificados 26 ecossistemas naturais terrestres e um grupo composto por diferentes sistemas aquáticos (rios, lagos e igarapés visíveis na base), aqui definidos simplesmente como "Massa d'água". Os sistemas "florestais" originais ocupavam 81,42% de todo espaço físico de Roraima, enquanto que os "não-florestais" 17,78%. Os sistemas aquáticos ocuparam 0,80% de toda a área. O maior grupo

foi o de Floresta Ombrófila Densa (42,76%), seguido das Florestas de Contato (23,44%), das Savanas (11,82%; sem as formações estépicas) e das Campinaranas Florestadas (9,52%). Estes grupos são basicamente as grandes fitopaisagens que constroem o mosaico de vegetação de Roraima. As florestas ombrófilas de baixa altitude (Db) do sul do Estado fazem um sistema contínuo com os sistemas florestais do Terciário presentes na calha do rio Negro-Amazonas. As campinaranas, no interflúvio rio Branco-Negro, fazem o elo de ligação entre estas paisagens com as florestas de contato e as savanas que se estendem ao norte. As florestas de contato são finalmente ligadas às regiões de florestas ombrófilas de média e alta altitude a oeste e noroeste de Roraima, encontradas quase integralmente nas terras do povo Yanomami. Todas estas fitofisionomias estão fortemente associadas ao gradiente paleo-altitudinal presente na paisagem local. Eles podem ser imaginados a partir dos relevos muito antigos de alta altitude do Grupo Roraima (Pré-Cambriano), no extremo norte de Roraima, passando pelos de baixa altitude dos depósitos sedimentares da Formação Boa Vista (Quaternário), até o início dos depósitos argilosos do Terceário situados no extremo sul do Estado (Brasil, 1975; Schaefer & Vale Jr., 1997; Barbosa *et al.*, 2007).

A base do SIPAM também fornece boas pistas da localização do avanço do desmatamento em Roraima. Pelos dados de 1990, a maior parte das florestas antropizadas (“degradadas” pela terminologia da base) era de ombrófilas densas do sul do Estado (Programa de Assentamento Dirigido - PAD Anauá e adjacências) de áreas de contato do centro (Apiaú, Confiança, Roxinho, Cantá) e nas florestas estacionais semidecíduais (florestas secas) espalhadas por diferentes pontos de Roraima, principalmente naquelas estabelecidas ao largo do macro-ecossistema de savana. Alguma alteração nos sistemas “não-florestais” também foi detectada pela base (< 120 km²), provavelmente derivada de pequenos cultivos de subsistência (“agricultura”), introdução de pastagem artificial (“pastagem”) e antigos plantios de *Eucalyptus* spp. e caju (*Anacardium occidentale* L.) das décadas de 1970-80 (Tabela 1).

BIOMASSA TOTAL

Entenda-se como biomassa total a soma de toda a matéria orgânica viva e morta presente abaixo e acima do solo nos diferentes ecossistemas avaliados neste trabalho. Aqui ela será expressa por unidade de peso presente em uma unidade de área no formato de Mg.ha⁻¹.

Ecossistemas Florestais

Para calcular a biomassa presente nos ecossistemas florestais de Roraima foram aproveitados os dados de volume de madeira

comercial ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) derivados dos inventários realizados dentro do Projeto RADAMBRASIL (tomos 8, 9 e 18). Estes números do RADAMBRASIL contemplam todo o estado de Roraima e áreas adjacentes. Os inventários foram realizados pela antiga equipe do IPEAN/RADAM (Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte / Radar da Amazônia) liderados, na florística geral, pelo Dr. João Murça Pires no ano de 1974 (Barbosa & Bacelar-Lima, 2008). As áreas amostradas foram padronizadas em parcelas de 1 ha distribuídas ao longo de diferentes pontos amostrais que eram servidos por trilhas, estradas ou rios navegáveis. As observações foram realizadas apenas em indivíduos com circunferência a altura do peito (CAP) maior ou igual a 100 cm, diâmetro a altura do peito (DAP) $\geq 31,8$ cm, tomando-se o nome vulgar (posteriormente redefinido para a nomenclatura científica) e o comprimento do fuste (altura comercial do caule). Uma parte do material botânico coletado naquela época (principalmente do inventário florístico) está depositada nos atuais Herbário INPA (Manaus), Embrapa-CPATU (Belém) e Herbário do RADAMBRASIL, atualmente sediado no IBGE do Rio de Janeiro.

Além dos 129 pontos registrados para Roraima sem nenhum tipo de conflito nos dados, nós também adicionamos mais 126 pontos de inventários realizados no estado do Pará, próximos da divisa sudeste com Roraima, além de outros 348 que, da mesma forma, limitavam-se ao longo de toda a divisa norte/noroeste do estado do Amazonas (Tabela 2 e Figura 2). Os pontos do Amazonas e do Pará serviram para implementar a análise da distribuição espacial da biomassa com maior grau de segurança, sempre imaginando que os ecossistemas não são separados pela divisão geopolítica dos Estados. Além disto, ecossistemas presentes em Roraima, mas não contemplados nos inventários florestais, e que possuíam seu contínuo no Estado vizinho, foram estimados como tendo o mesmo valor de volume e/ou biomassa do ponto vizinho. Assim sendo, cada valor de volume de madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) sofreu os ajustes de expansão⁸ para biomassa previstos por Brown & Lugo (1992), e refinados em Fearnside (1992; 2000), Brown (1997), Fearnside *et al.* (1993) e (Nogueira *et al.*, 2005; 2007; 2008). Estes ajustes dizem respeito a: (a) novos valores de expansão de volume em biomassa (apenas para biomassa com DAP ≥ 10 cm) através do refinamento dos valores de densidade da madeira e demais ajustes realizados no modelo geral de cálculo, (b) novos valores de expansão de biomassa (inclusão da biomassa da copa), também por ajuste do modelo, (c) refinamento percentual dos diferentes componentes da floresta (p. ex. palmeiras, cipós, etc.) e (d) exclusão de outros fatores (p. ex. árvores ocas e casca) que acabaram se incorporando a outros parâmetros (ver Nogueira *et al.*, 2008).

⁸ Os valores anteriores para VEF (fator de expansão de volume) eram de 1,25 para florestas densas e 1,5 para não-densas e, de BEF (fator de expansão da biomassa), era um ajuste realizado pela densidade da madeira utilizando a biomassa em pé (stand biomass - SB) (Brown & Lugo, 1992). Neste estudo nós estamos assumindo os valores de VEF como sendo de 1,537 para florestas densas e de 1,506 para não densas e, de BEF, como 1,635 para florestas densas acima de 190 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de SB e 1,58 para não densas (Nogueira *et al.*, 2008). Para valores de SB abaixo de 148,2 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ foi utilizada a formulação antiga apresentada por Brown & Lugo (1992).

Tabela 2 – Número de parcelas amostrais (inventários florestais) utilizadas como base de cálculo para transformação de volume de madeira comercial (fuste) em biomassa total por unidade de área derivados dos inventários realizados dentro do Projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1975a; 1975b; 1978).

Tipo de Floresta	Legenda do Ecossistema	Amazonas	Pará	Roraima	Total de Parcelas	%
Densa	Da	23	1	9	33	5.5
	Db	155	22	9	186	30.8
	Dm			25	25	4.1
	Ds	59	92	48	199	33.0
	Sub-total 1	237	115	91	443	73.5
Não densa	Aa	2			2	0.3
	Ab	6			6	1.0
	As	1		4	5	0.8
	Fs			2	2	0.3
	Ld	2			2	0.3
	LO	100	4	8	112	18.6
	ON			20	20	3.3
	SN		4	4	8	1.3
	SO		3		3	0.5
Sub-total 2	111	11	38	160	26.5	
Total Geral (1+2)	348	126	129	603	100	

Ecossistemas Não-florestais

Para os sistemas não-florestais de Roraima, foram usadas duas bases de dados: (a) savanas e savanas estépicas – valores de biomassa acima do solo (viva + morta) derivados de Barbosa (2001) e Barbosa & Fearnside (2004; 2005) e (b) campinarana aberta – valores de biomassa acima do solo (viva + morta) derivados de Barbosa & Ferreira (2004a; 2004b). Ambos os estudos tiveram como base resultados derivados de medidas destrutivas (extratos arbóreo-arbustivo e gramíneo-lenhoso) para cálculo da biomassa total e da densidade da madeira. No primeiro caso, todas as oito tipologias de vegetação aberta das savanas (Sa – savana arbórea, Sp – parque, Sg – gramíneo-lenhosa tipologia campo limpo, Sg – gramíneo-lenhosa tipologia campo sujo) e savanas estépicas (Ta, Tp, Tg campo limpo e Tg campo sujo) foram amostradas a partir de ~3 ha distribuídos em pequenas áreas amostrais implantadas em 28 localidades. No segundo caso, foi realizado um inventário em uma área de 1 ha (20 parcelas de 500 m²) de vegetação mista campinarana arbórea (La) e gramíneo-lenhosa (Lg). Os ajustes para biomassa abaixo do solo para todos os sistemas não-florestais observados neste estudo foram realizados a partir das relações de massa acima e abaixo do solo derivadas dos trabalhos de Abdala *et al.* (1998) e Castro & Kauffman (1998) nos cerrados do Brasil Central.

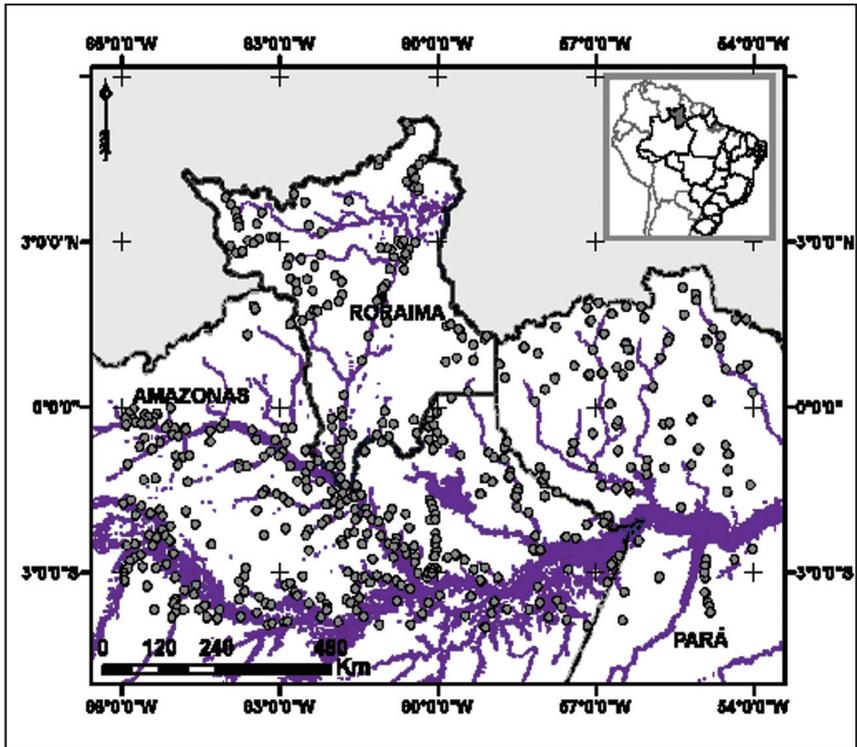


Figura 2 - Área utilizada para a análise de Krigagem simples e a localização de parte das amostras (parcelas ou pontos) de inventário do Projeto RADAMBRASIL (volumes 8, 9 e 18) (Obs: as parcelas de savanas e campinas também foram implementadas na base do mapa).

Outras Estimativas

A estimativa da biomassa dos sistemas florestais e não-florestais não contemplados por levantamentos quantitativos foi realizada aproveitando os dados contidos no mesmo tipo de sistema em Estados vizinhos (Pará e Amazonas). Para os sistemas aonde não existiam dados nestes dois Estados, foi necessário fazer uma estimativa baseada na afinidade fitoecológica dos grupos vegetais. Por exemplo, os refúgios ecológicos (rm) e as formações pioneiras (Pa) não possuíam nenhuma medida em Roraima. Assim sendo, nós derivamos uma relação de afinidade entre estes e os sistemas de savanas e campinas, por estas estarem bem amostradas. Como as formações pioneiras e os refúgios ecológicos em Roraima são sistemas de pouca expressão em área (juntos totalizam menos de 0,2%), erros nestas estimativas não afetariam significativamente qualquer cálculo de estoque total de biomassa, carbono ou emissão de gases do efeito estufa.

RESULTADOS GERAIS

Biomassa Total

A biomassa média total considerando todos os ambientes (florestais e não-florestais) presentes em Roraima foi de 292 Mg.ha⁻¹ (Tabela 3). Este total foi um composto ponderado pela área de todos os valores dos sistemas florestais (135-480 Mg.ha⁻¹) e não-florestais (0,5-25,5 Mg.ha⁻¹). O ecossistema de floresta estacional semidecidual submontana foi o de maior valor entre os sistemas florestais (Fs = 480 Mg.ha⁻¹), sendo derivado de duas amostragens realizadas no setor leste da Ilha de Maracá (hoje Estação Ecológica). O resultado de biomassa arbórea acima do solo (viva) para Fs (342 Mg.ha⁻¹) é similar aos 340-360 Mg.ha⁻¹ de biomassa arbórea com DAP \geq 10cm encontrados por Nascimento *et al.* (2007) na mesma região amostrada pelo RADAMBRASIL, indicando que o resultado da expansão dos valores de volume em biomassa estão próximos do esperado naquela área. Esta é uma região monodominada por *Peltogyne gracilipes* Ducke (Fabaceae) que apresenta indivíduos com grandes DAPs assumindo mais de 50% de toda a biomassa presente. Os demais valores calculados para sistemas florestais estão dentro da faixa de resultados encontrados para a maioria dos trabalhos realizados na Amazônia (300-600 Mg.ha⁻¹) utilizando os métodos de medidas direta e indireta (Klinge & Rodrigues, 1974; Fearnside *et al.*, 1993; Fearnside, 1994; 1997; 2000; Higuchi *et al.*, 1994; Alves *et al.*, 1997; Laurance *et al.*, 1999; Nascimento *et al.*, 2007; Nogueira *et al.*, 2008). Para os sistemas não-florestais, os resultados também estão dentro do padrão esperado para as áreas de savanas/cerrados, embora sejam um pouco menores dos observados no Brasil Central (Castro & Kauffman, 1998; Kauffman *et al.*, 1994). Campinas/campinaranas ficaram dentro das expectativas derivadas de regiões próximas do rio Negro, na Venezuela (Klinge, 1978; Klinge & Herrera, 1978; Klinge & Herrera, 1983; Bongers *et al.*, 1985).

Estoque de Carbono

Com os valores de biomassa calculados para os ecossistemas naturais de Roraima foi possível inferir o estoque de carbono para todos os sistemas terrestres remanescentes, e ainda não antropizados (degradados), assumindo o cenário de 1990 como o ano base (SIPAM). Para calcular o estoque de carbono é necessário multiplicar a biomassa total (acima + abaixo do solo) pela área do ecossistema (1 km² = 100 ha), e depois pela concentração média de carbono. No caso dos sistemas florestais, nós adotamos o valor de 50% (0,5) para a concentração de carbono, que é o valor utilizado por Brown & Lugo (1984) e adotado por trabalhos de larga escala como o de Fearnside (1997, 2000) e Bernoux *et al.* (2001) para toda a Amazônia. No caso dos sistemas não florestais, nós adotamos os mesmos valores como forma padrão no trabalho. Assim sendo, o total de carbono contido em

Tabela 3 – Biomassa abaixo e acima do solo dos diferentes ecossistemas florestais e não-florestais de Roraima.

Sistema	Legenda	Biomassa (Mg.ha ⁻¹)			Total
		Necromassa	Abaixo do Solo	Acima do Solo (Viva)	
Florestal	Da	40,90	56,73	255,76	353,40
	Db	42,74	59,29	267,27	369,30
	Dm	45,18	62,67	282,51	390,36
	Ds	42,58	59,06	266,27	367,91
	D	-	-	-	-
	Ab (1)	47,96	56,24	258,99	363,18
	As	60,44	70,88	326,41	457,73
	A	-	-	-	-
	Fa (2)	47,23	21,47	214,70	283,40
	Fs	63,32	74,26	341,98	479,56
	F	-	-	-	-
	Ld (1)	41,37	48,51	223,39	313,26
	L	-	-	-	-
	Td (1)	14,45	56,04	64,28	134,77
	LO	45,44	53,29	245,41	344,14
	LO (Antrop.)	-	-	-	-
	ON	45,34	53,17	244,86	343,37
	ON (Antrop.)	-	-	-	-
	SN	30,43	35,69	164,33	230,44
	SN (Antrop.)	-	-	-	-
	SO (1)	47,35	55,53	255,71	358,59
TN (1)	34,75	15,79	157,93	208,47	
Não-florestal	Pa (3)	1,03	7,62	11,60	20,24
	La (4)	1,37	9,59	14,54	25,50
	Lg (4)	0,64	0,89	0,83	2,36
	rm (5)	0,04	0,20	0,27	0,50
	Sa	0,65	7,07	11,08	18,80
	Sg (6)	0,42	2,13	2,86	5,42
	Sg (Antrop.)	-	-	-	-
	Sp	0,74	5,67	7,30	13,71
	S (A)	-	-	-	-
	Ta	1,08	6,18	9,16	16,42
	Tg (6)	0,30	1,84	2,53	4,68
	Tp	0,64	4,33	5,48	10,45
	T (A)	-	-	-	-
	Média Ponderada		35,9	46,8	209,0

(1) Estimativa derivada do estado do Amazonas (Ab e Ld), Pará (SO) e do Bioma Cerrado (Td e TN).

(2) Estimativa derivada de Nogueira et al. 2008.

(3) Obtido através da média dos valores de La, Sa e Ta.

(4) Derivado do desmembramento dos dados de Barbosa & Ferreira (2004a,b).

(5) Dados representam uma estimativa de 10% da média entre Sg e Tg.

(6) Média entre "campo limpo" e "campo sujo", derivado de Barbosa & Fearnside (2005).

todos os ecossistemas terrestres de Roraima para o cenário de 1990 era de 6.367,34 x 10⁶ t C (Tabela 4). Este valor é 2,3 vezes superior ao valor estimado por Nogueira *et al.* (2008), 2.641,26 x 10⁶ t C (5.445,89 x 10⁶ t de estoque de biomassa) para os sistemas florestais remanescentes de Roraima até 2006. Esta diferença significativa deve-se à exclusão dos registros dos ecossistemas abertos (savanas e campinas) e ao ano base (2006) nas estimativas de Nogueira e colaboradores (2008). Entretanto, independente do ano base ou da inclusão/exclusão de ecossistemas antropogênicos ou abertos, cerca

de 4-8% de todo o estoque de carbono presente em todos os ecossistemas terrestres da ALB estão situados em Roraima. Este é um valor significativo, devendo ser observado em futuras políticas públicas locais/regionais que visem a conservação do carbono em ecossistemas naturais da Amazônia. Isto é devido à nova ótica das negociações

Tabela 4 – Estoque de carbono derivado da biomassa abaixo e acima do solo nos ecossistemas florestais e não-florestais de Roraima.

Sistema	Legenda	Carbono (10 ⁶ Mg C)			Total
		Necromassa	Abaixo do Solo	Acima do Solo (Viva)	
Florestal	Da	3,05	4,24	19,10	26,39
	Db	42,30	58,67	264,51	365,49
	Dm	114,68	159,07	717,11	990,85
	Ds	244,14	338,64	1526,66	2109,44
	D	-	-	-	-
	Ab	1,30	1,53	7,03	9,85
	As	31,04	36,40	167,61	235,04
	A	-	-	-	-
	Fa	3,20	1,46	14,56	19,22
	Fs	16,96	19,89	91,60	128,45
	F	-	-	-	-
	Ld	88,18	103,41	476,20	667,79
	L	-	-	-	-
	Td	5,08	19,72	22,61	47,41
	LO	93,64	109,82	505,71	709,17
	LO (Antrop.)	-	-	-	-
	ON	113,26	132,83	611,67	857,76
	ON (Antrop.)	-	-	-	-
	SN	2,16	2,53	11,66	16,35
	SN (Antrop.)	-	-	-	-
SO	11,63	13,64	62,81	88,09	
TN	9,56	4,35	43,47	57,38	
Não-florestal	Pa	0,00	0,02	0,03	0,06
	La	0,15	1,05	1,58	2,78
	Lg	0,50	0,70	0,65	1,85
	rm	0,001	0,01	0,01	0,02
	Sa	0,27	2,92	4,57	7,76
	Sg	0,41	2,06	2,76	5,23
	Sg (Antrop.)	-	-	-	-
	Sp	0,93	7,15	9,20	17,29
	S (A)	-	-	-	-
	Ta	0,0003	0,002	0,003	0,01
	Tg	0,03	0,17	0,23	0,43
	Tp	0,20	1,33	1,69	3,22
	T (A)	-	-	-	-
	Estoque Total	-	782,69	1021,59	4563,06

internacionais sobre mudanças climáticas globais que, em dezembro de 2007, começaram a ser discutidas pelo IPCC (COP-13) em Bali (Indonésia), prevendo que a conservação das florestas tropicais por países como Brasil possam entrar no escopo das negociações.

MODELAGEM ESPACIAL DA DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA

Para obter um mapa da distribuição da biomassa total (acima + abaixo do solo) das formações vegetais que cobrem todo o estado de Roraima, foi construído um modelo baseado na interpolação espacial dos inventários de volume comercial derivados do Projeto RADAMBASIL. Os dados de expansão de volume para biomassa em sistemas florestais e não-florestais são os mesmos anteriormente apresentados. O mapa de distribuição da biomassa foi obtido pelo método de Krigagem ordinária.

Interpolação Espacial usando Krigagem

Interpolação espacial consiste em gerar estimativas para áreas não amostradas baseadas nos valores conhecidos das amostras coletadas na vizinhança. Existem vários métodos de interpolação para dados coletados em pontos com localização conhecida, incluindo o geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, chamado comumente de Krigagem ou "predição ótima". Este método pode ser aplicado para fenômenos naturais como a distribuição de biomassa das formações vegetais porque, como na maioria dos dados ecológicos, existe certo grau de autocorrelação espacial entre eles (Fortin *et al.*, 2002). A teoria de Krigagem é explicada mais detalhadamente na literatura especializada (Isaaks & Srivastava, 1989; Burrough & McDonell, 1998), podendo existir diferentes adaptações desta técnica. Em um estudo similar ao apresentado neste capítulo, para estimativa da biomassa dos ecossistemas presentes no estado de Rondônia (Sales *et al.*, 2007), foi aplicado o método da Krigagem com tendência regionalizada. Os autores acreditam que o método geoestatístico tem o potencial para ser aplicado em toda a região da Amazônia Brasileira, providenciando estimativas locais de biomassa com maior acurácia. Assim sendo, nós aproveitamos este estudo exploratório para aplicar o método da Krigagem ordinária, na tentativa de obter um mapa primário de distribuição de biomassa para todo o estado de Roraima. Avaliações desta natureza refletem a importância individual de cada ecossistema regional no que se refere à distribuição do estoque de carbono terrestre, podendo modelar mudanças do estoque em função de gradientes de relevo, fitofisionomias ou diferentes tipos de solo. Este tipo de informação está diretamente relacionado às tomadas

de decisão sobre planejamento e ordenamento do uso da terra em Roraima.

Para proceder a este estudo exploratório, foi usada a ferramenta "Geostatistical Analysis" do software ArcGIS versão 9.0 (ESRI, 1999). Foi gerado um banco de dados georreferenciado com todos os pontos derivados do Projeto RADAMBRASIL que tinham algum efeito sobre os ecossistemas presentes dentro do limite físico de Roraima, incluindo os registros limítrofes presentes nos estados do Amazonas e Pará. Ao banco também foram adicionados todos os pontos de levantamento de biomassa pelo método direto que foram realizados nas campinas e nas savanas. Com a espacialização destes pontos e a sua biomassa correspondente, foi utilizado um modelo de covariância (semivariograma experimental exponencial) para gerar, de forma iterativa, todos os pontos (amostras) inferidos na primeira fase do trabalho.

Padrão Espacial da Biomassa

A base de dados utilizada na Krigagem para detecção do padrão espacial de distribuição da biomassa em Roraima foi a mesma disponibilizada na Tabela 2 e Figura 2, onde estão indicados o número de parcelas (pontos) do Projeto RADAMBRASIL. Não foram inseridos inventários fora do território da Amazônia Legal Brasileira (p. ex. internacionais). O mapa de biomassa estimada com valores reamostrados em células de 1 km de resolução espacial para o estado de Roraima é apresentado na Figura 3A. Os valores modelados cobriram um intervalo entre 7 a 490 Mg.ha⁻¹ com um erro padrão entre 67 e 113 Mg.ha⁻¹. O padrão espacial indicou a falta de amostras nas zonas norte, noroeste e nordeste de toda a área de estudo. Isto causa uma tendência (*bias*) que aumenta o nível de erro nos valores de biomassa modelado nesta região do estado de Roraima. Na análise de tendência das amostras existe um padrão de diminuição de biomassa na direção nordeste. Este padrão pode ser explicado pela presença das savanas no extremo norte do Estado, em contraponto ao maior número de amostras nas regiões sul, sudoeste e oeste de Roraima; áreas das florestas ombrófilas próximas das divisas dos estados do Amazonas e Pará. A falta de amostras em determinadas regiões obriga o modelo a incluir amostras mais distantes do limite político de Roraima para poder desenvolver a análise e cobrir as áreas, por exemplo, do extremo oeste do Estado ou na região das campinas/campinaranas (centro). O mapa de erro padrão mostra, por esta razão, os maiores valores nas regiões com baixa densidade de amostragem (Figura 3B).

Mesmo com um baixo número de amostras dentro de seus limites físicos, associado a uma distribuição não homogênea, a análise do padrão espacial de biomassa indicou uma relação com as classes fitofisionômicas de Roraima. Toda a área de savana foi conjugada em um grande bloco no extremo norte-nordeste de Roraima, associando todos os ambientes de baixa biomassa neste

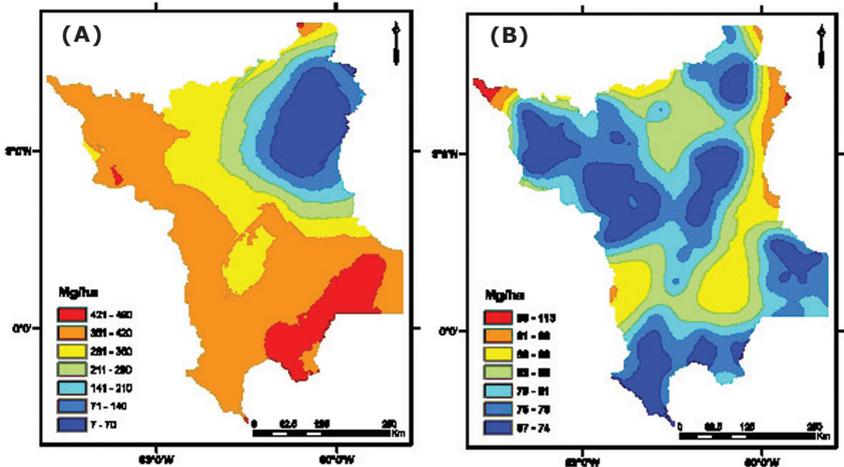


Figura 3 – Distribuição espacial da biomassa total estimada (A) e do erro padrão correspondente (B) para o estado de Roraima a partir do uso de técnicas de Krigagem simples.

setor. As áreas de campinas/campinaranas (Ld, La e Lg) foram associadas aos ecossistemas de contato (LO, ON, SO e SN), todas no centro de Roraima, admitindo um gradiente de aumento de biomassa no sentido leste-oeste e nordeste-sudoeste, partindo do grande bloco das savanas. Toda esta região é novamente circundada por outra definida como os grandes sistemas de florestas ombrófilas (principalmente Db, Ds e Dm) situados nos extremos sul, sudoeste e oeste de Roraima. Algumas regiões de campina/campinarana do baixo rio Branco, por não estarem amostradas, acabaram recebendo uma classificação final fora de seu contexto real.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora ainda longe de uma apreciação mais detalhada sobre a dinâmica do uso da terra (desmatamento e atividades agrosilvipastoris associadas), a área dos ecossistemas terrestres de Roraima está atualmente ajustada às novas bases geográficas recentemente disponibilizadas. Da mesma forma, os valores de biomassa total por unidade de área em cada um destes ecossistemas sofreu refinamentos com base, principalmente, no trabalho de Nogueira et al. (2008) ajustado para uso do banco de dados derivados dos inventários comerciais realizados pelo Projeto RADAMBRASIL. Com estes novos valores, foi possível fazer uma nova estimativa do estoque de carbono total para Roraima ($6.367,34 \times 10^6$ Mg C), tomando como referência a biomassa total presente no ano base de 1990 ($12.734,68 \times 10^6$ Mg). Dependendo da base de

cálculo geral para toda a Amazônia, este novo valor representa entre 4-8% de todo o estoque da região.

A análise espacial da biomassa está relacionada com as principais fitofisionomias, possuindo uma boa relação para os sistemas de baixa biomassa representados pelas savanas (bacia sedimentar da Formação Boa Vista) e de alta biomassa (florestas ombrófilas densas) situadas nos depósitos do Terceário, ao sul, e nos gradientes de relevo montano e submontano do oeste. A relação é pouco pronunciada em algumas áreas de contato (centro-oeste), além de outras menores de florestas abertas e de campina/campinarana do baixo rio Branco. A falta de amostras do Projeto RADAMBRASIL em alguns ambientes e a má distribuição (alta concentração) das existentes não permitiu uma análise mais refinada utilizando essa base de dados. Outro fator importante neste caso foi a falta de uma quantidade maior de investigações quantificando diretamente a biomassa, o que permitiria comparações mais precisas entre a biomassa presente abaixo e acima do solo, além de seus componentes vivos e mortos.

BIBLIOGRAFIA

- Albert, B. 1992. Indian lands, environmental policy and military geopolitics in the development of the Brazilian Amazon: The Case of the Yanomami. *Development and Change*, 23: 35-70.
- Abdala, G.C.; Caldas, L.S.; Haridasan, M.; Eiten, G. 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology* 2: 11-23.
- Achard, F.; Eva, H.D.; Mayaux, P.; Stibig, H.-J.; Belward, A. 2004. Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(2): GB2008, doi:10.1029/2003GB002142.
- Alves, D.S.; Soares, J.V.; Amaral, S.; Mello, E.K.; Almeida, S.A.S.; Silva, O.F.; Silveira, A.M. 1997. Biomass of secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 3: 451-461.
- Barbosa, R.I. 2001. *Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil*. Manaus, INPA/UA. 212 p. (Tese de Doutorado).
- Barbosa, R.I.; Bacelar-Lima, C.G. 2008. Notas sobre a diversidade de plantas e fitofisionomias em Roraima através do Banco de Dados do Herbário INPA. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*, 4(7): 131-154.
- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 2004. Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 199: 115-123.
- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 2005. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 216: 295-316.
- Barbosa, R.I.; Ferreira, C.A.C. 2004a. Biomassa acima do solo de um ecossistema de "campina" em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, 34(4): 577-586.
- Barbosa, R.I.; Ferreira, C.A.C. 2004b. Densidade básica da madeira de um ecossistema de "campina" em Roraima, Amazônia Brasileira. *Acta*

- Amazonica*, 34(4): 587-591.
- Barbosa, R.I.; Pinto, F.S.; Souza, C.C. 2008. *Desmatamento em Roraima: dados históricos e distribuição espaço-temporal*. Boa Vista, INPA/Núcleo de Pesquisas de Roraima (Relatório Técnico). 10p. (Disponível em http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/Usuarios_Visitantes_RIB.htm)
- Barbosa, R.I.; Campos, C.; Pinto, F.; Fearnside, P.M. The "Lavrados" of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas. *Functional Ecosystems and Communities*, 1(1): 29-41.
- Bernoux, M.; Graça, P.M.A.; Cerri, C.C.; Fearnside, P.M.; Feigl, B.J.; Piccolo, M.C. 2001. Carbon storage in biomass and soils. In: McClain, M.E.; Victoria, R.L.; Richey, J.E. (eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, New York, USA. pp 165-184.
- Bongers, F.; Engelen, D.; Klinge, H. 1985. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Bana woodland. *Vegetatio*, 63: 13-34.
- Brasil, 1975a. *Projeto RADAMBRASIL – Levantamento dos Recursos Naturais (Volume 8)*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia. 427 p + anexos.
- Brasil, 1975b. *Projeto RADAMBRASIL – Levantamento dos Recursos Naturais (Volume 9)*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia. 361 p + anexos.
- Brasil, 1978. *Projeto RADAMBRASIL – Levantamento dos Recursos Naturais (Volume 18)*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia. 623 p + anexos.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. *FAO Forestry Paper 134*, FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma, Itália. 54p.
- Brown, S.; Lugo, A. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science*, 223: 1290-1293.
- Brown, S.; Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-18.
- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35: 881-902.
- Burrough, P.; McDonell, R. 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Castro, E.A.; Kauffman, J.B. 1998. Ecosystem structure in Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, 14: 263-283.
- Cummings, D.L. 1998. *Total aboveground biomass and structure of tropical forest delimited by Projeto RADAMBRASIL in northern Rondônia, Brazil*. Oregon State University. 107p. (Dissertação).
- Eva, H.D.; Achard, F.; Stibig, H-J; Mayaux, P. 2003. Response to comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". *Science*, 299: 1015p.
- ESRI 1999 Copyright © 2004 ESRI, www.esri.com.
- Fearnside, P.M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazonia: comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciencia* 17(1): 19-27.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: Anais do Seminário "Emissão x Seqüestro de CO₂: Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil". Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro. p. 95-124.
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change*, 35: 321-360.
- Fearnside, P.M. 2000. 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 (1/2): 115-158.
- Fearnside, P.M.; Leal Jr., N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal

- formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98(D9): 16733-16743.
- Fortin, M.J.; Dale, M.R.T.; Verhoef J. 2002. Spatial Analysis in Ecology. In: El-Shaarawi, A.H.; Piegorich, W. (Eds), *Encyclopedia of Environmetrics*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Volume 4. p. 2051-2058.
- Heinsdijk, D. 1957-58. *Report to the Government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley* (diversos - FAO Reports 601, 949, 969 e 992). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Higuchi, N.; Santos, J.M.; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian Dense Tropical moist forest. *Memories of the Faculty of Agriculture* (Kagoshima University), 30: 43-54.
- Houghton, R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, 11: 945-958.
- Houghton, R.A.; Lawrence, K.T.; Hackler, J.L.; Brown, S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, 7: 731-746.
- IBGE 1992. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira (Manuais Técnicos em Geociências nº 1)*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 92p.
- Isaaks, E.; Srivastava, R., 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L.; Ward, D.E. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient contents along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology* 82: 519-531.
- Klinge, H. 1978. Studies on the ecology of Amazon Caatinga forest in southern Venezuela. 2. Biomass dominance of selected tree species in the Amazon Caatinga near San Carlos de Rio Negro. *Acta Científica Venezolana*, 29: 258-262.
- Klinge, H.; Herrera, R. 1978. Biomass studies in Amazon Caatinga forest in southern Venezuela. I. Standing crop of composite root mass in selected stands. *Tropical Ecology*, 19(1): 93-106.
- Klinge, H.; Herrera, R. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Tall Amazon Caatinga forest. *Vegetatio*, 53: 65-84.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A. 1974. Phytomass estimation in a Central Amazonian rain Forest. In: H. E. Young (ed.), *IUFRO Biomass Studies*. University Press, Maine. p. 339-350.
- Laurance, W.F.; Fearnside, P.M.; Laurance, S.G.; Delamonica, P.; Lovejoy, T.E.; Rankin-de Merona, J.M.; Chambers, J.Q.; Gascon, G. 1999. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 118: 127-138.
- MME 1982. Fitogeografia Brasileira: Classificação Fisionômica-Ecológica da Vegetação Neotropical. *Boletim Técnico Projeto RADAMBRASIL (Série Vegetação) nº 1*. 84p (Ministério das Minas e Energia, Salvador - dez. 1982).
- Nascimento, M.T.; Barbosa, R.I.; Villela, D.M.; Proctor, J. 2007. Above-ground biomass changes over an 11-year period in an Amazon monodominant forest and two other lowland forest. *Plant Ecology*, 192: 181-191.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2005. Wood density in dense Forest in Central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 208: 261-286.
- Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., França, M.B., 2007. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 248: 119-135.
- Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keiser, E.W.H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric

- equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256: 1853-1867.
- Paez, M. 2002. Densidade de biomassa na Amazônia legal: estimativa em modelos espaciais. *Texto para Discussão (IPEA)* 891 (julho de 2002). 16p.
- PMCFB 1984. *Estado de Roraima – Mapa de Alteração da Cobertura Vegetal Natural*. Programa de Monitoramento da Cobertura Florestal do Brasil (IBDF - Departamento de Economia Florestal / POLONOROESTE - Coordenação de Programa Especiais).
- Robinson, J.M. 1989. On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change*, 14: 243-262.
- Saatchi, S.S.; Houghton, R.A.; Santos Alvala, W.R.C.; Soares, J.V.; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837.
- Sales, M.H., Souza Jr, C.M., Kyriakidis, P.C., Roberts, D.A., Vidal, E., 2007. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondônia. *Ecological Modelling*, 205: 221-230.
- Schaefer, C.E.R.; Vale Jr., J.F. 1997. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: Uma resenha do Cretáceo ao recente. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.; Castellón, E. (Eds), *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. p. 231-265.
- SIPAM. 2007. Base Cartográfica 1:250.000 – Amazônia Legal (versão 6). Presidência da República - Casa Civil, Sistema de Proteção da Amazônia, Centro Nacional do SIPAM. Manaus (Pedido nº 133/2004.MN – órgão solicitante INPA). (4 CD-ROMs).

Reinaldo Imbrozio BARBOSA é Doutor em Ecologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (1994/2001), onde atua como pesquisador desde 1988. Publicou diversos trabalhos sobre ecologia das savanas de Roraima e impactos ambientais derivados dos agroecossistemas amazônicos. Atua nos Programas de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PRONAT) da Universidade Federal de Roraima (2005) e em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Estadual de Roraima (2007). Desde 2005 também colabora com os cursos de pós-graduação em Ecologia e Ciências Florestais do programa INPA/FUA, em Manaus.

Edwin KEIZER é Mestre em Agronomia, pela Universidade de Wageningen, Países Baixos (1997). Entre 2003 e 2008 trabalhou como pesquisador visitante no INPA. Durante este período participou de vários projetos de pesquisa com enfoque nos sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto aplicado a estudos dos impactos ambientais e análise espacial da biodiversidade. Também participou como colaborador em cursos de pós-graduação. Atualmente atua como coordenador do laboratório de geoprocessamento do Greenpeace Brasil, em Manaus.

Flavia dos Santos PINTO é Bióloga (1994), Mestre em Ecologia (1998) com especialização no Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ambiental (2001) pela Universidade de Brasília. Sua linha de pesquisa é voltada ao estudo das interações entre animais e plantas com foco na distribuição espacial da dispersão de sementes. Atua desde 2006 no Núcleo de Pesquisas de Roraima do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA em projetos relacionados à conservação da biodiversidade de Roraima.