

Capítulo 3

Solos e Ocupação das Terras na Amazônia Brasileira

MARIA DE LOURDES MENDONÇA-SANTOS ¹,
HUMBERTO G. DOS SANTOS ¹, MAURÍCIO R. COELHO ¹,
ALBERTO C.C. BERNARDI ², PEDRO L.O.A. MACHADO ³,
CELSO V. MANZATTO ¹ & ELAINE C.C. FIDALGO ¹

¹ EMBRAPA Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ – Brasil, fax: 21 2274-5291, e-mail: loumendonca@cnpq.embrapa.br (humberto; mrcoelho; manzatto; efidalgo); ² EMBRAPA Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234, Fazenda Canchim, Caixa Postal 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP – Brasil, fax: 16 261-5754, e-mail: alberto@cnpq.embrapa.br; ³ Embrapa Arroz e Feijão, Rod. Goiania a Nova Veneza, km 12, 35735-000, Santo Antonio de Goias, GO – Brasil, fax: 3533 2100, e-mail: pmachado@cnpaf.embrapa.br

INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal representa 60% do Território Nacional, com aproximadamente 5.000.000 de km², coincidindo com a unidade geopolítica na qual a maior parte dos programas de planejamento e desenvolvimento tem sido conduzida. Está localizada entre as latitudes de 5°N e 16°S e 44° e 74°W compreendendo, total ou parcialmente, os seguintes estados da Federação: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Rodrigues, 1996; Fearnside, 2002):

A grande extensão geográfica da Amazônia Legal resulta em uma grande diversidade de ambientes, caracterizando diferentes ecossistemas na maioria constituídos por diferentes tipos de florestas equatoriais e tropicais, cerrados e campos tropicais (Brasil, 2002 a,b). Além da grande diversidade de ecossistemas, as interações entre fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos e biológicos resultam em grande diversidade também de tipos de solos.

Uma análise sumária das três subregiões que compõem a Amazônia Legal – oriental, ocidental e sul -, mostra alterações distintas do espaço físico na maior parte devidas ao histórico da ocupação, inundações e seus efeitos na dinâmica de

alterações do próprio rio Amazonas. Daí, as principais mudanças em cada uma dessas subregiões foram devidas às atividades de mineração e construção de ferrovias, rodovias, pastagens e grandes projetos agropecuários. Em consequência dos diferentes ciclos de ocupação, pressões de todo tipo foram exercidas sobre a cobertura vegetal, contribuindo para o desmatamento intensivo em cada subregião.

Não obstante os conceitos muito difundidos sobre a baixa fertilidade natural e a alta saturação por alumínio dos solos da Amazônia, um grande número de novas explorações agrícolas e ampliação das existentes tem sido observado, principalmente nos Estados do Pará e Rondônia. Essa constatação é parte do chamado “arco do desenvolvimento” (também conhecido como “arco do desmatamento”) da Amazônia.

A conversão de florestas em pastagens nessas áreas representa o instrumento legal de obtenção de direitos de propriedade da terra por grandes fazendeiros e proprietários de terras. Por outro lado, para pequenos produtores, pastagem é a alternativa imediata para valoração da terra, mesmo degradada após vários ciclos de exploração com culturas anuais. Outros fatores que exercem pressão sobre as florestas é a demanda por madeira no mercado interno para fabricação de mobiliário e lenha para secagem de grãos nos locais de produção. Os maiores exploradores de madeira ainda são os Estados do Pará e do Mato Grosso, seguidos por Rondônia para abastecer os estados do Sudeste do Brasil (37,4% da produção), enquanto que o mercado externo absorve 14% (Egler, 2001).

A introdução da agricultura moderna na Amazônia é uma novidade histórica, em uma região que sempre sobreviveu graças às atividades extrativistas de recursos naturais. A cultura símbolo desse novo modelo agrícola é a soja, que, juntamente com o arroz e o milho, avançou além da fronteira do cerrado na metade da década de 90 na Amazônia Legal. Já ocupavam novas e importantes áreas no final da década de 90, fazendo do Estado do Mato Grosso um dos principais produtores de grãos e fibras do país.

Por isso, a diversidade da Amazônia, assim como o processo de alteração em curso, mostra a importância de caracterizar o solo e seu uso no contexto da Amazônia, por meio de diagnósticos ambientais detalhados e estudos de variáveis sensíveis às mudanças e seus impactos causados pela dinâmica de uso da terra, como a biota do solo. Nesse sentido, os solos brasileiros são caracterizados, enfatizando-se

um cenário de potencialidades e limitações. Em seguida, de modo a compreender os padrões de uso da terra, um breve histórico da ocupação da Amazônia no geral, assim como as tecnologias e recursos disponíveis para conclusão desses estudos.

CLASSES GERAIS DE SOLOS DO BRASIL

O solo é definido como um corpo natural tridimensional resultante das interações de clima, organismos, relevo e material originário, atuando em maior ou menor intensidade, durante um determinado tempo. Esses fatores de formação do solo definem a natureza dos diferentes solos, a distribuição geográfica e modo de ocorrência na paisagem. Como pontos na paisagem eles são indivíduos; em uma área eles constituem um “*continuum*”, possuindo um conjunto de atributos físicos, químicos, mineralógicos e biológicos. Esse conceito está vinculado à evolução do solo e aos padrões de distribuição na paisagem, evidenciando onde e por que certos tipos de solos ocorrem constituindo corpos geográficos equivalentes aos “pedons” e “polipedons” (Knox, 1965).

No conceito utilitário o solo é considerado como uma coleção de corpos naturais tridimensionais, resultantes das interações dos fatores de formação do solo. Assim, os solos consistem de mistura das fases: sólida, líquida e gasosa, formados por minerais, matéria orgânica viva e morta e ocupando a maior parte do manto superficial de grandes extensões continentais da terra.

A dimensão continental do Brasil já é uma condição para a grande diversidade de tipos de solos, correspondendo diretamente à intensidade das interações de tipos de relevo, climas, materiais de origem, cobertura vegetal e os organismos associados, que contribuem para os mais diversificados ecossistemas. A essa diversidade deve-se a natureza física do país, condicionando suas potencialidades e limitações de uso do espaço geográfico e, em grande parte, às diferenças regionais no que diz respeito aos padrões de ocupação, desenvolvimento social e econômico e características culturais do território.

Com base no mapa de solos do Brasil e no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA Solos, 2006), 13 grandes classes representativas do território brasileiro podem ser visualizadas na figura 3.1 - ver encarte colorido. Essas

classes são subdivididas em diferentes tipos de solos de acordo com características morfológicas e propriedades químicas, físicas e mineralógicas separando-os em unidades mais homogêneas. O conjunto de atributos que define e distingue os diferentes tipos de solos brasileiros é taxonomicamente organizado e sistematizado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA Solos, 2006).

As classes de solos e alguns dos atributos mais expressivos que as definem e diferenciam são resumidamente caracterizadas abaixo assim como alguns aspectos de suas extensões, distribuição geográfica (Tabela 3.1) e correlações com outros sistemas de classificação (Tabela 3.2), tais como a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) e World Soil Reference Base – WRB (FAO, 1998). Os percentuais de ocorrência das classes de solos foram estimados no mapa de solos do Brasil, na escala 1:5.000.000 (escala pequena). Em escalas maiores, que cobrirão áreas de menor extensão, esses valores não vão coincidir, pois a variabilidade espacial é reduzida nesses casos, ou seja, uma Unidade de Mapeamento no mapa em escala pequena pode significar o desmembramento de três a quatro unidades de mapeamento diferentes em um mapa de escala maior.

Latossolos: solos altamente intemperizados devido às alterações profundas do material originário ou à gênese relacionada com sedimentos pré-intemperizados (Oliveira *et al.*, 1992). São caracterizados pela fração argila dominada por minerais nos últimos estágios de intemperismo, tais como: (1) argilas silicatadas de baixa atividade (caulinita); e (2) sesquióxidos de ferro e alumínio (hematita, goethita e gibbsita). A fração areia consiste predominantemente de minerais altamente resistentes ao intemperismo. Os Latossolos manifestam grande uniformidade morfológica e analítica, havendo pequena diferenciação de horizontes (Figura 3.2 - ver encarte colorido). São de textura variável, de média a muito argilosa, podendo o horizonte superficial comportar textura arenosa. Em geral são muito profundos e porosos, friáveis e permeáveis, apresentando pequeno acréscimo no teor de argila em profundidade e, comumente, são de baixa fertilidade natural. São os solos mais representativos do Brasil, ocupando aproximadamente 40% da área total do país (Tabela 3.1), distribuídos por praticamente todo o território nacional. Existem variados tipos de Latossolos, que se diferenciam por: (1) cor; (2) fertilidade natural; (3) teores de óxidos de ferro; (4) existência de atributos intermediários com outras

Tabela 3.1:

Extensão e distribuição percentual dos solos brasileiros.

CLASSES DE SOLOS	BRASIL		REGIÕES				
	ÁREAS	% ÁREA TOTAL	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL
	km ²				%		
ARGISSOLOS	2.085.727,97	24,4	33,1	17,2	13,8	20,7	21,1
CAMBISSOLOS	232.139,19	2,7	1,1	2,1	1,6	8,6	9,3
CHERNOSSOLOS	42.363,93	0,5	0,0	1,0	0,3	0,2	3,9
ESPODOSSOLOS	133.204,88	1,6	3,1	0,4	0,3	0,4	0,0
GLEISSOLOS	311.445,26	3,7	6,4	0,8	2,8	0,5	0,4
LATOSSOLOS	3.317.590,34	38,7	33,9	31,0	52,8	56,3	25,0
LUVISSOLOS	225.594,90	2,6	2,7	7,6	0,0	0,0	0,0
NEOSSOLOS	1.246.898,89	14,6	8,5	27,5	16,4	9,4	23,2
NITOSSOLOS	119.731,33	1,4	0,3	0,1	1,2	2,6	11,5
PLANOSSOLOS	155.152,13	1,8	0,2	6,6	1,7	0,2	3,0
PLINTOSSOLOS	508.539,37	6,0	7,6	4,7	8,8	0,0	0,0
VERTISSOLOS	169.015,27	2,0	3,2	1,0	0,4	1,2	2,6
CORPOS D'ÁGUA	160.532,30	1,9	3,2	0,4	0,3	1,2	2,6
TOTAL	8.547.403,50	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Coelho et al. (2002).

Tabela 3.2:

Correspondência aproximada entre classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (Embrapa 1999), Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) e a World Reference Base – WRB (FAO, 1998).

SIBCS	SOIL TAXONOMY	WRB
ARGISSOLOS	Ultisols, Alfisols	Acrisols, Lixisols, Alisols
CAMBISSOLOS	Inceptisols	Cambisols
CHERNOSSOLOS	Mollisols	Leptosols, Kastanozems, Greyzems, Chernozems, Phaeozems
ESPODOSSOLOS	Spodosols	Podzols
GLEISSOLOS	Inceptisols, Ultisols, Mollisols, Alfisols, Entisols	Fluvisols, Gleysols
LATOSSOLOS	Oxisols	Ferralsols
LUVISSOLOS	Alfisols	Luvisols
NEOSSOLOS	Entisols	Fluvisols, Leptosols, Regosols, Arenosols
NITOSSOLOS	Ultisols, Alfisols	Nitisols
PLANOSSOLOS	Alfisols, Ultisols, Mollisols, Aridisols	Planosols
PLUNTOSSOLOS	Oxisols, Ultisols, Inceptisols, Entisols, Alfisols	Sexquisols
VERTISSOLOS	Vertisols	Vertisols

Fonte: adaptado de Palmieri et al. (2003).

classes de solos (subgrupos); (5) tipo de horizonte superficial; (6) textura do solo; e (7) mineralogia, entre outros atributos.

Argissolos: os argissolos têm em comum um aumento substancial do teor de argila em profundidade, embora essa característica possa estar ausente em determinados solos da classe, requerendo a conjugação de outros atributos morfológicos para sua completa identificação, como grau de estruturação, teor de argila e manifestação de cerosidade. Em geral, são bem estruturados e profundos, de cores predominantemente avermelhadas e amareladas, textura variando de arenosa a argilosa nos horizontes superficiais e de média a muito argilosa nos subsuperficiais (Figuras 3.3 e 3.4 - ver encarte colorido). Sua fertilidade é variada, predominando os solos de relativa pobreza em nutrientes, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B e mineralogia predominantemente caulinítica. Os argissolos ocupam aproximadamente 20% da superfície do país; em termos de extensão geográfica só perdem para os latossolos e, semelhante a esses, distribuem-se em praticamente todas as regiões brasileiras (Figura 3.1).

Cambissolos: devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas em que são formados, as características desses

solos variam significativamente entre as diferentes regiões do Brasil. No entanto, uma característica comum é o incipiente estágio de desenvolvimento do horizonte subsuperficial, apresentando, em geral, fragmentos de rochas permeando a massa do solo e/ou minerais primários facilmente alteráveis (reserva de nutrientes), além de pequeno ou nulo incremento de argila em profundidade (**Figura 3.5 - ver encarte colorido**). Distribuem-se por praticamente todo o território brasileiro, predominantemente em relevos bastante dissecados, embora ocorram em antigos terraços fluviais de relevo plano. Particularmente, extensas áreas de cambissolos são verificadas na parte oriental dos planaltos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, onde apresentam elevados teores de matéria orgânica e alumínio extraível. Outras ocorrências expressivas são aquelas relacionadas à serra do Mar, estendendo-se desde o nordeste do Rio Grande do Sul até o Espírito Santo, serra da Mantiqueira e regiões interioranas do Estado de Minas Gerais (Oliveira *et al.*, 1992).

Chernossolos: compreendem solos cuja atividade da fração argila é bastante elevada no horizonte subsuperficial, sendo o superficial do tipo A chernozêmico (espesso, escuro, bem estruturado, rico em matéria orgânica e com elevado teor de cátions trocáveis). São bem estruturados, geralmente pouco profundos, podendo ou não conter incremento significativo no teor de argila em profundidade. Chernossolos são escuros, pouco coloridos, moderadamente ácidos a fortemente alcalinos, portanto de elevada fertilidade natural, fruto da manifestação de minerais, como esmectita e/ou vermiculita presentes em proporções significativas na fração argila. A maior ocorrência desses solos situa-se em duas grandes áreas nos Estados do Rio Grande do Sul (pampas e planaltos gaúchos) e Bahia.

Gleissolos: são solos fortemente influenciados pelo lençol freático, portanto constante ou periodicamente inundados, salvo se artificialmente drenados. Geralmente desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água, em depósitos colúvio-aluviais sujeitos a condições periódicas ou freqüentes de hidromorfismo, bem como em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos. Caracterizam-se pela forte manifestação de cores, predominantemente acinzentadas iniciando-se dentro dos 50 cm superficiais do solo, podendo, ainda, desenvolver cores azuladas ou esverdeadas. Situam-se em todas as áreas

úmidas do território brasileiro, onde o lençol freático fica elevado a maior parte do ano. Como ocorrências expressivas, no entanto, podem-se citar aquelas relacionadas às várzeas da planície amazônica, ao longo do rio Araguaia nos Estados de Goiás e Tocantins, às margens do rio Paraíba do Sul nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro e às margens das lagoas dos Patos, Mirim e Mangueira no Rio Grande do Sul (Oliveira *et al.*, 1992).

Luvissolos: compreendem solos com elevada fertilidade natural, moderadamente ácidos a alcalinos, geralmente com teores baixos ou nulos de alumínio extraível e quantidade significativa e variável de argilominerais do tipo 2:1, responsáveis pela elevada capacidade de retenção de íons trocáveis (solos de argila de atividade alta e elevada saturação por bases) nos horizontes subsuperficiais. Comumente são pouco profundos, de coloração avermelhada ou amarelada, com estrutura bem desenvolvida, podendo ou não conter aumento significativo do conteúdo de argila em profundidade. A zona semi-árida do nordeste brasileiro é a região com maior ocorrência expressiva dos solos dessa classe; no entanto, Luvissolos com elevados teores de cátions trocáveis e alumínio extraível são encontrados no Estado do Acre.

Neossolos: pouco evoluídos e, geralmente, pouco espessos devido à pequena expressão dos processos responsáveis pela sua formação que não conduziram a modificações expressivas no material originário. São solos muito variáveis, fortemente influenciados pelo material de origem. Existem quatro grandes tipos (Subordens) de Neossolos, que apresentam, genericamente, as seguintes características: Neossolo Litólicos - solos rasos, com espessura inferior a 50 cm, possuindo, em geral, uma estreita camada de material terroso sobre a rocha; essa podendo estar em diferentes estádios de alteração; Neossolos Regolíticos - solos mais profundos, com espessura superior a 50 cm e presença de minerais alteráveis na fração areia (reserva de nutrientes) ou fragmentos de rocha semi-intemperizada que deram origem ao solo; Neossolos Quartzarênicos - solos geralmente profundos e cuja textura essencialmente arenosa por todo o perfil e ausência ou pequena reserva de nutrientes (nulo ou pequeno conteúdo de minerais alteráveis) constituem suas características marcantes; Neossolo Flúvico - solos provenientes de sedimentos aluviais. Norma

mente possuem um horizonte escurecido em superfície assente sobre camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si. A distribuição irregular do conteúdo de carbono orgânico em profundidade é outra característica marcante desses solos. Os Neossolos Litólicos, em geral, estão associados a relevos acidentados e a muitos afloramentos de rocha. No mapa de solos, apresentam-se com formas estreitas e alongadas, refletindo as cristas e partes mais instáveis da paisagem (Resende *et al.*, 1988). Não há distribuição regionalizada, ocorrem em todo o território brasileiro. Os Neossolos Regolíticos também são comuns no Brasil como um todo, intimamente associados aos Neossolos Litólicos na paisagem. No entanto, extensas áreas ocorrem na região semi-árida nordestina, onde, geralmente, são mais profundos. As maiores ocorrências de Neossolos Quartzarênicos estão nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, oeste e norte da Bahia, sul do Pará, sul e norte do Maranhão, no Piauí e Pernambuco, em relevo predominantemente plano. Os Neossolos Flúvicos raramente ocupam áreas extensas e contíguas, pois são restritos às margens dos cursos d'água, lagoas e planícies costeiras, onde, geralmente, ocupam pequenas extensões das várzeas (Oliveira *et al.*, 1992).

Espodossolos: são solos arenosos, com acúmulo significativo de matéria orgânica iluvial em profundidade, associada a complexos de alumínio, podendo ou não conter compostos de ferro. Geralmente são pobres e muito ácidos, sendo peculiar a presença de teores relativamente elevados de alumínio extraível quando comparados a outros cátions básicos trocáveis, embora haja registro de espodossolos com teores significativos desses cátions, predominantemente associados à presença de conchas no perfil. Distribuem-se de maneira esparsa nos domínios de restinga de toda a costa leste do país, especialmente no Rio de Janeiro, Bahia, Sergipe, Alagoas e Rio Grande do Sul, bem como nas áreas interioranas da Amazônia Ocidental, onde são expressivos.

Nitossolos: são solos de textura argilosa ou muito argilosa que apresentam pouco ou nenhum incremento de argila em profundidade. São normalmente muito profundos, bem drenados e apresentam horizontes subsuperficiais bem expressos em termos de desenvolvimento de estrutura e cerosidade (superfície dos agregados reluzente). Suas cores são predominantemente avermelhadas ou bruna-

das; são moderadamente ácidos, dotados de argila de atividade baixa e fertilidade variável (saturação por bases baixa a alta), às vezes contendo elevados conteúdos de alumínio extraível. As maiores áreas contíguas estão nos estados sulinos. No entanto, extensas áreas também são encontradas nos planaltos basálticos do Estado de São Paulo que se estendem até o Rio Grande do Sul

Planossolos: compreendem solos mal drenados, com horizonte superficial de textura mais leve, em geral arenosa, que contrasta abruptamente com o horizonte subsuperficial imediatamente subjacente, adensado e extremamente endurecido quando seco, geralmente de acentuada concentração de argila, fortemente estruturado e de permeabilidade muito lenta, sendo responsável, por vezes, pela retenção de lençol d'água sobreposto (lençol suspenso). São encontrados em áreas de relevo plano ou suave ondulado, muito utilizados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul, bem como com pastagens nos estados nordestinos do país (Resende *et al.*, 1988).

Plintossolos: sua característica mais marcante é a presença expressiva de plintita no perfil, geralmente acompanhada de mosqueados avermelhados, ambos oriundos da segregação de ferro (**Figura 3.6 ver encarte colorido**). As plintitas são constituídas basicamente de uma mistura de argilas, predominantemente caulinita e óxidos de ferro, são pobres em carbono orgânico e ricas em ferro, ou ferro e alumínio, sendo a fração areia dominada por quartzo. São facilmente identificados no perfil pelo grande contraste com a matriz, seja pela coloração, seja pela maior consistência do material plíntico, que pode ser separado do solo envolvente. Os plintossolos podem ou não conter camadas contínuas e endurecidas do material ferruginoso (horizonte litoplíntico, cangas lateríticas, bancadas lateríticas), bem como petroplintita, material constituído de nódulos ou concreções provenientes do endurecimento irreversível da plintita após ciclos sucessivos de umedecimento e secagem. São freqüentemente ácidos, com baixas reservas de nutrientes e de textura variável. Encontram-se em relevo plano e suave ondulado, em áreas deprimidas, planícies aluvionais e terços inferiores de encosta, situações que impliquem no escoamento lento da água do solo. As maiores extensões se encontram na Região Amazônica (alto Amazonas do território brasileiro), Amapá, Ilha do Marajó, baixada Maranhense, norte do Piauí, sudeste de Tocantins e nordeste de Goiás, Pan-

tanal mato-grossense e baixada da região da Ilha do Bananal (Oliveira *et al.*, 1992). Plintossolos com predominância de nódulos e concreções (Plintossolos Pétricos concrecionários) são comuns nas rupturas de chapadas em todo o Planalto Central Brasileiro e em muitas rupturas de declive na Amazônia (Resende *et al.*, 1988).

Vertissolos: são solos que apresentam pronunciadas mudanças do volume com o aumento do teor água no solo, morfologicamente manifestadas pela presença de fendas profundas na época seca, superfícies estriadas na superfície dos agregados ("slickensides") e estruturas do tipo cuneiformes (em forma de cunha) que são inclinadas e formam ângulo com a horizontal. Apresentam coloração acinzentada, preta, e mesmo amarelada ou avermelhada, com pequena variação no conteúdo de argila em profundidade. São de textura argilosa ou mais fina e de elevada fertilidade química, embora apresentem problemas de natureza física. Suas maiores extensões localizam-se na zona seca do Nordeste, no Pantanal mato-grossense, na Campanha Gaúcha e no Recôncavo baiano (Oliveira *et al.*, 1992).

SOLOS DA AMAZÔNIA

Diversos ecossistemas são identificados na Amazônia Legal, consistindo de diferentes tipos de florestas e cerrados tropicais e equatoriais (Vieira & Santos, 1987; EMBRAPA, 1992). Os solos, como componentes desse complexo de recursos naturais, variam consideravelmente. Aspectos gerais e algumas particularidades dos solos da Amazônia são apresentados abaixo, com ênfase em suas principais características, potencialidades e limitações ao uso agrícola.

TIPOS DE SOLOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

Baixa fertilidade natural e alta saturação por alumínio trocável são os aspectos comuns dos solos da Amazônia conforme constatado por levantamentos de solos executados pela EMBRAPA (EMBRAPA 1976; 1978; 1980a; 1980b; 1981; 1982a; 1982b; 1983a; 1983b; 1986) e o RADAMBRASIL (BRASIL, 1975;

1977a,b; 1978a,b,c) naquela região nos últimos 40 anos. No entanto, pequenas áreas de solos férteis existem na região, tal como identificadas nos poucos mapas pedológicos mais detalhados, ao longo de rodovias e em áreas selecionadas para projetos agrícolas, assentamentos e pólos de desenvolvimento.

A caulinita é o mineral de argila predominante nos solos da região, o que lhes confere baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa saturação por bases trocáveis e, conseqüentemente, baixa reserva de nutrientes para as plantas cultivadas. O solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola. Algumas áreas contínuas e mapeadas em escala pequena (**Figura 3.7 - ver encarte colorido**) situadas no noroeste do Brasil (Estado do Acre) possuem solos um pouco mais férteis (Cambissolos, Argissolos e Luvisolos), em relevos mais acidentados predominantemente condicionados pelo tipo de material de origem.

Uma peculiaridade edáfica na Amazônia é a existência de pequenas extensões de áreas com solos muito férteis distribuídas de formas arredondadas e isoladas, de diferentes tamanhos (5 a 500 ha), popularmente denominadas de Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (Falesi, 1972; Kern *et al.*, 2003). TPI é nome dado aos solos de origem antropogênica existentes na Amazônia, formados intencional ou não intencionalmente por populações indígenas pré-históricas que habitavam as margens dos rios da bacia amazônica (Woods, 2003). Esses locais especiais serviram de moradia no passado pré-histórico, quando as populações depositavam resíduos de origem vegetal (folhas e talos de palmeiras diversas, cascas de mandioca, sementes, etc.) e de origem animal (ossos, sangue, gordura, fezes, carapaças de quelônios, conchas, etc.), além de uma grande quantidade de cinzas e resíduos de fogueiras e fragmentos de cerâmica (Kern, 1996) (**Figura 3.8 - ver encarte colorido**). Caracterizam-se pelos elevados níveis de nutrientes em forma assimilável para as plantas, bem como elevados teores de matéria orgânica e atributos físicos favoráveis ao desenvolvimento das plantas cultivadas, além de expressiva atividade biológica quando comparados aos solos adjacentes, menos enriquecidos em matéria orgânica, caulíníticos e fortemente intemperizados, onde não houve ação antropogênica (Madari *et al.*, 2003).

No entanto, os Latossolos ácidos, mais intemperizados (**Figura 3.2**), e os Argissolos (**Figuras 3.3 e 3.4**), de baixa fertilidade natural, constituem 64% da área total da Amazônia Legal (**Tabela 3.3**). Apesar da baixa fertilidade, que pode ser facilmente corrigida, os Latossolos têm boas condições físicas e topografia muito favorável à agricultura mecanizada.

Tabela 3.3:

Extensão e distribuição percentual dos solos da Amazônia Brasileira.

CLASSES DE SOLOS	ÁREA	ÁREA RELATIVA
	-----km ² -----	-----%-----
LATOSSOLOS	1.900.996,38	37,53
ARGIS SOLOS	1.567.184,71	30,95
PLINTOSSOLOS	457.262,39	9,03
GLEISSOLOS	299.192,67	5,91
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	255.942,64	5,05
NEOSSOLOS LITÓLICOS	227.035,60	4,48
ESPODOSSOLOS	126.075,69	2,49
CAMBISSOLOS	44.432,38	0,88
NEOSSOLOS FLÚVICOS	33.220,28	0,66
NITOSSOLOS	16.361,73	0,32
PLANOSSOLOS	11.997,87	0,24
VERTISSOLOS	390,59	0,01
CORPOS D'ÁGUA	124.764,52	2,50
TOTAL	5.064.857,45	100,00

Áreas expressivas de Plintossolos (Figura 3.6) e de Argissolos Vermelho-Amarelos Alíticos, anteriormente classificados como Alissolos (Figura 3.4), distribuem-se por aproximadamente 16% da Amazônia Legal (Tabela 3.3). Associada à baixa reserva de nutrientes, a presença de plintita e petroplintita nos Plintossolos e os teores de alumínio extraível nos Argissolos Vermelho-Amarelos Alíticos (> 4 cmol_c/kg solo) tornam mais difícil e até impossível implementar exploração agrícola em parte dessas áreas.

Outras classes de solos que ocorrem na Amazônia são os Gleissolos, Neossolos, Espodossolos, Cambissolos, Nitossolos, Planossolos e Vertissolos (Tabela 3.3), constituindo, aproximadamente, 20% da Amazônia Legal.

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS SOLOS DA AMAZÔNIA

As diferenças entre as classes de solos da Amazônia devem ser entendidas sob o ponto de vista da disponibilidade de nutrientes e de outros atributos do solo como o pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e textura (Moran &

Brondizio, 1998). Apesar da diferença observada no aumento do teor de argila em subsuperfície, os Latossolos e Argissolos apresentam freqüentemente as mesmas propriedades e características que determinam a disponibilidade de nutrientes e as condições para o crescimento vegetal (Sanchez, 1976). Em termos químicos, a maioria dos solos da região é distrófica ou álica, com a soma dos teores de Ca e Mg trocáveis menores que $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A saturação de Al, na grande maioria dos solos é superior a 50% e a saturação por bases menor que 50%. Os teores dos cátions básicos (K, Ca e Mg) e do P também estão abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo, os quais, juntamente com o elevado teor de Al, representam os maiores empecilhos para o desenvolvimento radicular, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (Demattê, 1988). Smyth & Cassel (1995) demonstraram a necessidade de fornecimento de nutrientes, especialmente de fósforo, para obterem-se produções adequadas na região. Malavolta (1987) estimou que 90% dos solos da Região Amazônica apresentam problemas de baixa fertilidade. Para Demattê (1988), nesses solos, os atributos químicos relacionados à fertilidade do solo são mais limitantes que as propriedades físicas.

Dependendo da posição na paisagem, os solos da Amazônia podem ser agrupados em solos de *terra firme* (não-inundáveis) e *várzea* (inundáveis). Considerando que a área total de *terra firme* seja 4.469.215,8 km² (estimado com base na Tabela 3.3), os Latossolos e Argissolos cobrem aproximadamente 70% das áreas não-inundáveis. Esses solos estão normalmente sob cultivo tanto de culturas anuais como de perenes, pastagens e vários sistemas agroflorestais. Comparados aos solos não inundados, os solos inundáveis (Gleissolos, Neossolos Flúvicos), apesar de ocuparem áreas muito menores na Amazônia Legal, apresentam fertilidade mais alta e têm importante papel no cultivo de culturas anuais com destaque para o arroz irrigado (Alfaia & Falcão, 1993).

Com o objetivo de apresentar, de modo generalizado, a fertilidade dos solos da Região Amazônica, serão relacionados os fatores mais limitantes ao desenvolvimento vegetal nos solos ácidos tropicais que predominam nessa região. Cochrane & Sanchez (1982) apresentaram um resumo sobre as limitações químicas e físicas dos solos ácidos e de baixa fertilidade da Região Amazônica (Tabela 3.4). Os resultados indicam que a deficiência de P é a mais severa limitação química ao crescimento vegetal. A lista de maiores limitações é seguida ainda pela toxidez de Al,

Tabela 3.4:

Sumário das limitações dos solos da região amazônica.

Limitações do solo	Milhões ha	% da Amazônia
Deficiência de fósforo	436	90
Toxidez de alumínio	353	73
Estresse hídrico	254	53
Baixas reservas de potássio	242	50
Umidade pobre e encharcamento	116	24
Alta fixação de fósforo	77	16
Baixa capacidade de troca de cátions	64	13
Alta erodibilidade	39	8
Acidez (> 30%)	30	6
Laterização com exposição do subsolo	21	4

Fonte: Cochrane and Sanchez (1982).

deficiência de K, alta capacidade de fixação de P e ainda baixa capacidade de retenção de cátions. Outras restrições de caráter físico também são apresentadas, mas de menor relevância.

Com base em resultados de 3.340 análises de amostras de solo coletadas na profundidade de 0 a 0,2 m em 62 municípios do Estado do Amazonas, Moreira *et al.* (2005) elaboraram esquemas da distribuição de parâmetros de fertilidade dos solos (Figura 3.9) e confirmam as constatações de Cochrane & Sanchez (1982).

Fixação e deficiência de fósforo: os solos ácidos tropicais normalmente apresentam baixas reservas de P e frequentemente apresentam ainda alta capacidade de fixação desse nutriente (Rodrigues, 1996; Novais & Smith, 1999). De acordo com Sanchez & Uehara (1980), há dois processos responsáveis pela fixação de P nos solos ácidos: (i) precipitação pelo Al trocável; (ii) adsorção na superfície dos sesquióxidos. A fixação de P tende a ser mais alta nos solos ácidos onde os óxidos e hidróxidos de Fe e Al são mais abundantes. A reversão da adsorção de P é importante uma vez que a desorção frequentemente é um fator limitante à absorção de P pelas culturas. Além disso, o P é considerado como o nutriente mais limitante nos solos da Amazônia em condições naturais nas quais é frequentemente encontrado em concentrações muito baixas (abaixo de 1 mg kg^{-1} de solo). As deficiências de P limitam as culturas anuais em 90% das terras altas da Amazônia (Cochrane & Sanchez, 1982; Sanchez, 1976) e também as perenes (Lehmann *et al.*, 2001). Confirmando esse fato, Corrêa & Reichardt (1995) observaram que o estabeleci-

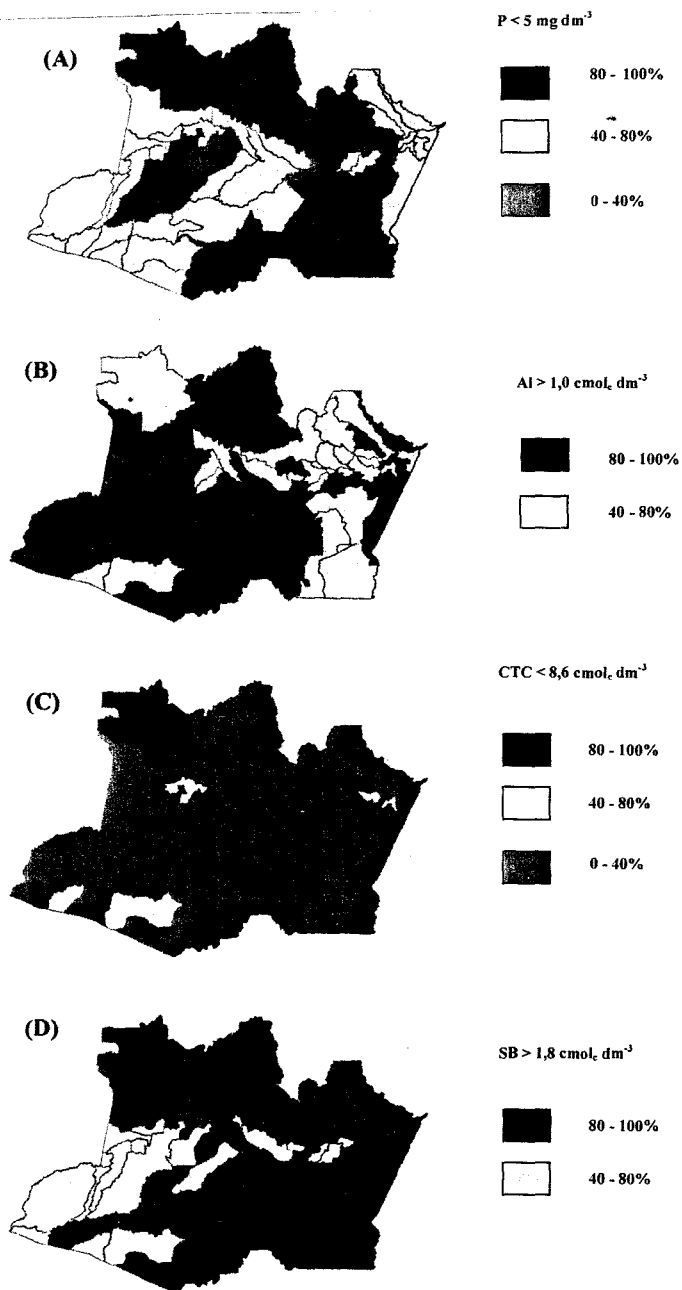


Figura 3.9 - Distribuição aproximada de variáveis do solo em 3.340 amostras de 62 municípios do estado do Amazonas. (A) Fósforo disponível (Mehlich 1); (B) Alumínio trocável; (C) Capacidade de Troca Catiônica e (D) Soma de Bases. (Moreira et al., 2005)

mento e crescimento de pastagens foram limitados pela deficiência de P. A Figura 3.9 (A) apresenta as altas frequências de ocorrência de amostras de solo com P disponível de abaixo de 5mg dm^{-3} nos municípios do Estado do Amazonas (Moreira *et al.*, 2005).

Toxidez do Al e acidez subsuperficial do solo: o complexo de troca do epipedon de um solo ácido tropical e de sua subsuperfície caulínica é geralmente dominado pelo Al trocável (Rodrigues, 1996). As altas quantidades de Al, e algumas vezes de Mn, associadas às baixas quantidades de Ca, Mg e outros nutrientes, na maioria das vezes, contribuem para as baixas produtividades das plantas cultivadas nesses solos. Altas concentrações de alumínio inibem o desenvolvimento das raízes e tendem também a limitar a absorção de outros nutrientes, especialmente Ca e Mg que estão relacionados ao crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (Lathwell & Grove, 1986). A figura 3.9 (B) ilustra distribuição e a frequência de amostras de solo com teores de alumínio trocável acima de $1,0\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ nos municípios do Estado do Amazonas (Moreira *et al.*, 2005).

Capacidade de troca catiônica (CTC) e deficiência de cátions básicos: a CTC é resultado da natureza do mineral de argila, dos colóides orgânicos e do pH do solo. As frações argila dos Latossolos e Argissolos são dominadas por sesquióxidos, gibsitita e caulinita. Esses componentes têm baixas quantidades intrínsecas de cargas negativas e, além disso, a maior parte da CTC desses solos depende da matéria orgânica (como será visto abaixo) e também do pH da solução do solo. Como consequência, esses solos apresentam alta correlação entre cargas elétricas e pH. Em alguns casos os solos podem apresentar um balanço de cargas positivo sob baixo pH, que afeta a disponibilidade de alguns nutrientes (Sanchez, 1976). A CTC é responsável pelo equilíbrio dos íons na interface sólido-líquida dos solos. Assim, os valores baixos de CTC, normalmente observados nesses solos (Figura 3.9 C) combinados com pH ácido, levam à lixiviação de K, Ca, e Mg.

As baixas concentrações de K, Ca e Mg e a baixa CTC associada aos altos teores de Al são graves fatores limitantes ao crescimento da maioria das plantas cultivadas nos solos tropicais ácidos. A avaliação dessas variáveis nas camadas subsuperficiais (abaixo de 0,3 m) deveria ser realizada mais frequentemente.

A calagem é a prática mais barata e eficaz para corrigir a acidez do solo. A calagem reduz a toxidez de Al e Mn, aumenta a disponibilidade de P, Ca e Mg, estimula a

fixação simbiótica de N_2 e melhora a estrutura do solo pelo aumento na estabilidade de agregados. Além disso, a calagem melhora a capacidade do solo em fornecer nutrientes e promove maior habilidade das plantas em absorver nutrientes e água devido ao sistema radicular mais desenvolvido em profundidade. O aumento nas bases trocáveis e pH podem ainda estimular a decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo por propiciar um meio mais favorável ao desenvolvimento das populações de microorganismos (Sanchez, 1976). Os resultados de Moreira *et al.* (2005) indicam que os altos valores da $CTC_{pH\ 7,0}$ (Figura 3.9 C) mostram que as trocas iônicas nesses solos ocorrem basicamente em função dos altos teores de H+Al, havendo pequenas quantidades de cátions básicos (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}). Esses solos apresentam ainda apenas 15,96% da soma de bases dentro das médias, alta e muito alta (Figura 3.9 D).

Importância da matéria orgânica do solo: uma das funções da matéria orgânica do solo (MOS) é atuar como reserva de nitrogênio e outros nutrientes para as plantas (Craswell & Lefroy, 2001). No entanto, a MOS também exerce um papel relevante nas propriedades químicas de solos tropicais, pois influencia a capacidade de troca iônica e o suprimento de nutrientes (Sanchez, 1976). Alfaia (1988), em estudos na Amazônia Central, confirmou esta influência da MOS relatando aumentos da CTC pela deposição de matéria orgânica na superfície do solo e a relação direta entre as propriedades do solo com o teor de carbono orgânico e pH do solo. É antiga a observação de que o fator responsável pelas cargas negativas, e conseqüentemente pela CTC de solos do Brasil, é a MOS que contribui com 60 a 80% da capacidade total de troca (Raij, 1969).

O teor de matéria orgânica é afetado pelo tipo de vegetação, pelo material de origem dos solos e aumenta com o teor de argila e com a maior precipitação pluvial (Tognon *et al.*, 1998). O trabalho de Moreira & Costa (2004) também destaca que a fertilidade do solo nas condições edafoclimáticas locais está associada ao conteúdo de matéria orgânica no solo. Entretanto, a alteração da cobertura original de floresta para plantas cultivadas levou a um aumento na taxa de decomposição da MOS (Vitorello *et al.*, 1989).

A MOS pode ser aumentada pela adição de palhadas, plantas de cobertura, adubos verdes, composto, esterco animal, pelo preparo mínimo (ex. escarificação) ou plantio direto e também evitando a queimada dos resíduos. O reflorestamento au-

menta o teor de matéria orgânica e a biomassa microbiana a partir do quarto ano, indicando a necessidade de um aporte inicial do conteúdo de carbono no solo, que poderá ser suprido com a utilização de gramíneas ou leguminosas forrageiras (Moiteira & Costa, 2004). O aumento da MOS eleva a agregação do solo, capacidade de retenção de água e disponibilidade de P; reduz a fixação de P, toxidez de Al e Mn, lixiviação de nutrientes pelo aumento das bases trocáveis Ca, Mg e K (Baligar & Fageria, 1997). MOS também funciona como fonte de nutrientes como foi mostrado por Pereira *et al.* (2000) que avaliou as mudanças nas características químicas de um Latossolo Amarelo manejado sob dois sistemas de pastejo rotacionado com *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*. O material orgânico, incorporado ao solo através dos resíduos vegetais e animais, afetou as características químicas aumentando os níveis de Ca, Mg, K, P, N, C, MO e pH, e diminuindo os níveis de Al.

Fertilidade do solo e as florestas: apesar de serem muito intemperizados, os solos da Região Amazônica suportam densas e exuberantes vegetações que possuem eficientes mecanismos de conservação e ciclagem de nutrientes. Nesse sistema os nutrientes no processo de ciclagem passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa (Geraldine *et al.*, 1995), cujo processo é denominado equilíbrio dinâmico (Poggiani & Schumacher, 2004). A remoção dessa cobertura vegetal resulta em substituição das espécies primárias da floresta, eficientes na ciclagem de nutrientes, por culturas ou espécies pioneiras e secundárias bem menos eficientes. Desse modo o ciclo é quebrado alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (Malavolta, 1987). Assim os ciclos de nutrientes são também modificados e são perdidos os mecanismos de conservação de nutrientes. Na floresta amazônica, o suprimento de nutrientes da vegetação depende fortemente do húmus da camada superficial do solo e também dos nutrientes na biomassa da vegetação, pois ocorre uma eficiente reciclagem a partir dos materiais orgânicos em decomposição, das raízes superficiais densas e das micorrizas associadas (Stark & Jordan, 1978; Herrera & Jordan, 1981; Cuevas & Medina, 1988).

Manejo do solo e dinâmica de nutrientes: geralmente os cultivos dos solos ácidos da Amazônia são iniciados com o corte e remoção das árvores de maior importância econômica e, após, pela queima da biomassa aérea remanescente (Martins *et al.*,

1991). Essa conversão do ecossistema natural para sistema manejado leva à redução dos teores de matéria orgânica do solo, especialmente pela remoção dos resíduos orgânicos e pelo preparo do solo que refletem negativamente na produtividade das plantas. A deterioração das propriedades do solo pela prática agrícola nos trópicos é causada, em geral, pela acelerada perda da matéria orgânica do solo (Tiessen *et al.*, 1994). Para a manutenção da produtividade no sistema de corte-e-queima, a matéria orgânica que é perdida durante o período de cultivo tem que ser repostada na fase de pousio (Denich *et al.*, 2004). Assim, é necessário um tempo mínimo na fase de pousio para a reposição dessas perdas.

As alterações dos padrões climáticos e ecológicos devido à remoção e queima das florestas foram avaliadas por Watson *et al.* (2000). O desmatamento com queima freqüentemente leva a um efeito imediato nos níveis iniciais de nutrientes no solo e, conseqüentemente, interferindo na dinâmica de nutrientes (Martins *et al.*, 1991). O sistema de corte-e-queima faz parte do sistema tradicional de agricultura itinerante utilizado pelos agricultores familiares da Amazônia. Consiste na derrubada e queima da vegetação natural, cultivo agrícola por um a dois anos seguidos de um período de pousio para o crescimento da vegetação secundária (capoeira). Essa prática é controversa e novas alternativas às queimadas são prementes. Na agricultura itinerante, uma importante função da vegetação secundária é a acumulação de nutrientes na parte aérea das plantas e a rápida liberação desses elementos através da queima para melhoria da fertilidade do solo. A queima também promove (i) aumento do pH do solo devido a seu efeito alcalino, (ii) proporciona melhores condições de plantio e (iii) reduz as plantas daninhas e os inóculos de pragas e doenças. A melhoria da fertilidade do solo depende da quantidade de cinza, cuja quantidade depende da idade da vegetação secundária queimada (Kato *et al.*, 1999). As tentativas para eliminar a queimada da vegetação são limitadas pelas dificuldades de manejar grandes quantidades de biomassa sem o uso de implementos e máquinas agrícolas apropriados (Seubert *et al.*, 1977). As desvantagens da queima são as perdas devido à volatilização de nitrogênio e enxofre e, em menor proporção, de fósforo e potássio. Hölscher *et al.* (1997) estimaram as perdas de N, S, P e K na ordem de 96, 76, 47 e 48%, respectivamente, no material da parte aérea. Os nutrientes liberados pela queima podem ser rapidamente lixiviados e, conseqüentemente, deficiências nutricionais múltiplas surgem nas sucessões com culturas anuais (Cravo & Smyth,

1997). Muitos estudos relatam sobre os efeitos favoráveis da queima nas propriedades químicas do solo após a remoção da floresta, além da disponibilização de nutrientes depois da queima da floresta mais desenvolvida, que geralmente se mantém por dois ou três anos de cultivo de culturas anuais, sem utilização de insumos antes do campo ser abandonado para o pousio (Ewel, 1986; Sanchez *et al.*, 1983; Serrão *et al.*, 1996). McGrath *et al.* (2001) demonstraram que essas alterações no solo, resultantes da mudança do sistema de corte-e-queima para sistemas agroflorestais, pode persistir por pelo menos seis anos depois da implantação da agrofloresta. Entretanto, devido aos recentes enfoques relacionados à mudança global do clima e diminuição da emissão de gases de efeito estufa pelos sistemas agrícolas, sistemas alternativos ao uso do corte-e-queima estão sendo investigados. A substituição do uso do fogo por outro sistema sem o uso do fogo pode diminuir o balanço negativo do sistema de corte-e-queima (Holscher *et al.*, 1997).

As perdas com a queima podem ser eliminadas pelo preparo das áreas sem o uso do fogo, oferecendo alternativas de reciclagem de nutrientes eficientes e sustentáveis (Luna-Orea & Waggoner, 1996). No entanto, a limpeza mecânica poderia remover a vegetação junto com parte da camada mais superficial do solo (Seubert *et al.*, 1977). O preparo de área sem o uso do fogo pode ser realizado manualmente ou com uso de ensiladeira de forragens, demandando, entretanto, grande quantidade de mão-de-obra (Denich *et al.*, 2004). A alternativa é a utilização de um triturador de capoeira moto-mecanizado (ou adaptado de trituradores de galhadas) que realize a derruba da vegetação, trituração da biomassa e distribuição sobre o terreno na forma de cobertura morta (*mulching*) em uma única operação. Após a trituração, o material deve ser distribuído sobre o solo na forma de cobertura morta e o plantio deverá ser realizado no sistema plantio direto (Kato *et al.*, 2004). Em sistemas livres de fogo, o acréscimo na produção foi de 47% na cultura do arroz e de 27% na de feijão (Kato *et al.*, 1999).

Uma alternativa sustentável é simplesmente distribuir os resíduos vegetais sobre o solo (*mulching*) ou a incorporação da vegetação cortada. O material orgânico adicionado atua como substrato rico em carbono que, depositado no solo, é decomposto pelos microrganismos do solo apesar de, inicialmente, imobilizar uma grande fração dos nutrientes disponíveis (Braakhekke *et al.*, 1993). Quando depositados na superfície, os resíduos estão sujeitos a secar rapidamente e decom-

por mais lentamente resultando em lentas taxas de imobilização. Os resíduos misturados com solo freqüentemente mantêm a umidade proporcionando decomposição mais rápida que os resíduos deixados na superfície do solo (Sanchez *et al.*, 1989; Myers *et al.*, 1994; Woomer *et al.*, 1994).

A adubação complementar pode compensar o efeito negativo devido à imobilização dos nutrientes na fase inicial do cultivo agrícola (Kato *et al.*, 1999). E em médio prazo, a produtividade, mesmo sem o uso da adubação complementar, pode atingir os níveis conseguidos no primeiro ano de queima proporcionando maior estabilidade de produção ao longo dos anos.

Em função da baixa fertilidade do solo, a correção da alta acidez e deficiências nutricionais iniciais como também a reposição da exportação de nutrientes na biomassa colhida serão necessárias em sistemas agrícolas permanentes (Szott & Kass, 1993). Assim, o monitoramento contínuo da diminuição da disponibilidade de nutrientes pela amostragem e análise de solos deve servir de guia para o estabelecimento de programas de adubação (Sanchez *et al.*, 1983). Na tabela 3.5 são apresentados os resultados da fertilidade de solo do Estado do Amazonas com base nos resultados de 3340 amostras de solo da camada de até 0,2 m.

Trabalhos de pesquisa confirmaram que o crescimento vegetal nos solos amazônicos é mais limitado pelas deficiências dos nutrientes P, Ca e Mg que pela deficiência de N (Cuevas & Medina, 1986; Cuevas & Medina, 1988; Vitousek & Matson, 1988). A nutrição adequada das plantas é essencial para se manter o crescimento vigoroso e garantir produtividades satisfatórias economicamente, pois colheitas sucessivas sem a reposição dos nutrientes poderão causar esgotamento do solo, tornando-se prejudiciais às culturas e resultando em degradação do ecossistema. Os resultados de Cravo & Smyth (1997), obtidos após oito anos de cultivo com dezessete culturas confirmam essas observações. Na ausência de calagem e adubações houve diminuição nos teores de N, P, K, Ca, Mg, C e pH, além do aumento da porcentagem de saturação de Al. A produtividade média com calagem e adubações baseadas na análise de solo foi de 4,1 t ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que na ausência desses insumos apenas 0,2 t ha⁻¹ ano⁻¹. Os autores concluíram ainda que as produções totais obtidas em 1 ha, durante oito anos, com o fornecimento balanceado de nutrientes por meio de adubação e calagem, corresponderiam à produtividade obtida em 24 ha sob sistema de corte-e-queima.

Tabela 3.5:
Resultados de amostras coletadas na camada de 0-20 cm no Estado do Amazonas e frequência (%) das diferentes classes de fertilidade do solo em relação ao total

	pH (água)		P (Mehlich-1)		K		Al		Ca		Mg	
	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%
Muito Baixo	< 4,5	55,26	< 2,8	50,25	< 16	21,44	< 0,20	3,96	< 0,41	64,58	< 0,16	42,21
Baixo	4,5 - 5,4	41,20	2,8 - 5,4	32,48	16 - 40	54,45	0,21 - 0,50	8,97	0,41 - 1,16	23,81	0,16 - 0,45	32,12
Médio	5,5 - 6,0	2,76	5,5 - 8,0	8,19	41 - 70	45,92	0,51 - 1,00	18,56	1,17 - 2,32	6,72	0,46 - 0,90	17,40
Alto	6,1 - 7,0	0,78	8,1 - 12,0	4,85	71 - 120	6,17	1,01 - 2,00	43,46	2,33 - 4,06	2,48	0,91 - 1,50	4,19
Muito Alto	> 7,0	.	> 12,0	4,23	> 120	2,02	> 2,00	25,05	> 4,06	2,41	> 1,50	4,08
	Cat+Mag	%	Soma de Bases	%	Saturação de Al	%	CTC efetiva	%	CTC	%	V	%
	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	%	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	%	%
Muito Baixo	< 0,46	47,26	< 0,61	49,32	< 15,1	5,59	< 0,81	3,96	< 1,61	.	< 20,1	93,48
Baixo	0,46 - 1,65	42,60	0,61 - 1,80	34,72	15,1 - 30,0	5,55	0,81 - 2,30	39,15	1,61 - 4,30	.	20,1 - 40,0	5,90
Médio	1,66 - 3,30	7,77	1,81 - 3,60	13,90	30,1 - 50,0	12,31	2,31 - 4,60	45,97	4,31 - 8,60	4,47	40,1 - 60,0	0,62
Alto	3,31 - 5,50	1,71	3,61 - 6,00	1,44	50,1 - 75,0	30,03	4,61 - 8,00	9,48	8,61 - 15,00	93,63	60,1 - 80,0	.
Muito Alto	> 5,50	0,66	> 6,00	0,62	> 75,0	46,52	> 8,00	1,44	> 15,00	1,90	> 80,0	.

Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2005).

Existem vários trabalhos relatando os efeitos benéficos da adubação em culturas da Região Amazônica como açaizeiro (Viégas *et al.*, 2004), cacau (Morais, 1998), cupuaçuzeiro (Alfaia & Aires, 2004), dendzeiro (Viégas & Botelho, 2000), pastagens (Pereira *et al.*, 2000), pimenta-do-reino (Velooso *et al.*, 2000), pupunheira (Ares *et al.*, 2003; Yuyama *et al.*, 2005), seringueira (Viégas *et al.*, 2003) e também em sistemas agroflorestais (Schroth *et al.*, 2000).

USO E COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA: HISTÓRICO, TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS.

A configuração espacial dos elementos da paisagem pode ser atribuída a uma combinação de fatores ambientais e ações humanas que operam em diferentes escalas espaciais e temporais (Forman & Godron, 1986; Dunn *et al.*, 1991), criando padrões complexos de mudanças (Di Castri & Hadley, 1988; Dunn *et al.*, 1991). A compreensão dos padrões de mudanças e de suas conseqüências tem um papel chave no planejamento e na gestão dos recursos naturais, que envolve a integração e a interpretação de dados de vários formatos e em diferentes escalas, temporal e espacial.

O levantamento do uso e cobertura da terra e o monitoramento de sua dinâmica são requerimentos essenciais à melhor compreensão dos padrões e processos de mudanças na vegetação e no solo (Mendonça-Santos *et al.*, 1997; Mendonça-Santos, 1999; Mendonça-Santos & Claramunt, 2001), da dinâmica de sucessão da vegetação natural e de mudanças na biomassa (Alves *et al.*, 1997), da fertilidade do solo e de suas correlações com a regeneração de florestas (Moran *et al.*, 2000). A avaliação das mudanças nas populações dos organismos em razão de mudanças no uso e cobertura da terra é também necessária para subsidiar o manejo sustentável dos recursos naturais e a proteção ambiental. Em uma perspectiva global, mudanças no uso da terra são muito relevantes porque influenciam aspectos-chave do sistema terrestre global como a biodiversidade (Sala *et al.*, 2000), o clima (Houghton *et al.*, 1999) e a degradação do solo (Tolba & El-Kholy, 1992).

O Comitê Global de Mudanças Climáticas (Committee on Global Changes, 1999) enfatiza a necessidade de identificar as causas das mudanças de uso da terra. Em muitos casos, as causas são políticas e econômicas, com pouca ligação com as

questões ambientais. Lambin *et al.* (2001) relatam que as mudanças de uso da terra não são apenas devidas ao crescimento da população e da pobreza, mas também devido à resposta da população às oportunidades econômicas mediadas por fatores institucionais. Dessa forma, mercados e políticas locais e nacionais trazem oportunidades e limitações aos usos alternativos da terra. Contudo, tendências globais são os principais fatores que controlam as mudanças no uso da terra, as quais são mais ou menos reforçadas pelas circunstâncias locais.

Estudos conduzidos pela FAO mostram que a maior parte das mudanças de uso da terra nos trópicos são de floresta para agricultura ou pastagens (FAO, 1996). No Brasil, agricultura e pastagens são responsáveis por 91% do desflorestamento total, principalmente nos anos 80, em que 51% das áreas desflorestadas foram convertidas para culturas anuais e 40% para pastagens (Amelung & Diehl, 1992). Nos anos 90 houve um decréscimo na taxa de desflorestamento em consequência do fim dos subsídios para a expansão das áreas de pastagem.

O amplo território brasileiro e a grande diversidade de ambientes, combinados com as diferentes situações econômicas, resultaram em vários padrões de uso da terra, os quais podem ser característicos de cada região, conforme ilustrado na figura 3.10.

As principais classes de vegetação que ocorrem na Região Amazônica são Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Campinarana, Savana (cerrado) e comunidades de Vegetação Pioneira (IBGE, 1991).

O quadro atual das mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira é resultado de diferentes períodos migratórios promovidos pelos governos estadual e federal (Mahar, 1979; Mahar, 1988; Serrão *et al.*, 1996; Pedlowski *et al.*, 1997; Weinholt, 1999). Mahar (1979) relata que a ocupação moderna da Região Amazônica ocorreu em cinco diferentes períodos, começando em 1912, quando a principal atividade era a exploração da borracha. Esse período foi seguido pelo cultivo de determinadas culturas como pimenta e mandioca, promovidos pela Superintendência para o Desenvolvimento Econômico da Região Amazônica (SPVEA) em 1953. O principal objetivo era aumentar a auto-suficiência da produção de alimentos e, adicionalmente, expandir a extração de matérias-primas para os mercados interno e internacional.

O terceiro período de ocupação ocorreu durante a ditadura militar (1964 – 1985), com a implantação de uma forte política de desenvolvimento econômico da Região Amazônica, a chamada “Operação Amazônia”. Durante esse período, pólos de desenvolvimento foram criados, nos quais o governo federal estimulou a imigração e ofereceu incentivos para investimentos privados para o desenvolvimento de infra-estrutura. Nessa época, a pesquisa científica em recursos naturais também foi incentivada e culminou com a criação da SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), com o objetivo de organizar os investimentos públicos na Região Amazônica.

O quarto período de ocupação ocorreu nos anos 1970 com a criação do Programa de Integração Nacional (PIN), cujo objetivo era proteger a Região Amazônica, promovendo a migração de cidadãos brasileiros para a região. Isso foi acelerado com a construção da Rodovia BR 230 (Rodovia Transamazônica), que pretendia

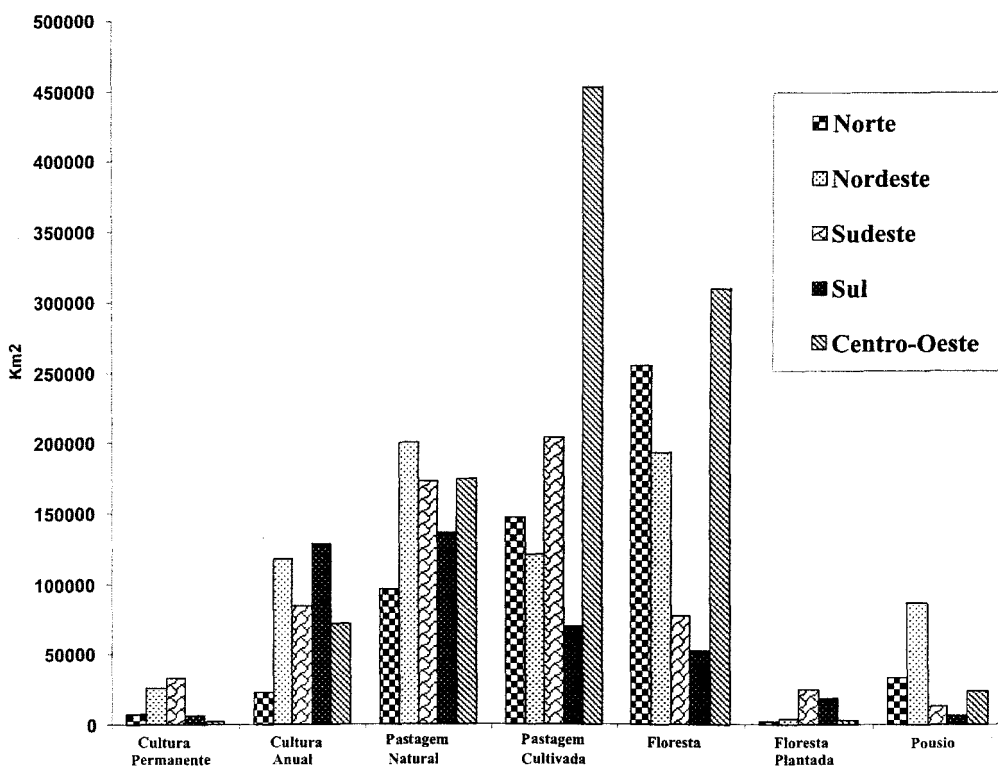


Figura 3.10 – Uso da terra no Brasil (por regiões) (Fonte: Manzatto et al., 2002, conforme IBGE, 1997).

ligar a costa Atlântica à fronteira com o Peru. O Programa de Distribuição de Terra (PROTERRA), cujo objetivo foi facilitar a aquisição de glebas para melhorar as condições de trabalho rural e o estabelecimento da agroindústria na Região Amazônica, complementou o Programa de Integração Nacional. Informações sobre as causas do colapso desses programas podem ser encontradas em Fearnside (1986).

O quinto período foi caracterizado pelo Segundo Plano de Desenvolvimento Nacional, no qual o governo federal criou o Programa POLAMAZÔNIA para pecuária extensiva, extração de madeira e mineração. Porém, a maior parte do crédito provindo do POLAMAZÔNIA foi destinado à pecuária.

Esses esforços para a ocupação da Região Amazônica não obtiveram êxito em ambos os aspectos, econômico e ambiental, e uma das mais sérias conseqüências desses programas foram as taxas anuais de desflorestamento. A tabela 3.6 ilustra a extensão e a taxa média de desflorestamento na Amazônia brasileira. A distribuição espacial pode ser observada na figura 3.11 (ver encarte colorido).

Mais recentemente, críticas severas foram feitas ao Programa denominado “Avança Brasil”, que consistia em um pacote de 338 projetos por todo o Brasil, incluindo a Região Amazônica (BRASIL, 2003). A projeção dos impactos do “Avança Brasil” e de outros projetos mais recentes na Amazônia brasileira indicaram enormes problemas com relação ao desflorestamento e, conseqüentemente, ao aumento das taxas de emissão de carbono (Fearnside, 2002).

É importante compreender as mudanças que ocorrem no ambiente, especialmente as mudanças antropogênicas. O mapeamento do uso e cobertura da terra combinado com mudanças no tempo (sucessão temporal) são ferramentas bastante conhecidas de investigação científica. Para tal, os produtos gerados por sensores remotos têm sido amplamente utilizados (Campbell, 1987; Quattrochi & Pelletier, 1991; Mulders, 1987).

Devido às características multiespectrais e temporais que permitem obter uma visão sinóptica da paisagem, os produtos oriundos de sensoriamento remoto têm se tornado uma ferramenta indispensável e de relativo baixo custo para diagnóstico, inventário, monitoramento e planejamento ambiental, especialmente quando combinados com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e tecnologias de bancos de dados. Eles são particularmente relevantes para a Região Amazônica onde muitas localidades são de difícil acesso.

Tabela 3.6:
Área desflorestada e taxa de desflorestamento na região Amazônica.

Mês/ano	Jan/78	Abri/88	Ago/89	Ago/90	Ago/91	Ago/92	Ago/94	Ago/95	Ago/96	Ago/97	Ago/98	Ago/99	Ago/00				
Área Desflorestada (km ²)	152.200	377.500	401.400	415.200	426.400	440.186	469.978	497.055	517.069	532.086	551.782	569.269	587.727				
Período (Ano)	77/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05
Taxa de Desflorestamento (km ² ano ⁻¹)	21130	17.860	13.810	11.130	13.786	14.896	29.059	18.161	13.227	17.383	17.259	18.226	18.165	21.205	25.151	27.429	18.793

Fonte: INPE (2007).

A elaboração de um inventário é uma tarefa laboriosa, mas as tecnologias de sensoriamento remoto permitem o desenvolvimento de banco de dados consistentes em termos espaciais e temporais, permitindo análises combinadas dos dados e a geração de novas informações que podem ser utilizadas no processo de tomada de decisão para a resolução de problemas. O desenvolvimento de novos sensores e metodologias para a análise de dados impulsionou as potencialidades do sensoriamento remoto e seu uso é muito comum em diversas áreas científicas (Colwell, 1983).

Estudos de uso e cobertura da terra utilizando imagens orbitais ou aéreas são muito comuns (Batistella, 2000). As imagens mais comuns são provenientes de sensores passivos, isto é, sensores capazes de detectar a radiação refletida ou emitida por objetos da superfície da Terra. Uma breve descrição das características de alguns sensores e suas ferramentas é apresentada abaixo.

Advanced High-Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration) (Tabela 3.7) fornece estimativas de densidade de nuvens e temperatura da superfície do mar. São geralmente utilizados para fins ambientais, incluindo estudos de uso da terra em escalas regional e global.

Thematic Mapper (TM) dos satélites Landsat-4 e 5 e Enhanced Thematic Mapper (ETM+) do Landsat-7. Os sensores da série Landsat são muito empregados em estudos de uso e cobertura da terra. Suas características são apresentadas nas tabelas 3.8 e 3.9.

High Resolution Visible (HRV) da série SPOT (Système Probatoire de l'Observation de la Terre) é caracterizado pela habilidade em variar seus ângulos de visada (Tabela 3.10). Essa característica permite a sobreposição de imagens e a obtenção de pares estereoscópicos. O instrumento Vegetação foi adicionado no satélite SPOT-4, sendo adicionadas às bandas de 430 a 470 nm (azul) e 1580 a 1750 nm (infravermelho médio), com 1 km de resolução espacial.

Fotografias aéreas são obtidas em diferentes escalas e foram utilizadas desde antes da disponibilização de imagens de sensores remotos. Fotografias aéreas são instrumentos poderosos para estudos da história do uso e cobertura das terras.

Além do imageamento passivo, estudos de uso e cobertura da terra são realizados a partir de dados de sensores imageadores ativos, radar, especialmente os sistemas JERS (banda L), SIR-C (banda C) e RADARSAT (banda C) (Batistella, 2000).

Tabela 3.7:

Características do AVHRR-NOAA 14

AVHRR-NOAA 14			
Resolução temporal: 12 horas			
Resolução radiométrica: 10 bits ou 10 24 níveis de cinza			
Banda	Faixa espectral (nm)	Região espectral	Resolução espacial
1	580-680	Visível	1,1 ou 4 km
2	725-1100	Infravermelho próximo	1,1 ou 4 km
3	3550-3930	Infravermelho médio	1,1 ou 4 km
4	10300-11300	Infravermelho termal	1,1 ou 4 km
5	11500-12500	Infravermelho termal	1,1 ou 4 km

Fonte: AVHRR-NOAA: http://edcdaac.usgs.gov/1KM/avhrr_sensor.html

Tabela 3.8:

Características do sensor TM-LANDSAT-4 e 5

TM-LANDSAT-4 e 5			
Resolução temporal: 16 dias			
Resolução radiométrica: 8 bits ou 256 níveis de cinza			
Banda	Faixa espectral (nm)	Região espectral	Resolução espacial
1	450-520	Azul	30 m x 30 m
2	520-600	Verde	30 m x 30 m
3	630-690	Vermelho	30 m x 30 m
4	760-900	Infravermelho próximo	30 m x 30 m
5	1550-1750	Infravermelho médio	30 m x 30 m
6	10400-12500	Infravermelho termal	120 m x 120 m
7	2080-2350	Infravermelho médio	30 m x 30 m

Fonte: TM-Landsat-4 e 5: <http://edc.usgs.gov/products/satellite/band.html>

Tabela 3.9:

Características do sensor ETM+LANDSAT-7

ETM+LANDSAT-7			
Resolução temporal: 16 dias			
Resolução radiométrica: 8 bits ou 256 níveis de cinza			
Banda	Faixa espectral (nm)	Região espectral	Resolução espacial
1	450-520	Azul	30 m x 30 m
2	530-610	Verde	30 m x 30 m
3	630-690	Vermelho	30 m x 30 m
4	780-900	Infravermelho próximo	30 m x 30 m
5	1550-1750	Infravermelho médio	30 m x 30 m
6	10400-12500	Infravermelho termal	120 m x 120 m
7	2090-2350	Infravermelho médio	30 m x 30 m
8	520-900	Pancromático	15 m x 15 m

Fonte: ETM+Landsat-7: <http://edc.usgs.gov/products/satellite/band.html>

Tabela 3.10:

Características do sensor HRVSPOT-1, 2 e 3

HRV-SPOT-1, 2 e 3			
Resolução temporal: 26 dias			
Resolução radiométrica: 8 bits ou 256 níveis de cinza			
Banda	Faixa espectral (nm)	Região espectral	Resolução espacial
X51	500-590	Verde	20 m x 20 m
X52	610-680	Vermelho	20 m x 20 m
X53	790-890	Infravermelho próximo	20 m x 20 m
PAN	510-730	Pancromático	10 m x 10 m

Fonte: SPOT: <http://www.spot.com/home/SYSTEM/IMEXPLO/imexplo.htm>

Atualmente existem outros sensores disponíveis, os quais não foram listados aqui. Dados obtidos pelo IKONOS II (Tabela 3.11) e do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo dos satélites *Terra* (EOS AM) e *Aqua* (EOS PM) também têm sido empregados em estudos de uso e cobertura da terra.

Tabela 3.11:

Características do IKONOS II

IKONOS II		
Resolução temporal: varia com latitude e banda		
Radiometric resolution: 11 bits or 2,048 gray levels		
Faixa espectral (nm)	Região espectral	Resolução espacial
450-520	Azul	4 m x 4 m
520-600	Verde	4 m x 4 m
630-690	Vermelho	4 m x 4 m
760-900	Infravermelho próximo	4 m x 4 m
450-900	Pancromático	1 m x 1 m

Fontes: IKONOS: http://www.spaceimaging.com/whitepapers_pdfs/IKONOS_Product_Guide.pdf MODIS: <http://modis.gsfc.nasa.gov>

A frequência de amostragem do MODIS é de um a dois dias para cada satélite, adquirindo dados em 36 bandas espectrais a uma resolução radiométrica de 12 bits. A resolução espacial varia entre bandas: 250 metros para bandas 1 e 2, 500 m para bandas 3 a 7, e 1000 para bandas 8 a 36. Alguns produtos do MODIS, como *Land Cover/Land Use Change*, fornecem informações sobre a dinâmica de uso das terras. O parâmetro cobertura da terra (*Land Cover*) identifica 17 categorias de uso da terra seguindo a base de dados global de vegetação do Programa Internacional Geosfera-Biosfera (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP), o qual define nove classes de vegetação natural, três classes de terra em uso, duas classes

de mosaico de terras e três classes sem vegetação (neve e gelo, solo exposto/rochas e água). O parâmetro de mudança de cobertura da terra (*Land Cover/Land Use Change*) quantifica tanto transformações pequenas e progressivas na superfície da terra quanto mudanças rápidas.

A detecção de mudanças no uso da terra usando imagens digitais assume que essas mudanças causam alterações na reflectância da superfície da terra. Técnicas digitais para detectar variações espectrais entre dados de várias imagens podem ser aplicadas para a identificação de mudanças de cobertura da terra (uso e vegetação). Porém, alguns fatores relacionados aos sistemas sensores ou às condições naturais podem interferir na detecção de mudanças de cobertura da terra. Dentre os fatores associados aos sistemas sensores têm-se as diferenças entre bandas espectrais, entre resoluções espaciais e variações na resposta radiométrica. Quanto aos fatores relacionados às condições naturais, citam-se as variações no espalhamento e absorção atmosféricos, presença ou ausência de nuvens e sombras, variações na irradiância e no ângulo solar, variações sazonais na fenologia da vegetação e umidade do solo.

A influência de alguns desses fatores pode ser parcialmente minimizada se forem utilizadas imagens do mesmo sistema sensor e do mesmo período do ano, sem o efeito de nuvens. Métodos de normalização no pré-processamento de imagens multitemporais são empregados para melhorar os resultados da detecção de mudanças (Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002; Singh, 1989; Yuan & Elvidge, 2002).

A maioria dos métodos de detecção de mudanças pode ser agrupada em duas diferentes categorias: métodos de comparação pós-classificação e métodos de realce. Os métodos de comparação pós-classificação identificam as classes de cobertura em cada imagem e as mudanças relacionadas às alterações no uso da terra nos diferentes períodos de tempo. Métodos de realce são baseados na detecção direta de mudanças espectrais (Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002; Singh, 1989; Yuan & Elvidge, 2002).

Métodos de realce incluem transformação de imagens de diferentes datas em novas bandas cujas áreas de mudança são destacadas (realçadas). Outros métodos analíticos podem ser aplicados nas áreas destacadas para a classificação das alterações. A precisão dos resultados depende da precisão do registro das imagens utilizadas na análise (Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002; Singh, 1989; Yuan & Elvidge, 2002).

Nos métodos de pós-classificação, a detecção de mudanças é realizada utilizando um par de imagens obtidas em diferentes datas. Elas são classificadas independentemente e as áreas de mudanças são extraídas diretamente, através da comparação dos resultados. A precisão final depende de cada classificação individual, sendo o produto da precisão de cada uma (Singh, 1989). Por outro lado, essa abordagem depende das condições atmosféricas e das diferenças de resposta do sensor, que podem auxiliar no mapeamento das classes de interesse (Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002). Mas (1999) observou que esses métodos são menos sensíveis à variação espectral relativa às diferenças na umidade do solo e na fenologia da vegetação, fornecendo resultados consistentes quando os procedimentos envolvem imagens de diferentes períodos do ano.

A resolução das imagens usadas tem influência nos resultados de levantamentos de uso e cobertura da terra e em detecção de mudanças. Ao analisar diferentes resoluções espaciais para a identificação de classes de cobertura da terra na Região Amazônica, Ponzoni *et al.* (2002) observaram que o tamanho do pixel menor que 200 metros não interfere na discriminação entre floresta e não-floresta. Por outro lado, a identificação de vegetação secundária em seus estágios iniciais de regeneração requer resolução maior que 100 metros.

Somente o processamento de imagens de sensoriamento remoto não é suficiente para compreender e avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra e sua relação com outras variáveis ambientais. É necessária a análise integrada de diferentes variáveis e suas relações espaciais. Nesse caso, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se importantes ferramentas para o mapeamento das mudanças de uso e cobertura da terra e para a análise quantitativa e qualitativa dessas mudanças (Mendonça-Santos, 1999; Mendonça-Santos & Claramunt, 2001), devido à sua conhecida capacidade de coletar, armazenar, recuperar, transformar e rerepresentar dados espaciais (Burrough & McDonnell, 1998).

MUDANÇAS NO USO DA TERRA E PERDA DA BIODIVERSIDADE

Conforme discutido em seção anterior, a ocupação da Amazônia gerou muitos impactos, entre esses, grandes áreas desflorestadas, nas quais os solos com baixa fertilidade natural e alta saturação por alumínio são rapidamente degradados. Em

diversos momentos os habitantes locais, prejudicados pela baixa produtividade das terras e pelos problemas da deficiente infraestrutura da região, migraram para atividades de garimpagem que por sua vez causa tremendas perdas de biodiversidade.

O cenário tendencial construído pelo Consórcio ZEE Brasil (Brasil, 2002 a, b) para a Amazônia Legal, ou seja, a projeção da situação atual, abstraindo-se medidas mitigadoras que venham a ser tomadas, projeta que, caso mantenha-se a implantação de projetos de infra-estrutura na Região, as principais conseqüências serão:

1. crescimento populacional vegetativo e migratório acima da média nacional;
2. crescimento do número de cidades e da taxa de urbanização;
3. defasagem entre o crescimento das cidades, principalmente aquelas associadas aos grandes projetos e as demais cidades da região;
4. dificuldades de reinserção da mão-de-obra empregada temporariamente na construção de projetos de grande porte; e
5. expansão da pecuária e de atividades agrícolas de exportação.

Portanto, em diversos planejamentos estratégicos de infra-estrutura do governo federal para a Região, estão previstos para a Região, por exemplo, no programa “Eixos nacionais de Integração e de Desenvolvimento” do governo federal, a abertura e pavimentação de rodovias, construção de portos fluviais e secos, construção de hidrovias e de ferrovias e a construção de usinas hidrelétricas e termoeletricas. Esse sistema de logística e infra-estrutura poderá alterar o ritmo de mudança do uso do solo e, ao mesmo tempo, criar conflitos de uso e novas pressões em ambientes que atualmente já se configuram como frágeis, caso medidas compensatórias não sejam adotadas. Observa-se, assim, uma orientação para investimentos estruturantes, de capital intensivo (Tabela 3.12) com um tempo longo de maturação e que, uma vez implantados, condicionarão os vetores de crescimento das atividades produtivas, bem como a estrutura da rede urbana regional.

Portanto, nesse cenário, o aumento populacional, a crescente necessidade de produção de alimentos para atender as novas demandas da população e a crescente percepção, pela sociedade, das questões ambientais forçosamente resultarão em mudanças significativas nos conceitos de desenvolvimento regional. Dentro do novo paradigma de desenvolvimento sustentável, torna-se um desafio conciliar

Tabela 3.12:

Estimativas de investimentos públicos e privados citados em planejamentos governamentais.
 Fonte: Adaptado de Diaz (2002).

Setor / Eixo	US\$ milhões					% Total Investimentos
	Arco Norte	Madeira Amazonas	Araguaís Tocantins	Oeste	Total Amazônia Legal	
Transportes	317,0	1.585,7	5.742,1	2.168,9	9.813,7	23%
Aeroporos	42,6	191,8	581,0	38,4	853,8	2%
Aviões	-	-	3.307,8	1.174,5	4.482,3	10%
Hydrovias	-	430,1	377,1	102,2	909,4	2%
Portos	-	209,8	154,3	12,0	376,1	1%
Rodovias	274,4	754	1.321,9	841,8	3.192,1	7%
Energia	66,1	9.959,9	3.822,9	836,7	14.685,6	34%
Gasodutos	-	450,0	-	-	450,0	1%
Hidrelétricas	-	8.703,0	3.251,0	484,5	12.438,5	29%
Termelétricas	57,0	685,0	-	215,0	957,0	2%
Linhas de transmissão	9,1	121,9	571,9	137,2	840,1	2%
Telecomunicações	104,8	900,0	2.163,5	652,9	3.821,2	9%
Total Infra-estrutura Econômica	487,9	12.445,6	11.728,5	3.658,5	28.320,5	66%
Desenvolvimento Social	359,3	4.262,7	4.763,2	2.076,2	11.461,4	27%
Informação e Conhecimento	25,0	156,2	92,5	107,5	381,2	1%
Meio Ambiente	151,3	1.008,7	511,8	894,8	2.566,6	6%
TOTAL	1.023,5	17.873,2	17.096,0	6.737,0	42.729,7	100%

metas de qualidade e competitividade com a conservação ambiental dos diversos sistemas ambientais amazônicos. Embora se detenha conhecimento suficiente para a classificação e mapeamento de solos, poucas são as informações e os conhecimentos para o uso e manejo sustentável, quando comparados com os que atualmente se detêm em outros ecossistemas brasileiros.

Em ambiente natural, as primeiras alterações ocorrem logo após a retirada da vegetação natural, mesmo que os solos não sejam utilizados para quaisquer fins. Essas alterações estão relacionadas principalmente às mudanças na qualidade e quantidade de matéria orgânica depositada na superfície do solo (e conseqüentemente na taxa de transformação da matéria orgânica do solo) e no regime hídrico e térmico do solo (maior exposição ao sol e chuva e menores taxas de evapotranspiração). Essas alterações se refletem em maior ou menor grau na biota do solo, e de forma variável, dependendo das condições climáticas, da cobertura vegetal e do tipo de solo e da sua posição na paisagem. Por exemplo, em florestas densas de terra firme da Amazônia sob Latossolos Amarelos argilosos, geralmente as transformações da matéria orgânica pela biota do solo ocorrem principalmente na liteira e nos primeiros centímetros do solo, o que pode ser constatado pela expressiva ocorrência de horizontes superficiais do tipo fraco ou moderado, e nas águas escuras dos

rios, ricos em ácidos húmicos carreados pelo escoamento de águas pluviais. Já nos solos Aluviais e Hidromórficos das áreas baixas, essas alterações são mais lentas, devido à baixa taxa de decomposição da matéria orgânica em condições hidromórficas e face ao aporte de matéria orgânica proveniente das áreas altas.

Portanto, o desmatamento das florestas pode resultar na degradação dos solos tanto das áreas agrícolas quanto da vegetação natural, tendo a erosão hídrica do solo como seu vetor principal. Guerra *et al* (1999) consideram a erosão como o resultado da combinação da rápida ocupação humana não planejada com solos frágeis e chuvas fortes. Pereira (1977) comenta que a erosão acelerada inicia-se com a derrubada das florestas e os desmatamentos sucessivos, evoluindo com o aproveitamento contínuo das terras com culturas e pastagens.

Se a situação atual persistir e se o cenário de tendências se confirmar, a floresta tropical da Amazônia brasileira continuará a sofrer grandes modificações antropogênicas, como pode ser observado na figura 3.11, conduzindo a uma contínua perda de biodiversidade e de recursos naturais como sempre tem ocorrido.

Embora considerando que tem havido crescente percepção, pela sociedade, dos problemas ambientais e suas conseqüências na região, a degradação do solo e seu impacto na biodiversidade não têm recebido a atenção devida.

Assim, um cuidadoso estudo e o planejamento ambiental devem ser realizados para a ocupação das terras, procurando-se estabelecer as relações na paisagem entre as áreas de terra firme e as terras sob florestas sujeitas a inundação e encharcamento. Os igapós da Amazônia são ecossistemas frágeis, dependentes de processos biogeoquímicos e hidrológicos. As principais características dos igapós são as seguintes:

1. presença de água na superfície ou na zona de raízes;
2. condições anaeróbicas favorecendo a gleização ou a formação de solos orgânicos;
3. presença de vegetação hidrófila; e
4. ausência de vegetação sensível a inundações periódicas.

No processo de desmatamento e incorporação de terras ao sistema produtivo, os impactos sobre o solo podem ser ainda mais severos quando se emprega a queimada na retirada da vegetação nativa ou como forma de manejo agrícola. Na Re-

giação, a queimada é a prática mais difundida, sendo utilizada tanto em cultivos itinerantes quanto na pecuária em vastas extensões de terra. Nessas circunstâncias o fogo afeta diretamente as características físico-químicas do solo, assim como a perda, por volatilização, de N e S (Mackensen *et al.*, 1996; Hölscher *et al.*, 1997) a biota do solo, a qualidade do ar, a biodiversidade e a saúde humana. O uso do fogo também acelera indiretamente os processos erosivos, ao diminuir a cobertura vegetal do solo, no início do período chuvoso.

Adicionalmente, ao sair de controle, o fogo causa enormes danos à vida silvestre e ao patrimônio público e privado. As queimadas também alteram a química da atmosfera e influem negativamente nas mudanças globais (Diaz, 2002).

Adicionalmente, conforme relatado por Nepstad *et al.* (2001), se a relação histórica entre pavimentação de estradas e alterações das florestas permanecer, e se o governo brasileiro cumprir a meta de construir e recuperar 6.245 km de estradas na Amazônia, pode estimular o desmatamento de uma área equivalente a 120.000 a 270.000 km². Mesmo sem incluir mensurações de todas as perdas, inclusive as de origem biológica e a perda do potencial produtivo das terras, estimativas realizadas pelo IPEA e IPAM, conforme Motta *et al.* (2001), ilustram de uma forma bastante objetiva os efeitos negativos das queimadas. As tabelas 3.13 e 3.14 resumem as estimativas dos danos para os anos de 1996 e 1998.

Após a incorporação das terras ao processo produtivo, o preparo e o manejo do solo tornam-se a principal causa da degradação das terras nos ambientes subtropicais e tropicais brasileiros. Seus efeitos são observados principalmente pela redução rápida dos teores de matéria orgânica do solo e suas conseqüências, em especial a

Tabela 3.13:

Danos físicos causados pelo uso do fogo na Região Amazônica.

Tipo de dano	1996	1998
Propriedade		
Pastagem (km ²)	6.510	19.408
Floresta primária (km ²)	7.250	21.614
Dano à benfeitoria (km)	19.768	58.931
Carbono		
Floresta primária (t/C)	88.162.999	265.510.230
Saúde		
Morbidade (internações)	4.319	12.875

Fonte: Motta et al. (2001).

Tabela 3.14:

Danos econômicos causados pelo uso do fogo na Região Amazônica:

Tipo de dano	Dano monetário (1998 US\$ 10 ⁶)	% do PIB da região
Propriedade		
1996	216	0,41
1998	594	1,04
Carbônio¹		
1996	309	0,59
1998	929	1,62
Saúde²		
1996	3	0,01
1998	10	0,02
Total 1996	5 28	1,01
Total 1998	1.533	2,67

Fonte: Motta et al., (2001).

perda de capacidade produtiva do solo. A **figura 3.12** apresenta uma visão holística dos efeitos do preparo do solo na degradação, perda de produtividade assim como os efeitos das práticas de agricultura convencional. A perda de matéria orgânica do solo reduz drasticamente a fertilidade e a atividade biológica, aumentando a erosão do solo, afetando, assim, os sistemas aquáticos existentes na região (Tommaselli *et al.*, 1999).

D'Agostini (1999) enfatiza que a dinâmica energética da erosão hídrica está associada à dinâmica do ciclo hidrológico, sendo expressa em energia que promove o ciclo, parcialmente convertida em trabalho de desagregação e de transporte de partículas de solo. Alta intensidade de precipitação pluviométrica produz enxurradas, suficientes para gerar erosão laminar após ruptura dos agregados e redução da capacidade de infiltração do solo, desagregando e transportando maior ou menor quantidade de partículas dependendo da natureza ou tipo de solo, uma condição natural que pode ser evitada pela utilização ou planejamento de uso das terras de maior aptidão agrícola.

O manejo e o tipo de uso e cobertura vegetal podem afetar a forma de agregação das partículas superficiais e a resistência ao transporte hídrico tanto horizontal como vertical, com fortes implicações na infiltração do solo. Por exemplo, ao se comparar dois tipos de solos sob condições naturais e dois tipos de manejo diferen-

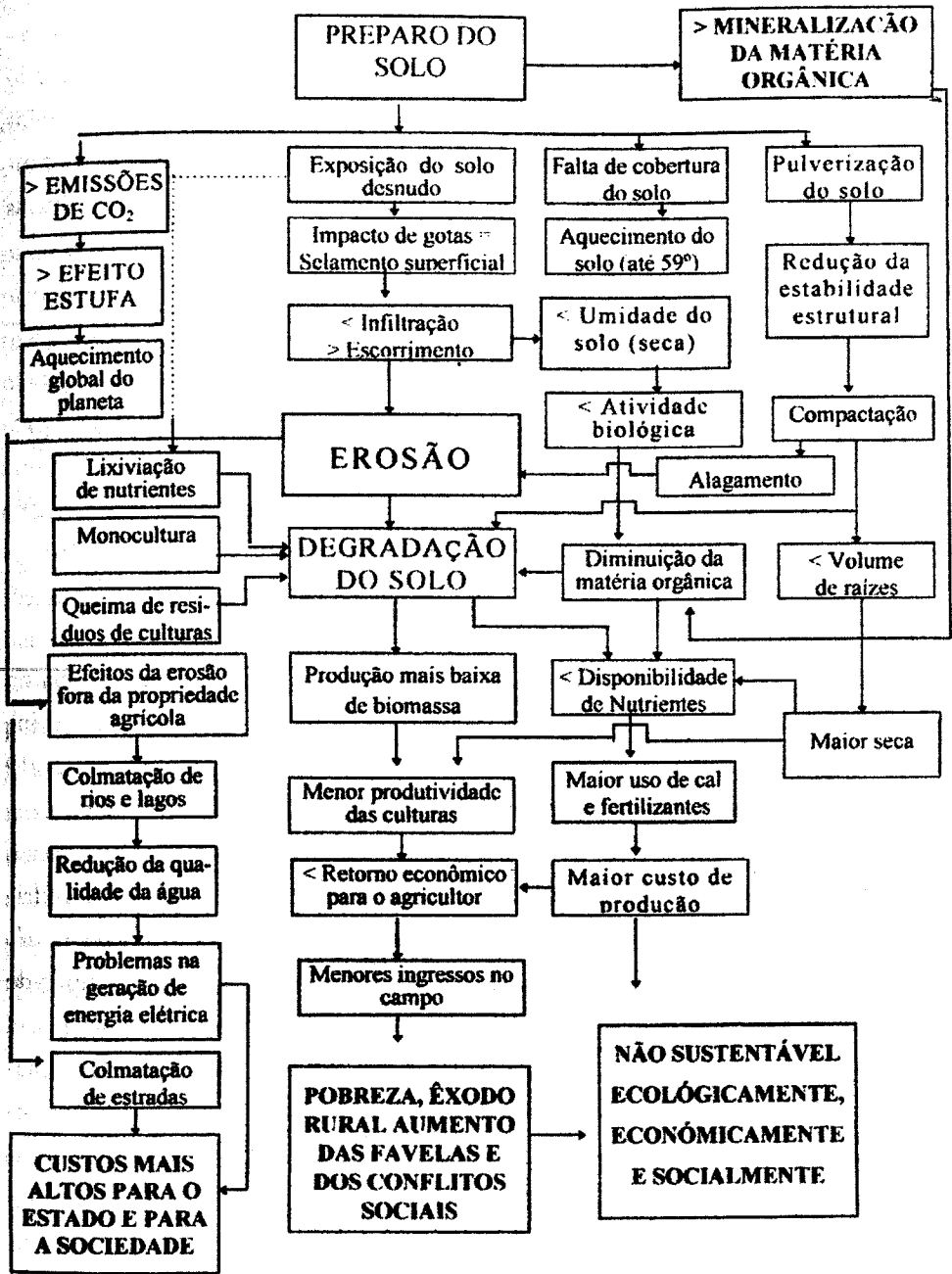


Figura 3.12 – Conseqüências do preparo do solo sobre a degradação e perda da produtividade assim como efeitos externos da agricultura convencional (Derpsch, 1998).

tes, um com a tecnologia secular indígena e outro com a tecnologia moderna, verifica-se que embora existam diferenças físicas entre os tipos de solos, o manejo adequado usado pelas populações indígenas aumentou a capacidade natural de infiltração do solo, enquanto que a tecnologia atual propiciou um decréscimo, e conseqüentemente teve aumentada a susceptibilidade à erosão, sob regime de chuvas intensas (Tabela 3.15).

Tabela 3.15:

Taxas de Infiltração estabilizadas K_0 (mm/h) para duas classes de solos sob diferentes formas de uso.

SOLO	CONDIÇÃO DE USO	K_0 (mm/h)
Latossolo Amarelo	Vegetação Nativa	5,82
Latossolo Amarelo	Pastagem	0,52
Latossolo Amarelo	Terra Preta de Índio	15,00
Plintossolo Argilúvico	Cerrado	1,55
Plintossolo Argilúvico	Arroz Irrigado (3 anos)	0,14
Plintossolo Argilúvico	Arroz Irrigado (3 anos)	0,08

Fonte: Embrapa (2001).

Por outro lado, a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). As precipitações pluviais intensas causam mais erosão nos solos, particularmente naqueles sem vegetação, do que as menos intensas, mesmo mais prolongadas.

Concluindo, o conhecimento da erosividade da chuva é de grande valia para a recomendação de práticas de manejo de solos que visem à redução da erosão hídrica com vistas a um planejamento conservacionista das terras (Alvarenga *et al.*, 1998). A integração do conhecimento da erosividade das chuvas com os tipos de solos, uso da terra e cobertura vegetal é vital para programas e estudos voltados para a preservação da biodiversidade amazônica. Entretanto, deve-se ressaltar que os habitantes locais, os que migraram de outras regiões e os novos agricultores recém-chegados, muito provavelmente não conhecem o termo desenvolvimento sustentável, difundido entre ambientalistas e meios de comunicação. No entanto, entendem a necessidade de fazer a economia crescer sem destruir o meio ambiente, significando que as orientações, recomendações, tecnologias e formas de uso adequadas devem ser construídas em conjunto com as aspirações e formas de compreensão da população local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme mostrado no início deste capítulo, os solos da Amazônia não são muito diferentes daqueles comumente encontrados em outras regiões do Brasil. No entanto, o conhecimento das respostas desses solos ao manejo agrícola é pouco compreendido. Nos sistemas agrícolas tradicionais, com o desmatamento seguido da introdução de pastagens e culturas anuais ou perenes (Jordan, 1985), desordens nutricionais nas plantas cultivadas logo aparecem. Espécies de plantas nativas desenvolvem mecanismos eficientes de reciclagem de nutrientes. O procedimento clássico, mundialmente usado no passado, consistindo de desmatamento seguido da introdução de agricultura não é sustentável na Região Amazônica. Atualmente há grande preocupação com o fato de que a conversão de floresta para agricultura libera o carbono estocado nos solos e reduz a biodiversidade. A aplicação de calcário e fertilizantes, requeridas para manter uma produção adequada, atualmente não é viável em áreas remotas da Amazônia. Planos para asfaltar as rodovias na região facilitam o acesso aos fertilizantes e à maquinaria, mas também contribuem muito para a acessibilidade dos madeireiros, instalação de serrarias, garimpo e caça, causando desflorestamentos maciços com grandes impactos ambientais (Carvalho *et al.*, 2001; Fearnside, 2002). Tanto as autoridades federais como as estaduais enfrentam dificuldades para reforçar políticas e regulamentações. De forma similar ao que se observa na Indonésia (Tomich *et al.*, 1998), o aspecto particular da Amazônia é a existência de grandes áreas ainda sob florestas, onde as alternativas de uso da terra devem ser oferecidas para cumprir objetivos ambientais globais, ao mesmo tempo em que se considera, simultaneamente, a sustentabilidade agrônômica, os anseios dos agricultores locais, os legisladores em todas as esferas políticas e os pontos fracos no mercado e outras instituições que influenciam a adoção de alternativas de uso da terra. Os conhecimentos sobre o Uso da Terra e da Cobertura do Solo (LULC) e de suas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas combinadas com o Sensoriamento Remoto, SIGs e Bases de dados constituem uma importante ferramenta para estratificação do ambiente possibilitando fazer correlações e interpretações da variabilidade espacial da biodiversidade e mudanças na qualidade do solo através do tempo. O maior desafio para os estudos dos ecossistemas da Amazônia é a ampliação de conhecimento suficiente para definir procedimentos adequados para o desenvolvimento sustentável da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaia, S.S. (1988) Correlação entre a capacidade de troca de cátions e outras propriedades de três solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica* 18, 3-11.
- Alfaia, S.S. & Falcão, N.P. (1993) Estudo da dinâmica de nutrientes em solos de várzea da Ilha do Careiro no Estado do Amazonas. *Amazoniana* 21, 1-9.
- Alfaia, S.S. & Ayres, M.I.C. (2004) Efeito de doses de nitrogênio, fósforo e potássio em duas cultivares de cupuaçu, com e sem sementes, na região da Amazônia central. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26:2-320-325.
- Almeida-Filho, R. & Shimabukuro, Y.E. (2002) Digital processing of a Landsat-TM series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment* 79, 42-50.
- Alvarenga, R.C., Sans, L.M.A., Marques, J.J.G. de S.M. & Curi, N. (1998) Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da Região de Sete Lagoas. EMBRAPA-CNPMS, Sete Lagoas (Pesquisa em Andamento 24).
- Alves, D.S., Soares, J.V., Amaral, S., Mello, E.M.K., Almeida, S.A.S., Silva, O.F. & Silveira, A.M. (1997) Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology* 3, 451-561.
- Amelung, T. & Diehl, M. (1992) *Deforestation of tropical rainforest - economic causes and impact on development*. Tübingen, Germany, 1. (Kieler Studien 241).
- Ares, A.; Falcao, N.; Yuyama, K.; Yost, R.S.; Clement, C.R. (2003) Response to fertilization and nutrient deficiency diagnostics in peach palm in Central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66: 221-232.
- Baligar, V.C. & Fageria, N.K. (1997) Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: Moniz, A.C., Furlani, A.M.C., Schaeffert, R.E., Fageria, N.K., Rosolem, C.A. & Cantarella, H. (eds) *Plant-soil interactions at low pH*. Brazilian Soil Sci. Soc., Campinas, SP, Viçosa, MG, pp. 75-96.
- Batistella, M. (2000) Extracting earth surface feature information for land-use/land-cover classifications in Amazônia: the role of remote sensors and processing techniques. In: GIS Brasil 2000, VI Show de Geotecnologias, Salvador, Brazil. *Anais*. Fatorgis, Curitiba. CD-ROM.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1990) *Conservação do Solo*. Ícone, São Paulo.
- Braakhekke, W.G., Stuurman, H.A., Reuler, H. & Van Janssen, B.H. (1993) Relations between nitrogen and phosphorus immobilization during decomposition of forest litter. In: Fragoso, M.A.C. and Beusichem, M.L. van (eds) *Optimization of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland, pp. 117-123.
- BRASIL (1975) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SB 21 Tapajós: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 7).
- BRASIL (1977a) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SA. 19. Içá: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 14).
- BRASIL (1977b) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral.

- Projeto RADAMBRASIL*. Folha SB. 19. Juruá: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 15).
- BRASIL (1978a) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SA 20 Manaus: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 18).
- BRASIL (1978b) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folhas SB. 20. Purus: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 17).
- BRASIL (1978c) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. FOLHA Sc. 20. Porto Velho: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais 16).
- BRASIL (2002a) *cenários para a Amazônia Legal. Bases para discussão*. Ministério do Meio Ambiente – SDS, Brasília. CD ROM.
- BRASIL (2002b) *cenários para a Amazônia Legal. Sistematização de dados*. Ministério do Meio Ambiente – SDS, Brasília. CD ROM.
- BRASIL (2003) *Avança Brasil*. Ministério do Planejamento, Brasília, DF. www.abrasil.gov.br (accessed 24 April 2003)
- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998) *Principles of geographical information systems: spatial information and geostatistics*. Oxford University Press, Oxford.
- Campbell, J. B. (1987) *Introduction to remote sensing*. The Guilford Press, New York.
- Carvalho, G., Barros, A.C., Moutinho, P. & Nepstad, D. (2001) Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature* 409, 131.
- Cochrane, T.T. & Sanchez, P. (1982) Land resources, soils, and their management in the Amazon region. In: Hecht, S. B. (ed.) *Amazonia: agriculture and land-use research*. CIAT, Cali, Col., pp. 137-209.
- Coelho, M.R., Santos, H.G. dos, Silva, E.F & Áglio, M.L.D. (2002) O Recurso Natural Solo. In: Manzatto, C.V., Freitas Junior, E. & Peres, J.R.R. (eds) *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, pp. 1-11.
- Colwell, R.N. (1983) *Manual of remote sensing*, 2nd edn. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church.
- Committee on Global Change Research (1999) *Global environmental change: research pathways for the next decade*. National Academy, Washington, DC, 1.
- Correa, J.C. & Reichardt, K. (1995) Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30, 107-114.
- Craswell, E.T. & Lefroy, R.D.B. (2001) The role and function of organic matter in tropical soils. In: Martius, C., Tiessen, H. & Vlek, P.L.G. (eds) *Managing organic matter in tropical soils: scope and limitations*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 7-18.
- Cravo, M.S. & Smyth, T.J. 1997. Manejo sustentado da fertilidade de um latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.4, p.607-616.
- Cuevas, E. & Medina, E. (1986) Nutrient dynamics within amazonian forest ecosystems I. Nutrient flux in fine litter fall and efficiency of nutrient utilization. *Oecologia* 68, 466-472.
- Cuevas, E. & Medina, E. (1988) Nutrient dynamics within amazonian forests II. Fine root growth, nutrient availability, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76, 222-235.

- D'Agostini, L.R. (1999) *Erosão: o problema mais que o processo*. UFSC, Florianópolis.
- Demattê, J.L.I. (1988) *Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos: Região Amazônica*. Fundação Cargill, Campinas.
- Denich, M.; Vielhauer, K.; Kato, M.S.A.; Block, A.; Kato, O.R.; Sá, T.D.A.; Lucke, W.; Vlek, P.L.G. (2004) Mechanized land preparation in Forest-based fallow systems: the experience of Eastern Amazônia. *Agroforestry Systems*, 61: 91-1006.
- Derpsch, A. (1998) Agricultura sustentável. In: Saturnino, H.M. & Landers, J.N. (eds.) *O meio ambiente e o plantio direto*. EMBRAPA-SPI, Brasília, pp. 29-48.
- Di Castri, F. & Hadley, M. (1988) Enhancing the credibility of ecology: interacting along and across hierarchical scales. *GeoJournal* 17, 5-35.
- Diaz, M.C.V. (2002) *Visões e Perspectivas Futuras para o Meio Amazônico*. IPAM, Manaus.
- Dunn, C.P. Sharpe, D.M., Guntenspergen, G.R., Stearns, F. & Yang, Z. (1991) Methods for analyzing temporal changes in landscape pattern. In: Turner, M.G. (ed.) *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. Springer-Verlag, pp. 173-198. (Ecological studies 82).
- Egler, P. C. G. (2001) *Avaliação Ambiental Estratégica - Considerações sobre métodos para sua realização*. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. (1992) *Delineamento macroagroecológico do Brasil*, 1:5.000.000. Rio de Janeiro. (1 map).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. (1999) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Produção de Informação, Brasília, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 412p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. (2001) *Estudos pedológicos e suas relações ambientais*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro (Relatório Técnico. Contrato IPAAM/Embrapa Solos).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1976) *Levantamento de reconhecimento de solos de três áreas prioritárias na Rodovia Transamazônica*. EMBRAPA-SNLCS, Recife (Boletim Técnico 48).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1978) *Estudo expedito de solos na área da pré-Amazônia Maranhense e na parte oeste do Piauí*. EMBRAPA-SNLCS, Recife. Internal filed document.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1980a) *Estudo expedito de solos no Estado do Maranhão para fins de classificação, correlação e legenda preliminar*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim Técnico 61). SUDENE, Recife (Série Recursos de Solos 13).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1980b) *Levantamento exploratório-reconhecimento de alta intensidade e aptidão agrícola dos solos da área compreendida entre os km 18 e 152 da Rodovia Santarém - Cuiabá e do rio Curuá - Una*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim Técnico 70).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1981) *Mapa de Solos do Brasil*. Escala 1:5.000.000. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1981) *Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos da área do Pólo Altamira, PA*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim Técnico 77).

- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1982a) *Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de área ao longo da BR-174, na região do rio Anauá, no município de Caracará, Território Federal de Roraima*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim Técnico 79).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1982b) *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e de uma área sob influência dos rios Araguari, Falsino e Tartarugal Grande, Território Federal do Amapá*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim de Pesquisa 7).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1983a) *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Pólo Tapajós*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim de Pesquisa 20).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1983b) *Levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da rodovia Manaus-Porto Velho*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim de Pesquisa 21).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1986) *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão*. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro (Boletim de Pesquisa 35), SUDENE, Recife (Série Recursos de Solos 17).
- EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p.
- Ewel, J.J. (1986) Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Review of Ecological Systems* 17, 245-271.
- Falesi, I.C. (1972) O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. In: *Zoneamento agrícola da Amazônia*. IPEAN, Belém, pp. 17-67 (Boletim Técnico do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte 54).
- FAO (1996) *Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes*. FAO, Roma (FAO Forestry Paper, 130).
- FAO (1998) World reference base for soil resources. FAO/ISSS/ISRIC, Rome, Italy (World Soil Resources Reports 84).
- Fearnside, P.M (1986) *Human carrying capacity of the Brazilian Rainforest*. Columbia University Press, New York.
- Fearnside, P.M. (2002) Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management* 30, 735-747.
- Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986) *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Geraldes, A.P.A.; Cerri, C.C. & Feigl, B.J. 1995. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.55-60.
- Guerra, A.J.T., Silva, A.S. da. & Botelho, R.G.M. (1999) *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Herrera, R. & Jordan, C.F. (1981) Nitrogen cycle in a tropical Amazonian rain forest: the caatinga of low mineral nutrient status. *Ecology Bulletin* 3, 493-505.
- Hölscher, D., Möller, R.F., Denich, M. & Fölster, H. (1997) Nutrient input-output budget of shifting agriculture in eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47, 49-57.

- Houghton, R.A., Hackler, J.L. & Lawrence, K.T. (1999) The U.S. carbon budget: contribution from land-use change. *Science* 285, 574-578.
- IBGE (1991) *Manual técnico da vegetação brasileira*. IBGE, Rio-de Janeiro (Manuais Técnicos de Geociências 1).
- IBGE (1997) *Censo Agropecuário do Brasil 1995-1996*. IBGE, Rio de Janeiro, v.1.
- INPE (2007). Projeto PRODES: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>> (accessed 22 May 2007).
- Jordan, C.F. (1985) Ciclagem de nutrientes e silvicultura de plantações na Bacia Amazônica. In: Cabala-Rosand, P (ed.) *Simpósio sobre reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos Trópicos*, CEPLAC-SBCS, Ilhéus, pp. 187-202.
- Kato, M.S.A., Kato, O.R., Denich, M. & Vlek, P.L.G. (1999) Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the Estern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62, 225-237.
- Kato, O.R.; Kato, M.S.A.; Sá, T.D.A. & Figueiredo, R. (2004) Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*. 29: 99-111.
- Kern, D.C. (1996) Geoquímica e pedogequímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará). Tese de Doutorado em Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.
- Kern, D.C., D'aquino, G., Rodrigues, T.E., Frazão, F.J.L., Sombroek, W. & Neves, E.G. (2003) Distribution of Amazonian dark earths. In: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B. & Woods, W. (eds) *Amazonian dark earths – Origin, properties and management*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.
- Knox, E.G. (1965) Soil individuals and soil classification. *Soil Science Society of America Proceedings* 29, 79-84.
- 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. (2001) The causes of land-use and land-cover change moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261-269.
- Lathwell, D.J. & Grove, T.L. (1986) Soil-plant relationship in the tropics. *Annual Review of Ecological Systems* 17, 1-16.
- Lehmann, J.; Cravo, M.S.; Macedo, J.L.V.; Moreira, A. & Schroth, G. 2001 Phosphorus management for perennial crops in central Amazonian. upland soils. *Plant and Soil* 237: 309-319.
- Luna-Orea, P. & Wagger, M.G. (1996) Management of tropical legume cover crops in the Bolivian Amazon to sustain crops yields and soil productivity. *Agronomy Journal* 88, 765-776.
- Mackensen, J., Hölscher, D., Klinge, D. & Fölster, H. (1996) Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 86, 121-128.
- Madari, B., Benites, V.M. & Cunha, T.J.F. (2003) The effect of management on the fertility of Amazonian anthropogenic dark earth soils. In: Lehman, J., Kern, D., Glaser, B. & Woods, W. (eds) *Amazonian dark earths – Origin, properties and management*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.
- Mahar, D.J. (1979) *Frontier development policy in Brazil: a study of Amazonia*. Praeger Publishers, New York.
- Mahar, D. (1988) Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region. The World Bank, Washington DC (Environment Department Working Paper 7).

- Malavolta, E. (1987) Fertilidade dos solos da Amazônia. In: Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. (Ed.). *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres., p.374-416.
- Manzatto, C.V., Ramalho Filho, A., Costa, T.C.C., Mendonça-Santos, M.L., Coelho, M.R., Silva, E.F. & Oliveira, R.P. (2002) Potencial de uso e uso atual das terras. In: Manzatto, C.V., Freitas Júnio, E. & Peres, J.R.R. (eds). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, pp. 13-21.
- Martins, P.F.S., Cerri, C.C., Volkoff, B., Andreux, F. & Chauvel, A. (1991) Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. *Forest Ecology and Management* 38, 273-302.
- Mas, J.F. (1999) Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* 20, 139-152.
- McGrath, D.A., Duryea, M.L. & Cropper, W.P. (2001) Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforests 6 years following forest conversion. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83, 271-284.
- Mendonça-Santos, M.L. (1999) GIS and spatio-temporal modelling for the study of alluvial soil and vegetation evolution. Ph.D. Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
- Mendonça-Santos, M.L. & Claramunt, C. (2001) An integrated landscape and local analysis of land cover evolution in an alluvial zone. *Computers, Environment and Urban Systems* 25, 557-577.
- Mendonça-Santos, M.L., Guenat, C., Thevoz, C., Bureau, F. & Vedy, J.C. (1997) Impacts of embanking on the soil-vegetation relationships in a floodplain ecosystem of a pre-alpine river. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6, 339-348.
- Morais, F.I.O. (1998) Efeitos do fracionamento da adubação mineral, da adubação orgânica e da calagem na produtividade e incidência de vassoura-de-bruxa em cacauzeiros da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.1, p.71-75.
- Moran, E.F. & Brondízio, E.S. (1998) Land-use change after deforestation in Amazônia. In: Liverman, D., Moran, E.F., Rindfuss, R.R. & Stern, P.C. (eds). *People and pixels*. National Academy Press, Washington, pp. 94-120.
- Moran, E.F., Brondízio, E.S., Tucker, J., Silva-Forsberg, M.C. & Falesi, I.C. (2000) Effects of soil fertility and land use on forest succession in Amazônia. *Forest Ecology and Management* 139, 93-108.
- Moreira, A. & Costa, D.G. 2004. Organic matter dynamics in the recovery of clearings of the Amazon forest, Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:1013-1019.
- Moreira, A.; Gonçalves, J.R.P. & Plácido Jr., C.G. (2005) Mapas da distribuição aproximada da fertilidade dos solos no Estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 21p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos; 40).
- Motta, R.S., Mendonça, M.J.C., Nespstad, D., Diaz, M.C.V., Alencar, A., Gomes, J.C. & Ortiz, R.A. (2001) *O custo do uso do fogo na Amazônia*. IPEA/IPAM, Rio de Janeiro. (Texto para Discussão 912).
- Mulders, M.A. (1987) *Remote sensing in soil science*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Myers, R.J.K., Palm, C.A., Cuevas, E., Gunatilleke, I.U.N. & Brossard, M. (1994) The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: Woomer, P.L. & Swift, M.J. (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, UK, pp. 81-116.

- Viégas, I.J.M.; Frazao, D.A.C.; Thomaz, M.A.A.; . (2004) Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em latossolo amarelo textura média, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 26, n.2, p.382-384.
- Vieira, L.S. & Santos, P.C.T. dos. (1987) *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. Editora Agronômica Ceres Ltda: São Paulo.
- Vitorello, V.A, Cerri, C.C., Andreux, F., Feller, C. & Victória, R.L. (1989) Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil Science Society of America Journal* 53, 773-778.
- Vitousek, P.M. & Matson, P.A. (1988) Nitrogen transformations in a range of tropical forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 20, 361-367.
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J. & Dokken, D. J. (2000) *Land use, land-use change and forestry: a special report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Weinhold, D. (1999) Estimating the loss of agricultural productivity in the Amazon. *Ecological Economics* 31, 63-76.
- Woods, W.I. (2003) Development of anthrosol research. In: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W. (eds) *Amazonian dark earths – Origin, properties and management*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.
- Woomer, P.L., Martin, A., Albrecht, A., Resck, D.V.S. & Scharpenseel, H.W. (1994). The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: Woomer, P.L. & Swift, M.J. (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, UK, pp. 47-80.
- Yuan, D. & Elvidge, C. (2002) NALC land cover change detection pilot study: Wahington D.C. area experiments. *Remote Sensing of Environment* 66, 166-178.
- Yuyama, K.; Chavez F, W.B., Pereira, B.G. & Silva, I.A. (2005) Efeito da densidade de plantas e da adubação NPK na produção inicial de palmito de pupunheira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.373-378.