Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Estimativas dos estoques de carbono dos solos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores à intervenção antrópica

Francisco Fujita de Castro Mello

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba
2007

Francisco Fuijta de Castro Mello

Engenheiro Agrônomo

**Estimativas dos estoques de carbono dos solos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso
anteriores à intervenção antrópica**

Orientador: Prof. Dr. CARLOS EDUARDO P. CERRI

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

**Piracicaba
2007**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Mello, Francisco Fujita de Castro

Estimativas dos estoques de carbono dos solos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores às intervenções antrópica / Francisco Fujita de Castro Mello. - - Piracicaba, 2007.
88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Amazônia 2. Carbono 3. Densidade do solo 4. Efeito estufa 5. Geoprocessamento
6. Matéria orgânica do solo 7. Vegetação I. Título

CDD 631.41

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

**Aos meus pais Alcy e Angela,
meus irmãos Fernanda e Tadeu
por todo o carinho e apoio,**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof Dr. Carlos Eduardo P. Cerri pela amizade, apoio constante e orientação em todas as etapas que fizeram parte deste trabalho, marcados de sua parte por muita seriedade e bom humor inigualável. Muito obrigado Ado!

Ao Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri que me orientou em parte desta dissertação e muito contribuiu para minha formação acadêmica nestes últimos dois anos, obrigado pelos ensinamentos e pela amizade construída.

Ao pesquisador do IRD Dr. Boris Volkoff, pelo auxílio na construção da base de dados realizados com muita dedicação e constituição das ecorregiões.

Ao pesquisador do IRD Dr. Martial Bernoux pelo auxílio no desenvolvimento das equações de pedotransferência, discussão e sugestão em todas as etapas realizadas neste trabalho.

Ao amigo Stoécio Maia, que muito contribuiu para a finalização da base de dados e em todas as etapas que envolveram esta pesquisa. Valeu!

A Nicolas Saby do INRA, pelo auxílio desprendido nos cálculos de ajuste de profundidade do solo.

Ao Prof. Dr. Silvio Zocchi do departamento de Ciências Exatas da ESALQ USP pela contribuição significativa com a aplicação dos modelos de árvores de regressão.

Ao Prof. Dr. Gerd Sparovek do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ pelas idéias sugeridas e discutidas no início deste trabalho.

Ao amigo João Paulo Damiano sempre disposto a ajudar nas etapas de utilização do SIG e que muito me ensinou.

A comissão de Pós-Graduação do curso de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ - USP, pela oportunidade de estudo concedida.

A SEPLAN do Estado do Mato Grosso, em especial a Sra. Maria Aparecida Paiva por todas as informações fornecidas e atenção que nos foi dada.

A SEPLAN do Estado de Rondônia pelo fornecimento das informações utilizadas neste trabalho e em particular o Sr. Luis Claudio Fernandes.

Ao Sr. Angelo Mansur Mendes, do SIVAN pelas informações que nos foram repassadas.

Ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA-USP pela estrutura fornecida essencial para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

A FAPESP pelos recursos fornecidos que permitiram a realização de viagens ao campo.

Aos pesquisadores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA: Dra. Brigitte Feigl e Dra. Marisa de Cássia Piccolo por todos os bons momentos que foram passados nestes últimos dois anos.

Ao pessoal do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA: Sandra, Lilian, Dagmar, Gregori e Mara, pessoas essenciais para o andamento de nossas pesquisas e que tem um peso especial neste agradecimento.

Aos meus colegas do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental: Gabor Szakács (e família), Marcos Siqueira Neto (e família), Cristiane Teixeira, Mariana Pavei (MJ), Norberto Noronha, Marcelo Galdos, Carolina Lisboa, Sandra Sá, Ciniro Costa, Leidivan Frasso, João Luis Carvalho, Claudia Brasil, Cindy Moreira, Claudia Milene, Susian Martins (tudo bem!), Maísa, Luis Eduardo e Ciro.....Valeu moçada!

Aos meus amigos da Pós Graduação aqui na ESALQ: Mateus Chagas (2x), Cris, Aline, Gilberto Nava, Freddy, Daniel, e toda moçada dos solos! Valeu também!

Aos amigos que sempre me acompanharam desde os tempos da faculdade: Rogério Meneghetti, Matheus Chagas, Denis Meyer, Paulo Massoca, Tomas Balistiero, Leandro Longo, Pedro Salerno, Ernesto, Thiago Brizzola (e família).

A Eliana Maria Garcia da biblioteca da ESALQ que ajudou nas revisões de forma brilhante! MUITO OBRIGADO!!!

Ao pessoal do transporte, especialmente ao Cláudio e ao Fernando, que nos auxiliaram nas viagens ao campo.

A minha querida amiga Giuliana e a Giulianinha, cujo nome ainda está por vir....

Minha querida amiga Márcia pelas risadas e bons tempos vividos.

Minha querida Paulinha, sempre presente na minha vida.

Aos meus caros amigos: Rô, Danlo, Willian, Wirso, Tiago, Léo e Fred, valeu galera!

A Família Dal Fabbro, por todos os momentos vividos nestes anos, amizade compartilhada que tem muito significado na minha vida. Obrigado!

Aos professores da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu Dr. Carlos A. C. Crusciol e Dr. Rogério Peres Soratto, amigos e um dos responsáveis por esta realização! Meus sinceros agradecimentos!

Aos Castro Mello, incluindo os Costa Aguiar e o Gomes de Mello Neto.

Aos Fujita e aos Abrahao.

Em especial Zeca e Marinês, Bira e Mari.....e André, Dudu, Filipe, Elis, Beto, Ciça, Camila e como não poderia faltar a Ju!

E principalmente aos meus pais Alcy e Angela, meus irmão Fernanda e Tadeu que compartilharam todos os momentos que vivi até hoje e que me fazem ser quem eu sou!

A todos vocês, MUITO OBRIGADO!

"Não existe verdadeira inteligência sem bondade."

Ludwig van Beethoven (1770-1827)

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1 Revisão Bibliográfica	14
2.2 Material e Métodos.....	20
2.2.1 Descrição do meio físico	20
2.2.1.1 Clima	20
2.2.1.2 Relevo, hidrografia e geologia	21
2.2.1.3 Estratificação da área de estudo em Ecorregiões.....	23
2.2.2 Constituição de uma base de dados georrefenciados.....	26
2.2.2.1 Origem dos dados	26
2.2.2.2 Estrutura original dos dados	28
2.2.2.3 Consistência da base de dados georreferenciados	28
2.2.2.4 Extração e padronização dos dados	29
2.2.2.5 Integração com Sistema de Informação Geográfica.....	31
2.2.3 Estimativa da densidade do solo.....	33
2.2.3.1 Aplicação de regressões múltiplas lineares	34
2.2.3.2 Aplicação de árvores classificatórias de regressão.....	34
2.2.4 Ajuste vertical da profundidade dos solos para cálculos dos estoques de C	35
2.2.5 Cálculo dos estoques de carbono e estimativas para a região sudoeste da Amazônia	36
2.3 Resultados e Discussão.....	37
2.3.1 Constituição de uma base de dados georreferenciados	37
2.3.1.1 Mapas de solos e de vegetação nativa para os Estados de Rondônia e Mato Grosso	37

2.3.1.2 Estruturação final da base de dados georreferenciados	40
2.3.2 Estimativa da densidade do solo.....	44
2.3.2.1 Aplicação de regressões lineares múltiplas	45
2.3.2.2 Aplicação das Árvores classificatórias de regressão	56
2.3.2 Ajuste vertical da profundidade dos solos para cálculos dos estoques de C	59
2.3.4 Cálculo dos estoques de carbono e estimativas para a região sudoeste da Amazônia	60
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	74
ANEXOS	80

RESUMO

Estimativas dos estoques de carbono dos solos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores à intervenção antrópica

O desmatamento e conseqüente uso da terra para pecuária e agricultura são as principais atividades causadoras das emissões de gases do efeito estufa no território brasileiro. Nos últimos 30 anos essa prática tem sido mais intensa no arco do desmatamento da Amazônia, e em particular, nos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Atualmente, essa região se constitui na maior área de expansão agrícola do mundo e por isso, faz-se necessário avaliações mais aprimoradas das emissões de gases do efeito estufa. Para avaliar essas emissões é necessário inicialmente, estimar os estoques de carbono do solo e vegetação, antes da intervenção humana. O objetivo desta pesquisa foi estimar os estoques de carbono dos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso e assim, auxiliar nos cálculos futuros da emissão de gases do efeito estufa devido à mudança do uso da terra. A presente estimativa foi efetuada através das seguintes etapas: constituição de uma base de dados georreferenciados com informações compiladas da literatura, estimativa das densidades dos solos para os perfis onde essa informação é inexistente, padronização das camadas de solos avaliadas através ajuste vertical da profundidade do perfil e finalmente, cálculo dos estoques de carbono do solo. A superfície dos estados de Rondônia e Mato Grosso foi dividida em 11 ecorregiões geradas através da sobreposição de mapas temáticos sobre solos, clima, vegetação nativa, topografia entre outros utilizando-se um Sistema de Informação Geográfica. Essa divisão em ecorregiões é uma recomendação do manual, produzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, que trata dos procedimentos oficiais para estimativa de emissão de gases do efeito estufa em nível nacional. As estimativas dos estoques de carbono foram efetuadas para cada um dos 15 grupos de solos existentes para cada uma das 11 ecorregiões. Os estoques médios de carbono dos solos (expressos em kg C m^{-2}) para cada ecorregião apresentaram os seguintes valores: Alto Xingu (8,7); Bacia Sedimentar do Paraná (9,6); Chapada dos Parecis (12,3); Depressão Araguaia (6,7); Depressão Cuiabá-Paranatinga e região Serrana (10,4); Depressão Guaporé (15,2); Nordeste do Mato Grosso (11,2); Norte do Mato Grosso (9,8); Norte de Rondônia (8,7); Pantanal (7,5) e Rondônia Central (10,4). A integração dos cálculos dos estoques de carbono dos solos de cada uma das 11 ecorregiões que cobrem $1.128.000 \text{ km}^2$ aponta valores de $5,7 \pm 0,7 \text{ Pg C}$ e $10,4 \pm 1,3 \text{ Pg C}$, respectivamente para as camadas 0-30 cm e 0-100 cm. Considerando apenas a camada 0-100 cm pode-se inferir que o total de $10,4 \text{ Pg C}$ representa 0,7% do total de carbono estocado nos solos do globo (1576 Pg C). Esse valor é expressivo uma vez que estão concentrados em uma área de 1,12 milhões de km^2 , ou seja, 0,008% da superfície total (cerca de 135,21 milhões de km^2) dos solos do mundo. As informações aqui geradas são fundamentais para o projeto temático em desenvolvimento no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP, que trata das emissões de CO_2 para atmosfera, geradas a partir da decomposição da matéria orgânica devido ao desmatamento e uso agrícola do solo nos Estados de Rondônia e Mato Grosso.

Palavras-chave: Sudoeste da Amazônia; Matéria orgânica do solo; Vegetação nativa; Densidade do solo; Ecorregiões

ABSTRACT

Estimates of soil carbon stocks for Rondônia and Mato Grosso states previously to anthropic intervention

Deforestation and consequent land use for agriculture and husbandry are the main activities that cause greenhouse gas emissions in the Brazilian territory. In the last 30 years these practices have been more intense at the Amazon deforestation arch, particularly in the States of Rondônia and Mato Grosso. Presently, the region represents the largest area of agricultural expansion in the world; therefore, it is necessary to better assess its greenhouse gas emissions. In order to evaluate those emissions it is initially necessary to estimate carbon stocks in soils and vegetations, previously to human intervention. The main objective of the present research was to estimate soil carbon stocks for Rondônia and Mato Grosso states and then assist in the future calculations of greenhouse gas emissions due to land use change. The present estimates were performed by developing the following tasks: constitution of a georeferenced data base with information compiled from the literature, estimate soil bulk density for profiles in which this information does not exist, standardization of soil layers through vertical adjustment of soil profile depth and finally, calculation of soil carbon stocks. The surface of Rondônia and Mato Grosso states was divided in 11 ecoregions generated by overlying thematic maps of soils, climate, native vegetation, topography and others through a Geographic Information System. This division in ecoregions is a recommendation from the guideline produced by the Intergovernmental Panel on Climate Change, that brings the official procedures to estimate the greenhouse gas emission for national scales. The soil carbon stock estimates were done for each one of the 15 soil groups in each of the 11 ecoregions. The mean soil carbon stocks (expressed in kg C m^{-2}) for each ecoregion presented the following values: Alto Xingu (8.7); Bacia Sedimentar do Paraná (9.6); Chapada dos Parecis (12.3); Depressão Araguaia (6.7); Depressão Cuiabá-Paranatinga e região Serrana (10.4); Depressão Guaporé (15.2); Nordeste do Mato Grosso (11.2); Norte do Mato Grosso (9.8); Norte de Rondônia (8.7); Pantanal (7.5) e Rondônia Central (10.4). The integrated soil carbon stock calculations of each one of the 11 ecoregions that cover $1.128.000 \text{ km}^2$ showed values of $5.7 \pm 0.7 \text{ Pg C}$ and $10.4 \pm 1.3 \text{ Pg C}$, for the 0-30 cm and 0-100 cm soil layers, respectively. Considering only the 0-100 cm soil layer it is possible to infer that the total of 10.4 Pg C represents 0.7% of the total carbon stored in the world soils (1576 Pg C). This is a meaningful value since it is concentrated in an area of 1.12 million km^2 , i.e., 0.008% of the global soil surface (about 135.21 million km^2). The information generated in the present research is essential for the thematic project that has been carried on by the Laboratório de Biogeoquímica Ambiental - CENA/USP, related to the CO_2 emissions to the atmosphere, generated from soil organic matter decomposition due to deforestation and agricultural use of soils from Rondônia and Mato Grosso states.

Keywords: Southwestern Amazon; Soil organic matter; Native vegetation; Soil bulk density; Ecoregions

1 INTRODUÇÃO

Os solos se constituem em um compartimento chave no processo de emissão de gases do efeito estufa (GEE) que causam o aquecimento global. Globalmente, segundo as estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas há duas a três vezes mais carbono nos solos (1576 Pg C no primeiro metro de profundidade) em relação ao estocado na vegetação (cerca de 562 Pg C) e cerca do dobro (730 Pg C) em comparação com a atmosfera. Portanto, alterações nos ecossistemas naturais que envolvem desmatamento e utilização dos solos para fins agrícolas transferem carbono da vegetação e do solo em compostos gasosos para a atmosfera e incrementam o aquecimento global.

No Brasil, a proporção entre as contribuições dos GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis, agricultura e mudanças do uso da terra apresentam padrões diferentes daqueles observados globalmente. Aqui, a contribuição da queima de combustíveis fósseis é a menos importante, enquanto que a mudança de uso da terra e a agricultura são responsáveis por mais de dois terços das emissões. Quando são contabilizadas as emissões de gases provenientes do processo de desmatamento, o Brasil passa da 17ª para a 5ª posição na relação dos países que mais emitem.

O desmatamento atual para a expansão da pecuária e agricultura é mais expressivo nas regiões central e norte do Brasil, onde situa a região sudoeste da Amazônia, principalmente os estados de Rondônia e Mato Grosso constituem uma das maiores fronteiras agrícolas do mundo. Essa expansão é, sobretudo, motivada pela crescente demanda de soja, principalmente pelo mercado asiático recém incorporado à economia globalizada. Para cumprir a demanda estimada em 57 a 75 milhões de toneladas de soja em 2010 o Brasil deverá aumentar a produtividade e expandir significativamente sua área de produção. A expansão ocorrerá, principalmente, nas regiões sudoeste da Amazônia e central do Brasil. A mudança do uso da terra com adoção de tecnologias avançadas, certamente exigirá recursos humanos mais especializados, máquinas, equipamentos e insumos agrícolas, que alteram o comércio, indústria e serviços locais (escolas, hospitais, entre outros) com impactos sócio-econômicos significativos na região.

Portanto, faz-se necessário a adequada quantificação dos GEE emitidos, para dar subsídios a tomadores de decisão sobre políticas públicas para o uso sustentável da referida região.

O Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP está atualmente conduzindo um projeto temático apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, cujo objetivo principal é quantificar a emissão de gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) produzidos pela expansão da agricultura no sudoeste da Amazônia nos últimos 30 anos.

As estimativas dos estoques de carbono do solo e da vegetação, antes da intervenção antrópica, são fundamentais para o cumprimento dos objetivos do mencionado projeto temático. Essas informações são referências iniciais para os cálculos das emissões de gases do efeito estufa devido as ações antrópicas na região.

A presente pesquisa tem como objetivo principal estimar o estoque de carbono dos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriormente à intervenção antrópica. As estimativas a seguir apresentadas foram baseadas na compilação dos dados da literatura, consistidos em uma base de dados georreferenciados e utilizados juntamente com técnicas de geoprocessamento e análises estatísticas.

Os cálculos das emissões de gases do efeito estufa serão baseados na metodologia adotada pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Esta metodologia recomenda que a área a ser analisada seja estratificada em ecorregiões ou biomas. Dessa forma, essa presente pesquisa adotou a recomendação oficial e procedeu os cálculos em 11 ecorregiões espacialmente definidas para atender a recomendação e facilitar a continuidade do projeto temático no qual está inserida essa pesquisa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

Carbono no Ambiente

A biosfera terrestre armazena aproximadamente 1576 Pg (1 Pg = 10^{15} g) de carbono (C) nos primeiros 100 cm de solo (ESWARAN et al., 1995; BATJES ; SOMBROEK, 1997; LAL, 2003) e outros 562 Pg de C na vegetação (SCHIMEL, 1995; IPCC, 2003), que somados equivalem a três vezes a quantidade de C contida na atmosfera (HOUGHTON, 2003).

Desta forma, mudanças nos estoques de C do solo e/ou da vegetação podem causar impactos significativos na concentração de dióxido de carbono (BERNOUX et al., 2002; POLWSON, 2005) e de outros gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (NEILL et al., 1997; SCHUMAN et al., 2002; KERR, 2005).

O relatório publicado pelo Intergovernmental Panel on Climatic Changes (IPCC, 2001) reafirma as evidências de que as ações antropogênicas são responsáveis pelo aquecimento global de 0,76°C observado durante os últimos 140 anos. Previsões científicas indicam que pode haver um aumento de mais 5,5°C durante os próximos 100 anos (COX et al., 2000), com sérias consequências para a vida na Terra.

Globalmente, a intervenção antrópica no planeta ocorre principalmente com a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento, que constituem as maiores fontes de GEE, sendo responsáveis por 66% do total emitido para a atmosfera. A agricultura e a mudança do uso da terra completam o total das emissões antrópicas contribuindo respectivamente com 20 e 14% do total das emissões.

No Brasil, a proporção entre as contribuições dos GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis, agricultura e mudanças do uso da terra apresentam padrões diferentes daqueles observados globalmente. Aqui, a queima de combustíveis fósseis é que menos contribui (BRASIL, 2004), enquanto a mudança de uso da terra e a agricultura são responsáveis por mais de dois terços das emissões. Quando são contabilizadas as emissões de gases provenientes do processo de desmatamento (FEARNSIDE, 2000), o Brasil passa da 17ª para a 5ª posição na relação dos países que mais emitem GEE.

Portanto, as mudanças no uso e cobertura do solo, principalmente na região tropical, têm grande importância para o ciclo global do C e N, pois: (i) a ciclagem da matéria orgânica do solo

(MOS) é mais acelerada em ecossistemas de clima tropical do que em clima temperado (MURTY et al., 2002; HAUSER et al., 2005) e tende a diminuir com o uso agrícola (POLWSON, 2005); (ii) ecossistemas de regiões tropicais possuem grande quantidade de C e N estocados (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; CERRI et al., 2000; BATJES, 2005) e (iii) mudanças no uso da terra têm ocorrido intensamente em regiões tropicais (HOUGHTON, 2003; HANSEN et al., 2005).

Um exemplo mundial marcante de mudança no uso e cobertura do solo é a substituição de florestas por pastagens e cultivos agrícolas no sudoeste da Amazônia, principalmente nos Estados de Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT). Tais estados representam cerca de 25% dos cinco milhões de km² da Amazônia Legal e foram responsáveis por 45% de toda a área desmatada nos últimos 29 anos, equivalente a área territorial do Reino Unido (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2007).

O uso intensivo da terra, quando não são adotadas práticas conservacionistas, tem efeitos negativos tanto para o ambiente como para a produtividade agrícola (FOLEY et al., 2005). No que se refere ao ambiente a redução da quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) é acompanhada de emissão de gases (notadamente CO₂, CH₄ e N₂O) para a atmosfera, intensificando o aquecimento global e as mudanças climáticas (KNORR et al., 2005). Sob o ponto de vista da sustentabilidade do solo, além da redução da quantidade há também uma alteração na qualidade da matéria orgânica remanescente. Essas alterações se verificam, por exemplo, na desagregação e desestruturação do solo com perdas por erosão, na redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas e na menor capacidade de armazenamento de água. Estes e outros fatores refletem negativamente na produtividade agrícola, com redução da produtividade de alimentos, e na sustentabilidade do sistema solo-planta-atmosfera (LAL, 2003; SIX et al., 2004; KNORR et al., 2005).

Tais mudanças climáticas condicionam um “feedback”, sendo que os potenciais aumentos da temperatura média da atmosfera terrestre também tenderão a diminuir o estoque de C do solo através do aumento da oxidação (WANG et al., 2002; CERRI et al., 2005; POLWSON, 2005). O resultado de ambos os processos é um aumento do fluxo de carbono, na forma de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), para a atmosfera e redução das reservas florestais (IPCC, 2003).

Inversamente, a aplicação de práticas conservacionistas de manejo agrícola pode promover o restabelecimento do estoque de C do solo e reduzir as emissões de GEE para a atmosfera (SIX et al., 2004).

Carbono e Matéria Orgânica do Solo

O carbono no solo apresenta-se dividido em duas frações: inorgânica e orgânica. O termo orgânico refere-se a materiais ou substâncias que possuem carbono e hidrogênio em suas moléculas, podendo conter também nitrogênio, enxofre, fósforo, e outros elementos em sua estrutura. A fração inorgânica se encontra principalmente no material de origem como as rochas calcárias. O carbono orgânico é dependente das atividades fotossintéticas, uma vez que é incorporado no sistema solo a partir da exsudação de substâncias originadas pelos tecidos vivos vegetais ou da decomposição de material vegetal morto que forma a chamada liteira ou serapilheira. Este tipo de entrada no sistema solo é feito normalmente pela decomposição da liteira através de insetos e de microorganismos que compõe a biomassa microbiana.

Embora a MOS seja um material complexo e em constante transformação se apresenta entre 70 e 90 % na forma estável ou recalcitrante, principalmente como húmus. Segundo Gregorich et al. (1994) a fração ativa ou disponível pode ser dividida em viva (2 a 12 %) ou morta (8 a 24 %). A primeira compreende as raízes das plantas e a biomassa microbiana (vírus, bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários e nematóides). A fração não viva corresponde aos resíduos identificáveis e metabólicos de planta, animais e microrganismos. A biomassa microbiana do solo (BMS) corresponde 5 % da MOS. Pelo fato de ter um tempo de residência curto, de menos de um ano, ela pode responder rapidamente a alterações ambientais e de manejo que eventualmente interfiram no teor de MOS e pode ser considerada como indicativo da qualidade ambiental do solo.

As condições edafo-climáticas e a qualidade dos resíduos orgânicos determinam a função da BMS, que pode ser catalisadora, fonte ou reserva de nutrientes (RODRIGUES, 1999), sendo relacionada com a maior fonte de nutrientes e responsável pela CTC em ambientes tropicais. A BMS apresenta flutuações sazonais causadas pela interação entre a umidade e a temperatura do solo, aporte de material vegetal, crescimento vegetal entre outros fatores (WARDLE; PARKINSON, 1990; WARDLE, 1992; ESPINDOLA et al., 2001).

Segundo Duxbury et al. (1989) os componentes da MOS foram definidos em: (i) ativo ou lábil, constituído por componentes facilmente oxidáveis e o mais afetado em processos de mudança do uso da terra e/ou manejo do solo; (ii) compartimento lentamente oxidável, ligado a formação de macroagregados do solo; (iii) compartimento muito lentamente oxidável; ligado a

formação de microagregados e (iv) passivo ou recalcitrante, C associado às partículas primárias do solo.

Principais classes de solos da Amazônia

Os solos da região amazônica são normalmente caracterizados por serem pouco férteis, apresentar caráter ácido e a baixa quantidade de fósforo disponível. Dentre os principais grupos de solos encontrados na Amazônia, destacam-se principalmente os Latossolos e os Argissolos, que abrangem cerca de 60% dos 5 milhões de km² que correspondem a extensão da Amazonia Legal (MORAES et al., 1995). Valores superiores aos encontrados por Moraes et al. (1995) e relacionados com as mesmas classes de solos foram observados por Bernoux et al. (2001), onde os Argissolos e Latossolos apresentaram pouco mais de 70% de participação. Outras classes de solos com significativa representatividade (vista a extensão da Amazônia) foram relatadas por Batjes e Dijkshoorn (1999). Para toda a bacia Amazônica, uma área de 7 milhões de km², os autores notaram a presença de Gleissolos, Cambissolos e Plintossolos com participações em torno de 8%; 7% e 4% respectivamente. As proporções de solos observadas por Batjes et al. (1999) e por Moraes et al. (1995) indicam que aproximadamente 80% dos solos encontrados na região amazônica pertencem a apenas cinco classes de solos.

Conforme o sistema de classificação de solos proposto pela Embrapa (2006) as cinco classes citadas anteriormente são todas referentes a solos minerais. Os Latossolos são caracterizados por apresentarem elevado grau de intemperização, podendo ser profundos, ocorrendo principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Apresentam normalmente baixa saturação por bases e baixo pH o que os caracteriza como solos ácidos, variando de fortemente a bem drenado.

Os Argissolos caracterizam-se principalmente pela presença de argila de baixa atividade e horizonte B textural, apresentam profundidades variáveis e drenagem variando de fortemente a imperfeitamente drenados. Assim como os Latossolos, estes são solos ácidos. Os Cambissolos, diferentemente dos solos apresentados anteriormente, são heterogêneos em diversos aspectos, variando de acordo com sua localização, material de origem, condições climáticas e formas de relevo, que propiciam diferenciações quanto as profundidades, coloração do solo, e grau de saturação por bases. Entretanto, sua principal característica é apresentar horizonte B incipiente subjacente a qualquer horizonte superficial, e desde que suas características não possam ser

enquadradas como Vertissolos, Chernossolos, Gleissolos e Plintossolos, é então caracterizado como Cambissolos.

Os grupos dos Gleissolos e Plintossolos destacam-se dos demais por existirem em ambientes com alto nível de saturação por água. Os Gleissolos compreendem os solos hidromórficos, caracterizados por coloração acinzentada (podendo também ser de coloração esverdeada ou azulada) resultante dos processos de gleização aos quais são submetidos. Este processo decorre da redução dos compostos de ferro em ambiente anaeróbico, uma vez que estes solos são caracterizados por permanecer permanentemente ou periodicamente saturados por água. Estes solos não apresentam variações texturais como os Argissolos, e normalmente apresentam altos teores de carbono. Os Plintossolos geralmente se apresentam como solos fortemente ácidos e com baixa saturação por bases, apresentam horizonte plíntico e devido à presença da petroplintita, possuem normalmente coloração pálida com mosqueados de cores alaranjadas a vermelhas acima do horizonte plíntico. São comuns na região amazônica situando principalmente nos interflúvios dos rios Madeira, Negro, Solimões, Juruá, Purus, sendo também encontrados na planície do Pantanal.

Estoques de C nos solos sob vegetação nativa e estimativas em escala regionais

Grande parte da informação disponível na literatura sobre estoques de C nos solos sob vegetação nativa encontram-se em trabalhos realizados em cronossquências. Em estudos deste tipo é comum a realização de coletas sob a vegetação nativa e predominante da região, para encontrar o chamado C de referência, de forma que os dados encontrados em outras formas de uso do solo, como pastagem e diversos cultivos agrícolas, possam ser comparados com o ambiente original.

Um exemplo de estudo realizado em cronosseguência na Amazônia, é o trabalho de Desjardins et al. (2004). Os autores avaliaram os estoques de C em áreas sob pastagem de diferentes idades e sob vegetação nativa em duas regiões da Amazônia sob diferentes texturas de solo, uma em Marabá (PA) em solo arenoso e outra em Manaus (AM) em solo argiloso. Os resultados encontrados demonstraram um incremento nos estoques de carbono com o aumento da idade das pastagens, acompanhado do aumento da densidade aparente do solo. Estes resultados foram mais significativos nos solos argilosos, demonstrando que os estoques de C dependem também da textura dos solos. Da mesma forma, Moraes et al. (1996) observaram incrementos nos

estoques de C entre 19% e 17% em áreas com mais de 20 anos de pastagens quando comparadas com áreas sob vegetação nativa do mesmo local.

No entanto, para a realização de estudos em escalas regionais sob vegetação nativa, outras formas de abordagens são necessárias. Trabalhos como o realizado por Moraes et al. (1995) para estimativas de estoques de C nos solos da Amazônia, têm como base diversas informações providas de antigos levantamentos de solos, que são utilizados para cálculos de estoques de C dos principais grupos de solos existentes na região. Em tais levantamentos, considera-se que as áreas nas quais os solos foram amostrados fossem sob vegetação nativa ou com o mínimo de distúrbio em relação ao ambiente original. Com o conhecimento dos estoques de C dos solos e da área total existente é possível estimar o total de C existente nos solos. Batjes e Dijkshoorn (1999) realizaram as estimativas de estoques de C e nitrogênio (N) para toda a Amazônia (cerca de 7 milhões de km²) utilizando a base de dados de solos e terrenos da América Latina e Caribe (FAO, 1998), com informações em escala 1:5 milhões.

Mais recentemente, Bernoux et. al (2002) estimaram os estoques de C para todo o Brasil. Para tanto, foram necessários a realização de três etapas: (i) construção de um mapa com informações de associações entre os principais grupos de solo e vegetação do Brasil; (ii) organização de uma base de dados com informações referentes a teor de C, densidade e tipo de solos e (iii) cálculo dos estoques de C para cada grupo de associação solo-vegetação e foi realizado um agrupamento entre os principais tipos de vegetação. Os resultados encontrados pelos autores indicaram que existiam sob condições nativas cerca de 36 Pg de C nos primeiros 30 cm de solo.

Uma possível forma para tentar obter resultados mais precisos para estimativas de estoques de C, é aumentar o número de observações de dados de solos associadas à utilização de mapas em escalas maiores, uma vez que estes são usados como bases para cálculos de áreas de cobertura dos solos. Entretanto, estes tipos de informações são difíceis de ser encontrados, e ficam normalmente atrelados as instituições que os desenvolvem. A forma encontrada por Bernoux et al. (2002) de consistir uma base de dados pedológicos para a realização das estimativas torna-se essencial para pesquisas em áreas extensas. Bases desse tipo vêm sendo consistidas e utilizadas por diversos autores para estudos de diferentes abordagens (COOPER et al., 2005; HOLMES et al., 2006; CERRI et al., 2007).

Dentre as principais vantagens em se trabalhar com bases de dados, pode-se citar que são formas eficientes e de baixo custo de armazenagem (RAMAKRISHNAN; GEHRKE, 2003), e permitem integração de dados com Sistemas de Informações Geográficas, bastante utilizado em estudos em escalas regionais.

2.2 Material e Métodos

O procedimento da estimativa dos estoques de carbono do solo envolvem as seguintes atividades: (i) descrição do meio físico da área de estudo; (ii) constituição de uma base de dados georreferenciados; (iii) estimativas da densidade do solo; (iv) ajuste vertical da profundidade dos solos para cálculos dos estoques de carbono do solo e (v) cálculos dos estoques de carbono anteriores a intervenção antrópica.

2.2.1 Descrição do meio físico

A região sudoeste da Amazônia, mais especificamente os Estados de Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT) representam uma área de transição entre a bacia Amazônica e o planalto Central brasileiro. Localizada entre as latitudes 7° e 18° Sul e entre as longitudes 50° e 67° Oeste, esta região forma o divisor de águas entre a bacia amazônica ao norte e a bacia do Paraná ao sul e constitui uma das mais extensa fronteira agrícola do mundo, abrangendo uma área de aproximadamente 1.128.000 km² nesses estados.

2.2.1.1 Clima

O clima da região varia em função da latitude, podendo ser caracterizado por um regime tropical úmido com curto período de seca. Em termos de temperatura, a região pode ser considerada como quente com grande uniformidade térmica, onde não se percebe presença de significativas variações estacionais no decorrer do ano (em geral, variação térmica inferior a 5°C). Entretanto, temperaturas mais baixas (média e mínimas) podem ocorrer nas zonas de altitude do sul de Rondônia e no sudeste do Mato Grosso.

A precipitação anual oscila entre 1400 e 2500 mm. O regime pluviométrico é caracterizado por duas épocas bem definidas: uma época chuvosa e a outra época seca ou com pouca chuva. A

época mais chuvosa inicia-se entre dezembro e janeiro e tem duração de cerca de dois a cinco meses. O maior índice pluviométrico ocorre no norte do Mato Grosso, mais precisamente no médio Teles Pires, região que apresenta precipitação em torno de 2550 mm. Áreas com precipitações variando entre 1400 e 1500 mm ocorrem nos extremos sudeste e sudoeste do Mato Grosso. As áreas com precipitação total decrescendo de 2500 a 1500 mm formam, a partir da área norte mais chuvosa, uma série de faixas contínuas, abrangendo, portanto, a maior parte da região de estudo.

Segundo o sistema de Köppen, os tipos climáticos da região de estudo são essencialmente o Aw e o Am, ou seja, clima tropical com curto período seco (Aw: úmido com apenas um mês seco; Am: variedade monção com época seca mais prolongada). Esses dois tipos podem ser sub-classificados como isotermiais (Awi e Ami), onde a variação anual de temperatura é inferior a 5°C. Como já mencionado anteriormente, a região sul do Mato Grosso, de clima tipo Am, não se enquadra nesse subtipo isotermal por apresentar maiores variações térmicas.

2.2.1.2 Relevo, hidrografia e geologia

As altitudes mais elevadas, atingindo cotas superiores a 1000 metros, são encontradas no centro e no sul da região de estudo, na Chapada dos Parecis e na Chapada das Alcantiladas. Nas bordas da região, ao norte, a leste e a oeste, a altitude decresce consideravelmente não excedendo os 200 m.

O relevo da região apresenta-se principalmente sobre uma larga porção do escudo brasileiro, ou plataforma Amazônica, limitada ao norte pela Bacia Amazônica e ao sul pela Bacia Sedimentar do Paraná. Pequenas bacias, de importância secundária, limitam o escudo a oeste (a Bacia do Guaporé e a Bacia do Alto Paraguai) e a leste (a Bacia do Araguaia).

A plataforma Amazônica é composta de uma área cratônica pré-brasiliana, o cráton do Guaporé, e ao leste e sul por uma cintura de rochas dobradas (o Cinturão Paraguai-Araguaia). O cráton é constituído de rochas cristalinas (principalmente de rochas metamórficas granitizadas) do Arqueano e do Proterozóico. Esse conjunto Pré-cambriano cristalino apresenta-se soerguido para o sul-sudeste onde é recoberto por formações Paleozóicas-Mesozóicas que formam um extenso planalto, a Chapada dos Parecis. As altitudes encontradas na Chapada dos Parecis, interflúvio das bacias dos rios Juruena, Paraguai e Guaporé, variam em torno de 600-700m. Na Serra dos Paacas

Novos, prolongamento Noroeste da Chapada dos Parecis, em arenitos Proterozóicos, a altitude aumenta e atinge 1000 m.

O planalto dos Parecis apresenta-se inclinado para o norte e para leste. A leste do rio Teles Pires o Planalto estende-se até os relevos divisórios das drenagens dos rios Araguaia-Xingu, em cima de sedimentos Cenozóicos. Esses sedimentos estão superpostos às camadas Paleozóicas. As formações sedimentares dos Parecis e do Alto-Xingu são, por vezes, consideradas como pertencentes a uma única bacia sedimentar, uma bacia paleozóica interna do noroeste do Mato Grosso, denominada de bacia Parecis Alto Xingu.

Em direção da Bacia Amazônica, o cráton do Guaporé apresenta altitudes médias de 300-400 m, interrompido entre os rios Xingu, Teles Pires, Arinos e Juruena, por chapadas interna de 500-1000 m de altitude. Essas serras apresentam-se como planaltos formados principalmente sob rochas de cobertura Proterozóicas (Chapada do Cachimbo de 400-600 m, Serra dos Caiabis de 400-450 m de altitude, Planalto de Daradanelos de 300-400 m de altitude, Serra dos Apiacas de 200-300 m de altitude). As chapadas internas são blocos residuais remanescentes de um aplainamento alto contemporâneo do Planalto Central.

Entre os relevos, a altitude das áreas inter-planálticas decresce gradativamente em direção da bacia Amazônica. A altitude média passa de 400 – 600 m no sudoeste a 100 m nas partes setentrionais das bacias hidrográficas dos rios Juruena-Teles Pires e Ji-Paraná. No norte de Rondônia o cráton cristalino estende-se até a bacia sedimentar da Amazônia ocidental. O baixo planalto elaborado nesta bacia penetra o cráton na forma de uma pedi-planície parcialmente preservada. Essa pedi-planície caracteriza o norte de Rondônia, que se diferencia por seu relevo plano, ou quase plano, das zonas centrais de Rondônia, norte e nordeste do Mato Grosso.

A faixa de dobramento Paraguai-Araguaia e as coberturas sedimentares relativas ao ciclo Brasileiro do Proterozóico superior são dispostas entre o norte do Pantanal e o rio Araguaia. É constituída de zonas erodidas de 400-600 m de altitude, com topografia plana ou suavemente ondulada (depressão Cuiabana, depressão periférica de Paranatinga) e de serras atingindo 1000 m de altitude. As rochas (arenitos, siltitos, argilitos, arkoses e calcários) são geralmente pouco metamorfizadas.

O baixo planalto da bacia sedimentar da Amazônia ocidental estende-se até o cráton do Guaporé, dando origem a um modelado interflúvio tipicamente tabulares. A altitude média do baixo planalto é de 100-200 m. Os interflúvios tabulares testemunhas do baixo planalto

desaparecem gradativamente em direção ao sul e são substituídos por colinas e cristas de pequena dimensão. Uma mesma cobertura detrítica encontra-se tanto nas áreas sedimentares da bacia Amazônica como nas rochas cristalinas.

A bacia de sedimentação do Paraná é caracterizada por seu relevo de cuevas e Chapadas. Os terrenos são constituídos, sobretudo, de arenitos Paleozóicos (Formação Furnas, Formação Ponta Grossa) aflorando a partir da Chapada dos Guimarães estendendo-se para o sul e para leste até as cabeceiras do rio Xingu. Eles formam um vasto planalto, o Planalto da Chapada ou Planalto dos Alcantilados, o qual, ao nível de Cuiabá domina a depressão do Pantanal por uma escarpa elevada. Em direção a leste este se estende até a depressão do Araguaia formando patamares sucessivos delimitados por cuevas pouco elevadas. A altitude varia de 600 a 800 m, mas alguns relevos residuais atingem 1000 m como na Serra de Caiapós. A altitude do planalto propriamente dito eleva-se em direção ao norte. As zonas mais altas são encontrada ao norte do rio das Mortes, nos arenitos e folhelhos Proterozóico superior da Serra Azul que é a extremidade setentrional do planalto.

A bacia e a depressão do Guaporé formam uma longa banda de terrenos deprimidos acompanhando o rio Guaporé até a confluência com o rio Mamoré. A bacia do Alto Paraguai e a depressão do Pantanal do Mato Grosso formam uma extensa planície entre o Planalto dos Parecis e o Planalto da bacia sedimentar do Paraná, preenchida de sedimentos arenosos e siltito-argilosos. A depressão do Araguaia é a planície aluvional do rio Araguaia embutida no nível de colinas tabulares das coberturas detríticas-lateríticas do Pleistoceno, recobrindo o substrato proterozóico.

2.2.1.3 Estratificação da área de estudo em Ecorregiões

A estratificação da área de estudo em ecorregiões é uma recomendação do manual *“Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”* produzido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, que trata dos procedimentos oficiais para estimativa de gases do efeito estufa em nível nacional. Como a presente pesquisa irá contribuir para tais estimativas de emissão de gases, decidiu-se por obter os estoques de carbono de referência seguindo as recomendações propostas.

Considerando os aspectos ambientais distintos existentes na região sudoeste da Amazônia, uma estratificação da região baseada na sobreposição de planos de informação, em escala 1:5 milhões, de solos, clima, vegetação, geologia e relevo foi elaborada, totalizando 11 ecorregiões

(Figura 1). Esta estratificação foi realizada com o objetivo de encontrar áreas homogêneas, de forma que o resultado final deste trabalho, que é estimar os estoques de carbono sob vegetação nativa, pudessem ser correlacionados em função das características individuais de cada ecorregião. Tal compartimentação foi baseada (i) na litologia, com a existência de três conjuntos litológicos distintos: o maciço cristalino, a Bacia Parecis-Alto Xingu e a Bacia Sedimentar do Paraná; (ii) nas formas do relevo que são decorrentes em parte da litologia, mas sobretudo das evoluções geomorfológicas antigas durante as quais foram elaboradas as pedi-planícies constituindo os o Planalto Central Brasileiro e o Baixo Planalto Amazônico; (iii) nos tipos de vegetação, Floresta Amazônica, Cerrado, Floresta Estacional e formações vegetais de transição em grande parte determinadas pelo clima. As descrições de cada uma das ecorregiões encontram-se a seguir:

Figura 1 – Ecorregiões dos Estados de Rondônia e Mato Grosso

- Alto Xingu: os solos dominantes são Latossolo e Plintossolos, a vegetação é a transição Floresta Ombrófila-Floresta Estacional, o clima é do tipo Ami com precipitação anual de 1750-2250 mm), o relevo é plano (tabular), o substrato é sedimentar Paleozóico-Cenozóico.
- Bacia sedimentar do Paraná: os solos dominantes são Neossolo Quartzarênico e Latossolo; a vegetação é o Cerrado, o clima é do tipo Am e Cwa com precipitação anual de 1250 a 1750 mm, o relevo é plano (Chapadões), o substrato é sedimentar Paleozóicos e Mesozóicos.
- Chapada dos Parecis: os solos dominantes são Latossolo e Neossolo Quartzarênico, a vegetação é o Cerrado e a transição Cerrado-Floresta Estacional, o clima é do tipo Ami com precipitação anual de 1500 a 2250 mm, o relevo é plano (Chapadões), o substrato é sedimentar Paleozóico-Mesozóico.
- Depressão do Araguaia: os solos dominantes são Plintossolos e Gleissolos, a vegetação é o Cerrado, o clima é do tipo Ami com precipitação anual de 1250-2000 mm, o relevo é plano, o substrato é sedimentar Cenozóico e Quaternário.
- Depressão de Cuiabá-Paranatinga e região Serrana: os solos dominantes são Plintossolos, Argissolo e Latossolo, a vegetação é o Cerrado e a Floresta estacional, o clima é do tipo Am com precipitação anual de 1500-1750 mm; o relevo é plano ou montanhoso, o substrato é sedimentar metamorfizado ou não metamorfizado do Proterozóico.
- Depressão do Guaporé: o solo dominante é Latossolo, a vegetação é a Floresta ombrófila aberta na parte norte, a Floresta estacional e o Cerrado na parte sul, o clima é do tipo Ami com precipitação anual de 1750-2250 mm na parte norte, do tipo Ami e Am com precipitação anual de 1500-1750 mm na parte sul, o relevo é plano, o substrato é cristalino.
- Nordeste do Mato Grosso: o solo dominante é Argissolo, a vegetação é transição Cerrado-Floresta Ombrófila, o clima é do tipo Ami com precipitação anual de 2000-2500 mm, o relevo é ondulado (colinas), o substrato é cristalino.
- Norte de Rondônia: o solo dominante é Latossolo, a vegetação é a Floresta Ombrófila aberta, o clima é do tipo Awi com precipitação anual de 2000 a 2500 mm, o relevo é plano (tabular), o substrato é em parte cristalino e em parte sedimentar Cenozóico e Quaternário.
- Norte do Mato Grosso: os solos dominantes são Argissolo, Latossolo e Neossolo Litólico, a vegetação é a Floresta Ombrófila aberta e a transição Cerrado-Floresta Estacional, o clima é do tipos Awi e Ami com precipitação anual de 2000 a 2750 mm, o relevo é ondulado

(colinas) ou plano (Chapadas internas), o substrato é predominantemente cristalino com inclusões sedimentar Proterozóico-Paleozoico.

- Pantanal: o solo dominante é o Gleissolo, a vegetação é o Cerrado, o clima é do tipo Am com precipitação anual de 1500-1750 mm), o relevo é plano, o substrato é sedimentar Quaternário.

- Rondônia central: o solo dominante é Argissolo, a vegetação é a Floresta Ombrófila aberta, o clima é do tipo Awi e Ami com precipitação anual de 1750 a 2250 mm. O relevo é ondulado (colinas e cristas) o substrato é predominantemente cristalino com inclusões sedimentar Proterozóico.

2.2.2 Constituição de uma base de dados georreferenciados

2.2.2.1 Origem dos dados

Uma base de dados foi consistida com informações oriundas de diversos levantamentos de solos realizados na região sudoeste da Amazônia brasileira sob condições de vegetação nativa. Dentre as fontes, podem ser citados os projetos RADAM BRASIL, o Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso (ZSEE-MT) e o Levantamento de Solos e Terrenos do Estado de Rondônia, produto do Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Rondônia (ZSEE-RO).

Projeto RADAM BRASIL

O projeto Radam Brasil teve sua origem na década de 1970 durante o regime militar e teve como principal objetivo realizar levantamentos sobre aspectos ambientais até então pouco conhecidos da região amazônica, como solos, geologia, uso da terra, vegetação nativa, geomorfologia e uso potencial da terra. O projeto se estendeu a quase todo território brasileiro, finalizando no ano de 1986 quando já haviam sido publicados 33 volumes com informações diversas, incluindo mapas temáticos em escala 1:1.000.000, a descrição e os resultados analíticos de aproximadamente 4800 perfis de solos (COOPER et al., 2005). Para a região de estudo, especificamente, existem 9 volumes que contêm aproximadamente 1000 perfis de solos, sendo 780 deles situados no Estado do Mato Grosso e cerca de 220 em Rondônia com informações analíticas e morfológicas.

Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso

O Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso foi um projeto coordenado pela Secretaria do Planejamento do Estado do Mato Grosso (SEPLAN-MT) com o intuito de organizar a ocupação territorial do Estado. Para tanto, os estudos foram divididos basicamente em três aspectos: físico (climatologia, geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia e qualidade da água); biótico (vegetação e fauna) e sócio econômico (administração pública, aspectos jurídicos, condições de educação, condições de saúde, condições de vida, dinâmica demográfica, economia madeireira, hierarquização do espaço regional, ictofauna, economia pesqueira, setores secundário e terciário, dinâmica econômica, situação fundiária e agropecuária estadual, sociedade civil organizada, sociedades indígenas e uso e ocupação do solo).

Os resultados do ZSEE-MT foram expressos nas formas de mapas temáticos, na escala de 1:250.000. Para a confecção do mapa de solos, o ZSEE-MT utilizou dados publicados de fontes oficiais brasileiras como o já citado Radam Brasil (BRASIL, 1975; BRASIL, 1976; BRASIL, 1977; BRASIL, 1979; BRASIL, 1980; BRASIL, 1981a; BRASIL, 1981b; BRASIL, 1982a; BRASIL, 1982b; BRASIL, 1983) e os levantamentos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária para o referido Estado.

Para atender ao objetivo do ZSEE-MT na geração do mapa de solos na escala de 1:250.000, a SEPLAN obteve dados de outros 838 perfis que foram incorporados à base, e que somados aos 780 perfis de solo do Radam Brasil resultam o total de 1618 perfis para todo o Estado do Mato Grosso.

Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Rondônia

O ZSEE-RO surgiu com o mesmo intuito do ZSEE-MT, ou seja, planejar a ocupação física do Estado e dessa forma auxiliar no estabelecimento de políticas públicas que permitam a ocupação racional de suas áreas. Foi coordenado pela Secretaria de Planejamento do Estado de Rondônia (SEPLAN-RO) e os resultados gerados foram expressos na forma de mapas temáticos na escala 1:250.000 e em memórias técnicas descritivas para cada um dos parâmetros avaliados: cartografia, geologia, geomorfologia, hidrogeologia, pedologia, composição vegetal, fauna, estudos socioeconômicos, dentre outros.

O Estado foi dividido em unidades de terreno identificadas como unidades SOTRO seguindo a metodologia SOTER da FAO para compilação de bases de dados digitais de solos e

terrenos (FAO, 1995). Cada unidade SOTRO representa o agrupamento de uma combinação única das unidades de terreno e características pedológicas; como tipos de solo, geologia, litologia; podendo posteriormente ser associadas a outras informações por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O resultado de todo o trabalho foi uma base de dados de solos e terrenos de Rondônia, denominada SOTERON.

2.2.2.2 Estrutura original dos dados

Os dados oriundos do Radam Brasil, ZSEE-MT e ZSEE-RO apresentam-se sob dois tipos de arquivos: arquivos pontuais, relacionados aos perfis dos solos e arquivos espaciais em formato *shapefile* (arquivos vetoriais que armazenam forma e atributos dos dados geográficos).

Os arquivos pontuais oriundos das três fontes de informação descritas anteriormente são georreferenciados, e a principal diferença entre as fontes de informação dá-se por suas estruturas. O Radam Brasil foi publicado na forma de boletins, com 9 volumes para a área de estudo, enquanto os dados gerados pelos zoneamentos se apresentam na forma de banco de dados do formato Microsoft ACCESS[®].

Os bancos de dados utilizados apresentam os resultados analíticos de atributos físicos e químicos de solos de cada perfil da base (granulometria, densidade, macro e micronutrientes, C, N, pH, V%, CTC etc), descrição morfológica (horizontes, textura, atividade de argila, substrato, etc), e vegetação nativa associada ao perfil do solo. Associando as três fontes de informação foi possível reunir um total de 5201 perfis de solos, 3444 para Rondônia e 1757 para o Mato Grosso.

Os arquivos espaciais do tipo *shapefile*, apresentados na forma de mapas, possuem informações sobre áreas indígenas, estradas, municípios, rede hidrográfica, aptidão agrícola, uso da terra, solos, geologia e precipitação; este último somente para o Estado de Rondônia.

2.2.2.3 Consistência da base de dados georreferenciados

O principal propósito de se consistir uma base de dados georreferenciados de perfis de solos é permitir o estudo de seus atributos em escala regional e avaliar as possíveis correlações, neste caso estoques de carbono sob condições nativas, com outros parâmetros do ambiente. Isso pode ser feito através integração dos dados com um SIG (Figura 2) e em seguida pela espacialização dos dados em escala regional.

Figura 2 – Consistência da base de dados e integração com SIG

Para tanto, foi necessário o cumprimento de duas etapas: (i) extração e padronização dos dados e (ii) integração dos dados com SIG.

2.2.2.4 Extração e padronização dos dados

A primeira etapa deste processo consistiu na extração de forma manual de aproximadamente 400 perfis de solos dos volumes 12, 16, e 19 do Radam Brasil (BRASIL, 1976; BRASIL, 1977; BRASIL, 1979) compreendendo todo o Estado de Rondônia e parte do Estado do Mato Grosso, considerando todas as profundidades existentes por perfil que foram transferidas para planilhas eletrônicas (Microsoft EXCEL[®]). Para as demais fontes, a extração foi realizada diretamente no Microsoft ACCESS[®] resultando numa planilha contínua, com os dados analíticos das características físicas, químicas dos 5201 perfis de solo.

As descrições morfológicas existentes para os perfis de solos oriundos da SEPLAN-MT já se apresentavam em formato Microsoft ACCESS[®], o que permitiu a incorporação de suas informações na base de dados, tal como se apresentavam. Para o estado de Rondônia, as informações morfológicas estavam descritas no formato Microsoft WORD[®] e não foram incorporados à base de dados. Isto se deve a necessidade de primeiramente estruturar tais dados de forma compatível com a atual base consistida. Portanto, foi necessário inicialmente concluir a base de dados digital antes de realizar tal procedimento.

A segunda etapa referente a extração e padronização de informações, consistiu na identificação e exclusão de dados duplicados dos perfis, uma vez que aqueles provindos do ZSEE-MT possuíam dados originalmente apresentados nos volumes 16 e 19 do Radam Brasil (BRASIL, 1977; BRASIL, 1979) , que haviam sido incorporados à sua base.

Realizada a etapa de exclusão dos dados duplicados, os atributos do solo foram unificados e transferidos para o formato Microsoft ACCESS[®], gerando uma planilha contínua, nas quais os perfis de solo receberam com uma identificação única, denominada ID_Perfil, que está associada as suas coordenadas geográficas. A partir da planilha criada foi então possível extrair a informação dos atributos do solo desejáveis para realizar as etapas necessárias para as estimativas dos estoques de carbono do solo sob vegetação.

Como mostra a Figura 3, há uma boa cobertura espacial de perfis de solos em ambos os Estados, mais densa em Rondônia, principalmente no eixo da rodovia BR- 364.

Outro parâmetro a ser destacado se refere às áreas com pouca cobertura de perfis em ambos os Estados. Estas áreas, com carência de perfis (Figura 3) são áreas protegidas, pois se tratam de reservas indígenas; como as áreas indígenas do Xingu e dos Kaiabi no Mato Grosso e dos Aripuanãs e dos Karipuanas em Rondônia.

Figura 3 – Cobertura espacial dos perfis de solo consistidos na base de dados georreferenciados

2.2.2.5 Integração com Sistema de Informação Geográfica

Uma das finalidades em integrar os dados compilados da base ao SIG é permitir o cruzamento de informações ambientais, e desta forma, avaliar as possíveis correlações entre elas. Esta etapa consistiu na confecção de mapas temáticos (ilustrativos) utilizando o programa ESRI ArcGis 9.2[®] para alguns dos atributos do solo que têm interferência nos estoques de carbono; ou seja, tipos de solo, precipitação, argila, vegetação nativa, topografia. Tal atividade pode ser dividida em outras duas subetapas: manipulação dos arquivos espaciais em formato *shapefile* (mapas) e dos arquivos pontuais (perfis de solos).

Os mapas de solos e vegetação nativa foram refeitos a partir do *shapefile* original de solos para ambos os Estados, utilizando como referencia espacial o *South America Datum 1969* – SAD 1969, e a projeção cônica de Lambert para a América do Sul, mais adequada para grandes regiões como é o caso do sudoeste da Amazônia. Isso pôde ser efetuado a partir da existência de um código comum entre os polígonos do arquivo *shapefile* e informações existentes nos bancos de dados originais dos zoneamentos. Por este código, foi possível atribuir aos polígonos do *shapefile* informações originais da base de dados, como tipo e proporção de solo associados aos polígonos, vegetação nativa, uso da terra, dentre outros.

Mapa de solos e vegetação nativa para RO e MT

Para o estado do Mato Grosso, existem informações referentes a cada polígono de solo do *shapefile* até o 4º nível categórico; ou seja, existem informações do solo dominante, e de outros 3 subdominantes. Já para Rondônia, este número chega a 12 devido a metodologia SOTER aplicada, que permite a subdivisão da unidade SOTRO, em unidades menores, os componentes de terreno, que também podem se subdividir, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Subdivisões das unidades SOTRO em componentes de terreno e subcomponentes (ZSEE-RO, 2006)

A importância em se encontrar as proporções exatas de solos nos polígonos dos *shapefiles* dá-se pela possibilidade de extrair as áreas de solos de cada um desses polígonos por meio de um SIG, minimizando as possibilidades de erros nas estimativas de áreas de solos, que são essenciais para as realizações dos cálculos de estoques de carbono.

Uma vez que as proporções dos solos dominantes e subdominantes eram conhecidas, foi necessário formular uma legenda única para os solos de ambos os estados, que foi confeccionada em função do nível de detalhamento da informação encontrada em cada mapa. Pelo fato do estado de Rondônia apresentar um detalhamento menor do que o do Mato Grosso, a padronização dos tipos de solos foi feita em função do estado de Rondônia e é apresentada no Anexo A.

Após a etapa de padronização, a quantidade de componentes de solos em cada polígono ou unidade SOTRO dos *shapefiles* originais foi modificada, passando de 4 para 3 no Mato Grosso e de 12 para 8 em Rondônia, uma vez que não se faz necessário manter diferentes proporções de um mesmo tipo de solo para cada polígono do *shapefile*. Foi necessário também atualizar a legenda de classificação de solos levando em consideração a nomenclatura proposta pela Embrapa (2006).

O mapa de vegetação nativa foi confeccionado atribuindo aos polígonos do *shapefile* de solos a vegetação associada ao polígono, existente no banco de dados original. Diferentemente do que ocorre no caso dos solos, esta informação existe somente para o 1º componente de solo das unidades SOTRO em Rondônia e para os 3 componentes de solo do Mato Grosso. Da mesma forma como foi feita para a confecção do mapa de solos, para o mapa de vegetação também foi necessário padronizar a legenda dos diferentes tipos de vegetação. A etapa de padronização da vegetação nativa para ambos os estados levou em consideração a nomenclatura do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1992), e pode ser observada no Anexo B.

2.2.3 Estimativa da densidade do solo

A estimativa de densidade do solo foi uma etapa importante, uma vez que foi necessária para cálculos de estoque de carbono. Este tipo de informação, entretanto, pode ser difícil de ser encontrada, principalmente quando se trabalha com antigos levantamentos de solos (BENITES et al., 2007).

Equações de pedotransferência têm sido desenvolvidas por muitos pesquisadores, onde propriedades do solo são utilizadas para encontrar relações com a densidade. Desta forma, atributos como granulometria, teor de carbono, pH em água, e outras características físicas ou químicas comumente encontrados na literatura em descrições de solo podem ser utilizados para estimar suas densidades (BERNOUX et al., 1998a; PACHEPSKY; RAWLS, 2003; BENITES et al., 2007).

O desenvolvimento de equações de pedotransferência visando estimar a densidade do solo é uma alternativa interessante para contornar a ausência dessa informação para perfis de solos da base de dados georreferenciados. Dos 5201 perfis de solos existentes, apenas 1624 possuíam a informação da densidade.

Duas formas foram selecionadas para se estimar as densidades do solo. A primeira, mais utilizada por pesquisadores da ciência do solo, baseou-se na utilização de regressões lineares múltiplas para encontrar a interferência de diferentes atributos na densidade do solo, e a partir destas relações, foram geradas equações para estimativas de densidade para as camadas de solo que não possuíam tal informação. A segunda maneira possível de estimar as densidades faltantes, foi através do uso de uma metodologia pouco utilizada em ciência do solo, mas utilizada em

diversos estudos ambientais, chamada de árvores classificatórias de regressão (“Classification Regression Trees”) ou simplesmente CART.

2.2.3.1 Aplicação de regressões múltiplas lineares

Resumidamente o método consiste em submeter os dados da base a regressões lineares múltiplas do tipo “stepwise” (passo a passo), conforme descrito por Bernoux et al. (1998a). Utilizando tal método é possível avaliar a influência de cada atributo do solo na densidade. O principal benefício em utilizar o procedimento “stepwise” é a possibilidade de avaliar a interferência das variáveis independentes a cada passo da regressão, observando as modificações do R^2 auxiliando na decisão da permanência ou não da variável utilizada.

Nas regressões lineares, apenas os parâmetros com nível de significância menor do que 0,01 foram considerados para o desenvolvimento das equações de pedotransferência e a avaliação dos modelos foi feita em função do erro padrão e da variância explicada através do R^2 .

As informações foram avaliadas de quatro maneiras distintas, considerando: (i) todos os horizontes; (ii) somente horizontes arenosos; (iii) todos horizontes exceto os arenosos e (iv) por tipo de solo.

2.2.3.2 Aplicação de árvores classificatórias de regressão

A metodologia de árvores de classificação e de regressão, também conhecida como “Classification And Regression Trees” (CART) foi apresentada por Breiman et al. (1984) e tem sido utilizada em estudos ambientais quando os dados avaliados podem apresentar relações não lineares e possuir interações de alta ordem. Resumidamente, essa metodologia é utilizada para explicar as alterações de variáveis resposta por uma ou mais variáveis explanatórias, sejam elas quantitativas ou qualitativas. No caso da variável resposta ser qualitativa, ela é chamada árvore de classificação e quando é quantitativa, é chamada árvore de regressão (BREIMAN et al., 1984; DE'ATH; FABRICIUS, 2000).

Benefícios proporcionados por esta metodologia como fácil execução e interpretação dos resultados, preenchimento de dados faltantes e possibilidade de obter resultados (respostas) qualitativos, têm incentivado pesquisadores a trabalhar com árvores de classificação e regressão, originando trabalhos que variam desde avaliações epidemiológicas até estimativas de densidade do

solo (KULMATISKI et al., 2004; DEMSAR et al., 2006; PACHEPSKY et al., 2006; SHRODER, 2006).

O princípio básico das árvores de regressão é dividir as observações de uma variável resposta quantitativa em grupos homogêneos, por meio de variáveis explanatórias quantitativas ou qualitativas. O ponto de divisão, conhecido como "split", ocorre posteriormente para cada grupo homogêneo, dividindo-os em outros grupos; ramificando e formando a árvore. O resultado final da avaliação é uma representação gráfica em forma de árvore, onde as variáveis explanatórias (chamadas de folhas) são apresentadas junto aos pontos de divisão (split).

O conjunto de várias árvores, ou seja, a metodologia aplicada 100 ou 1000 vezes produz o que se chama de floresta de árvores.

2.2.4 Ajuste vertical da profundidade dos solos para cálculos dos estoques de C

Outra importante etapa para se estimar os estoques de C dos solos foi realizar o ajuste vertical de profundidade. Este tipo de ajuste tem sido utilizado em estudos e estimativas de estoques de C que possuem como fonte de informação bases de dados pedológicos (BERNOUX et al., 1998b; OGLE et al., 2004), onde frequentemente as camadas amostradas não possuem a mesma profundidade, impossibilitando desta forma a comparação entre os dados.

Este tipo de ajuste mostrou-se necessário neste estudo uma vez que as camadas de amostragem dos perfis de solos da base de dados foram variáveis. Para a realização do ajuste de profundidade foi selecionada a equação de Arrouays e Pélissier (1994)

$$C(X) = C_2 - K_1.K_2 + K_2.e^{-bx} \quad (1)$$

sendo: $K_1 = e^{-100b}$ e $K_2 = (C_1/C_2) / (1 - K_1)$

Esta metodologia baseia-se na variação e distribuição vertical do C, e por meio de integração entre as camadas superior (C1) e inferior (C2), permite estimar o C do solo a qualquer profundidade intermediária. O maior benefício de se utilizar esta metodologia é a possibilidade de expressar os resultados em quantidade de carbono por unidade de área (exemplo kg C m⁻²), desde que se tenha a densidade do solo. Todavia, uma limitação associada a esta técnica refere-se ao fato de que somente podem ser estimados valores para perfis que contenham ao menos três diferentes

profundidades. Maiores detalhamentos sobre a referida metodologia podem ser encontrados em Bernoux et al. (1998b).

2.2.5 Cálculo dos estoques de carbono e estimativas para a região sudoeste da Amazônia

Os estoques de C foram calculados utilizando-se a seguinte equação:

$$E = d \times h \times (C) \quad (2)$$

Sendo:

E = estoque de carbono do solo (kg m^{-2});

d = densidade aparente do solo (g cm^{-3});

h = espessura da camada amostrada (cm);

(C) = teor de carbono total do solo (g kg^{-1})

As estimativas dos estoques de C para toda região sudoeste da Amazônia foram realizadas para as camadas 0-10 cm, 0-30 cm, 0-50 cm e 0-100 cm da mesma forma que trabalhos realizados por Moraes et al. (1995), Bernoux et al. (2002), Batjes et al. (2005) dentre outros autores, e foi realizada em dois níveis: (i) geral, para toda a região de estudo e (ii) específica para cada ecorregião.

Para a estimativa geral, foram levados em consideração os estoques médios de C dos principais grupos de solos da área de estudo, bem como a área coberta pelos respectivos grupos de solos. Para as estimativas por ecorregião, foi calculada a média dos estoques de C dos grupos de solos de cada ecorregião e multiplicada pelas áreas de cobertura dos solos encontradas para cada ecorregião específica.

As áreas dos solos foram encontradas extraindo as áreas dos polígonos do mapa de solos em formato *shapefile* (escala 1:250.000) dos estados de Rondônia e Mato Grosso através do programa ESRI ArcGis 9.2[®] considerando as proporções de solos representadas em cada polígono.

No total, os mapas possuíam 16051 polígonos de solo para o Mato Grosso e 1268 para Rondônia. Entretanto, foi necessário realizar uma operação de generalização dos polígonos do *shapefile* de solos de Rondônia levando em consideração a unidade principal, ou seja unidade SOTRO, uma vez que as proporções de solos do referido estado encontravam-se em função desta

unidade. Esta operação diminuiu para 247 o número de polígonos do mapa, sem modificar, contudo, as proporções e a área total dos solos do estado.

2.3 Resultados e Discussão

O presente item encontra-se dividido em quatro partes: (i) base de dados georreferenciados; (ii) estimativas da densidade do solo; (iii) ajuste vertical de profundidade e (iv) cálculos dos estoques de carbono sob vegetação nativa.

2.3.1 Constituição de uma base de dados georreferenciados

2.3.1.1 Mapas de solos e de vegetação nativa para os Estados de Rondônia e Mato Grosso

A consistência da base de dados e a integração junto ao SIG permitiu a reformulação do mapa de solos dos estados de Rondônia e Mato Grosso em escala 1:250.000, em nível mais detalhado por exemplo que aqueles apresentados no Radam Brasil, de escala 1:5.000.000, utilizados para a delimitação das onze ecorregiões.

A Figura 5 apresenta os grupos específicos de solos, destacando-se principalmente Latossolos, Argissolos e Neossolos, com respectivamente cerca de 40%, 20% e 15% do total da área abrangida pelos dois estados. Estes grupos de solos encontram-se distribuídos ao longo de todas as regiões sendo os Latossolos notadamente predominantes na região central do Mato Grosso e no norte de Rondônia. Destacam-se em seguida o grupo dos Plintossolos, cobrindo 8% de toda a área, os Cambissolos e Gleissolos, que representam cerca de 6 e 5 % respectivamente da área territorial de Rondônia e Mato Grosso. Os dois últimos grupos citados se concentram em locais específicos nos estados: os gleissolos na região sul e norte de Rondônia, na região de fronteira do estado onde existem os rios Guaporé ao sul e Madeira ao norte. Os Cambissolos são principalmente encontrados no Mato Grosso ocupando uma faixa longitudinal extensa na região centro-sul.

Figura 5 – Solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso

Para a confecção do mapa de vegetação nativa foi necessário primeiramente realizar a padronização das diferentes descrições de vegetações existentes na base de dados georreferenciados da mesma forma como foi feita para o mapa de solos. Em ambos os estados existiam inicialmente 142 descrições de vegetação nativa, sendo 126 tipos distintos para o Mato Grosso e 16 para Rondônia. A padronização foi realizada considerando a nomenclatura do IBGE (1992), resultando em 8 grandes grupos de vegetação: Floresta Estacional Decidua, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Parque e Vegetação com Influência Fluvial.

O processo de agrupamento da vegetação nativa, nomenclaturas inicial e final podem ser observados no Anexo B e o mapa de vegetação nativa resultante pode ser visualizado através da Figura 6.

Figura 6 – Vegetação nativa dos Estados de RO e MT

Através da Figura 6 pode-se observar que a vegetação nativa se modifica principalmente no sentido sudeste-noroeste. Essa mudança é acompanhada pelo aumento do porte da vegetação, passando do Cerrado (demonstrado com coloração amarela) às Florestas, Estacional Semidecidual (verde claro) e Ombrófila Aberta (verde escuro). O aumento do porte da vegetação também pode ser observado em função da latitude e da precipitação, ou seja, quanto mais próximo do equador e maiores as taxas pluviométricas, maiores as chances de se desenvolverem florestas mais exuberantes.

Outra observação que pode ser feita, é quanto a predominância de um único tipo de vegetação no estado de Rondônia, a Floresta Ombrófila Aberta, enquanto no estado do Mato

Grosso prevalecem cinco tipos de vegetação: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Florestada.

As áreas cobertas pela Floresta Estacional Semidecidual, apresentavam-se em extensas áreas, concentradas na região central do Mato Grosso, cobrindo também áreas na face norte e ocidental do estado. A região que concentra maior diversidade de vegetação situa-se próxima a Chapada dos Parecis, onde se encontram áreas de Floresta Estacional Semidecidual, Savana Arborizada e Savana Florestada. Esta diferenciação pode ser justificada ao observar que as áreas de Savanas predominam na face ocidental do estado, próximo da fronteira com o estado de Rondônia, local onde existe predominância dos Neossolos Quartzarênicos (Figura 5), que geralmente apresentam baixa fertilidade natural.

A Savana Arborizada predomina na região sudeste do estado, local onde existem solos férteis, porém onde também se encontram as menores taxas pluviométricas do Mato Grosso, variando entre 1250 a 1750 mm anuais. As áreas de Floresta Ombrófila Densa restringem-se as regiões de fronteira com os estados de Rondônia e Pará, na região norte e noroeste do estado, enquanto a Savana Parque é predominante na face leste e ao extremo sul; regiões onde existem respectivamente os rios Araguaia e Cuiabá e a presença dos Plintossolos (Figura 5).

2.3.1.2 Estruturação final da base de dados georreferenciados

A base de dados consolidada foi dividida em dados pontuais, referentes aos perfis dos solos e dados ou informações espaciais, em formato *shapefile*. Os primeiros englobam os aspectos físicos, químicos e morfológicos dos solos, o segundo, os arquivos vetoriais e as tabelas de informação que podem ser ligadas por meio de um SIG.

Propriedades Físico-Químicas do solo

Para manter a organização dos dados presentes na planilha com informações físico-químicas dos perfis de solo, incorporada na base de dados, algumas informações necessitaram ser adicionadas tais como: a identificação individual dos perfis, a fonte original da informação, profundidades de solo relativas às análises, Estado ao qual pertence a amostra, coordenadas geográficas, classificação do solo dentre outras.

Um fato que deve ser mencionado é que as informações originais adicionadas à base de dados foram obtidas por diferentes metodologias para quantificar os mesmos atributos do solo,

variando, por exemplo, nos agentes extratores utilizados (caso das análises químicas) ou nas frações de solo escolhidas na determinação granulométrica (frações areia, silte e argila). A solução encontrada foi não agrupar tais atributos, conservando-os como sendo diferentes entre si. As tabelas 1 e 2 são comparações dos atributos do solo (físicos e químicos, respectivamente) com suas fontes originais de informação e porcentagem de dados existentes na base georreferenciada.

Tabela 1 – Comparações dos atributos físicos do solo, fontes de informação e porcentagem de dados existentes na base georreferenciada

Atributos Físicos	Fontes de informação			Dados existentes (%)
	ZSEE - RO	ZSEE-MT	RADAM	
Calhau (>20mm)	x	x	x	80
Cascalho (20-2mm)			x	2
Cascalho (>2mm)	x	x	x	89
Terra fina (<2mm)	x	x		77
Areia muito grossa (2-1mm)		x	x	17
Areia grossa 1 (1-0,5mm)		x	x	18
Areia grossa 2 (2-0,2mm)		x	x	24
Areia média (0,5-0,25mm)		x	x	18
Areia fina 1 (0,25-0,1mm)		x	x	18
Areia fina 2 (0,2-0,02mm)		x	x	11
Argila fina 3 (0,2-0,5mm)		x	x	24
Areia muito fina (0,1-0,05mm)		x	x	18
Areia (2-0,05mm)	x	x	x	69
Silte 1 (0,05-0,002mm)	x	x	x	44
Silte 2 (0,02-0,002mm)	x	x	x	66
Argila (0,002mm)	x	x	x	100
Argila Natural (%)	x	x	x	41
Grau de Floculação (%)		x	x	31
Umidade (%)	x	x	x	7
Densidade aparente (g cm ⁻³)		x	x	8
Densidade real	x	x	x	9

Nota: A letra “x” indica presença do atributo do solo na fonte de dados; ZSEE – RO: Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado de Rondônia; ZSEE – MT: Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado do Mato Grosso

Tabela 2 – Comparações dos atributos químicos do solo, fontes de informação e porcentagem de dados existentes na base de dados

(continua)

Atributos Físicos	Fontes de informação			Dados existentes (%)
	ZSEE - RO	ZSEE-MT	RADAM	
pH água	x	x	x	100
pH (KCl)	x	x	x	99
C%	x	x	x	98
N%	x	x	x	87
MO%		x	x	21
CaCO ₃	x		x	57
Zn (mg kg ⁻¹)	x			55
B (cmol _c kg ⁻¹)	x			55
S	x			55
CaNH ₄ (mE 100g ⁻¹)			x	2
CaKCl (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	93
MgNH ₄ (mE 100g ⁻¹)		x	x	2
MgKCl (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	93
Ca+Mg (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	12
KNH ₄ (mE 100g ⁻¹)			x	2
KHCl (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	99
NaNH ₄ (mE 100g ⁻¹)			x	2
NaHCl (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	99
H + Al (cmol kg ⁻¹)	x			55
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	x			55
V % (saturação por bases)	x			55
100Al+Al S1			x	2
100Al+Al S2	x	x	x	41
Mn (mg kg ⁻¹)	x			55
Fe (mg kg ⁻¹)	x			55
Cu (mg kg ⁻¹)	x			55
S1 NH ₄ (mE 100g ⁻¹)			x	2
S2 KCl (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	41
Al+ (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	98
H (mE 100g ⁻¹)	x		x	66
H + Al - pH7 (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	43
H + Al- pH8 (mE 100g ⁻¹)			x	2

Tabela 2 – Comparações dos atributos químicos do solo, fontes de informação e porcentagem de dados existentes na base de dados

(Conclusão)

Atributos Físicos	Fontes de informação			Dados existentes (%)
	ZSEE - RO	ZSEE-MT	RADAM	
H (cmol _c kg ⁻¹)	x			55
CTC da Argila (CTCx100 argila ⁻¹)	x			55
Ki		x	x	9
Kr	x	x	x	55
Mn Trocavel (cmol kg ⁻¹)	x			25
T pH8 (mE 100g ⁻¹)			x	2
TpH7 (mE 100g ⁻¹)	x	x	x	99
Tmat pH8	x		x	57
Tmat pH7			x	2
V % (pH8)			x	2
V % (pH7)	x	x	x	98
PO ₄ (mE 100g ⁻¹)			x	0
P (ppm)	x	x	x	73
SiO ₂ (%)	x	x	x	14
Al ₂ O ₃ (%)	x	x	x	60
Fe ₂ O ₃ (%)	x	x	x	61
TiO ₃ (%)	x		x	3

Nota: A letra “x” indica presença do atributo do solo na fonte de dados; ZSEE – RO: Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado de Rondônia; ZSEE – MT: Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado do Mato Grosso

É possível observar nas tabelas 1 e 2 que apesar de existirem diversas informações sobre os atributos do solo no banco de dados, nem sempre estas estão disponíveis para todos os perfis. No entanto, é importante conservar tais dados, uma vez que a base armazena informação referente a uma área 1.128.000 km², e tais dados podem ser úteis em estudos mais específicos, em escalas menores.

Como mencionado anteriormente foi possível notar diferenças entre as análises realizadas pelos laboratórios de cada fonte de informação para atributos iguais. Isto ocorre por haver diferença nas metodologias aplicadas por cada laboratório, fato que justifica as diferenças entre frações de separação da areia (Tabela 1) e entre extratores utilizados, como o Mg extraído em NH₄ ou em KCl (Tabela 2).

Propriedades Morfológicas

Como já descrito anteriormente, apenas as informações referentes aos perfis de solo provindos da SEPLAN-MT apresentavam as características morfológicas dos perfis de solo em formato Microsoft ACCESS®, as quais foram incorporadas a base de dados. As principais informações existentes nos arquivos dos atributos morfológicos da base de dados georreferenciados são: identificação original do perfil, classificação do solo, fonte, data da coleta, unidade geológica do local, localização, município, declividade, litologia, material de origem, relevo, erosão, pedregosidade, drenagem, descrição, uso do solo e vegetação nativa.

Arquivos vetoriais e tabelas de ligação

Os arquivos vetoriais no formato *shapefile* oriundos dos zoneamentos de Rondônia e do Mato Grosso foram padronizados utilizando o Datum SAD 1969 e as Projeções Cônicas de Lambert. Esta padronização foi feita para cada um dos arquivos de mapas existentes: Aptidão agrícola, Áreas indígenas, divisão administrativa, estradas, geologia, geomorfologia, isolinhas (precipitação), hidrografia, solos, uso do solo, aptidão agrícola, áreas indígenas, divisão administrativa.

As tabelas de ligações com os arquivos *shapefile* abrangem as informações a respeito da nomenclatura da vegetação nativa, classificação e textura dos solos, atividade de argila, e as proporções de solos dos polígonos, que foram utilizados para os cálculos de estoques de carbono, e que serão discutidos a diante.

2.3.2 Estimativa da densidade do solo

Conforme descrito anteriormente, as densidades do solo necessitaram ser estimadas para 3577 perfis da base de dados, uma vez que não possuíam tal informação, e esta é extremamente importante para se estimar o estoque de carbono dos solos, objetivo principal deste trabalho. As duas formas selecionadas para estimar as densidades do solo foram as regressões lineares múltiplas e as árvores classificatórias de regressão.

2.3.2.1 Aplicação de regressões lineares múltiplas

Como mencionado anteriormente, os dados da base foram submetidos a regressões lineares múltiplas do tipo “stepwise” (passo a passo), conforme Bernoux et al. (1998a). As informações foram avaliadas de cinco maneiras distintas, considerando: (i) todos os horizontes; (ii) somente horizontes arenosos; (iii) todos horizontes exceto os arenosos; (iv) por tipo de solo e (v) tipo de solo e horizonte.

Para encontrar a equação que melhor se aplicava a todos os dados da base, foram selecionados os atributos argila, areia, silte, pH em água, pH KCl, carbono orgânico (C) e nitrogênio (N) que foram submetidos às regressões lineares múltiplas (Tabela 3).

Os dados da Tabela 3 demonstram que dentre os atributos testados, a areia é o que mais interfere na densidade do solo explicando cerca de 30% de toda a variação dos dados. A adição do atributo C aumentou para 47% o grau de explicação, que chegou até 51% quando adicionados o N e o teor de argila. Bernoux et al. (1998a) encontraram a argila como principal componente interferente na densidade do solo considerando todos os horizontes presentes na base de dados, e demonstraram que com quatro atributos foi possível responder por 56% da variância total dos dados, próximos dos 51% aqui obtidos. Outra observação que pode ser feita é a de que os fatores pH em KCl e pH em água não foram interferentes na densidade do solo em nível 0,01%.

Conforme descrito anteriormente, cada passo consiste em uma etapa da regressão, onde as variáveis são incluídas no modelo para verificar mudanças no R^2 , sendo então aceitas ou descartadas do modelo.

Tabela 3 – Resultados da análise de regressão linear múltipla aplicada a todos os horizontes da base de dados

Passo	Intercepto	Areia	C%	N%	Argila	R^2
1	1,078 (0,008)	0,0034 (0,0001)				0,30
2	1,149 (0,008)	0,0031 (0,0001)	-0,060 (0,003)			0,47
3	1,128 (0,008)	0,0032 (0,0001)	-0,092 (0,005)	0,57 (0,08)		0,49
4	1,28 (0,02)	0,0017 (0,0002)	-0,098 (0,006)	0,58 (0,08)	-0,0023 (0,0003)	0,51

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Desta forma, a melhor equação para prever a densidade do solo, considerando todos os horizontes foi a seguinte:

$$1,28(\pm 0,02) + 0,0017(\pm 0,0002) \cdot \text{AREIA} - 0,098(\pm 0,006) \cdot \text{C} + 0,58(\pm 0,08) \cdot \text{N} - 0,0023(\pm 0,0003) \cdot \text{ARGILA} \quad (R^2 = 51) \quad (3)$$

Para a avaliação dos horizontes arenosos foram considerados aqueles que de acordo com Bernoux et al. (1998a) apresentaram teores de areia maiores do que os de argila e que fossem superiores a 70%. Ao todo foram selecionados 296 horizontes com tais propriedades e as análises de regressão, considerando o C e a argila mostraram que a melhor equação para este tipo de horizonte foi a seguinte:

$$0,0167 (\pm 0,0001) \cdot \text{AREIA} - 0,08 (\pm 0,01) \cdot \text{C} \quad (R^2 = 31) \quad (4)$$

Após a exclusão dos horizontes arenosos, as regressões múltiplas foram aplicadas considerando os atributos C, argila, pH em água, pH KCl, silte, areia e N, dos quais apenas os dois últimos não apresentaram nenhuma contribuição significativa (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados da análise de regressão linear múltipla aplicada aos horizontes da base de dados após a exclusão dos horizontes arenosos

Passo	Intercepto	C%	Argila	pH (água)	pH (KCl)	Silte	R ²
1	1,296 (0,004)	-0,062 (0,003)					0,23
2	1,415 (0,008)	-0,065 (0,003)	-0,0036 (0,0002)				0,40
3	1,28 (0,02)	-0,063 (0,003)	-0,0039 (0,0002)	0,028 (0,004)			0,42
4	1,32 (0,02)	-0,062 (0,003)	-0,0039 (0,0002)	0,090 (0,008)	-0,081 (0,009)		0,46
5	1,34 (0,02)	-0,058 (0,003)	-0,0037 (0,0002)	0,092 (0,008)	-0,083 (0,008)	-0,0015 (0,0002)	0,47

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

É possível observar que apenas dois atributos, o carbono e a argila, responderam por 40% das variações na densidade do solo, e quando adicionados os outros atributos, o valor se elevou até 47%. Bernoux et al. (1998a) desenvolvendo equações de pedotransferência, observaram que a textura do solo e o C foram os principais fatores interferentes na densidade do solo; no entanto o C não foi apontado como tal por Benites et. al (2007). Para os últimos autores, a presença do nitrogênio nas análises de regressão suprimiu a presença do C, já que foi observado que ambos apresentaram elevada correlação (83%). Observando a Tabela 3, foi possível perceber que o N aumentou o grau de explicação da interferência de atributos na densidade do solo sem suprimir o C. Tal fato ocorreu, possivelmente, pela diferença na quantidade de informação de ambos os atributos na base de dados, uma vez que a informação do C apresenta-se em 13% a mais de horizontes do que o N considerando todos os horizontes, e considerando apenas os não arenosos este valor aumenta para 15%.

Desta forma, a melhor equação para predizer as densidades do solo quando excluídos os horizontes arenosos é a seguinte:

$$1,34 (\pm 0,02) - 0,058 (\pm 0,003).C - 0,0037 (\pm 0,0002).ARGILA + 0,092 (\pm 0,008).pH(\text{água}) - 0,083 (\pm 0,008).pH(KCl) - 0,0015 (\pm 0,0002).SILTE \quad (R^2 = 47) \quad (5)$$

Para avaliar a eficiência das equações até agora descritas, as estimativas das densidades do solo foram realizadas para os horizontes que já continham previamente a informação. Um maior resultado de R^2 no gráfico de dispersão entre valores observados e valores estimados, acompanhado de um baixo valor da raiz quadrada do erro médio (RMSE), dentre os dados, indica melhores estimativas. Os resultados podem ser observados através da Figura 7.

Figura 7 – Dispersão entre valores observados e valores medidos de densidade. (A) Equação geral; (B) equação para horizontes arenosos; (C) equação para horizontes não arenosos

Através da Figura 7, pode-se notar que a melhor equação dentre as três descritas até o presente momento foi a equação geral, aplicável a todos os horizontes da base de dados. A raiz quadrada do erro médio variou de 0,27 a 0,30; sendo 0,29 para a equação geral, que apresentou R^2 mais elevado, em torno de 0,45. Esse mesmo valor de R^2 foi encontrado por Heuscher et al. (2005), em trabalho semelhante, onde uma equação geral de pedotransferência foi desenvolvida

para estimar densidade de solo por meio de outros atributos para uma base de dados de solos dos Estados Unidos. Valores de RMSE variando de 0,19 a 0,28 foram encontrados por Benites et al. (2007), demonstrando que os valores aqui encontrados são coerentes com os da literatura.

Para avaliar a possibilidade de desenvolver equações específicas para cada tipo de solo, foi necessário primeiramente observar quais solos continham mais informações na base de dados. A Tabela 5 demonstra que os Latossolos foram os que mais apresentaram informações na base de dados, com 681 observações, seguidos dos Argissolos (343 observações) e por último os Cambissolos (123 observações).

Tabela 5 – Densidade média de cada solo e quantidade de observações

Tipo de solo	n	Densidade (g cm^{-3})			
		Média	Mínimo	Máximo	Mediana
Latossolos	681	1,22	0,67	1,80	1,22
Cambissolos	123	1,25	0,95	1,46	1,25
Gleissolos	29	1,21	0,79	1,43	1,22
Argissolos	343	1,21	0,76	1,58	1,20
Neossolos Litólicos	29	1,17	0,78	1,76	1,18
Planossolos	21	1,30	1,16	1,44	1,29
Neossolos Quartzarênicos	13	1,39	1,25	1,53	1,39
Plintossolos	110	1,29	0,65	1,86	1,30
Gleissolos	16	1,13	0,95	1,29	1,15
Plintossolos	40	1,27	0,78	1,70	1,24
Neossolos Regolíticos	10	1,15	1,06	1,26	1,16
Nitossolos	29	1,14	0,93	1,29	1,16
Vertissolos	4	1,57	1,35	1,74	1,59
Chernossolos	1	1,41	1,41	1,41	1,41
Organossolos	11	1,28	1,18	1,35	1,29
Total	1460	1,27	0,65	1,86	1,24

n: número de perfis de solos utilizados.

Para cada solo selecionado, os horizontes foram submetidos a regressões aplicadas em dois níveis: considerando todas as camadas de um mesmo tipo de solo e outra considerando além do solo, o tipo de horizonte (A ou B). As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados encontrados pelas regressões múltiplas aplicadas respectivamente a todos os horizontes de Latossolos, aos horizontes A e aos horizontes B da base de dados.

Tabela 6 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas a todos os horizontes de Latossolos da base de dados

Passo	Intercepto	Areia	C%	N%	Desvio Padrão	R ²
1	1,04 (0,01)	0,0037 (0,0002)			0,11	0,32
2	1,11 (0,01)	0,0032 (0,0002)	-0,055 (0,004)		0,09	0,48
3	1,10 (0,01)	0,0034 (0,0002)	-0,096 (0,007)	0,62 (0,10)	0,09	0,51
4	1,04 (0,02)	0,0039 (0,0002)	-0,103 (0,007)	0,63 (0,09)	0,09	0,52

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 7 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes A de Latossolos da base de dados

Passo	Intercepto	C%	Areia	N%	Desvio Padrão	R ²
1	1,33 (0,01)	-0,08 (0,007)			0,11	0,31
2	1,15 (0,02)	-0,062 (0,006)	0,0029 (0,0003)		0,10	0,46
3	1,10 (0,03)	-0,10 (0,01)	0,0032 (0,0003)	0,86 (0,20)	0,10	0,48

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 8 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes B de Latossolos da base de dados

Passo	Intercepto	Areia	C%	Silte	Desvio Padrão	R ²
1	1,04 (0,01)	0,004 (0,0002)			0,09	0,47
2	1,12 (0,01)	0,0034 (0,0002)	-0,09 (0,01)		0,08	0,57
3	1,05 (0,02)	0,0041 (0,0003)	-0,10 (0,01)	0,003 (0,0006)	0,08	0,59

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Da mesma forma que as demais equações apresentadas anteriormente, os atributos que mais demonstraram interferência na densidade do solo foram os relacionados a granulometria (areia e silte) e aqueles relacionados a matéria orgânica do solo (C e N). Tais resultados diferem dos encontrados por Heuscher et al. (2005), onde não foram encontradas relações entre o teor de

C dos solos com suas densidades para os Oxisols, classe a qual pertencem os Latossolos na classificação americana. No entanto, os dados do presente estudo são coerentes com os encontrados por Bernoux et al. (1998a) e Benites et al. (2007).

Uma comparação entre as estimativas de densidade obtidas utilizando as equações desenvolvidas pode ser observada através da Figura 8.

Figura 8 – Dados observados versus estimados através de diferentes equações de pedotransferência para os Latossolos

Pela Figura 8 é possível notar que ocorre melhoria nas estimativas de densidade quando se utiliza a equação específica para os Latossolos ($RMSE=0,30$; $R^2=0,58$) em comparação a equação geral ($RMSE=0,29$; $R^2=0,52$). As equações desenvolvidas separando os horizontes, demonstraram que os resultados foram semelhantes entre os horizontes A ($RMSE=0,28$; $R^2=0,59$) e B ($RMSE=0,27$; $R^2=0,58$), e se assemelham também aos obtidos pela equação onde todos os horizontes de Latossolos foram considerados.

Para os Cambissolos, os resultados das regressões (Tabelas 9, 10 e 11) demonstraram que para os horizontes A, o N foi responsável por 68% da variação encontrada. O mesmo atributo foi o mais interferente nas densidades dos horizontes B de Cambissolos, explicando 43% da variação na densidade do solo. A avaliação individual dos horizontes B não resultou em melhores equações para estimativas de densidade quando comparadas à equação específica para todos os horizontes de Cambissolos. Demonstrou, entretanto, a interferência da argila, fato não observado nas demais avaliações realizadas para os Cambissolos.

As equações desenvolvidas especificamente para os Cambissolos e a equação geral usada para todos os horizontes (eq. 3), foram utilizadas para estimar as densidades dos solos e comparadas da mesma forma como foi feita para os Latossolos. Os resultados das estimativas obtidas para os diferentes horizontes encontram-se na Figura 9.

Tabela 9 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes de Cambissolos da base de dados

Passo	Intercepto	C%	Areia	Desvio Padrão	R²
1	1,29 (0,01)	-0,055 (0,006)		0,07	0,44
2	1,16 (0,02)	-0,052 (0,005)	0,018 (0,003)	0,06	0,55

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 10 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes A de Cambissolos da base de dados

Passo	Intercepto	N%	Areia	Desvio Padrão	R²
1	1,39 (0,02)	-1,3 (0,1)		0,07	0,68
2	1,32 (0,03)	-1,2 (0,01)	-0,0014 (0,0006)	0,06	0,71

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 11 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes B de Cambissolos da base de dados

Passo	Intercepto	N%	Argila	Desvio Padrão	R ²
1	1,33 (0,02)	-1,4 (0,2)		0,06	0,43
2	1,39 (0,03)	-1,4 (0,2)	-0,0019 (0,0007)	0,05	0,48

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Figura 9 – Dados observados versus estimados obtidos através de diferentes equações de pedotransferência para os Cambissolos

Avaliando os valores de R^2 , é possível notar que a estimativa específica para este tipo de solo proporcionou ligeiro aumento quando comparada à equação geral. O RMSE também diminuiu quando comparadas as equações específica (RMSE=0,25) e geral (eq. 3) (RMSE=0,29).

A avaliação por horizontes indicou melhoria apenas quando considerados os Cambissolos com horizontes B ($R^2=0,52$; $RMSE=0,22$), no entanto, assemelharam-se muito aos resultados obtidos com a equação para todos os horizontes de Cambissolos. Para os horizontes A, a estimativa das densidades apresentou menor R^2 (0,44) e maior $RMSE$ (0,30) do que a equação geral, usada para todos os tipos de solo (eq. 3).

Para os Argissolos, as regressões aplicadas apresentaram resultados satisfatórios quando considerado todos os horizontes, bem como para os Argissolos horizonte B (Tabelas 12, 13 e 14).

Tabela 12 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes de Argissolos da base de dados

Passo	Intercepto	Areia	C%	Desvio Padrão	R^2
1	1,11 (0,02)	0,0035 (0,0004)		0,09	0,32
2	1,16 (0,02)	0,0034 (0,0004)	-0,086 (0,011)	0,07	0,5

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 13 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes A de Argissolos da base de dados

Passo	Intercepto	C%	Argila	Desvio Padrão	R^2
1	1,29 (0,02)	-0,074 (0,014)		0,11	0,17
2	1,37 (0,02)	-0,061 (0,014)	-0,0035 (0,0009)	0,10	0,25

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

Tabela 14 – Resultado das regressões múltiplas lineares aplicadas aos horizontes B de Argissolos da base de dados

Passo	Intercepto	Argila	Desvio Padrão	R^2
1	1,45 (0,02)	-0,0066 (0,0005)	0,10	0,47

Valores entre parêntesis representam o desvio padrão de cada um dos valores apresentados. Para todos os atributos foi utilizado um nível de significância de 0,01.

A Tabela 12 demonstra que o C e a argila foram responsáveis por 50% da variação considerando todos os horizontes, e que somente a argila respondeu por 47% da variação nos horizontes B dos Argissolos (Tabela 14). Para os horizontes A (Tabela 13), as análises de regressão indicaram que o C e a argila respondem por 25% da variação encontrada, valor baixo considerando todos os apresentados até o presente momento. A avaliação das estimativas de densidade originadas pelas equações desenvolvidas é apresentada na Figura 10.

Verificou-se que as utilizações das equações específicas para estimar as densidades dos Argissolos apresentaram resultados menos precisos do que a equação geral (eq. 3), utilizável para todos os solos e horizontes (Figura 10). A melhor estimativa de densidade obtida com as equações específicas foi para os horizontes B dos Argissolos ($R^2=0,43$; $RMSE=0,30$). A equação para todos os horizontes ($R^2=0,32$; $RMSE=0,23$) e para os horizontes A ($R^2=0,32$; $RMSE=0,25$) apresentaram-se insatisfatórias, uma vez que não melhoraram as estimativas comparadas à equação geral (eq. 3). O possível motivo para estas estimativas não apresentarem resultados satisfatórios como os encontrados para os demais solos deve-se ao fato de que dos 343 horizontes observados de Argissolos, 18% deles não possuíam informações do atributo C, necessário tanto na equação que considera todos os horizontes de Argissolos como apenas para os horizontes A.

Figura 10 – Dados observados versus estimativos obtidos através de diferentes equações de pedotransferência para os Argissolos

Esta observação demonstra a importância em se valorizar os resultados analíticos de atributos presentes em levantamentos de solos, uma vez as estimativas podem melhorar com maior quantidade de informações disponíveis.

Considerando as diversas equações desenvolvidas e descritas, as estimativas de densidade proporcionaram resultados satisfatórios, apresentando-se coerentes com os observados na literatura.

2.3.2.2 Aplicação das Árvores classificatórias de regressão

A segunda abordagem selecionada para estimar as densidades dos solos para informações faltantes da base de dados foram as árvores classificatórias de regressão (CART).

Diferentemente das regressões múltiplas apresentadas anteriormente, os resultados das árvores classificatórias de regressão apresentam-se em forma gráfica. A árvore foi gerada com o auxílio do programa R e o resultado pode ser observado pela Figura 11.

Figura 11 – Árvore de regressão resultada para estimativa da densidade do solo com a utilização da metodologia CART

Grupo 1: Alto Xingu, Bacia Paraná, Chapada dos Parecis, Norte do Mato Grosso, Norte de Rondônia e Rondônia Central. **Grupo 2:** Depressão Araguaia, Depressão Cuiabá-Paranatinga, Depressão Guaporé, Nordeste do Mato Grosso e Pantanal. **Grupo A:** Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos e Planossolos. **Grupo B:** Neossolo Quartzarênico, Plintossolos, Solos Concrecionários e Vertissolos. **Da:** densidade aparente g cm^{-3} .

A Figura 11 ressalta que dos oito atributos selecionados como interferentes na densidade do solo, a areia é o componente principal. Este resultado é semelhante ao encontrado pelas regressões múltiplas lineares para as equações gerais de estimativa da densidade do solo.

No segundo nível de interferência, encontram-se os fatores ecorregiões e o atributo H + Al. Nota-se que as ecorregiões são interferentes somente para as camadas de solo que apresentam teores de areia menores do que 60,7% (“split”), enquanto o atributo H+Al é interferente para as camadas com teores maiores que o “split”.

Outro fator interessante é a interferência de parâmetros qualitativos na densidade do solo, neste caso representado pelas ecorregiões e pelo tipo de solo. A divisão em dois grupos distintos, onde as densidades do solo estimadas variaram de 1,035 a 1,212 e entre 1,256 a 1,614 (grupos 1 e 2, respectivamente) demonstraram que as ecorregiões mais ao norte dos estados apresentam solos com menores densidades do que as ecorregiões situadas ao sul para as camadas de solo com menos do que 60,7% de areia.

O nome do solo se mostrou determinante na estimativa das densidades faltantes para as camadas de solo com teores de areia maiores do que 60,7%, dividindo-os em dois grupos: o primeiro formado por solos que apresentaram menores densidades: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos e Planossolos, e o segundo grupo formado pelos Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos, Vertissolos e Solos Concrecionários, solos com maior densidade, conforme foi demonstrado na Tabela 5.

Outra observação que pôde ser notada foi a repetição de um mesmo atributo como ponto de separação da árvore, como ocorreu com o atributo areia. Este fator ocorre porque a metodologia avalia de forma independente os atributos interferentes num grupo de dados; ou seja, para cada conjunto homogêneo de dados formado, todos os demais atributos interferentes na densidade do solo são levados em consideração, e o mais interferente dos avaliados forma a próxima folha da árvore de regressão.

O grupo de perfis de solos que apresentaram $\text{NaHCl} > 0,08$, pertencentes do grupo 2 das ecorregiões e com teores de areia menor do que 60,7% puderam ser divididos em outros dois grupos mais uma vez pelo atributo areia, já que este foi o atributo mais interferente na densidade dos solos daquele conjunto de dados.

Como já foi descrito anteriormente, a metodologia utilizada apresenta algumas facilidades principalmente na forma de interpretação dos resultados. Entretanto, existem formas para refinar

as estimativas obtidas com as árvores de regressão. Uma maneira indicada para esta finalidade é constituir uma “floresta de árvores”, ou seja, aplicar repetitivamente o modelo de árvores de regressão por um número determinado de vezes. A diferença encontrada entre os valores observados e os valores estimados gerados por uma árvore de regressão e por uma floresta de regressão (1000 árvores de regressão) é apresentada na Figura 12.

Figura 12 – Valores observados versus estimados pela metodologia CART para uma árvore (A) e a para uma floresta de regressão (B)

Pode-se observar que a repetição da árvore permitiu uma melhor relação entre dados observados e dados estimados, uma vez que o RMSE praticamente continuou o mesmo (0,29 em B e 0,30 em A). O R^2 , porém, aumentou de 57% para praticamente 68%, e estes valores, quando comparados aos obtidos por meio das regressões múltiplas lineares, indicaram que a metodologia CART apresentou resultados melhores nas estimativas de densidades do que as estimativas gerais (Figura 7). A única estimativa gerada pelas equações lineares múltiplas que foi tão boa quanto a encontrada pela metodologia CART foi aquelas obtida para os Latossolos, onde o RMSE variou de 0,28 a 0,30 e o R^2 situou por volta de 0,58.

Os resultados aqui obtidos demonstram que esta metodologia pode ser uma ferramenta útil em estudos ambientais. Entretanto, vê-se a necessidade de mais estudos, uma vez que se trata de uma metodologia recente e ainda são poucos os trabalhos que a consideram em estudos relacionados a ciência do solo.

Pelo fato desta metodologia utilizar parâmetros qualitativos em suas estimativas, o que dificulta entender as influências dos atributos pedológicos na densidade do solo, as equações utilizadas para os cálculos dos estoques de carbono foram as melhores geradas pelas regressões múltiplas lineares, ou seja, as equações específicas para os Latossolos e Cambissolos (sem considerar horizontes) e para os demais solos a equação geral (eq. 3).

2.3.2 Ajuste vertical da profundidade dos solos para cálculos dos estoques de C

A modelagem vertical realizada para ajustar os teores de C em profundidade pôde ser efetuada para 3484 perfis dos 5201 existentes na base de dados, uma vez que a metodologia necessita de ao menos três camadas de solos para gerar os valores iniciais (C1) e finais (C2) utilizados na equação de Arrouays e Pélissier (1994), eq. (1). A Figura 13 demonstra que a distribuição dos perfis de solos que tiveram suas camadas corrigidas mantiveram-se semelhante a distribuição original, com os 5201 perfis de solos (Figura 3). Outro fator que deve ser mencionado é que apesar da diminuição na quantidade de dados selecionados, todas as ecorregiões foram contempladas com perfis de solos, fator importante nas estimativas de estoques de C que serão abordados em seguida.

Figura 13 – Distribuição dos perfis de solo ajustados nas ecorregiões

2.3.4 Cálculo dos estoques de carbono e estimativas para a região sudoeste da Amazônia

Estimativa geral dos estoques de C

A partir do ajuste de profundidade dos teores de C dos perfis de solos selecionados, os estoques de C foram calculados para as profundidades de 10, 30, 50 e 100 cm, sendo realizada em dois níveis de detalhamento: (i) estimativa geral para todos os solos e (ii) específica para cada ecorregião.

A estimativa geral levou em consideração todos os perfis de solo selecionados da base de dados, separando-os em função da classificação dos perfis de solos de acordo com a nomenclatura proposta pela EMBRAPA (2006). A partir do agrupamento dos perfis, as médias de estoques de C para cada tipo de solo foram calculadas (Tabela 15) e as estimativas de estoques de C para a região sudoeste da Amazônia foram realizadas multiplicando os estoques médios encontrados pela área total de solos em ambos os Estados.

Tabela 15 - Estoques de C nos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso considerando todos os perfis de solo

Solos	Área (km ²)	n	Estoques de Carbono (kg m ⁻²)							
			0 - 10 cm		0 - 30 cm		0 - 50 cm		0 - 100 cm	
			X	CV (%)	X	CV (%)	X	CV (%)	X	CV (%)
Argissolos	224416.7	748	2.4	80.4	4.9	61.0	6.4	54.9	8.6	48.8
Cambissolos	70702.8	350	2.2	114.4	4.7	66.1	6.3	58.3	8.6	54.0
Chernossolos	699.3	24	3.7	60.7	7.6	54.1	9.6	52.3	11.8	50.2
Gleissolos	52386.9	118	3.1	59.2	6.7	53.7	8.6	52.5	11.3	52.3
Latossolos	466314.0	1630	2.1	63.9	4.8	44.4	6.6	40.9	9.4	39.9
Neossolos	189215.3	304	2.2	71.0	4.7	59.9	6.3	55.6	8.7	53.0
Nitossolos	1176.1	25	2.6	50.9	5.3	51.2	6.9	50.6	9.5	47.9
Organossolos	3780.7	3	6.9	134.9	15.7	132.5	20.5	129.7	25.2	121.3
Planossolos	27225.1	26	2.4	62.2	5.1	54.2	6.7	49.3	9.1	41.9
Plintossolos	91967.3	254	2.8	81.7	5.7	63.8	7.5	59.3	9.9	54.1
Vertissolos	366.7	2	2.2	51.5	5.2	55.1	7.4	58.1	10.6	56.2

n: número de perfis de solos; X: representa o valor médio dos dados; CV: coeficiente de variação.

Os resultados encontrados demonstraram que para os primeiros 30 cm de profundidade, existiam $5,7 \pm 0,7$ Pg ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$), estocados nos solos sob vegetação nativa antes da intervenção antrópica. Este valor ascende para $10,4 \pm 1,3$ Pg quando se considera a profundidade de 100 cm (Figura 14). Dentre as estimativas anteriores realizadas para a Amazônia, Moraes et al. (1995) encontraram estocados para os primeiros 100 cm de profundidade o total de 47 Pg de C. Os referidos autores realizaram as estimativas utilizando informações provenientes de 1162 perfis de solos do RADAM Brasil e um mapa de solos em escala 1:5 milhões. Considerando que a área da região sudoeste da Amazônia representa aproximadamente 25% da Amazônia Legal, os 10,4 Pg de C aqui encontrados se demonstram coerentes.

Outras estimativas considerando a escala regional já foram realizadas para estimativas dos estoques de C nos solos da Amazônia (BATJES; DIJKSHOORN; 1999; CERRI et al., 2000) e também para os solos de todo o Brasil (BERNOUX et al., 2002; BATJES, 2005). Cerri et al. (2000) observaram que 57% do total de C estocado a 100 cm de profundidade (41 Pg de C para 5 milhões de km²) encontravam-se nos primeiros 30 cm de solo, mesmo valor obtido neste trabalho e próximos dos 52% observados por Batjes e Dijkshoorn (1999).

Figura 14 – Estoques totais de carbono dos solos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores a intervenção antrópica

Estimativa dos estoques de C por Ecorregiões

O segundo nível de detalhamento para a realização das estimativas foi realizado com os mesmos perfis de solos utilizados para os cálculos das estimativas gerais. Para tanto, os perfis de solos foram agrupados em função de sua classificação e ecorregião a qual a amostra pertence. As médias dos estoques de C encontradas para cada solo em cada ecorregião foram utilizadas para a realização das estimativas totais de C nos solos sob vegetação nativa nos estados de Rondônia e Mato Grosso, anteriores a intervenção antrópica (Tabela 16). Entretanto, não foi possível estabelecer uma média específica para todos os tipos de solos encontrados nas ecorregiões, porque apesar da existência de tais solos, não foram encontrados perfis que pudessem ser utilizados como referência. As respectivas ecorregiões e os solos que não tiveram médias específicas calculadas foram: Bacia sedimentar do Paraná: Nitossolos; Chapada dos Parecis: Chernossolos e Organossolos; Depressão Cuiabá – Paranatinga e região serrana: Nitossolos, Organossolos e Vertissolos; Nordeste do Mato Grosso: Nitossolos; Pantanal: Cambissolos e

Rondônia Central: Cambissolos. Para estes solos foi utilizada a média geral dos estoques de C, já apresentada na Tabela 15.

Tabela 16 – Estoques de C nos solos de cada ecorregião dos Estados de Rondônia e Mato Grosso
(continua)

Tabela 16 – Estoques de C nos solos de cada ecorregião dos Estados de Rondônia e Mato Grosso
(continuação)

Classes de Solos	n	Área (km ²)	Estoques de Carbono (kg m ⁻²)							
			0 - 10 cm		0 - 30 cm		0 - 50 cm		0 - 100 cm	
			X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
			(%)		(%)		(%)		(%)	
Depressão Araguaia										
Argissolos	18	920,8	2,4	90,5	5,2	85,0	6,6	80,3	8,4	71,3
Cambissolos	3	4448,5	0,8	38,9	1,8	41,4	2,4	39,0	3,7	36,0
Gleissolos	2	6374,1	1,4	7,3	3,1	13,8	4,2	18,7	5,7	4,0
Latosolos	8	24247,4	3,2	69,1	6,1	63,8	7,4	60,2	9,6	56,1
Neossolos	2	8704,5	1,4	36,3	2,9	29,5	3,6	25,8	4,4	21,1
Plintossolos	3	26105,2	1,6	11,2	3,6	9,6	4,7	9,6	6,3	7,2
Depressão Cuiabá - Paranatinga e região serrana										
Argissolos	36	17081,0	2,3	70,6	5,0	61,7	6,6	56,3	9,2	49,4
Cambissolos	30	28528,5	1,8	86,6	3,8	80,2	5,1	75,7	7,0	66,0
Chernossolos	3	10,6	5,0	51,8	9,8	57,8	12,1	58,5	14,9	53,1
Gleissolos	10	212,7	3,9	68,1	7,1	55,0	8,6	47,8	10,8	41,7
Latosolos	50	21331,7	1,6	44,3	3,4	37,2	4,6	36,7	6,9	35,7
Neossolos	9	8033,2	1,6	47,9	3,9	38,9	5,4	34,2	7,6	31,6
Nitossolos	-	575,0	2,6	-	5,3	-	6,9	-	9,5	-
Organossolos	-	13,6	6,9	-	15,7	-	20,5	-	25,2	-
Planossolos	3	272,4	1,7	39,6	3,4	48,7	4,4	48,3	6,2	39,8
Plintossolos	12	8974,9	1,7	28,6	3,6	30,1	4,8	35,7	6,8	41,5
Vertissolo	-	2,0	2,2	-	5,2	-	7,4	-	10,6	-
Depressão Guaporé										
Argissolos	171	17119,9	2,6	63,0	5,6	57,2	7,3	53,9	9,8	49,0
Cambissolos	59	2861,1	2,1	45,5	4,8	42,2	6,5	40,6	9,0	35,9
Chernossolos	13	344,6	3,8	65,5	7,7	57,8	9,6	56,0	11,9	53,1
Espodossolos	1	-	6,3	-	8,6	-	9,5	-	11,8	-
Gleissolos	44	16695,9	3,4	52,2	7,4	50,2	9,7	50,2	12,6	50,0
Latosolos	334	38238,9	2,3	73,3	5,1	48,7	6,8	43,3	9,6	40,5
Luvissolos	1	-	0,6	-	1,5	-	2,3	-	3,8	-
Neossolos	56	13433,1	3,0	63,3	6,3	52,6	8,1	47,2	10,5	42,0
Nitossolos	4	152,9	2,4	53,4	4,5	33,4	5,5	25,5	7,2	20,7
Organossolos	1	1505,4	17,5	-	39,5	-	51,0	-	60,2	-
Planossolos	6	1868,7	2,3	103,7	5,1	91,4	6,7	80,6	9,4	66,4
Plintossolos	67	6099,3	3,6	82,4	7,5	72,2	9,6	68,1	12,3	62,0

Tabela 16 – Estoques de C nos solos de cada ecorregião dos Estados de Rondônia e Mato Grosso
(continuação)

Classes de Solos	n	Área (km ²)	Estoques de Carbono (kg m ⁻²)							
			0 - 10 cm		0 - 30 cm		0 - 50 cm		0 - 100 cm	
			X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Nordeste do Mato Grosso										
Argissolos	14	24247,5	2,7	55,1	5,1	38,7	6,4	33,9	8,7	31,4
Cambissolos	5	2390,0	2,0	47,9	4,5	43,6	5,9	40,9	7,7	37,3
Gleissolos	6	569,0	4,7	64,3	9,7	53,2	12,8	47,9	18,1	46,5
Latossolos	5	5245,1	3,4	11,9	7,2	15,1	9,1	19,2	12,0	26,2
Neossolos	1	5385,7	4,5	-	8,1	-	9,7	-	12,5	-
Nitossolos	-	132,6	2,6	-	5,3	-	6,9	-	9,5	-
Plintossolos	3	4232,5	3,6	79,4	6,9	73,3	8,1	68,7	9,4	60,6
Norte do Mato Grosso										
Argissolos	71	118800,7	2,7	72,0	5,4	53,6	6,9	45,6	9,3	39,1
Cambissolos	12	1984,1	2,5	51,0	5,6	52,5	7,5	51,8	10,2	47,3
Espodossolos	1	-	1,5	-	3,3	-	4,4	-	6,2	-
Gleissolos	3	956,1	2,6	56,5	6,3	62,9	8,6	67,2	11,2	70,5
Latossolos	27	37561,2	2,7	40,3	6,1	34,9	8,1	33,2	11,2	32,7
Neossolos	9	14519,2	2,7	31,4	5,9	37,5	7,8	40,9	10,4	40,4
Nitossolos	3	223,3	1,5	38,2	3,0	43,1	3,9	44,4	5,8	44,6
Planossolos	5	-	2,4	72,3	4,7	56,6	6,0	49,4	8,4	44,2
Plintossolos	9	11262,8	4,1	109,9	6,6	66,5	8,0	55,2	10,3	46,3
Norte de Rondônia										
Argissolos	93	20469,7	1,9	83,2	3,9	49,7	5,2	43,5	7,2	39,4
Cambissolos	48	1605,0	2,1	50,4	4,9	41,1	6,6	39,0	9,1	42,4
Espodossolos	2	-	0,7	14,0	1,8	36,3	2,7	51,3	4,5	65,2
Gleissolos	27	9300,8	2,9	53,7	6,4	50,3	8,3	50,6	11,0	52,2
Latossolos	387	45903,3	1,9	50,9	4,6	35,0	6,3	32,8	9,0	31,7
Neossolos	19	6078,4	1,6	71,2	3,4	61,6	4,5	55,8	6,3	48,5
Nitossolos	2	-	1,4	27,9	3,2	23,1	4,1	20,1	5,3	18,2
Planossolos	1	495,6	1,7	-	4,0	-	5,3	-	7,5	-
Plintossolos	54	5555,8	2,8	75,7	5,9	40,3	7,9	36,5	10,9	37,3

Tabela 16 – Estoques de C nos solos de cada ecorregião dos Estados de Rondônia e Mato Grosso (conclusão)

Classes de Solos	n	Área (km ²)	Estoques de Carbono (kg m ⁻²)							
			0 - 10 cm		0 - 30 cm		0 - 50 cm		0 - 100 cm	
			X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Pantanal										
Argissolos	21	1224,5	1,4	73,7	2,9	54,9	3,7	48,3	5,1	44,3
Cambissolos	-	40,8	2,2	-	4,7	-	6,3	-	8,6	-
Gleissolos	1	3197,9	4,0	-	6,9	-	7,7	-	8,9	-
Latossolos	11	612,8	2,4	46,4	4,4	39,0	5,3	35,7	6,8	35,3
Neossolos	22	2519,9	2,3	52,3	3,2	42,5	3,7	38,7	4,6	39,5
Planossolos	1	24555,2	2,6	-	5,9	-	7,8	-	10,7	-
Plintossolos	12	16785,0	1,6	76,8	2,9	62,5	3,7	53,5	5,1	45,2
Vertissolos	2	367,1	3,1	4,1	5,6	20,9	7,2	12,9	9,9	13,1
Rondônia Central										
Argissolos	264	10541,6	2,2	73,5	4,7	60,1	6,1	53,4	8,2	46,3
Cambissolos	143	14035,5	2,4	152,1	4,9	79,5	6,4	65,5	8,4	58,2
Chernossolos	8	165,7	2,9	51,0	6,5	44,2	8,5	43,9	10,5	45,8
Gleissolos	16	5289,0	2,0	39,1	4,4	36,3	5,7	37,1	7,5	36,8
Latossolos	484	28951,5	2,0	46,9	4,6	40,5	6,3	38,7	8,8	38,4
Neossolos	42	8085,5	2,0	98,6	4,1	80,8	5,4	70,3	7,2	60,4
Nitossolos	8	14,6	2,3	46,3	4,7	50,7	6,2	50,0	9,0	43,6
Organossolos	-	58,1	6,9	-	15,7	-	20,5	-	25,2	-
Planossolos	2	171,8	2,8	31,0	6,4	41,6	8,4	45,6	10,6	38,5
Plintossolos	64	2901,6	2,3	52,8	5,0	46,1	6,7	45,7	8,8	44,9

n: número de perfis; CV: coeficiente de variação; X: média; - informação ausente.

O resultado encontrado considerando as ecorregiões foi o mesmo obtido através das estimativas gerais para os primeiros 30 cm de profundidade (5,7 Pg de C). Um incremento de apenas 2% pôde ser notado quando se considerou os 100 cm de profundidade, aumentando de 10,4 Pg para 10,6 Pg de C estocados nos solos. A média dos estoques de C encontradas nos solos das ecorregiões para a profundidade 0 – 100 cm é apresentada na Figura 15, e a participação de cada ecorregião no total de C estocado para as profundidades 0 – 30 e 0 – 100 cm apresentam-se na Figura 16.

Considerando a diferença de áreas entre a região sudoeste e toda a Amazônia Legal, os resultados obtidos em ambas as estimativas de estoques de C se assemelham aos encontrados por

Batjes et al. (2005), que utilizando uma base de dados de solos para o Brasil em escala 1: 5 milhões (BATJES, 2004), estimaram um total entre 23,9 – 24,2 Pg de C estocados na camada 0 – 30 cm, e 42,3 – 43,8 Pg para os primeiros 100 cm de solos,

A diferença entre estoques de C de um mesmo grupo de solos foi notada em relação às ecorregiões. Os principais grupos de solos existentes nos Estados de Rondônia e Mato Grosso são os grupos dos Latossolos, Argissolos e Neossolos, com respectivamente 40%, 20% e 15% da área total. Este último grupo foi o que apresentou as maiores diferenciações nos estoques de C considerando as camadas 0 – 30 e 0 – 100 cm, variando de 2,4 a 8,1 kg C m⁻² para a camada 0 – 30 cm entre as ecorregiões Bacia Sedimentar do Paraná e Nordeste do Mato Grosso e entre 4,4 a 12,5 kg C m⁻² para a camada 0 – 100 cm entre as ecorregiões Depressão do Araguaia e Nordeste do Mato Grosso (Tabela 16). Os Argissolos apresentaram variações nos estoques de C entre as ecorregiões do Pantanal e Bacia Sedimentar do Paraná, com os menores e maiores estoques de C respectivamente. Para a camada 0-30 cm, a variação encontrada foi de 2,9 a 6,4 kg C m⁻² e para a camada de 0 – 100 cm foi de 5,1 a 10,2 kg C m⁻².

Figura 15 – Estoques médios de C, em kg m⁻², para a camada 0 – 100 cm nas ecorregiões

Figura 16 – Distribuição relativa (porcentagem) dos estoques de C dos solos de Rondônia e Mato Grosso entre as ecorregiões para as profundidades de 0 – 30 (A) e 0 – 100 cm (B)

Estas variações se assemelham aquelas encontradas para a profundidade 0 – 100 cm por Bernoux et al. (2001) para Neossolos, entre 6 e 10,3 kg C m⁻², e as observadas por Moraes et al. (1995) para os Argissolos, que variaram entre 7,6 e 9,5 kg C m⁻² considerando os grades grupos de solos. Estes resultados indicam que apesar da variação encontrada, os valores apresentaram-se coerentes aos encontrados na literatura.

As variações entre os Latossolos indicaram que os menores estoques de C estão situados nas ecorregiões Depressão Cuiabá – Paranatinga para os primeiros 30 cm e no Pantanal para a profundidade até 100 cm. Os maiores estoques encontrados para ambas as profundidades foram os situados na ecorregião Nordeste do Mato Grosso. A variação encontrada para os Latossolos foi de 3,4 a 7,2 kg C m⁻² para a camada 0 – 30 e de 6,8 a 12 kg C m⁻² para a camada 0 – 100 cm. Estes valores situam-se entre a média encontrada para a classe dos Ferralsols (semelhantes ao Latossolo Amarelo) por Batjes et al. (2005), que foi de 5,2 kg C m⁻² e 9,6 kg C m⁻² para as camadas 0 – 30 e 0 – 100 cm respectivamente.

Essas diferenças entre os estoques de C aqui apresentadas não variam em função da quantidade de amostras utilizadas para encontrar as médias. Este fato pode ser comprovado comparando os valores observados por Batjes et al. (2005) para os Ferralsols da Amazônia para as camadas 0-30 cm e 0 – 100 com os encontrados para os Latossolos neste trabalho que foram de 4,8 kg C m⁻² e 9,4 kg C m⁻². Os referidos autores obtiveram este resultado com um número de observações de 114 perfis de solos, enquanto o estoque médio de C obtido para os Latossolos neste trabalho foi produto da média dos estoques de C de 1630 perfis de Latossolos.

Bernoux et al. (2002), avaliando os estoques de C para todo o Brasil, sugeriram que as incertezas em suas estimativas de estoques de C sejam derivadas de uma soma de fatores que também se aplicam a este trabalho: (i) diferentes fontes provedoras de informação; (ii) regressões utilizadas para estimar as densidade dos solos (necessária para os cálculos dos estoques) e (iii) metodologias utilizadas pelos laboratórios para encontrar os teores de C, que são variáveis. As análises de incerteza, não foram efetuadas para este trabalho. Este tipo de avaliação poderia indicar a propagação de erros associados às estimativas dos estoques de C dos solos e conseqüentemente, promover maior credibilidade dos resultados obtidos.

Mapa dos estoques de C nos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores a intervenção antrópica

A partir dos estoques médios encontrados para os principais grupos de solos da região sudoeste da Amazônia, foi possível realizar a espacialização dos estoques de C para toda a área de estudo. Esta espacialização foi realizada em três etapas: (i) extração das áreas de solos existentes no mapa de solos em escala 1:250.000 em formato *shapefile* para os Estados de Rondônia e Mato Grosso (ii) cálculo das áreas dos solos presentes em cada polígono dos mapas em formato *shapefile* e (iii) cálculo dos estoques de C para cada polígono do mapa de solos.

A primeira etapa foi realizada com o auxílio de um SIG, onde as áreas extraídas dos polígonos foram marcadas com um código individual. As proporções de solos existentes nos polígonos dos mapas de solos (informação presente na base de dados georreferenciados) foram utilizadas para os cálculos das áreas referentes aos solos que compõe os polígonos dos arquivos *shapefile*; efetuada individualmente para cada um dos aproximadamente 16000 polígonos que formam os mapas de solos de Rondônia e Mato Grosso.

Determinadas as áreas dos solos que compõe cada polígono do arquivo *shapefile*, os estoques de carbono foram calculados considerando as estimativas gerais para cada grande grupo de solo. Os resultados expressos em quilograma de C por metro quadrado foram calculados para as profundidades de 0 - 30 cm e 0 - 100 cm e são apresentados na Figura 17.

Os estoques de C dos solos apresentados na Figura 17 indicaram uma variação baixa entre os estoques de C nos primeiros 30 cm de profundidade. É possível observar que grandes extensões de solos em ambos os Estados estão situadas entre as classes 3 a 5 kg C m⁻². Nota-se ainda, que os maiores estoques de C nos primeiros 30 cm de profundidade situam nas regiões onde prevalecem altos índices de umidade, como a região do Pantanal, a região margeada pelo rio Araguaia no Mato Grosso e a região onde se encontra o rio Madeira, ao norte do estado de Rondônia, onde existe a predominância de Organossolos, Planossolos e os Plintossolos.

Figura 17 – Mapas dos estoques de C para os estados de Rondônia e Mato Grosso para as camadas 0 – 30 cm (A); e 0 – 100 cm (B)

Considerando a profundidade de 0 – 100 cm, foi possível notar que para o Estado do Mato Grosso predominam solos com estoques de C entre 6 e 8 kg C m⁻². Para Rondônia ocorre maior predominância de solos com estoques de C entre 8,5 e 12 kg C m⁻². Estes resultados demonstram-se coerentes com os estoques médios encontrados na literatura para a região amazônica (MORAES et al., 1995, BATJES; DIJKSHOORN; 1999; BERNOUX et al., 2001; BATJES, 2005). Entretanto a representação gráfica difere sucintamente da apresentada por Moraes et al. (1995). Este fator pode ser justificado pela quantidade de polígonos existentes no mapa apresentado por Moraes et al. (1995) onde existiam 1449 polígonos que abrangiam toda a Amazônia legal. Para a representação gráfica dos Estoques de C da região sudoeste da Amazônia (cerca de 25% da área da Amazônia legal) os mapas de solo em escala 1:250.000 possuíam cerca de 16000 polígonos representados nos mapas de solos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa apresenta os estoques de carbono do solo dos Estados de Rondônia e Mato Grosso, estimados a partir de uma constituição de uma base de dados georreferenciados, com as informações oriundas de diferentes fontes, tais como o RADAM BRASIL, Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso (ZSEE-MT) e o Levantamento de Solos e Terrenos do Estado de Rondônia, produto do Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Rondônia (ZSEE-RO). A combinação dessas informações e a aplicação de técnicas de geoprocessamento possibilitaram a reunião de 5201 perfis de solo, sendo que 3484 foram efetivamente utilizados para as estimativas dos estoques de carbono no sudoeste da Amazônia.

As 11 ecorregiões que compõem esses dois Estados apresentam estoques de carbono diferenciados. Considerando o primeiro metro do solo, os estoques de carbono mais elevados (aproximadamente 15 kg C m^{-2}) foram encontrados para a região da Depressão do Guaporé e os estoques mais baixos (cerca de 7 kg C m^{-2}) estão localizadas na Depressão do Araguaia.

As estimativas totais para os aproximadamente $1.128.000 \text{ km}^2$ que compõem os solos das 11 ecorregiões dos Estados de Rondônia e Mato Grosso apontam valores de $5,7 \pm 0,7 \text{ Pg C}$ e $10,4 \pm 1,3 \text{ Pg C}$, respectivamente para as camadas 0-30 cm e 0-100 cm.

Considerando apenas a camada 0-100 cm pode-se inferir que o total de $10,4 \text{ Pg C}$ representa 0,7% do total de carbono estocado nos solos do globo, estimados em 1576 Pg C apresentados na literatura. Esse valor é expressivo porque estão concentrados em uma área de 1,12 milhões de km^2 , ou seja, 0,008% da superfície total (cerca de 135,21 milhões de km^2) dos solos do mundo.

As informações geradas na presente pesquisa são fundamentais para o projeto temático mencionado anteriormente, que trata das emissões de CO_2 para atmosfera, geradas a partir da decomposição da matéria orgânica devido ao desmatamento e uso agrícola do solo nos Estados de Rondônia e Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

- ARROUAYS, D.; PÉLISSIER, P. Modeling carbon storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. **Soil Science**, New Brunswick, v. 157, p. 185-192, 1994.
- BATJES, N.H. Organic carbon stocks in the soils of Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 21, p. 22-24, 2005.
- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region, **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, p. 273–286, 1999.
- BATJES, N.H.; SOMBROEK, W.G. Possibilities for C sequestration in tropical and subtropical soils. **Global Change Biology**, Oxford, v. 3, p. 161-173, 1997.
- BATJES, N.H.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P. **Soil data derived from SOTER for studies of carbon stocks and change in Brazil** (ver. 1.0; GEFSOC Project). Wageningen: ISRIC, World Soil Information, 2004. (Report 2004/2003).
- BENITES, V.; MACHADO, P.O.L.A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R.; MADARI, B.E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.139, p. 90-97, 2007.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the western Brazilian Amazon. **Soil Science**, New Brunswick, v. 163, p. 941-951, 1998b.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks, **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888–896. 2002.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties, **Soil Science of Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 743–749, 1998a.
- BERNOUX, M.; GRAÇA, P.M.A.; FEARNSIDE, P.M.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.; PICCOLO, M.C. Carbon storage in biomass and soils. In: MCCLAIN, M (Ed.). **The biogeochemistry of the Amazon Basin and its role in a changing world**. Oxford: Oxford University Press, 2001. p. 165-184.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comunicação Nacional. **Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília: Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. 2004. 74 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SB.21 Tapajós**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. (Levantamento de Recursos Naturais, 7).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SC.19 Rio Branco**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. (Levantamento de Recursos Naturais, 12).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **Radam. Folha SC.20 Porto Velho:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977. (Levantamento de Recursos Naturais, 16).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **Radam. Folha SD.20 Guaporé:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1979. (Levantamento de Recursos Naturais, 19).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SC.21 Juruema:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1980. (Levantamento de Recursos Naturais, 20).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **Radam. Folha SC.22 Tocantins:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981a. (Levantamento de Recursos Naturais, 22).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SD.22 Goiás:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981b. (Levantamento de Recursos Naturais, 25).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **Radam. Folha SD.21 Cuiabá:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982a. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SE.21 Corumbá e parte da folha SE.20:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982b. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SE.22 Goiânia:** geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 31).

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN, R. A.; STONE, C. G. **Classification and Regression Trees (CART)**. Belmont: Wadsworth International Group, 1984.

CERRI C.C.; BERNOUX M.; CERRI C.E.P.; PAUSTIAN K. Impact of climate change on soil organic matter status in cattle pasture in Western Brazilian Amazon. In: LAL R.; UPHOFF N.; STEWART B.A.; HANSEN D.O. (Ed). Climate change and global food security. **Books in Soils, Plants, and the Environment**, v. 109. p. 223-240. 2005.

CERRI, C.C.; BERNOUX M.; ARROUAYS D.; FEIGL B.J.; PICCOLO M.C. Carbon stocks in soils of the Brazilian Amazon. In: LAL,R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R.; STEWART, B.A. (Ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p .33-50. (Advances in Soil Science).

CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D.; BATJES, N.H.; MILNE, E.; CERRI, C.C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 58-72, 2007.

COOPER, M.; MENDES, L. M. S.; SILVA, W. L. C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 649-652, 2005.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, London, v. 408, p. 184-187, 2000.

DE'ATH, G.; FABRICIUS, K.E. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. **Ecology**, Amsterdam, v.81, p. 3178-3192, 2000.

DEJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazônia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p. 365-373, 2004.

DEMSAR, D.; DZEROSKI, S.; LARSEN, T.; STRUYF, J.; AXELSEN, J.; PEDERSEN, M.B.; KROGH, P.H. Using multi-objective classification to model communities of soil microarthropods. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.191, p. 131-143, 2006.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Coord.). **Dynamics of soil matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p. 33-67.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos** 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 2006. 412 p.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L. de; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, p. 104-113, 2001.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Software**. Washington, 1999.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P.; KIMBLE, J. Global soil carbon resources. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil and global change**. Boca Raton: CRC Lewis Publ., 1995. p. 27-43.

FAO. **Global and national soils and terrain digital databases (SOTER)**: procedures manual. Rome: FAO; UNEP; ISSS; ISRIC, 1995. 122 p. (World Soil Resources Report, 74).

FAO. **Soil and terrain database for Latin America and the Caribbean at 1:5 million scale**. Rome: FAO; ISRIC; UNEP; CIP, 1998. (Land and Water Digital Media Series, 5).

FEARNSIDE, P.M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decompositions and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climate Change**, Cambridge, v. 46, p. 115-158, 2000.

FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 147-166, 1998.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.; DAILY, G.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.; KUCHARIK, C.; MONFREDA, C.; PATZ, J.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, Washington, v. 309, p. 570-574, 2005.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, p. 367-385, 1994.

HANSEN, J.; NAZARENKO, L.; RUEDY, R.; SATO, M.; WILLIS, J.; DEL GENIO, A.; KOCH, D.; LACIS, A.; LO, K.; MENON, S.; NOVAKOV, T.; PERLWITZ, J.; RUSSELL, J.; SCHMIDT, G.A.; TAUSNEV, N. Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications. **Science**, Washington, v.308, p. 1431-1435, 2005.

HAUSER, S.; GANG, E.; NORRGROVE, L.; BIRANG, M.A. Decomposition of plant material as an indicator of ecosystem disturbance in tropical land use systems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 129, p. 99-108, 2005.

HEUSCHER, S.A.; BRANDT, C.C.; JARDINE, P.M. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 51-56, 2005.

HOLMES, K.W.; CHADWICK, O.A.; KYRIAKIDIS, P.C.; SILVA DE FILHO, E.P.; SOARES, J.V.; ROBERTS, D.A. Large-area spatially explicit estimates of tropical soil carbon stocks and response to land-cover change. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 20, p. 1-12, 2006.

HOUGHTON, R.A. Why are estimates of the terrestrial C balance so different? **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, p. 500-509, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1992. 92 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 1).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2001: the scientific basis. In: HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (Ed.). **Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2003. 295 p.

- KERR R.A. How hot will the greenhouse world be? **Science**, Washington, v. 309, p. 100, 2005.
- KNORR, W.; PRENTICE, I.; HOLLAND, E. Long-term sensitivity of SOC turnover to warming. **Nature**, London, v. 433, p. 298-301, 2005.
- KULMATISKI, A.; VOGT, D.J.; SICCAMA, T.G.; TILLEY, J.P.; KOLESINSKAS, K.; WICKWIRE, T.W.; LARSON, B.C. Landscape determinants of soil carbon and nitrogen storage in Southern New England. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 2014-2022, 2004.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, p. 151-184, 2003.
- MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 70, p. 63-81, 1996.
- MORAES, J.F.L.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D.; STEUDLER, P.A. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 244-247, 1995.
- MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; MCMURTRIE, R. E.; MCGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, p. 105-123, 2002.
- NEILL, C.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.; FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; MORAES, J.; PICCOLO, M.C. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia. In: LAL R.; KIMBLE J.; FOLLETT R.; STEWART B. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 9-28.
- OGLE, S.M.; BREIDT, J.F.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Environmental Management**, New York, v. 33, p. 474-484, 2004.
- PACHEPSKY, Y.A.; RAWLS, W.J. Soil structure and pedotransfer functions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 443-451, 2003.
- PACHEPSKY, Y.A.; RAWLS, W.J.; LIN, H.S. Hydropedology and pedotransfer functions. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, 308-316, 2006.
- POLWSON, D.S. Will soil amplify climate change? **Nature**, London, v. 433, p. 204-205, 2005.
- RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. **Database management systems** .3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1065 p.
- RODRIGUES, E.F.G. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.

SCHIMEL D.S. Terrestrial ecosystem and the carbon cycle. **Global Change Biology**, Amsterdam, v. 1, p. 77-91, 1995.

SCHUMAN G.E.; JANZEN H.H.; HERRICK J.E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.116, p. 391-396, 2002.

SHRODER, W. GIS, geostatistics, metadata banking, and tree-based models for data analysis and mapping in environmental monitoring and epidemiology. **International Journal of Medical Microbiology**, Amsterdam, v. 296, p. 23–36, 2006.

SIX, J.; OGLE, S.M.; BREIDT, F.; CONANT, R.; MOSIER, A.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 155-160, 2004.

WANG, H.; CORNELL, J.; HALL, C.A.S.; MARLEY, D.P. Spatial and seasonal dynamics of surface soil carbon in the Luquillo Experimental. **Forest Ecology and Modelling**, Amsterdam, v. 147, p. 105-122, 2002.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 67, p. 321-355, 1992.

WARDLE, D.A.; PARKINSON, N.D. Interactions between microbial variables and the soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 9, p. 272-280, 1990.

ZONEAMENTO SÓCIO ECONÔMICO ECOLÓGICO DO ESTADO DO MATO GROSSO. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br>>. Acesso em: 14 maio 2007.

ZONEAMENTO SÓCIO ECONÔMICO ECOLÓGICO DO ESTADO DE RONDÔNIA. Disponível em: <<http://www.seplan.ro.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2007.

ANEXOS

Anexo A – Nomenclaturas originais e finais dos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso
(continua)

Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
Afloramentos de Rochas	Afloramentos de Rochas
Areias Quartzosas distróficas	Neossolo Quartzarênico
Areias Quartzosas hidromórficas	Neossolo Quartzarênico
Brunizém Avermelhado	Chernossolos
Cambissolo distrófico	Cambissolo
Cambissolo eutrófico	Cambissolo
Hidromórfico cinzento	Gleissolos
Latossolo Amarelo distrófico	Latossolo Amarelo
Latossolo Amarelo eutrófico	Latossolo Amarelo
Latossolo Roxo distrófico	Latossolo Vermelho
Latossolo Roxo eutrófico	Latossolo Vermelho
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico	Latossolo Vermelho Amarelo
Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico	Latossolo Vermelho Amarelo
Latossolo Vermelho Escuro distrófico	Latossolo Vermelho
Latossolo Vermelho Escuro eutrófico	Latossolo Vermelho
Planossolo distrófico	Planossolos
Planossolo eutrófico	Planossolos
Plintossolo	Plintossolos
Plintossolo distrófico	Plintossolos
Podzólico Amarelo distrófico	Argissolo Amarelo
Podzólico Vermelho Amarelo distrófico	Argissolo Vermelho Amarelo
Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico	Argissolo Vermelho Amarelo
Podzólico Vermelho Escuro distrófico	Argissolo Vermelho

Anexo A – Nomenclaturas originais e finais dos solos dos Estados de Rondônia e Mato Grosso
(conclusão)

Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
Podzólico Vermelho Escuro eutrófico	Argissolo Vermelho
Podzólico Vermelho Escuro eutrófico	Argissolo Vermelho
Regossolo distrófico	Neossolo Regolítico
Regossolo eutrófico	Neossolo Regolítico
Solonetz Solodizado	Planossolos
Solos Aluviais distróficos	Neossolo Flúvico
Solos Aluvias distróficos	Neossolo Flúvico
Solos Aluvias eutróficos	Neossolo Flúvico
Solos Concrecionarios distróficos	Plintossolos
Solos Glei distróficos	Gleissolos
Solos Glei eutróficos	Gleissolos
Solos Glei húmicos	Gleissolos
Solos Litólicos distróficos	Neossolo Litólico
Solos Litólicos eutróficos	Neossolo Litólico
Solos Orgânicos	Organossolo
Solos Orgânicos	Organossolo
Terra Roxa estruturada distrófica	Nitossolo Vermelho
Terra Roxa estruturada eutrófica	Nitossolo Vermelho

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
MT	fase Campo Cerrado	Savana Arborizada
MT	fase Campo Cerrado (covoal)	Savana Parque
MT	fase Campo Cerrado (covoal) e Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Parque
MT	fase Campo Cerrado (covoal) e Floresta Hidrófila de Várzea	Savana Parque
MT	fase Campo Cerrado (covoal) e Floresta Tropical Hidrófila de Várzea	Savana Parque
MT	fase Campo Cerrado e Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Campo Cerrado Equatorial	Savana Arborizada
MT	fase Campo Cerrado Tropical	Savana Arborizada
MT	fase Campo Cerrado Tropical e Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Campo Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Campo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Campo de Várzea e Floresta Tropical Subcaducifólia	Formacao Pioneira de Influência Fluvial
MT	fase Campo Equatorial Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Campo Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Campo Tropical Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Carrasco	Floresta Estacional Decidual
MT	fase Cerradão (Carrasco) Tropical Subcaducifólio	Savana Florestada
MT	fase Cerradão e Cerrado Equatorial Subcaducifólios	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase Cerradão e Cerrado Tropical Subcaducifólios	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase Cerradão e Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase Cerradão Equatorial	Savana Florestada
MT	fase Cerradão Equatorial Subcaducifólio	Savana Florestada
MT	fase Cerradão Equatorial Subperenifólio	Savana Florestada
MT	fase Cerradão Tropical Caducifólio	Savana Florestada
MT	fase Cerradão Tropical Subcaducifólio	Savana Florestada
MT	fase Cerradão Tropical Subcaducifólio e Floresta Tropical Subcaducifólia	Savana Florestada
MT	fase Cerrado e Campo Cerrado Tropical	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado e Campo Cerrado Tropical Subcaducifólios	Savana Arborizada

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
MT	fase Cerrado e Cerradão Equatorial Subcaducifólio	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase Cerrado e Floresta de Transição	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Equatorial Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Equatorial Subcaducifólio e Campo Cerrado	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Equatorial Subperenifólio	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Tropical e Campo Cerrado Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Tropical Subcaducifólio e Campo Cerrado Tropical	Savana Arborizada
MT	fase Cerrado Tropical Subcaducifólio e Floresta	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase contato Campo Cerrado/Floresta Equatorial Hidrófila de Várzea	Savana Arborizada/ Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase contato Campo Hidrófilo/Floresta Equatorial Hidrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase contato Cerradão Equatorial/Floresta Equatorial Subcaducifólio	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase contato Cerradão/Floresta Equatorial Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase contato Cerradão/Floresta Tropical Caducifólia	Savana Florestada/ Floresta Estacional Decidual
MT	fase contato Cerradão/Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase contato Cerradão-Floresta Equatorial Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase contato Cerrado Tropical/Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase contato Cerrado/Floresta Equatorial Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase contato Cerrado/Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase contato Floresta/Cerrado	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase contato Floresta/Cerrado Equatorial Subcaducifólio	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase contato Floresta/Cerrado Tropical Subcaducifólio	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase Floresta e Campo Equatorial Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta e Campo Tropical Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta e Cerradão Equatorial Subcaducifólios	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase Floresta e Cerradão Tropical Subcaducifólio	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase Floresta e Cerradão Tropical Subcaducifólios	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
MT	fase Floresta Equatorial e Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fase Floresta Equatorial Hidrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Equatorial Hidrófila de Várzea e Campo Equatorial Hidrófilo de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Equatorial Higrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Equatorial Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fase Floresta Equatorial Subcaducifólia substrato granito	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fase Floresta Equatorial Subperenifólia	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fase Floresta Hidrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fase Floresta Tropical Caducifólia	Floresta Estacional Decidual
MT	fase Floresta Tropical Caducifólia e Cerrado Tropical Subcaducifólio	Floresta Estacional Decidual/ Savana Arborizada
MT	fase Floresta Tropical de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Tropical e Cerrado Tropical Subcaducifólios	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase Floresta Tropical Hidrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Tropical Higrófila de Várzea	Vegetacao com Influência Fluvial
MT	fase Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fase Floresta Tropical Subcaducifólia e Cerradão Tropical Subcaducifólio	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fase Floresta Tropical Subperenifólia	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fase pedregosa Cerrado Equatorial Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fase transição Cerradão/Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Arborizada
MT	fase transição Floresta/Cerrado	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fase Vereda Tropical	Formacao Pioneira de Influência Fluvial
MT	fases Campo Cerrado e Cerrado Tropical Caducifólio, Pedregosa e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado e Cerrado Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado e Cerrado Tropical Subcaducifólio, Pedregosa e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado Tropical e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado Tropical Subcaducifólio, e Pedregosa e não Pedregosa	Savana Arborizada

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
MT	fases Campo Cerrado Tropical Subcaducifólio, Pedregosa e não Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado Tropical Subcaducifólio, Pedregosa e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado Tropical, Pedregosa e não Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Campo Cerrado, Cerrado Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerradão e Floresta Tropical Caducifólia e Pedregosa	Savana Florestada/ Floresta Estacional Decidual
MT	fases Cerradão Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Florestada
MT	fases Cerradão, Floresta Tropical Caducifólia e Pedregosa	Savana Florestada/ Floresta Estacional Decidual
MT	fases Cerradão, Floresta Tropical Subcaducifólia e Pedregosa	Floresta Estacional Semidecidual/ Savana Florestada
MT	fases Cerrado e Campo Cerrado Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Equatorial Subcaducifólio e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical Subcaducifólio e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical Subcaducifólio, Pedregosa e não Pedregosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical Subcaducifólio, Pedregosa e Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Cerrado Tropical Subcaducifólio, Rochosa e não Rochosa	Savana Arborizada
MT	fases Floresta e Cerrado Tropical Caducifólios e Pedregosa	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Floresta e Cerrado Tropical Subcaducifólios e Pedregosa	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Floresta e Cerrado Tropical Subcaducifólios e Rochosa	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Floresta Equatorial Subcaducifólia e Pedregosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Equatorial Subcaducifólia e Rochosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Equatorial Subcaducifólia, Rochosa e não Rochosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Equatorial Subperenifólia e Pedregosa	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fases Floresta Equatorial Subperenifólia e Rochosa	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fases Floresta Equatorial Subperenifólia, Pedregosa e não Pedregosa	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fases Floresta Equatorial Subperenifólia, Rochosa e não Rochosa	Floresta Ombrófila Aberta
MT	fases Floresta Tropical Caducifólia e Rochosa	Floresta Estacional Decidual
MT	fases Floresta Tropical Caducifólia, Pedregosa e Rochosa	Floresta Estacional Decidual

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
MT	fases Floresta Tropical Subcaducifólia e Pedregosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Tropical Subcaducifólia e Rochosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Tropical Subcaducifólia, Pedregosa e não Pedregosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta Tropical Subcaducifólia, Pedregosa e Rochosa	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Floresta, Cerrado Tropical Caducifólios e Pedregosa	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Floresta, Cerrado Tropical Subcaducifólio e Pedregosa	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Pedregosa e Cerradão Equatorial Subcaducifólio	Savana Florestada
MT	fases Pedregosa e Cerrado Equatorial Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fases Pedregosa e Floresta Equatorial Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Pedregosa e Floresta Tropical Caducifólia	Floresta Estacional Decidual
MT	fases Pedregosa e Floresta Tropical Subcaducifólia	Floresta Estacional Semidecidual
MT	fases Pedregosa, Cerrado e Cerradão Equatorial Subcaducifólios	Savana Florestada/ Savana Arborizada
MT	fases Rochosa e Cerrado Tropical Subcaducifólio	Savana Arborizada
MT	fases Rochosa, não Rochosa e Floresta Equatorial Subperenifólia	Floresta Ombrófila Aberta
MT	Cerrados bem drenados, campo limpo (quase sem arbustos)	Savana Arborizada
MT	Cerrados bem drenados, cerradão	Savana Florestada
MT	Cerrados bem drenados, cerrado	Savana Arborizada
MT	Cerrados MAL drenados	Savana Arborizada
RO	Floresta tropical chuvosa sob terra mal drenada: Exposta a inundação anual	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical de várzea aberta	Floresta Ombrófila Aberta
RO	Floresta tropical de várzea densa	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical de várzea semi aberta	Floresta Ombrófila Aberta
RO	Floresta tropical semi caducifólia estacional sob terra firme bem drenada: Baixa <30m	Floresta Estacional Decidual
RO	Floresta tropical semi caducifólia estacional sob terra firme bem drenada: Média 30-40m	Floresta Estacional Decidual

UF	Nomenclatura Original	Nomenclatura Final
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra firme bem drenada: Alta >40m	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra firme bem drenada: Baixa <30m	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra firme bem drenada: Média 30-40m	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra mal drenada: drenagem imperfeita	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra mal drenada: mal drenada	Floresta Ombrófila Densa
RO	Floresta tropical semi perenefólia estacional sob terra mal drenada: Exposta a inundação anual	Floresta Ombrófila Densa