

Capítulo 4

Variabilidade dos estoques de carbono do solo na área de ação do Projeto Reça, Amazônia Sul-Occidental

Eufnan Ferreira do Amaral
Tadário Kamel de Oliveira
Antonio Willian Flores de Melo
Nilson Gomes Bardales
Edson Alves do Araújo
João Carlos Ker
Lucieta Guerreiro Martorano
José Reinaldo da Silva Cabral Moraes
Idésio Luis Franke
João Batista Martiniano Pereira

Introdução

Os solos podem ser considerados como o mais importante reservatório de carbono dos compartimentos existentes (ar, solo e biomassa) e, entre os ecossistemas terrestres, contabilizam, aproximadamente, 1.500 Pg, equivalendo a 4,5 vezes a quantidade de carbono (C) presente na biomassa terrestre, ou seja, representam 3,3 vezes da quantidade de C estocada na atmosfera (Bruce et al., 1999; Watson, 2001, Lal, 2006; Roscoe et al., 2006).

Os estoques de C do solo variam espacialmente em decorrência de fatores locais e regionais, tais como: clima, cobertura vegetal, uso da terra, topografia, fertilidade e densidade dos solos, entre outros (Ceri et al., 2004; Holmes et al., 2006, Sleutel et al., 2006, Fidalgo et al., 2007, Loss et al., 2011, Assad et al., 2013; Oliveira, 2015). As ações conjuntas desses fatores influenciam direta ou indiretamente a ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica no solo, importante componente para determinação do C orgânico e quantificação dos estoques de C no solo.

As informações disponíveis sobre os estoques de carbono no Brasil ainda são incipientes ou em escala muito local, em nível de parcela experimental (Vezzanii; Mielniczuk, 2011), ou em nível territorial (Brasil, 1978). Assim, existe demanda por informações que contemplem a regionalização e extrapolação dos estoques de carbono para subsidiar ações de planejamento territorial. O manejo e conservação de uma determinada área influenciam nos estoques de carbono, sendo um forte indicador de prestação de serviços ambientais relacionados à qualidade do solo manejado pelo homem (Fidalgo et al., 2007; Oliveira, 2015).

O estoque de carbono dos solos da Bacia Amazônica foi calculado por Moraes et al. (1995), a partir de resultados analíticos contidos nos estudos do projeto RadamBrasil. Os resultados apontaram que nos primeiros 100 cm estão estocados 47×10^6 g de carbono, sendo 4% na camada de 0 cm–20 cm de profundidade. O total armazenado foi de 47 gigatoneladas (Gt C), com uma média geral de 94 Mg C ha^{-1} , sendo o erro padrão de 24,5% em relação à média. Nesses estudos ainda é alta a incerteza devido à necessidade

de precisão nas avaliações dos estoques para garantir estimativas mais confiáveis do armazenamento regional de carbono no solo (Cerri et al., 2000; Sombroek et al., 2000).

A maior parte da área (50% a 70%) da Bacia Amazônica é representada por duas ordens de solo: Argissolos e Latossolos (Rodrigues, 1996). Outras ordens importantes de solo incluem Gleissolos e Neossolos, representando cada uma cerca de 8% da área (Batjes; Dijkshorn, 1999; Cerri et al., 2000, 2007). Os estoques de C em Argissolos e Latossolos são similares, em média, de 44 Mg C ha⁻¹ (Argissolos) a 55 Mg C ha⁻¹ (Latosolos) nos 30 cm da camada superior e de 85 Mg C ha⁻¹ (Argissolos) a 100 Mg C ha⁻¹ (Latosolos) nos 100 cm da camada superior (Batjes; Dijkshorn, 1999). Fidalgo et al. (2007), avaliando estoques de carbono por classe de solo em todo o Brasil, obtiveram valores de carbono de 4,18 kg m⁻² para Latossolos e 3,79 kg m⁻² para Argissolos.

Cidin (2016), realizando estimativas de estoques para as diferentes ordens de solos do Brasil, encontrou os seguintes resultados, expressos em Mg ha⁻¹: Argissolos (46,7); Cambissolos (57,6); Chernossolos (76,8); Espodossolos (58,2); Gleissolos (72); Latossolos (53,2); Luvisolos (43,1); Neossolos Flúvicos (43,1); Neossolos Litólicos (56,7); Neossolos Quartzarênicos (34,5); Neossolos Regossólicos (30,8); Nitossolos (67,1); Organossolos (105); Planossolos (31,9); Plintossolos (47,9); e Vertissolos (60).

Solos dentro da mesma ordem tendem a ter estoques mais baixos de C no estado do Acre (Amazônia Ocidental) do que em outras regiões na Amazônia Central e Oriental. Melo (2003) observou que os solos do Acre apresentaram menores estoques de C (média de 6,5 kg m⁻³) quando comparados com a média dos solos na Amazônia, embora tivessem maior fertilidade natural, e atribuiu o resultado à maior taxa de

decomposição da matéria orgânica nesses solos, influenciados pelos ciclos de seca e umedecimento ao longo do tempo. Esses ciclos estão associados à interação entre o regime pluvial e as características físicas e mineralógicas inerentes desses solos, sobretudo, textura e estrutura.

Em decorrência dessa complexidade se faz necessária a realização de mais pesquisas que visem não unicamente à quantificação pontual dos estoques de C no solo, mas também sua distribuição vertical e espacial. Esse conhecimento é fundamental para a caracterização e monitoramento de áreas, contribuindo no estabelecimento de indicadores importantes na prestação de serviços ambientais (Oliveira, 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade dos estoques de carbono do solo, baseando-se em perfis de solos coletados em levantamento em escala de média resolução, na região de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (Reca) na Amazônia Sul-Ocidental.

Revisão de literatura

Matéria orgânica do solo: aspectos conceituais e importância agrícola e ambiental

A matéria orgânica do solo tem sido objeto de muitas investigações em ciências ambientais e do solo, uma vez que vários atributos físicos, biológicos e químicos dos solos se encontram relacionados à matéria (Cheng et al., 2007), sendo considerada fundamental na manutenção e sustentabilidade de ecossistemas naturais e/ou manejados.

A matéria orgânica do solo é considerada um produto de resíduos orgânicos, vegetação

parcialmente decomposta, em várias fases que dependem da complexidade e da diversidade estrutural (Feldpausch et al., 2004; Frouz et al., 2007).

O carbono orgânico do solo é proveniente de restos animais e vegetais ou de microrganismos em forma de resíduos em várias etapas de decomposição, materiais carbonizados e compostos humificados (Roscoe; Machado, 2002). Pode também ser definido como o C do solo em todas as suas formas sob diversas conformações estruturais e constituintes (Passos et al., 2007). Entre os compostos orgânicos, aproximadamente um terço se encontra na matéria orgânica do solo, na biomassa viva e na água (Boina, 2008).

O carbono orgânico é uma variável importante para o monitoramento do solo, tanto a médio quanto a longo prazo, sendo o indicador químico mais sensível para a análise de processos ou dinâmica do solo, uma vez que afeta a produtividade das culturas, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo a mudanças de pH (Robertson; Thorburn, 2001; Brien et al., 2015). O crescente interesse científico na identificação de sistemas de manejo do solo e de cultura visa avaliar a estabilidade do carbono no solo (Bayer et al., 2000; Freitas, 2001; Campos, 2006; Six et al., 2006; Galdos et al., 2009).

A presença de matéria orgânica nos solos é de grande importância por ser o principal agente gerador de cargas elétricas negativas responsáveis pela retenção de nutrientes e água, pela agregação do solo, além de servir de substrato, participando ativamente na manutenção da diversidade biológica do solo (Silva et al., 2004).

As mudanças em seus estoques geradas pelas práticas de manejo são observadas normalmente a curto prazo, sendo influenciadas pela composição química e

contribuição de resíduos ao solo, analisados de forma integrada às características de clima e solo. Sistemas de cultivos podem levar à perda acelerada dos estoques de carbono de origem orgânica (Loss et al., 2011).

Solos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico em razão da alta capacidade de proteção na forma de complexos organominerais (Roscoe; Buurman, 2003). Esses mecanismos atuam como proteção do carbono contra o ataque microbiano, uma vez que as moléculas orgânicas são adsorvidas pela superfície desses minerais (Dominy et al., 2002; Bronick; Lal, 2005). Por isso, solos com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de carbono (Zinn et al., 2007).

Segundo Helyar (2003), a mudança no pH do solo pode ser influenciada pela adsorção de hidrogênio em sítios de trocas de cátions, dependentes do pH na matéria orgânica do solo. A matéria orgânica assim como a argila e os óxidos de Fe e Al afetam diretamente a acidez potencial (H+Al), no sentido de reduzir sua mobilidade no solo (Pitta et al., 2007). Ao promover o aumento da CTC-dependente de pH, a matéria orgânica beneficia a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) mediante trocas com íons H⁺ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando dessa forma a saturação por bases do complexo coloidal, com melhorias na fertilidade do solo. Além disso, em função da ciclagem de íons, há formação de complexos organometálicos (substituição do Al³⁺ pelo Ca²⁺) e imobilização do Al³⁺ pelos ligantes orgânicos (Muzilli, 2002).

Os solos sob vegetações naturais apresentam equilíbrio no estoque de carbono como resultado do balanço entre a entrada de C pelo aporte de matéria orgânica e pela saída por decomposição e respiração microbiana,

sendo os teores de carbono no solo, nessas situações, praticamente constantes ao longo do tempo (D'Andréa et al., 2002; Costa et al., 2006).

O solo mantido em estado natural está em um equilíbrio dinâmico e, sob vegetação nativa, apresenta características químicas e físicas adequadas ao desenvolvimento das plantas. Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o solo é submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (Spera et al., 2004).

Na Amazônia brasileira, ainda persiste em muitos locais a agricultura de derruba e queima, onde a abertura de áreas com fins agrossilvipastoris inicia-se com a retirada das árvores de interesse comercial e derrubada da floresta de forma manual, seguida da queima, após secagem da biomassa sobre o solo. Depois de queimada implanta-se a lavoura de subsistência, principalmente o arroz, milho, feijão e mandioca, utilizando apenas o preparo manual do solo, e após 2 ou 3 anos consecutivos a área é abandonada (Costa et al., 2004).

O desmatamento na Amazônia brasileira é principalmente relacionado à conversão de florestas em pastagens, que dependendo do manejo adotado podem provocar ou não decréscimo nos estoques de carbono (Araújo et al., 2011). Com o manejo inadequado, há uma diminuição do carbono no solo, principalmente devido à rápida mineralização da fração lábil da matéria orgânica (Desjardins et al., 2004; Marchão et al., 2009; Rangel; Silva, 2007; Silva Junior et al., 2009). Essa conversão causa alterações nos teores de C nas camadas, variando de acordo com a física do solo (Silva Junior et al., 2009).

Estudos visando elevar a qualidade dos solos da Amazônia têm crescido na última década. O uso inadequado desse recurso pode limitar a capacidade em manter ou elevar a produção. Práticas inapropriadas de manejo provocam redução acelerada dos teores de matéria orgânica e elevação dos níveis de compactação do solo, refletindo desfavoravelmente na produtividade das culturas (Linhares et al., 2016).

Os efeitos da conversão de florestas nativas na Amazônia em áreas agrícolas e pastagens foram estudados, sendo constatada uma redução nos estoques de C no solo em cerca de 80%, após a conversão. A rápida redução no estoque de C foi registrada em pastagens mal manejadas ao comparar com pastos bem manejados que tiveram estoques similares ou superiores aos de solos sob floresta (Fujisaka et al., 1998).

A matéria orgânica (MO) do solo é um importante componente na definição dos sistemas agrícolas e no desenvolvimento das plantas, influenciando nos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é condicionada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e contínuas transformações (Moreira; Siqueira, 2006). A MO é considerada um importante indicador de qualidade do solo (Amado et al., 2001).

Sistemas agroflorestais e potencial para estocar matéria orgânica no solo

De modo geral, tendo em vista o conceito de produção sustentável, os sistemas agroflorestais (SAFs) são utilizados com alguns dos seguintes objetivos: diversificação da produção; diminuição dos efeitos da

sazonalidade; incremento dos níveis da matéria orgânica no solo; fixação biológica de nitrogênio atmosférico; ciclagem de nutrientes; modificação do microclima e otimização dos sistemas de produção (Somarriba, 1992). Esse tipo de integração entre árvores, culturas agrícolas e/ou animais que compõem um sistema agroflorestal apresenta potencial para melhorar a fertilidade do solo, reduzir a erosão, melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade e sequestrar C no solo e na biomassa (Garrity, 2004; Jose, 2009; Nair et al., 2009).

Os sistemas agroflorestais são considerados uma estratégia de uso da terra capaz de sequestrar e armazenar grande quantidade de carbono atmosférico, compensando as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) (Albrecht; Kandji, 2003). Segundo Dixon (1995), a adoção de sistemas de uso da terra como os agroecossistemas, os sistemas silviculturais e/ou os agroflorestais quando bem manejados podem estocar até 228 Mg ha⁻¹ de C na parte aérea. Complementando essa informação, Osterroht (2002) cita que entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAFs acumulam o maior ativo de biomassa.

Para Albrecht e Kandji (2003), os SAFs apresentam grande potencial para o sequestro de C atmosférico em tecido vegetal ou matéria orgânica no solo, apesar da necessidade de se estudar outros GEEs para determinar o benefício líquido do sistema. Esses autores estimaram o potencial dos sistemas agroflorestais em sequestrar C e obtiveram uma média de 95 Mg ha⁻¹, após um ciclo de cultivo e maturidade do sistema.

O acúmulo de carbono orgânico no solo sob sistema agroflorestal depende de sua localização, função, composição, fatores ambientais e econômicos, assim como das

espécies arbóreas e arbustivas usadas no plantio, tipo de manejo e principalmente tempo de formação do sistema (Rodriguez, 2015).

Brito et al. (2012), ao avaliarem os estoques de C e N no sudoeste amazônico, registraram em ambiente de terra firme um estoque de 41,19 Mg ha⁻¹ de C, entre 0 cm e 40 cm de profundidade em SAF, implantado por 4 anos, e de 42,34 Mg ha⁻¹ de C na área de pastagem, formada ao mesmo tempo da implantação do SAF. O estoque ligeiramente maior na área de pasto foi atribuído ao elevado valor de densidade do solo, o que ressalta a importância de se fazer a correção dos estoques entre áreas pelo método da massa equivalente, para evitar assim esse tipo de comparação, quando se estudam diferenças entre usos distintos.

Brancher (2010), ao estudar o estoque e a ciclagem de carbono orgânico em quatro sistemas agroflorestais com 14 e 9 anos de formação, na Amazônia Oriental, registrou um estoque de carbono no solo variando entre 82,4 Mg ha⁻¹, 90,7 Mg ha⁻¹ e 97,9 Mg ha⁻¹, em áreas de capoeira. O autor conclui que o sistema agroflorestal pode acumular carbono orgânico no solo em quantidade similar aos da capoeira e significativamente maior que o sistema plantio direto, sendo, portanto, uma categoria de uso e cobertura da terra capaz de armazenar eficientemente carbono em diferentes compartimentos no ecossistema solo.

Na Amazônia setentrional, Schaefer et al. (2000), ao avaliarem a dinâmica da matéria orgânica em Latossolos, perceberam que os teores de carbono orgânico foram mais elevados em SAF e floresta nativa (25,19 g kg⁻¹ e 23,04 g kg⁻¹ de C, respectivamente).

Em termos proporcionais, os usos do solo como sistemas agroflorestais podem manter entre 80% e 100% do carbono orgânico do solo em relação à floresta primária; capoeiras

em pousio de longo prazo, entre 90% e 100%; pastagens manejadas 80%; capoeiras de curto prazo 65%; e pastagens degradadas 50% ou menos. Exceto pela capoeira de curto prazo, as outras alternativas de uso do solo perdem menos de 20% do carbono da superfície. Os dados mostram que o potencial de sequestro de C no Trópico Úmido se encontra principalmente acima do solo, na vegetação de cobertura (Srinivas, 2012).

As taxas de sequestro de C se tornam positivas em capoeiras secundárias ($5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ – $9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sistemas agroflorestais complexos ($2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ – $4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e SAFs simples com uma espécie dominante como palma de óleo ($7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ – $9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Porém, a extração de material vegetal realizada pelos produtores, tanto em SAFs como em capoeiras ao longo do desenvolvimento, pode representar quedas no acúmulo de C (Tomich et al., 1998). Nair et al. (2011) também verificaram que o histórico de uso da terra é um dos fatores preponderantes para a determinação dos estoques de C no solo; o uso determina a qualidade do material que servirá de aporte para acúmulo ou perda do carbono orgânico. Assad et al. (2013) constataram que as práticas de manejo adequadas (pastagens manejadas, sistemas agropecuários e regeneração natural) podem promover aumento nos estoques de C no solo.

Os sistemas agroflorestais com seringueira possuem uma grande capacidade de estocar carbono orgânico do solo (COS). Esses sistemas proporcionam maior quantidade e estabilidade dos macroagregados, principalmente na superfície, bem como maior reservatório de COS, em relação aos microagregados e fração silte + argila. Esse resultado corrobora que os sistemas conservacionistas, por meio da manutenção dos resíduos no solo e baixo revolvimento,

funcionam como forma de conservação e armazenamento de C no solo (Salgado, 2016).

Marques et al. (2015) demonstraram que áreas de sistema silvipastoril e sistema agroflorestal recuperam o C orgânico do solo e são alternativas viáveis de uso de solo submetido à degradação e aos cultivos intensos na Amazônia. Os maiores estoques totais de C nas frações do solo foram: ($101,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ – SAF) > ($98,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ – floresta primária) > ($92,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ – sistema silvipastoril) > (64 Mg ha^{-1} – pastagem). As formas de uso do solo na Amazônia influenciam a distribuição do C nas frações do solo, ocasionando modificações em curto ou longo prazo. O C orgânico nos sistemas florestais correlacionou-se significativamente com os atributos químicos e físicos dos solos e o teor da matéria orgânica aumentou nos sistemas agroflorestais (56%) e florestais (7%); já na pastagem diminuiu 90% depois da conversão da mata (Santos, 2008).

Os sistemas agroflorestais, a partir de 10 anos ou mais de implantação, promovem o aumento do estoque de C do solo e recuperam a qualidade físico-química dos atributos, outrora perdida pela conversão da floresta por área de agricultura itinerante (corte e queima) e pecuária extensiva. Essa dinâmica, aparentemente, é mais rápida nos quintais agroflorestais sul-amazônicos, possivelmente devido à diversidade de espécies arbóreas e, principalmente, pela disposição espacial assimétrica das espécies adotadas pelo caboclo sul-amazônico. Essa disposição difere do espaçamento rigoroso e metódico defendido no meio acadêmico de engenharia florestal, agrônômica entre os ramos das ciências agrárias e exatas (Linhares et al., 2016).

Além dos fatores inerentes à natureza e qualidade pedogenética do solo, alguns

estudos têm constatado aumento nos teores de C orgânico do solo associado ao tempo de implantação do sistema agroflorestal. A esse respeito, Marin Perez (2002) esclarece que as mudanças nas variáveis químicas do solo em sistemas agrícolas conservacionistas não ocorrem em curto prazo e afirma que o tempo de percepção visando verificar possíveis alterações nos atributos químicos do solo pode variar de 10 a 35 anos após implantação do sistema agroflorestal.

Os sistemas agroflorestais também têm como característica a prestação de serviço ambiental, que é a valorização econômica do uso dos benefícios ambientais que um sistema pode trazer (Andrade; Romeiro, 2009). Spagnollo (2004), Diekow et al. (2005), Bayer et al. (2006) e Costa et al. (2008) citam que boas práticas de manejo, sem revolvimento do solo e com alto aporte de resíduos que promovam incrementos ou manutenção dos níveis de matéria orgânica no solo, devem ser indicadas, não somente como um meio de aumentar a produtividade dos cultivos, mas também como uma forma de reduzir os impactos adversos causados pela elevada concentração de GEEs na atmosfera.

Carbono no solo no contexto das mudanças climáticas

As práticas de reflorestamento podem proporcionar ao agricultor, no futuro, um benefício complementar, uma vez que a retirada de CO₂ da atmosfera e seu armazenamento no solo (sequestro) poderão conferir reduções certificadas de emissões. É provável que mudanças do clima resultem em liberações significativas de C do solo na Amazônia. O efeito estufa resultará, obviamente, em temperaturas do solo mais altas, porém o aumento de temperatura na Amazônia varia

muito entre os diferentes modelos do clima global. O modelo HadCM3 do Centro Hadley, no Escritório Meteorológico do Reino Unido (UKMO), prediz que o efeito estufa não mitigado resultaria em aumento da temperatura em até 6 °C na parte ocidental da Amazônia (Cox et al., 2000, 2004). Essas mudanças de temperatura, junto com a diminuição da chuva predita pelos mesmos modelos, resultariam em uma mortandade generalizada da floresta na Amazônia até o ano 2080. Isso reduziria ainda mais os estoques de C no solo, além dos efeitos diretos dessa mudança climática.

Os estudos do ciclo do C apresentam grande interesse devido à sua implicação nas mudanças do clima, por influência da alteração das emissões dos GEEs. As práticas agrícolas e as mudanças do uso do solo devido ao desmatamento são as principais fontes de emissão dos GEEs. O Brasil, considerando essas ações antrópicas, encontra-se em quinto lugar na classificação mundial dos países emissores desses gases. Aproximadamente 75% do CO₂ emitido na atmosfera são derivados de práticas agrícolas inadequadas e do desmatamento e apenas 18% são originados da queima de combustíveis fósseis (Brasil, 2010).

Recentemente o Brasil anunciou, na 21ª Conferência das Partes (COP-21), ocorrida em Paris em 2015, a sua contribuição para o acordo do clima. A Intended Nationally Determined Contribution (INDC), referindo-se à Contribuição Nacionalmente Determinada Pretendida, incluiu reduzir em 43% as emissões de GEEs em 2030 em relação aos níveis de 2005; alcançar 45% de energias renováveis (incluindo hidrelétrica); zerar o desmatamento ilegal na Amazônia em 15 anos; e restaurar 12 milhões de hectares de florestas. O Brasil teve como meta no Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) o desenvolvimen-

to sustentável na agricultura, recuperando 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e promovendo um incremento de 5 milhões de hectares de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) até 2030 (Brasil, 2016).

Com o Plano ABC o governo federal incentiva financiamentos para agricultores e cooperativas em atividades que pretendem aliar produção de alimentos e bioenergia com técnicas que garantem eficiência no campo, com balanço positivo entre sequestro e emissão de dióxido de carbono (CO₂) (Brasil, 2020). Das emissões brasileiras anuais, o desmatamento da Amazônia contribui com aproximadamente 60% (Higuchi et al., 2012). Além da mitigação das emissões de GEEs, o armazenamento de C no solo pode favorecer o mercado de créditos de carbono no País. Assim, as informações devem ser consistentes na elaboração de projetos necessários para a efetivação dessa categoria de mercado, ainda em evolução no Brasil (Cidin, 2016).

O conhecimento do acúmulo de C nos solos tem se destacado como uma das mais promissoras medidas mitigadoras do aquecimento global. Dessa forma, é necessário que estimativas do estoque de C nos solos sejam desenvolvidas (Eswaran et al., 1993). As vantagens de se construir um banco de dados para realizar estimativas se referem à forma eficiente de agrupar as informações, com um baixo custo de armazenagem (Ramakrishnan; Gehrke, 2003), e à possibilidade de integração de tais dados com sistemas de informações geográficas. Assim, um banco de dados que forneça um inventário permanente de estoque de C e estabeleça métodos de estimativa e de normas para a qualidade dos dados é essencial para melhorar as predições em longo prazo (Negra et al., 2008).

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo ocupa, aproximadamente, 72.016 ha, entre as latitudes de 09°41'02" e 10°01'44" S e as longitudes de 67°42'54" e 67°26'55" W. Apresenta condições territoriais de fronteira tríplice entre os estados do Acre, Amazonas e Rondônia e faz fronteira internacional com a Bolívia (Figura 4.1).

Para caracterização geológica da área de estudo, utilizaram-se as informações disponibilizadas em Brasil (1976), referentes à folha SC19 – Rio Branco, em que aparecem duas seções geológicas. A primeira pertence ao período Quaternário formado por aluviões de areias, siltes e argilas e sedimentos inconsolidados da planície fluvial, depósitos recentes e atuais. Nessas áreas, encontram-se os Neossolos Flúvicos sob relevo plano. A segunda está representada por sedimentos da Formação Solimões, referentes ao Terciário/Quaternário do plioceno-pleistoceno, compostos por argilitos maciços ou acamados, com concreções carbonáticas e gipsíferas, vênulas de calcita e gipsita. Esses sedimentos representam materiais formadores dos Latossolos e Argissolos encontrados sob várias formas de relevo.

Na área de estudo são caracterizadas três formações florestais bem definidas: Floresta Equatorial Subperenifólia aberta com bambu, Floresta Equatorial Subperenifólia aberta com bambu e palmeira e Floresta Equatorial Perenifólia aberta de várzea com palmeiras (Brasil, 1976).

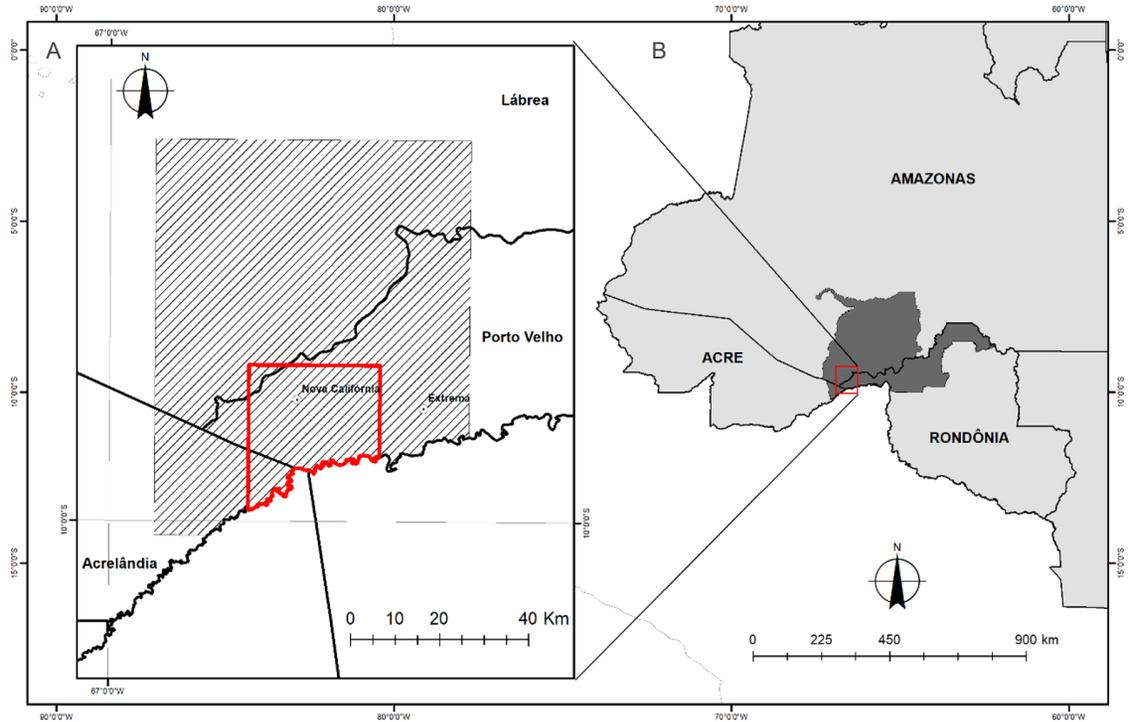


Figura 4.1. Localização da área de estudo (quadrado vermelho) na tríplice fronteira (Acre, Amazonas e Rondônia) com indicação dos municípios (A) e distribuição das unidades político-administrativas (B).

Caracterização climática

Considerando-se a baixa densidade de estações meteorológicas convencionais e automáticas de superfície na Amazônia (Drumond et al., 2014), foram utilizados dados contendo séries históricas homogêneas de estações de superfície (SWS), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), bem como dados por estimativas a partir de modelos de circulação geral da atmosfera (GSM) em forma de grids, obtidos na base do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Também foram utilizados dados climáticos da base disponível interpolada por Hijmans et al. (2005) para analisar dados médios mensais de temperatura do ar (máxima, média e mínima), total de precipitação mensal oriundos de modelos globais, Global Historical Climate Network (GHCN), com resolução espacial

de 1 km², incluindo-se precipitação mensal e anual, precipitação acumulada no trimestre mais seco (junho, julho e agosto) e tipologia climática conforme adaptação ao método de Köppen proposto por Martorano et al. (1993).

Assim sendo, utilizou-se a mesma base de dados de Martorano et al. (2017) e Moraes et al. (2020), fazendo-se recortes na área de estudo para caracterizar a tipologia e variáveis climáticas, abrangendo os três estados que integram a área de estudo. Para elaboração dos mapas foram realizados recortes fazendo-se a representação por gradação de cores em função da escala espacial que limita a separação em faixas de variabilidade. Vale destacar que no gráfico, no qual se apresenta o boxplots do regime mensal de chuva, fez-se um deslocamento no eixo “Y” para evidenciar os meses com redução da precipitação na área de estudo, muito próximo a zero.

Diagnóstico térmico utilizando termografia infravermelha

Para subsidiar as análises de estoques de C em sistema de produção agroflorestal (SAF) fez-se o diagnóstico termográfico em 24 de maio de 2017 no período entre 12h36min15 e 14h06min05 considerando-se diferentes pontos amostrais.

Na Figura 4.2 estão representadas imagens que foram analisadas para extrair respostas térmicas nos alvos. Vale destacar que os termogramas expressam a condução de calor em cada alvo tendo como princípio físico a Lei de Fourier em que as diferenças térmicas diagnosticam a capacidade de propagação da energia solar sob as áreas com diferentes tipos de culturas.

Fotos: Eufraim Ferreira do Amaral

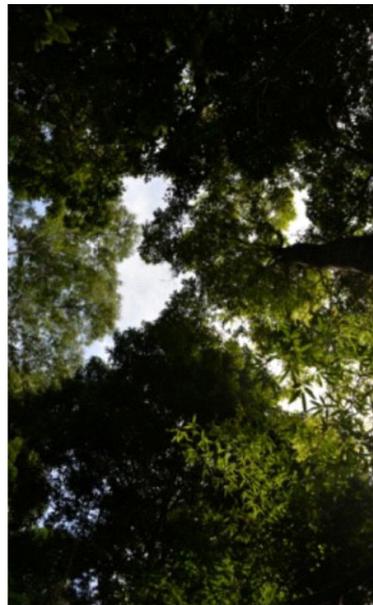


Figura 4.2. Registros feitos na área de estudo, no Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, utilizando câmera termográfica.

O monitoramento a campo foi realizado usando um termógrafo infravermelho (FLIR T650sc, Wilsonville, OR, EUA, 2015), lente de 25 mm e escala térmica entre 40 °C e 150 °C com sensibilidade de 50 mK (< 0,05 °C em temperatura ambiente a 30 °C). Na Figura 4.2 são apresentadas imagens que evidenciam diferentes ângulos de captura de termogramas para avaliar a temperatura no dossel, temperatura interna no sistema agroflorestal (SAF), temperatura atenuada por componentes arbóreos, temperatura no solo que é condicionada pela abertura nas copas das árvores e temperatura na palhada depositada no solo para subsidiar as análises de atenuação de calor pela cobertura de folhas caídas, responsáveis pelo aporte de carbono anual no sistema.

O termógrafo possui uma escala espectral com abrangência de 0,7 µm a 100 µm, resolução ótica de 640 x 480 pixels e 0,95 de emissividade. As imagens foram analisadas no programa Flir Tools, 6.3v (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA, 2015) fazendo-se a separação térmica de acordo com padrões de cores no solo, no tronco e nas folhas das plantas que integram determinados arranjos no sistema agroflorestal, considerando alvos térmicos no solo, no tronco e nas folhas para evidenciar possíveis indicadores por prestação de serviço ambiental pelos diferentes arranjos de espécies arbóreas nos sistemas agroflorestais (SAFs). Foram analisados quatro tipos de SAFs (SAF1, SAF2, SAF3 e SAF4), descritos conforme a Tabela 4.1 e Figura 4.3.

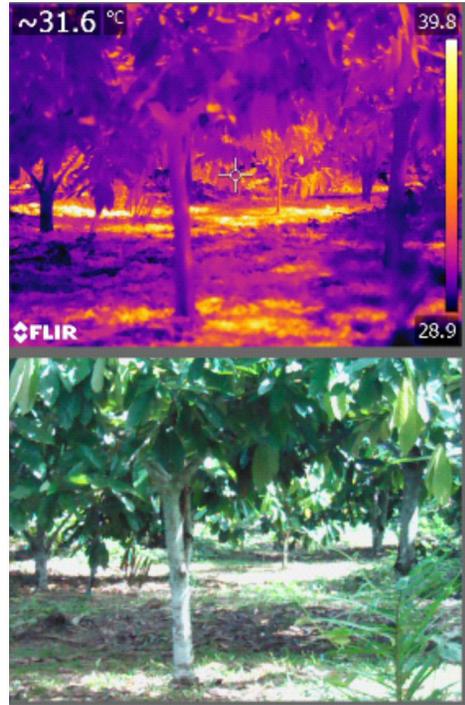
Tabela 4.1. Descrição dos consórcios amostrados no Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, Amazônia Sul-Occidental.

Sistema agroflorestal	Composição	Ano de implantação
SAF1	Consórcio cupuaçu x rambotã – espaçamento do cupuaçuzeiro (4 m x 7 m): 357 plantas ha ⁻¹ ; e do rambotãzeiro (8 m x 7 m): densidade de 178 plantas ha ⁻¹	1992
SAF2	Consórcio cupuaçu x pupunha – espaçamento do cupuaçuzeiro (6 m x 5 m): 333 plantas ha ⁻¹ ; e da pupunheira (12 m x 12 m): 69 plantas ha ⁻¹	2006
SAF3	Consórcio cupuaçu, castanha e pupunha – espaçamento do cupuaçuzeiro (4 m x 7 m) + 14 m: 240 plantas ha ⁻¹ ; da castanheira (12 m x 21 m): 40 plantas ha ⁻¹ ; e da pupunha para semente (2 plantas entre castanheiras, a cada 4 m): 80 plantas ha ⁻¹	1991
SAF4	Consórcio cupuaçu, castanha e pupunha (semelhante ao SAF3) – espaçamento do cupuaçuzeiro (4 m x 7 m) intercalado com castanheira (12 m x 21 m) e pupunheira: densidade inicial de 80 plantas ha ⁻¹ . O SAF tem espaçamento mais amplo devido à mortalidade de plantas ao longo de 27 anos, desbaste de pupunheiras e vegetação espontânea no sub-bosque	1991

Fotos: Eulfran Ferreira do Amaral



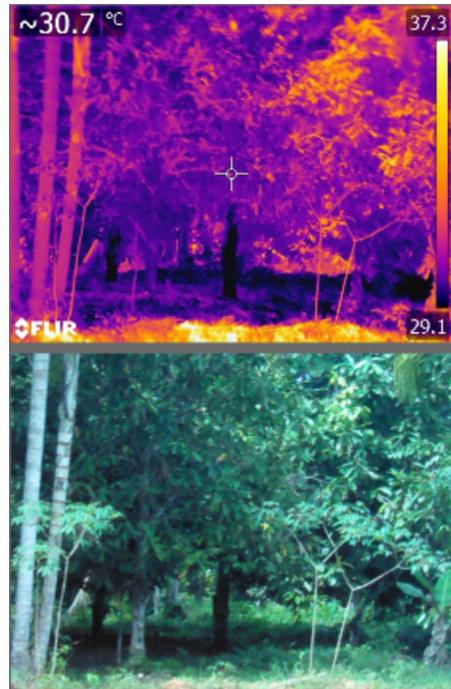
SAF 1



SAF2



SAF3



SAF4

Figura 4.3. Imagens termográficas e no visível evidenciando os arranjos na área de estudo, no Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado.

Foi coletado um total de 92 amostras de temperatura nos alvos, conforme padrão de cor na paleta Rainbow extraindo-se 9 amostras na superfície do solo, 4 amostras no tronco e 8 nas folhas, seguindo o rigoroso critério de aleatorização de acordo com o padrão de cores nos SAFs. Com o auxílio de rotinas no R para Windows R Core Team (2018) foram elaborados gráficos para evidenciar os gradientes nos alvos tratados, considerando-se todas as informações, com o objetivo de apontar os alvos com maiores variações térmicas.

Com relação ao uso da terra, a região do Projeto Reca sofre uma alta pressão por desmatamento visando à abertura de novas áreas de pastagens e roçados anuais. Atualmente já possui 55,3% da área desmatada, que corresponde a 39.799,8 ha, sendo a maior parte ocupada por pastagem. A floresta remanescente ocupa 32.216,2 ha que correspondem a 44,7% da área de estudo.

Obtenção de dados pedológicos

Os dados pedológicos utilizados foram obtidos em duas etapas. A primeira, configurou-se na compilação de dados já existentes na área de estudo, sendo considerados os trabalhos de Brasil (1976) (1 perfil), Rondônia (2000) (9 perfis), Silva et al. (2006) (3 perfis) e Couto (2010) (13 perfis). Todos esses perfis foram reclassificados de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

Em uma segunda etapa, realizou-se a coleta de mais 11 perfis, com 61 amostras. Ao todo foram incorporados no estudo 45 perfis (Figura 4.4) com 251 amostras de horizontes.

Por ocasião da coleta, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e, posteriormente, preparadas para a caracteriza-

ção física e química no Laboratório de Solos da Embrapa Acre, sendo determinados pH em H₂O, C¹, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, H+Al, P e calculados CTC pH 7,0, SB, valor V, soma de bases (SB) e saturação por alumínio. A caracterização da análise granulométrica e a densidade aparente (cilindro volumétrico) foram realizadas segundo metodologias de Donagema (2011).

Amostragem para caracterização da fertilidade do solo e dos estoques de C dos solos em propriedades do Projeto Reca

Foram coletadas 115 amostras compostas (Figura 4.5) a partir de três amostras simples na profundidade 0 cm–20 cm, para avaliação da fertilidade do solo e estoques de C em 68 propriedades de 11 grupos de produtores do Projeto Reca, realizada no Laboratório de Solos da Embrapa Acre, conforme metodologia indicada em Donagema (2011).

Construção da base geográfica de dados

As atividades de geoprocessamento foram realizadas utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas ArcGIS, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI) de Redlans, Califórnia (Ormsby et al., 2001).

Para elaboração da base cartográfica foram utilizadas imagens de radar Aster com pixel de 30 m (Nasa, 2011), imagens de radar Alos Palsar com resolução espacial de 12,5 m (Japan Aerospace Exploration Agency, 2017), imagens de satélite Sentinel do ano

¹ O carbono orgânico total foi determinado por meio do processo de oxidação da matéria orgânica, por via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ sem aquecimento (Walkley; Black, 1934).

de 2017 e a base cartográfica da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (Brasil, 2019). Para elaborar a base cartográfica e a coleta de dados de campo utilizou-se o Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) com Datum Sirgas 2000.

As interpretações do material cartográfico básico para identificar e verificar a distribuição das várias unidades de mapeamento no campo foram feitas antes, durante e após os trabalhos de campo, resultando na elaboração do mapa pedológico em nível de reconhecimento de

média intensidade na escala de 1:100.00 e de sua legenda final.

Com base nas observações, exames e descrições morfológicas de solos efetuados durante os trabalhos de campo, nos resultados analíticos de perfis de solo e na comparação das legendas, resultantes das avaliações de diferentes viagens de campo, foi elaborada a legenda final, seguindo as recomendações constantes em Santos et al. (1995) e IBGE (2015).

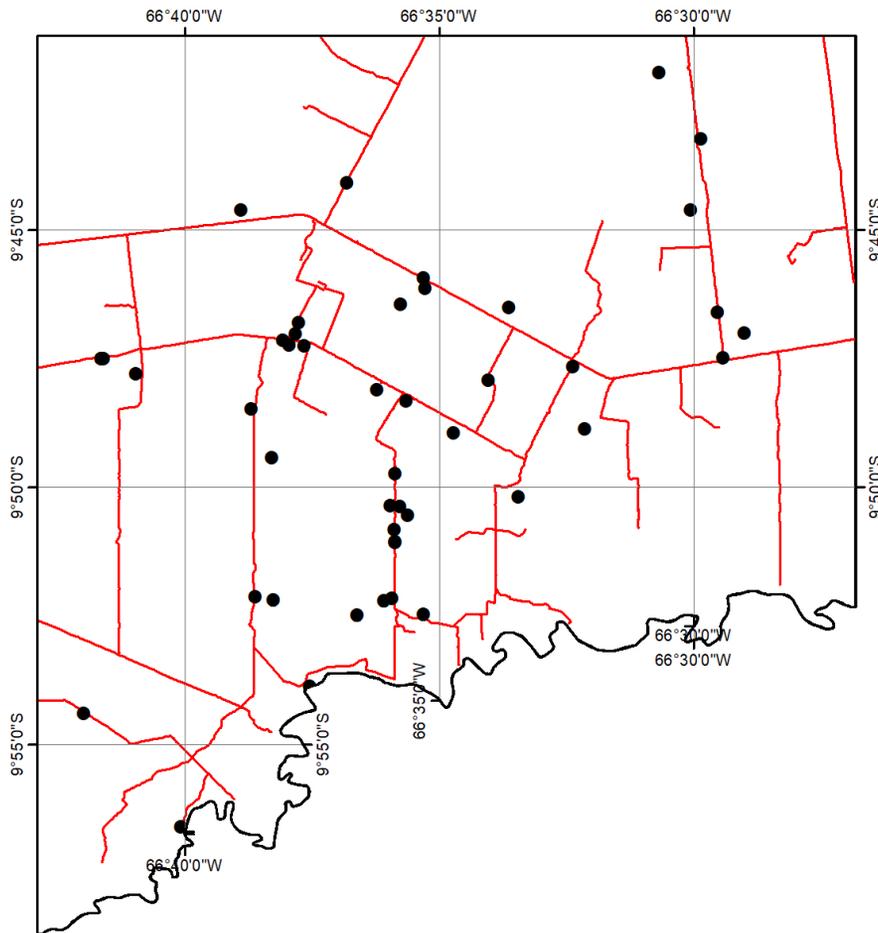


Figura 4.4. Distribuição dos pontos amostrais dos perfis de solo na área de estudo.

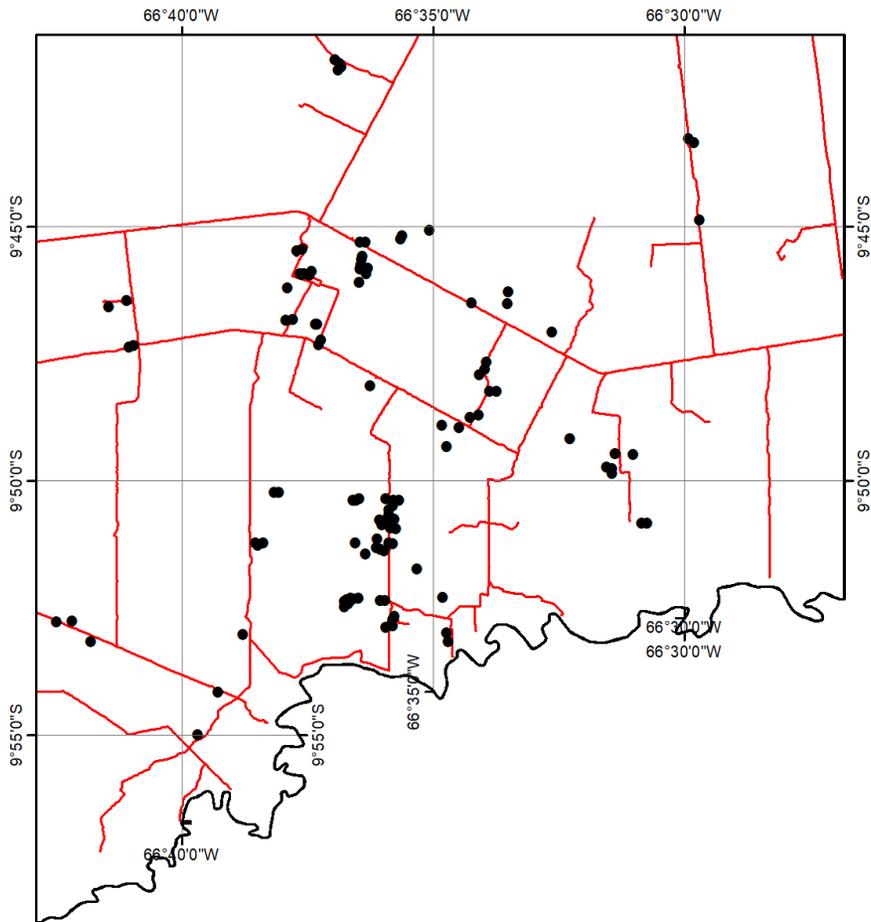


Figura 4.5. Distribuição dos pontos amostrais para fins de fertilidade do solo.

Determinação dos estoques de carbono

Os solos descritos foram classificados até o quarto nível categórico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, e apresentados de acordo com a classificação vigente (Santos et al., 2018). As médias por uso e cobertura da terra foram obtidas identificando-se, para cada perfil, o uso e cobertura da terra reportada para o dado de carbono.

Para os solos sem resultados de densidade aparente, aplicou-se a função de pedotransferência, desenvolvida por Benites et al.

(2007), para estimar a densidade do solo nos horizontes:

$$D_s = 1,56 - (0,0005 \times \text{argila}) - (0,01 \times C) + (0,0075 \times SB)$$

em que

D_s = densidade do solo.

argila = proporção de argila na análise granulométrica, expressa em g kg⁻¹.

C = concentração de carbono no solo, expressa em g kg⁻¹.

SB = soma de bases ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$), expressa em cmol_c dm⁻³.

Em seguida, a partir dos dados de estoque de C por horizonte, foi calculado o carbono total até as profundidades de 0 cm–20 cm e de 0 cm–100 cm do solo. Esses dados então foram integrados em cada unidade de mapeamento de solo, de acordo com a ocorrência de cada classe, para se obter o carbono total por área ocupada.

Nas amostras para avaliação da fertilidade foram utilizados os dados de C orgânico para calcular os estoques até a profundidade de 20 cm. A partir da determinação da densidade e do teor de C do solo foi possível calcular o estoque de carbono do solo (Silva et al., 2004) em cada profundidade. O cálculo dos estoques foi realizado pela equação²:

$$E_c = D_s \times h \times C$$

em que

E_c = estoque de carbono ($Mg\ ha^{-1}$).

D_s = densidade aparente do solo ($g\ cm^{-3}$).

h = espessura da camada de solo amostrada (cm).

C = teor de C ($g\ kg^{-1}$).

Análise estatística

Os resultados dos estoques de carbono foram submetidos à análise de variância com o objetivo de conhecer as diferenças significativas entre as profundidades e entre as classes de solos pelo procedimento Anova. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade para caracterizar as diferenças entre as ordens e subordens.

Resultados e discussão

Condições climáticas na área de estudo

Na área do Reca (Figura 4.6A), os valores altimétricos variam entre 200 m e 250 m em relação ao nível médio do mar (Figura 4.6B). Em função dos dados espaciais, verifica-se que as chuvas anuais apresentam reduções (1.800 mm a 1.901 mm) (Figura 4.6C) na parte sudeste-sul, nas áreas sob o domínio do estado do Acre. Ao contabilizar o total de chuva com valores mensais menores de 100 mm, há uma quase uniformidade na área de estudo, mas, ao analisar o total nos meses abaixo de 60 mm, nota-se que as áreas apresentam espacialmente dimensões semelhantes, reforçando a importância dessa variável climática no aporte de C.

Em se tratando do regime de chuva mensal, verifica-se que janeiro, fevereiro, março e dezembro são os meses mais pluviosos. Em quatro meses (junho a setembro) as chuvas mensais ficam abaixo de 100 mm (Figura 4.6D), mas as atenções devem ser focadas no período entre junho e agosto, quando o volume de chuva não ultrapassa os 60 mm (Figura 4.6E), indicando que reduções na quantidade de água disponível às plantas poderão causar maiores aportes de C na superfície do solo e menor decomposição pela redução da chuva (Figura 4.6F), na avaliação desse componente climático.

² Não foi realizada a correção por equivalente de massa uma vez que se tratava de usos agroflorestais similares; utilizaram-se duas profundidades de 0 cm–20 cm e 0 cm–100 cm.

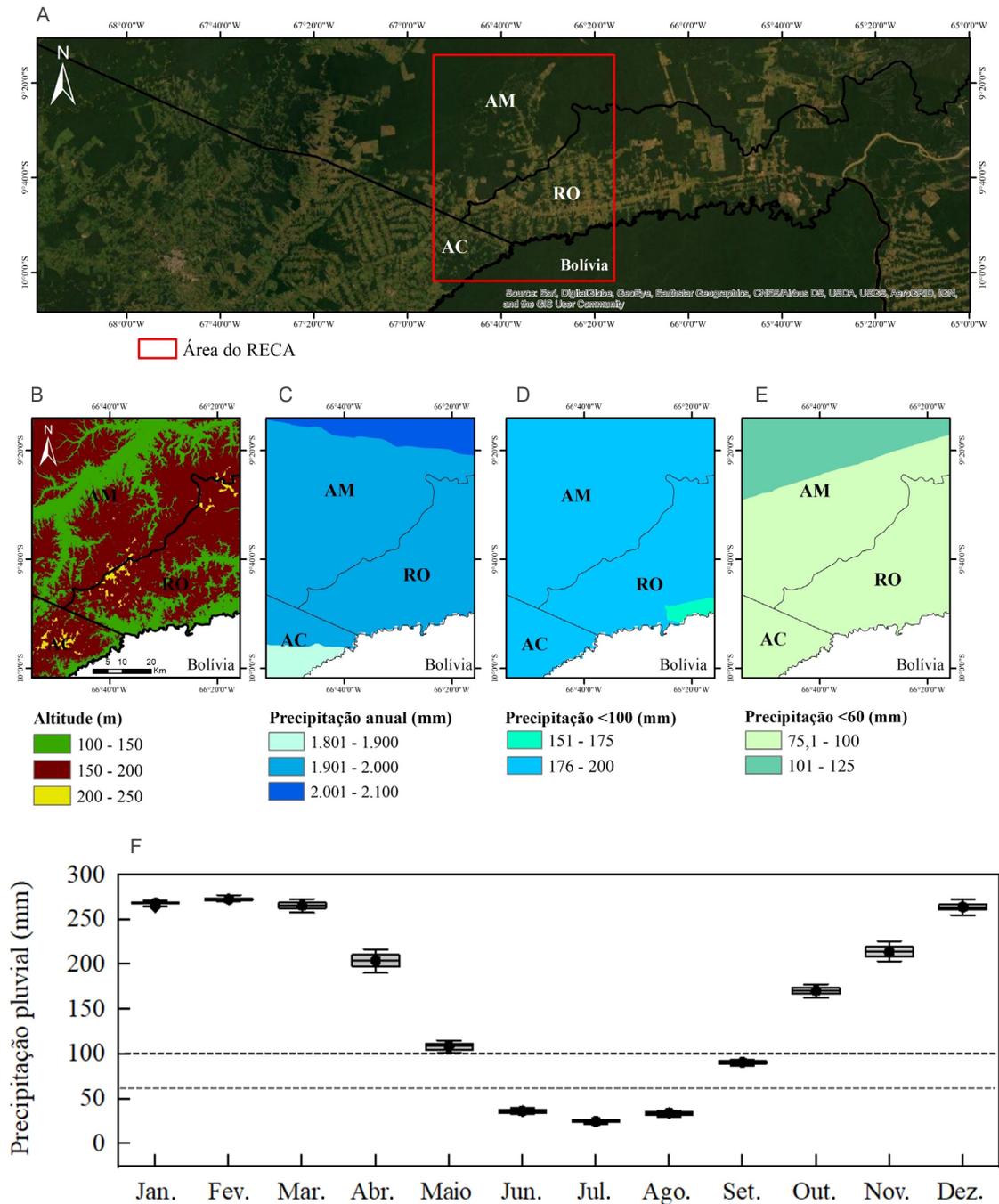


Figura 4.6. Área do Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado (A), mapas de altitude em metros (B), precipitação pluvial anual em mm (C), total de precipitação nos meses com chuva abaixo de 100 mm (D) e de 60 mm (E) e boxplot de distribuição mensal das chuvas (F).

Na área de estudo (Figura 4.7A), a umidade relativa do ar (%) variou anualmente em média entre 80% e 90% (Figura 4.7B). Nas áreas mais altas ocorrem os menores valores em termos de percentual de vapor d'água presente na atmosfera. A temperatura média anual variou de 26 °C a 27 °C (Figura 4.7C), as máximas entre 31,5 °C e 32 °C (Figura 4.7D) e as mínimas entre 20,5 °C e 21,5 °C (Figura 4.7E), reforçando a importância da variável hídrica nas análises dos estoques de C no solo, ao considerar, em função da escala de detalhe do trabalho, baixa variabilidade térmica na área de estudo. Todavia, ao analisar a dinâmica térmica mensal, os meses mais quentes foram setembro, outubro e novembro, com temperaturas médias de aproximadamente 27 °C, e junho e julho, com valores mais próximos dos 25 °C (Figura 4.7F).

Em Bastos (1972) foi apontado que a temperatura média anual em Rio Branco é da ordem de 24,3 °C, sendo os meses mais quentes setembro, novembro e dezembro, com temperaturas médias em torno de 25 °C, que caem para 22,9 °C a 22 °C, entre junho e julho, respectivamente. Essas reduções térmicas são influenciadas nesses meses pela ocorrência de ondas de frio, que podem atingir até 4 °C, com duração de 3 a 8 dias. As análises de Duarte (2006) confirmam que no Acre em julho são observados valores térmicos variando entre 17 °C e 22 °C. Corroborando as análises climáticas de Amaral et al. (2019), em 2005, as friagens são mais frequentes com mínimas em julho da ordem de 13 °C, indicando nesse ano registros de madrugadas mais frias no Acre.

O padrão climático com base na tipologia de Köppen adaptada por Martorano et al. (1993, 2017) confirma que há uma área com moderada estação seca e ocorrência

de precipitação média mensal inferior a 60 mm pertencente à tipologia Am₃. A área está regida por duas tipologias climáticas, Am₄ e Aw₄, reforçando que o volume de chuva anual varia entre 1.500 mm e 2.000 mm (Figura 4.8). Com base na tipologia de Thornthwaite; Mather (1955), conforme os estudos de Moraes et al. (2020) para a Amazônia (Figura 4.8), a área de estudo é regida pelo tipo B3rA'a', caracterizando clima úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, com evapotranspiração potencial maior ou igual a 1.140 mm (Pereira et al., 2002).

Os estudos de Bastos (1972) e Alvares et al. (2013) apontam que o Projeto Reça está inserido na condição climática Am₄ em transição com o Aw₄, inferindo-se que na série histórica analisada pelos autores os meses menos chuvosos foram mais marcantes e Rio Branco enquadrou-se na tipologia Aw. Todavia, ao avaliar as análises apresentadas em Brasil (1976), conclui-se que a vegetação florestal é reflexo de uma estação seca de pequena duração, em decorrência da precipitação que se distribui quase uniformemente, corroborando com as condições típicas de Am₄.

Machado (2015) reforça sobre o processo interativo no sistema climático, em que cada componente (atmosfera, hidrosfera, criosfera, superfície terrestre e biosfera) responde em função de fatores externos, a exemplo, efeitos em decorrência da energia solar e pelo processo antrópico. Os componentes atmosféricos gases, particulados e vapor d'água são responsáveis, principalmente, na troposfera terrestre pela atenuação da radiação solar (342 W m⁻²) e absorção da radiação infravermelha emitida pela Terra. O fluxo interativo solo-planta-animais-atmosfera mantém naturalmente a tempera-

tura da Terra em torno de 14 °C, mas os modelos de Field e Barros (2014) reforçaram as evidências de que o efeito antrópico é variável sensível ao apontar elevações

térmicas na temperatura da Terra da ordem de 1 °C ou, em cenários pessimistas, atingir valores próximos a 4 °C, em prognósticos de mudanças climáticas.

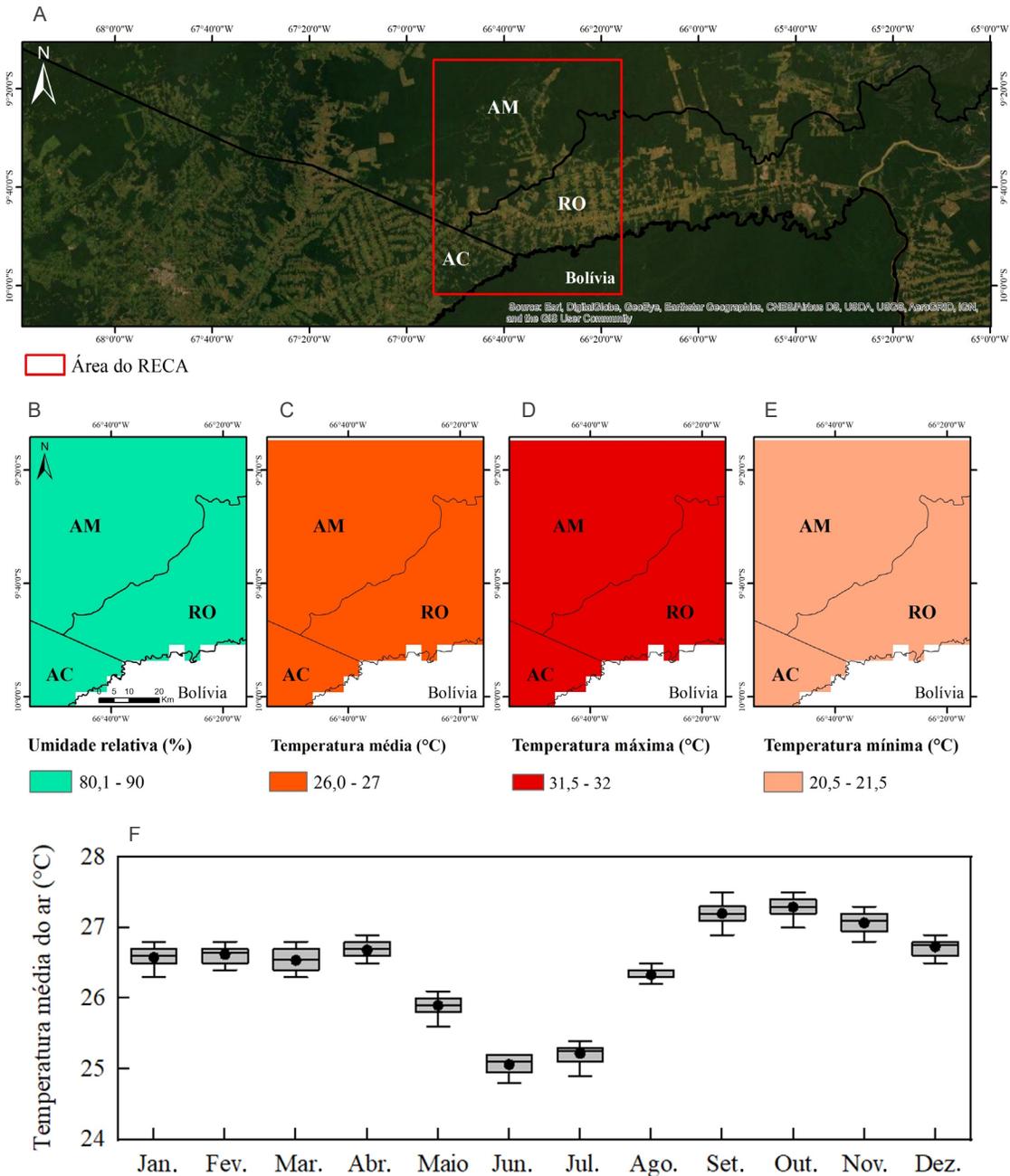


Figura 4.7. Área do Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado (A), valores de umidade relativa do ar (B), temperatura média (C), máxima (D) e mínima (E) e boxplot da temperatura média (F).

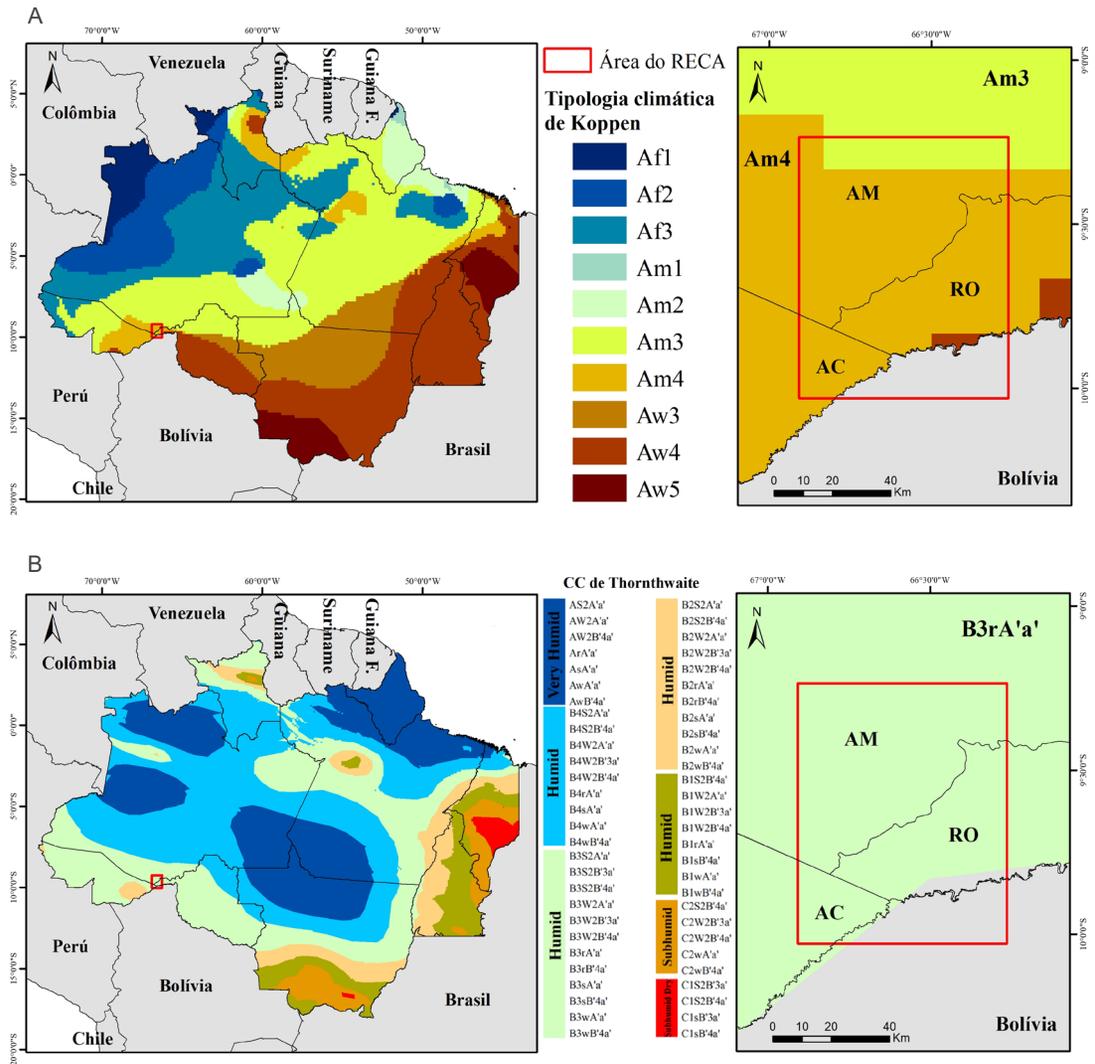


Figura 4.8. Tipologias climáticas, na área do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, de acordo com a classificação de Köppen.

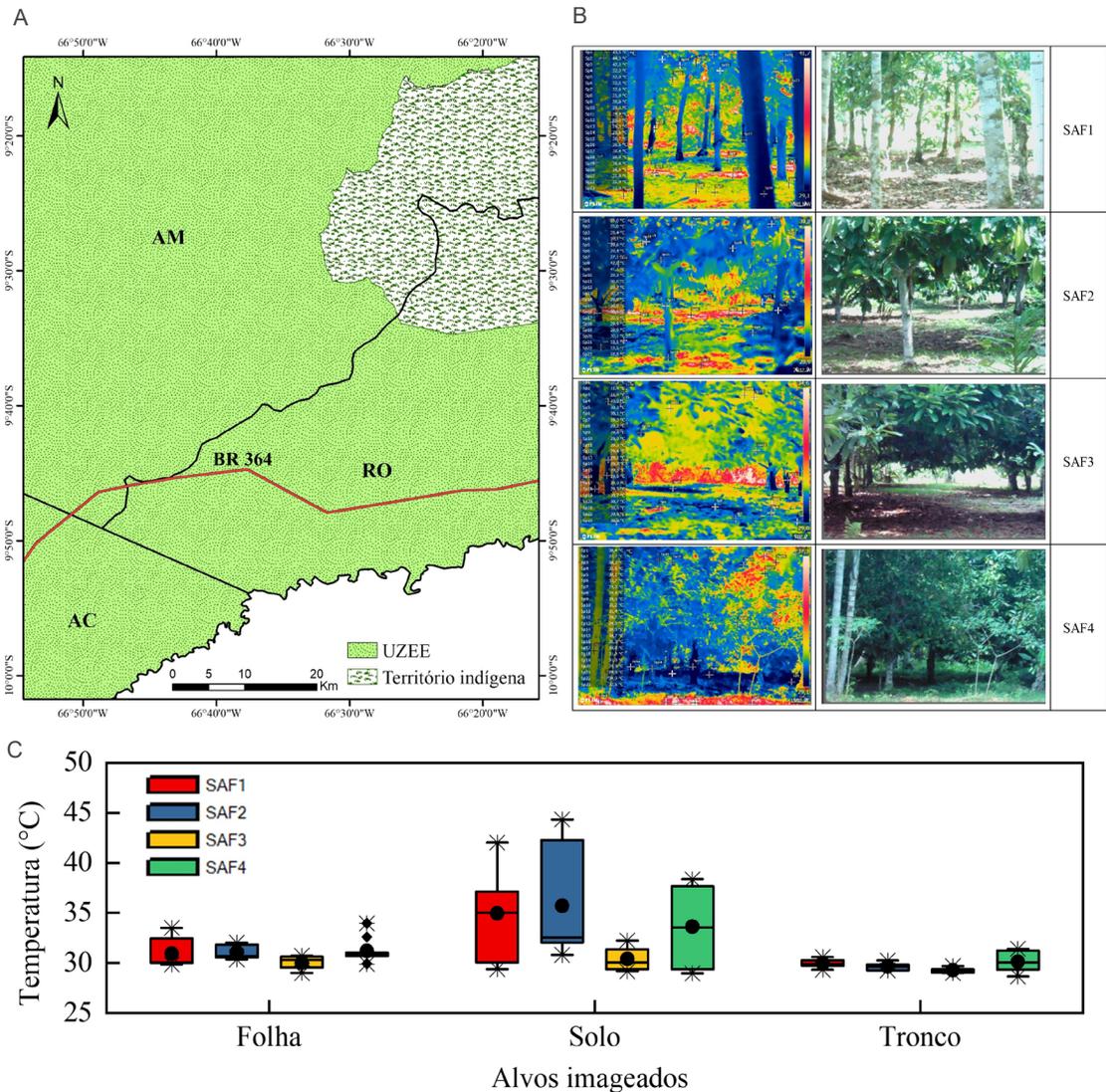
Fonte: Adaptado por Martorano et al. (1993) (A) e Moraes et al. (2020) (B).

Considerando que o mês de maio apresenta transição entre o período de menor precipitação pluvial na área de estudo, reduzindo também as temperaturas médias do ar, os diagnósticos termográficos subsidiam a importância de manutenção da vegetação no solo em horários de intensa incidência de raios solares. Observa-se na Figura 4.9B que o padrão térmico identificado em cada SAF (SAF1 – cupuaçu x rambotã; SAF2 – cupuaçu

x pupunha; SAF3 – cupuaçu x castanha x pupunha; e SAF4 – cupuaçu x castanha x pupunha, área borda) reforça a importância do componente arbóreo nessas áreas que foram apontadas como antrópicas pelo Projeto Uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (UZEE) (Figura 4.9A), por Martorano et al. (2017) nos estudos de zoneamento topoclimático para indicação de plantios de espécies nativas

da Amazônia. Os boxplots nos troncos e nas folhas apresentam baixa variabilidade (Figura 4.9C), porém nas áreas com solo mais exposto aos raios solares as temperaturas

foram mais elevadas, indicando que entre 12h e 14h do dia 24 de maio de 2017 havia locais no solo que registraram 45 °C.



Fotos: Eulfran Ferreira do Amaral

Figura 4.9. Mapa indicando áreas antrópicas na Amazônia pelo Projeto Uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (A), imagens termográficas analisadas considerando quatro arranjos de sistemas agroflorestais no Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado (B) e boxplot de temperaturas correspondentes aos alvos solo, tronco e folhas (C).

Por outro lado, no SAF3, com maior fechamento do dossel pelas copas das árvores com quase 30 anos de idade, as temperaturas foram em torno de 30 °C, evidenciando diferenças de cerca de 15 °C entre os alvos imageados

no SAF3 e SAF4, reforçando a prestação de serviço ambiental como atenuador de calor pelo arranjo de plantas no SAF3, que confirma a baixa variabilidade térmica desse sistema. No SAF4, que apresenta diversificação,

inclusive no sub-bosque, a presença de palmeiras pela arquitetura das folhas e caule explica a variação térmica, mas os resultados estão muito próximos às temperaturas no solo do SAF1 (Figura 4.9C).

Estoque de carbono nas diferentes classes de solos do Projeto Reça e diferentes profundidades

Das cinco ordens que ocorrem na área de estudo, a que possui maior extensão é a dos Argissolos, com 47,2%; os Plintossolos ocupam 28,8%; os Latossolos 3,9%; os Neossolos 0,1%; e os Cambissolos ocorrem com inclusão em duas unidades de mapeamento. Em todas as ordens os teores de cátions trocáveis foram baixos associados a altos teores de alumínio, solos distróficos com maiores teores de C orgânico (Corg) no horizonte superficial (Tabela 4.2).

A análise granulométrica permitiu classificar os horizontes A e B em diferentes classes texturais, predominando textura argilosa nos Argissolos e Plintossolos e textura média nos Latossolos. A relação silte/argila demonstra graus diferenciados de evolução pedológica em função do material de origem sedimentar e a densidade aparente (D_s) aumenta com a profundidade (Tabela 4.3).

Os estoques de C variaram de $76,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $219,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, considerando o volume de solos até 100 cm de profundidade da superfície (Tabela 4.4). Os maiores estoques foram encontrados nos Cambissolos, sendo 26,7% nos primeiros 20 cm de profundidade, em função das maiores densidades e da textura. Esses valores são superiores aos encontrados por Melo (2003) para o estado do Acre (64 Mg ha^{-1}), por Fidalgo et al. (2007) para solos do Brasil (55 Mg ha^{-1}) e por aqueles estimados por Cidin (2016) para solos do Brasil

($57,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Apesar de serem solos distróficos foram coletados sob sistemas agroflorestais com pupunha, cupuaçu, castanha-da-amazônia do Projeto Reça que contribuíram para o incremento nos estoques, conforme postulado por Somarriba (1992), Albrecht; Kandji (2003), Garrity (2004), Jose (2009), Nair et al. (2009) e Oliveira (2015), associados às características da ordem com baixa evolução no desenvolvimento pedológico.

No segundo grupo de ordens, com estoques similares, na profundidade de 100 cm, estão os Latossolos e Argissolos. Os estoques de C encontrados nos Latossolos foram de $118,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo 45,1% nos primeiros 20 cm de profundidade, superiores aos encontrados por Melo (2003) (74 Mg ha^{-1}), Fidalgo et al. (2007) ($41,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Cidin (2016) ($53,2 \text{ Mg ha}^{-1}$). Ressalta-se que esses são os solos mais desenvolvidos da área com caráter distrófico. Para os Argissolos foram estimados estoques de C de 96 Mg ha^{-1} , sendo 45,6% nos primeiros 20 cm de profundidade, com valores superiores aos encontrados por Melo (2003) (61 Mg ha^{-1}), Fidalgo et al. (2007) ($37,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Cidin (2016) ($46,7 \text{ Mg ha}^{-1}$). Portanto, estudos locais são importantes para melhor definir os estoques que se apresentaram maiores que em trabalhos já realizados e integram informações recentes de perfis coletados na área de estudo como os de Couto (2010) que permitem estimativas com menor dispersão.

No terceiro grupo de ordens, com estoques similares, na profundidade de 100 cm, estão os Plintossolos e Neossolos Flúvicos. Os estoques de C encontrados nos Plintossolos foram de $87,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo 43,7% nos primeiros 20 cm de profundidade, valores superiores aos encontrados por Fidalgo et al. (2007) ($36,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Cidin (2016)

(47,9 Mg ha⁻¹). Ressalta-se que esses são solos pouco desenvolvidos e de baixa fertilidade natural. Para os Neossolos Flúvicos foram estimados estoques de 76,8 Mg ha⁻¹, dos quais 94,3% nos primeiros 20 cm de profundidade, ressaltando a importância da deposição de sedimentos para sua gênese e acúmulo de C nos horizontes superficiais. Esses estoques foram superiores aos encontrados por Fidalgo et al. (2007) (36,5 Mg ha⁻¹) e Cidin (2016) (43,1 Mg ha⁻¹), indicando uma tendência de estoques maiores que as médias já definidas para os solos do Brasil.

Na camada de 0 cm–20 cm os estoques de C seguiram sequência decrescente (Cambissolo > Latossolo > Neossolo > Argissolo > Plintossolo) e para os estoques totais na camada de 0 cm–100 cm de profundidade a sequência foi Cambissolo > Latossolo > Argissolo > Plintossolo > Neossolo. Destaca-se a importância de estratificar as ordens para avaliação dos estoques e o conhecimento da sua concentração nos primeiros 20 cm, parâmetros que podem ser utilizados como base para indicadores ambientais de efetividade no uso da terra.

Tabela 4.2. Atributos químicos das subordens de solos encontradas na área de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, Amazônia Sul-Occidental, nas profundidades de 0 cm–20 cm e 0 cm–100 cm.

Subordem	Dado químico									
	pH (H ₂ O)	(cmol _c dm ⁻³)					(mg dm ⁻³)	(g kg ⁻¹)	(%)	
		Ca	Mg	K	H+Al	CTC pH7	P	Corg	V	Valor m
Argissolo Amarelo										
Horizonte A	4,64	1,57	1,08	0,12	6,21	8,98	5,69	16,89	31,06	44,28
Horizonte B	4,74	0,28	0,48	0,10	7,08	7,93	1,15	6,62	13,62	79,89
Argissolo Vermelho										
Horizonte A	4,47	1,43	1,17	0,14	4,86	7,60	4,96	12,12	34,26	33,62
Horizonte B	4,62	0,14	0,28	0,06	5,73	6,20	0,80	4,49	7,26	84,90
Argissolo Vermelho-Amarelo										
Horizonte A	4,50	3,35	2,20	0,26	7,19	13,02	3,01	19,40	45,46	18,00
Horizonte B	4,68	0,09	0,70	0,07	8,43	9,30	1,06	4,94	8,57	96,00
Cambissolo Háplico										
Horizonte A	4,12	0,25	1,66	0,10	8,94	10,94	0,50	22,46	22,80	58,37
Horizonte B	4,31	0,00	1,36	0,09	8,31	9,76	0,50	13,65	15,80	73,69
Latossolo Amarelo										
Horizonte A	4,59	2,44	2,11	0,16	7,16	11,88	2,47	18,42	40,84	15,66
Horizonte B	4,65	0,14	0,87	0,07	6,15	7,22	0,81	6,51	15,61	65,73
Latossolo Vermelho										
Horizonte A	4,49	1,60	0,97	0,26	5,79	8,63	1,68	21,60	32,44	41,85
Horizonte B	4,65	0,16	0,35	0,09	4,45	5,05	0,60	6,72	11,82	78,21

Continua...

Tabela 4.2. Continuação.

Subordem	Dado químico									
	pH (H ₂ O)	(cmol _c dm ⁻³)					(mg dm ⁻³)	(g kg ⁻¹)	(%)	
		Ca	Mg	K	H+Al	CTC pH7	P	Corg	V	Valor m
Latossolo Vermelho- -Amarelo										
Horizonte A	4,59	2,77	0,50	0,46	2,60	6,33	1,09	17,21	43,51	44,16
Horizonte B	4,44	0,85	0,26	0,11	3,76	4,97	0,65	7,16	21,30	65,83
Neossolo Flúvico										
Horizonte A	5,00	6,51	4,57	0,30	8,50	19,87	10,00	35,45	50,39	28,82
Horizonte C	5,41	3,69	2,02	0,13	6,17	12,02	6,64	1,76	51,78	44,32
Plintossolo Argilúvico										
Horizonte A	4,48	1,26	0,91	0,14	5,87	8,20	1,88	17,42	28,49	39,82
Horizonte B	4,66	0,12	0,32	0,08	6,88	7,41	0,49	5,66	7,73	88,30
Plintossolo Háplico										
Horizonte A	4,12	2,50	0,40	0,16	4,47	7,53	1,65	14,50	41,52	51,10
Horizonte B	4,32	0,48	0,28	0,12	7,79	8,67	0,66	4,87	11,90	85,62
Plintossolo Pétrico										
Horizonte A	4,00	1,03	0,52	0,29	3,60	5,44	2,05	18,20	34,00	59,31
Horizonte B	3,93	0,13	0,12	0,09	5,74	6,07	0,53	5,78	5,50	93,88

Couto (2010) ressalta que os atributos químicos do solo do Projeto Reca não são considerados bons indicadores na seleção de áreas para a implantação de sistemas agroflorestais, pois os valores de estoques de carbono do solo até a profundidade de 1 m apresentam alta variabilidade e os maiores valores foram encontrados em geral nas áreas de floresta. Essa afirmativa refere-se a uma área específica e utilizando somente 13 perfis. Para este estudo foram considerados, além desses perfis, mais 32, incluindo 11 coletados de forma a complementar o banco de dados geográfico, o que permitiu, além de produzir um mapa temático, a redução da variabilidade e um melhor ajuste da estratificação.

Para os Argissolos, os estoques variaram de 39,1 Mg ha⁻¹ a 45 Mg ha⁻¹ na camada de 0 cm–20 cm e os Argissolos Amarelos apresentaram os maiores valores, que foram iguais aos estoques dos Argissolos Vermelho-Amarelos. Os Argissolos Vermelhos foram os que apresentaram menores estoques nessa camada. Na camada de 0 cm–100 cm, os estoques variaram de 80,6 Mg ha⁻¹ a 108,8 Mg ha⁻¹, sendo os Argissolos Amarelos os que apresentaram maior estoque e os Argissolos Vermelho-Amarelos, os menores (Tabela 4.5). Os resultados evidenciam a sensibilidade da resposta da camada de 0 cm–20 cm em função do uso e os estoques totais refletem a expressão da gênese de cada subordem.

Tabela 4.3. Atributos físicos das subordens de solos encontradas na área de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, Amazônia Sul-Occidental, nos horizontes A, B e C.

Subordem	Atributo físico					Ds ⁽¹⁾ (kg dm ⁻³)
	(g kg ⁻¹)				Silte/argila	
	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte		
Argissolo Amarelo						
Horizonte A	50	190	450	310	1,89	1,27
Horizonte B	30	151	326	493	0,69	1,46
Argissolo Vermelho						
Horizonte A	64	229	328	330	1,17	1,39
Horizonte B	39	139	311	511	0,65	1,44
Argissolo Vermelho-Amarelo						
Horizonte A	27	94	579	300	2,28	1,18
Horizonte B	15	52	412	520	0,83	1,40
Cambissolo Háplico						
Horizonte A	20	80	490	410	1,20	1,40
Horizonte B	23	60	440	477	0,93	1,58
Latossolo Amarelo						
Horizonte A	30	296	211	462	0,58	1,33
Horizonte B	29	183	150	638	0,28	1,44
Latossolo Vermelho						
Horizonte A	43	166	209	581	0,40	1,22
Horizonte B	29	129	133	708	0,20	1,32
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Horizonte A	41	232	226	500	0,65	1,37
Horizonte B	30	237	240	493	0,75	1,48
Neossolo Flúvico						
Horizonte A	10	235	480	275	2,06	1,28
Horizonte C	16	334	353	300	1,94	1,57
Plintossolo Argilúvico						
Horizonte A	24	146	501	329	1,61	1,29
Horizonte B	24	94	383	498	0,84	1,42
Plintossolo Háplico						
Horizonte A	52	180	368	400	1,05	1,42
Horizonte B	36	130	260	574	0,46	1,50
Plintossolo Pétrico						
Horizonte A	42	168	285	505	0,57	1,37
Horizonte B	45	180	212	562	0,38	1,48

⁽¹⁾ Densidade aparente (Ds).

Tabela 4.4. Estoques de carbono das ordens de solos encontradas na área de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, Amazônia Sul-Occidental, nas profundidades de 0 cm–20 cm e 0 cm–100 cm.

Ordem	Estoque C (Mg ha ⁻¹)	
	0 cm–20 cm	0 cm–100 cm
Argissolo	43,8ab	96,0b
Cambissolo	58,5a	219,2a
Latossolo	53,6a	118,8b
Neossolo Flúvico	47,0ab	76,8c
Plintossolo	38,3b	87,6c

Na mesma coluna, letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 4.5. Estoques de carbono (Mg ha⁻¹) das subordens de solos encontradas na área de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, Amazônia Sul-Occidental, nas profundidades de 0 cm–20 cm e 0 cm–100 cm.

Subordem	Estoque C (Mg ha ⁻¹)	
	0 cm–20 cm	0 cm–100 cm
Argissolo Amarelo	45,0abcde	108,8bc
Argissolo Vermelho	39,1bcde	102,3bcd
Argissolo Vermelho-Amarelo	44,7abcde	80,6bcde
Cambissolo Háptico	58,5a	219,2a
Latossolo Amarelo	52,7ab	140,2b
Latossolo Vermelho	55,4a	116,1b
Latossolo Vermelho-Amarelo	45,7abc	99,8bcde
Neossolo Flúvico	47,0abc	76,8de
Plintossolo Argilúvico	36,3cd	86,8bcde
Plintossolo Háptico	33,9de	80,3cde
Plintossolo Pétrico	49,7abc	100,4bcde

Na mesma coluna, letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Nos Latossolos os estoques variaram de 45,7 Mg ha⁻¹ a 55,4 Mg ha⁻¹ na camada de 0 cm–20 cm e os Latossolos Vermelhos apresentaram os maiores valores, que foram iguais às demais duas subordens (Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos). Na camada de 0 cm–100 cm os estoques variaram de

99,8 Mg ha⁻¹ a 140,2 Mg ha⁻¹, sendo os Latossolos Amarelos os que apresentaram maior estoque e os Latossolos Vermelho-Amarelos, os menores. Verifica-se a tendência de valores maiores que os Argissolos e uma concentração nos estoques na camada superior do perfil.

Para os Plintossolos, os estoques foram entre 33,9 Mg ha⁻¹ e 49,7 Mg ha⁻¹ na camada de 0 cm–20 cm. Os Plintossolos Pétricos tiveram os maiores valores em relação aos Plintossolos Háplicos e iguais aos Plintossolos Argilúvicos. Para a camada de 0 cm–100 cm, os estoques variaram de 80,3 Mg ha⁻¹ a 100,4 Mg ha⁻¹, com a mesma tendência de valores decrescentes dos Plintossolos Pétricos para os Plintossolos Háplicos.

Estoque de carbono nos solos da área de estudo

As estimativas para as unidades de mapeamento resultaram em estoques médios de carbono na camada de 0 cm–20 cm de 48,5 Mg ha⁻¹ ± 6,9 Mg ha⁻¹, e para a camada de 0 cm–100 cm o estoque médio de 99,3 Mg ha⁻¹ ± 27,9 Mg ha⁻¹, menores que os dados de perfis individuais, mas ainda maiores que os encontrados por Melo (2003), Fidalgo et al. (2007) e Cidin (2016). Os dados integrados no mapa de solos resultaram em um estoque total para a área de estudo de 7,6 Mt³ C, dos quais 3,2 Mt C estão na camada de 0 cm–20 cm (42% do estoque total).

Na camada de 0 cm–20 cm os valores variaram de 28,7 t ha⁻¹ a 72,1 t ha⁻¹, com os maiores estoques no setor sul (Figura 4.10) associados aos Neossolos Flúvicos. Nas associações Argissolos e Plintossolos do setor norte foram encontrados os menores estoques.

Os valores na camada de 0 cm–100 cm variaram de 58,3 t ha⁻¹ a 157 t ha⁻¹, com os maiores estoques encontrados no setor norte (Figura 4.11) associados aos Latossolos Vermelhos. Nas unidades de mapeamento em associações Argissolos e Plintossolos do setor norte foram encontrados os menores estoques na profundidade de 0 cm–100 cm. No setor sul

predominam estoques médios de C no solo para essa área.

Os resultados de estoques totais de C por unidade de mapeamento mostram um acúmulo de 3,2 Mt C na camada de 0 cm–20 cm, com valores variando por unidade de 19 Mg a 625.124 Mg, em função da variabilidade da área ocupada por cada mancha. A média de estoque por mancha foi de 18.049 Mg, distribuídos nos 178 polígonos do mapa de solos da área de inserção do Projeto Reça.

Considerando a profundidade de 0 cm–100 cm, o total de C armazenado foi de 7,6 Mt C, com uma variação por unidade de 42 Mg a 1.845.284 Mg em função da área ocupada. A média de estoque por mancha foi de 42.705 Mg.

Emissões e sumidouros de carbono em função do manejo: um método de valoração do carbono

Segundo Couto (2010), os produtores associados do Projeto Reça constituem um grupo de, aproximadamente, 220 famílias que vivem em sua maioria (72,4%) em lotes de 50 ha a 100 ha, sendo a produção oriunda de 150 propriedades divididas em 12 grupos. Dessa forma, as amostras do presente trabalho envolveram 45% das propriedades que estavam distribuídas em 92% dos grupos do Reça.

Há uma queda na produção dos sistemas agroflorestais a partir do sétimo ano de cultivo que é observada por todos os produtores (Ayres; Alfaia, 2007), muito associada a não reposição adequada de nutrientes e à baixa intensidade de estratégias de manejo do solo para melhorar a produtividade.

Silva (2018), estudando solos de propriedades do Reça, observou correlação significativa e positiva da MO com os outros atributos

³ 1 Mt = 1 milhão de toneladas.

químicos do solo, exceto para a saturação de alumínio, demonstrando a efetividade da sua influência nos atributos químicos, o que ressalta a importância da quantificação e manejo da matéria orgânica para os sistemas agroflorestais produtivos.

Os estoques de C da camada de 0 cm–20 cm do solo das propriedades do Reca variaram de $16,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $57,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 4.12). A média geral das 115 amostras analisadas foi

de $29,9 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, indicando haver uma alta amplitude de variação nas amostras em função dos valores encontrados. Quinze por cento dos produtores foram enquadrados na faixa mais alta de estoques ($36,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $57,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 41% deles na faixa mais baixa ($16,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $27,3 \text{ Mg ha}^{-1}$), indicando ser possível fazer uma estratificação dos estoques.

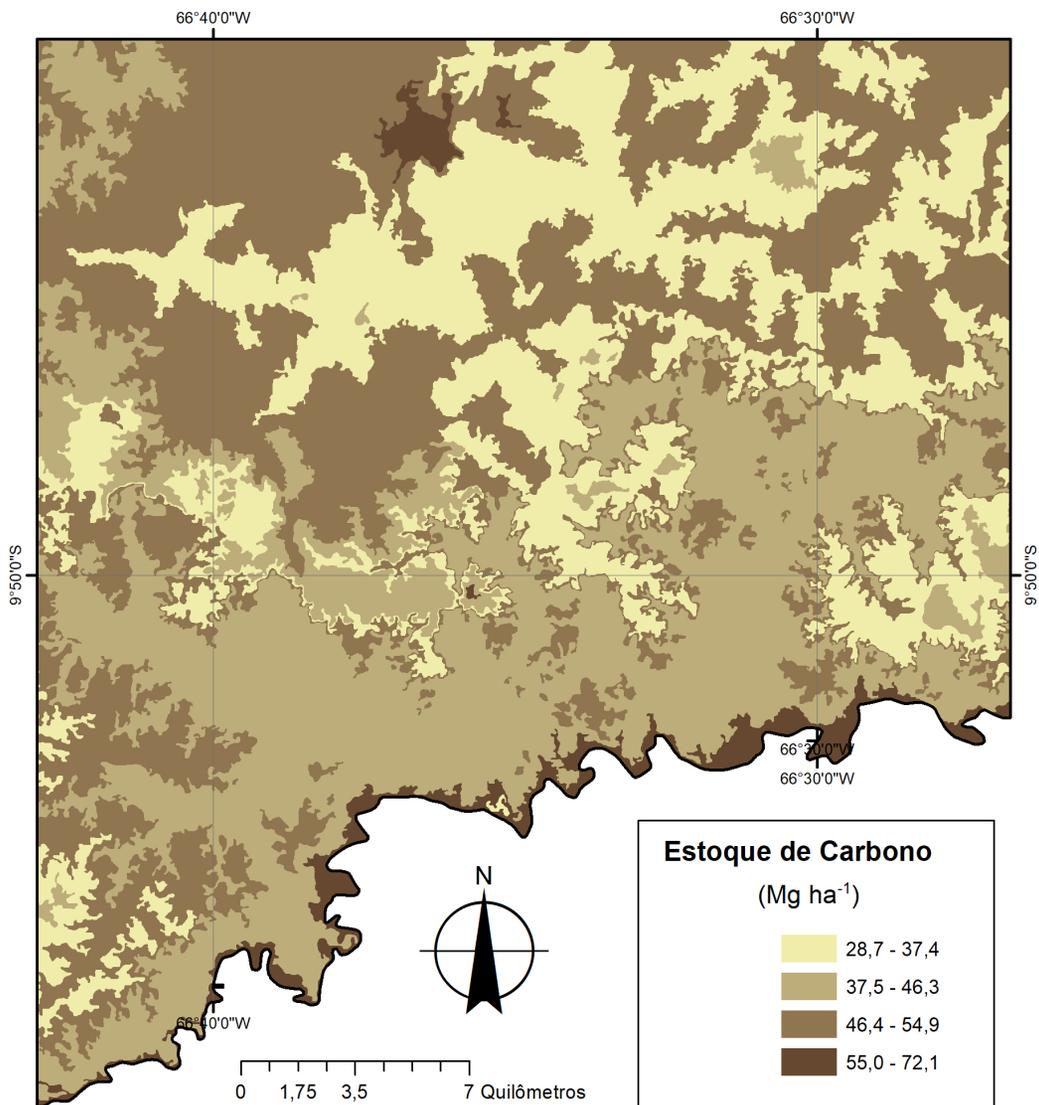


Figura 4.10. Distribuição dos estoques de carbono médios (Mg ha^{-1}) na camada de 0 cm–20 cm dos solos na área de inserção do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado.

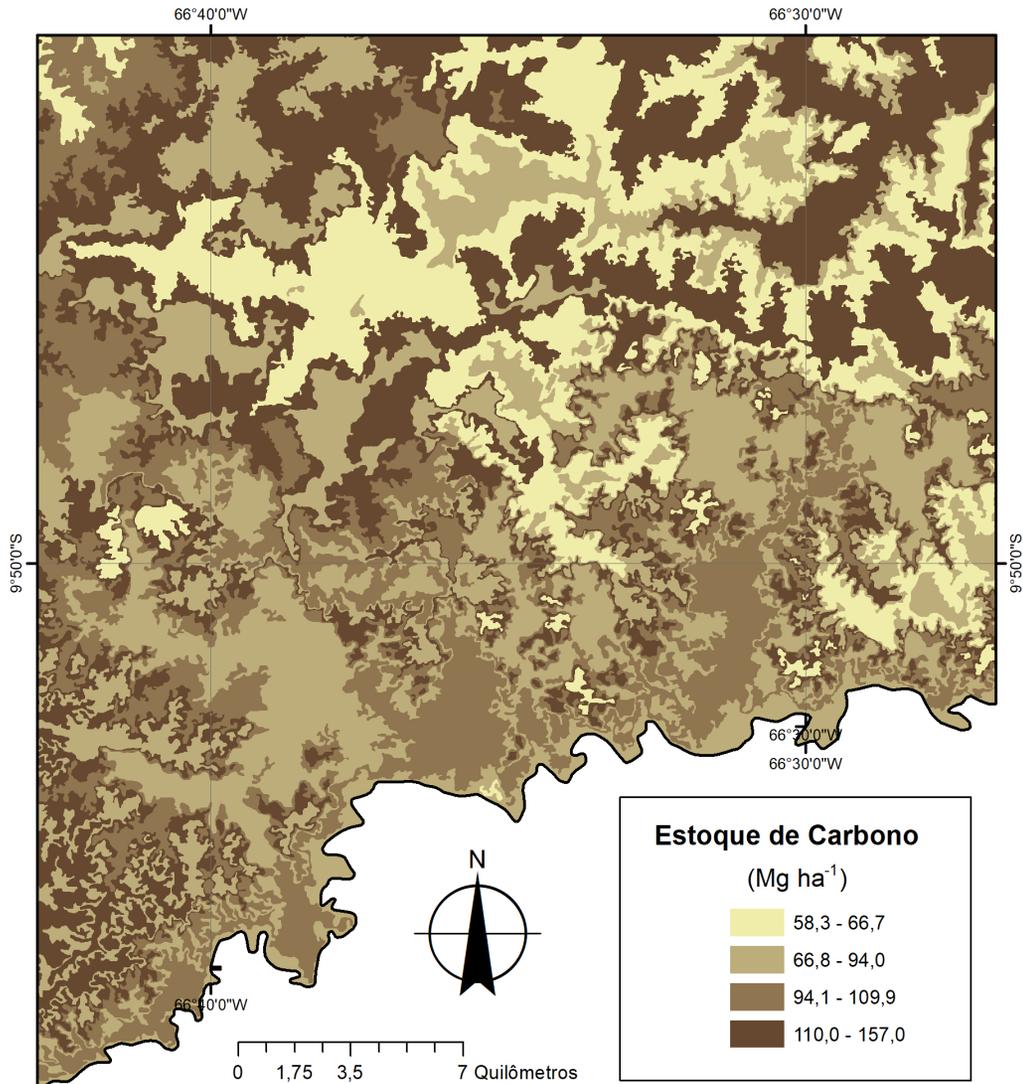


Figura 4.11. Distribuição dos estoques de carbono médios (Mg ha⁻¹) na camada de 0 cm–100 cm dos solos na área de inserção do Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado.

Os resultados mostram um estoque médio de 30,1 Mg ha⁻¹ nos grupos (Tabela 4.6) do Projeto Reca, sendo os menores estoques identificados na Linha 08, na qual predominam Plintossolos e Argissolos, e os maiores foram observados nos produtores do Grupo Aspromacre, em que predominam Argissolos, ressaltando a influência das ordens de solos e do manejo na definição dos estoques.

Todas as coletas foram realizadas em consórcios agroflorestais com diferentes históricos de uso anterior, manejo e classes de solos com variabilidade local. Silva (2019) concluiu que sistemas agroflorestais com cupuaçuzeiro em consórcio com andiroba, copaíba e pupunheira, com menor adensamento (35 plantas por hectare), apresentaram melhores qualidades físicas

e químicas de solo do que consórcios com 69 pupunheiras por hectare. Isso indica que há um nível adequado de sombreamento a ser obtido com os arranjos agroflorestais para melhores resultados com os solos manejados.

Em 2010, o governo do estado do Acre instituiu, por meio da Lei nº 2.308, o Sistema de Incentivos a Serviços Ambientais (Sisa), uma legislação inovadora com o objetivo de promover iniciativas que levem à conservação, recuperação e incremento dos serviços am-

bientais/ecossistêmicos originados e prestados no estado (Amaral et al., 2015). Cada serviço ambiental constitui um programa e o ISA Carbono é o mais avançado do Sisa. Há também a previsão do Programa de Manejo de Solos que considera melhorias dos estoques de C como uma estratégia de valoração econômica em diferentes usos da terra (Acre, 2014) que foi utilizada como referência para os autores construir as estimativas e os deltas em cada propriedade.

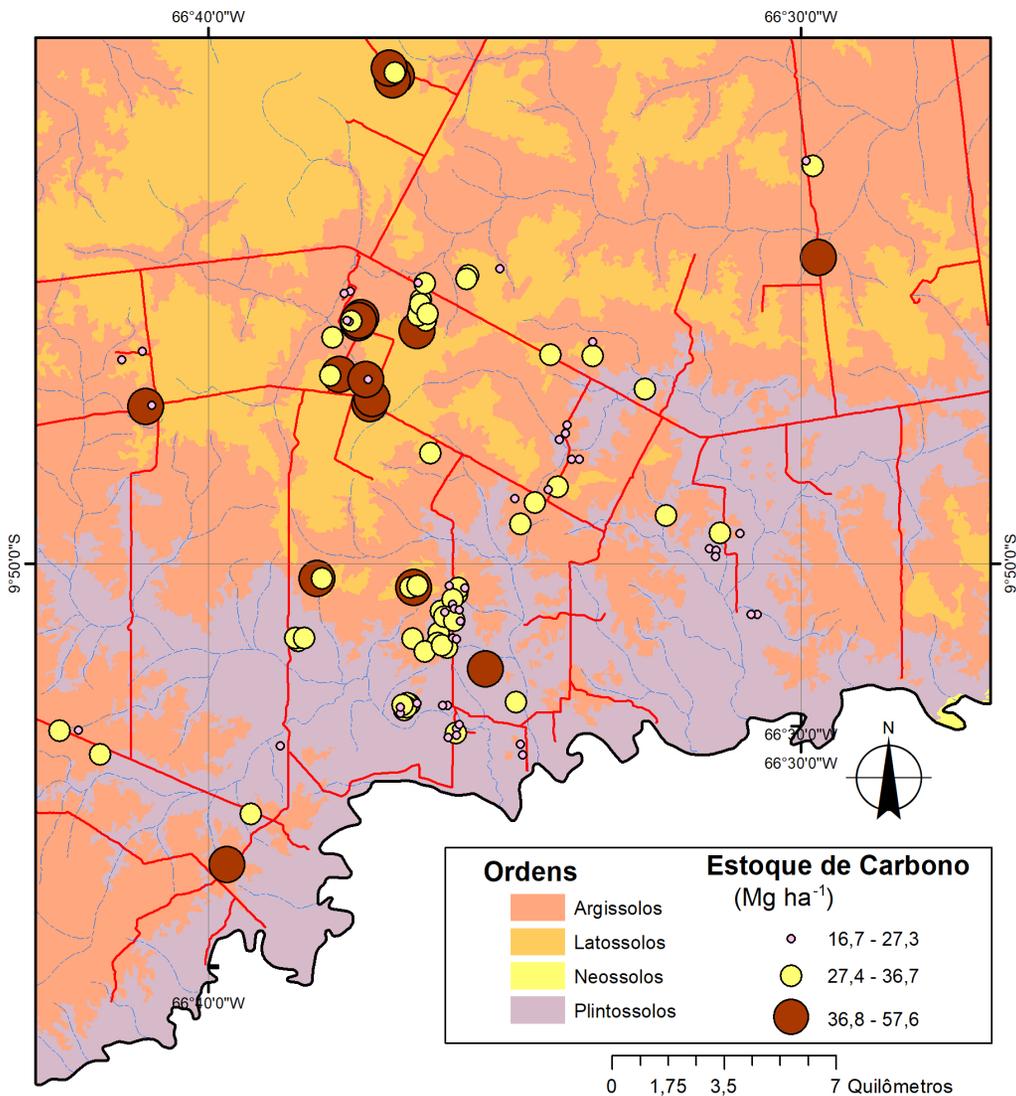


Figura 4.12. Distribuição dos estoques de carbono (Mg ha⁻¹) no solo (0 cm–20 cm) em propriedades do Projeto Reforestamento Econômico Consorciado e Adensado.

Tabela 4.6. Estoques de carbono médios em solos por grupo de agricultores do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, na profundidade de 0 cm–20 cm.

Grupo	Propriedade	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)
Aspromacre	3	39,3
Pioneiros I	22	35,0
Linha 05	2	33,0
Pioneiros II	9	32,9
Pioneiros III	8	30,7
Baixa Verde	43	27,7
Cascalho	4	27,5
BR	18	27,0
Linha 06	3	26,7
Linha 07	2	26,0
Linha 08	1	25,2
Média geral		30,1

Esse arranjo institucional do Sisa pode constituir uma estratégia de geração de créditos, conforme postulado por Amaral et al. (2015), e para que isso esteja definido é importante um banco de dados para as estimativas (Ramakrishnan; Gehrke, 2003), que deve ter caráter de inventário permanente de estoque de C, com metodologia global (Negra et al., 2008), permitindo a integração com mapas de alta e média resolução.

Sobre a evolução das condições de solos sob cultivo com sistemas agrofloretais, Butzke (2015) evidenciou que com o passar dos anos, possivelmente, a exportação de nutrientes e a imobilização desses na biomassa aérea condicionam mudanças profundas na fertilidade do solo, havendo, portanto a necessidade de enriquecimento do arranjo e de adubação orgânica ou mineral para a manutenção da fertilidade desses solos ao longo do tempo. Conclui que de maneira geral, para todas as áreas de SAFs, o efeito

do tempo proporcionou resultados superiores, comparando-se aos resultados advindos da primeira análise do solo (1999) em relação a segunda (2014), sendo 15 anos de intervalo entre as avaliações.

De fato, se por um lado já há evidências de melhoria de estoques de C e nutrientes, por outro havia demanda por informações em escala mais detalhada para se chegar aos estoques nas propriedades e nos plantios. Utilizando a base de dados de amostras de propriedades foi possível estruturar um banco de dados geográfico para integrar as duas informações e, a partir desse ponto, estabelecer uma estratégia de monitoramento e de estabelecimento de linhas de base para remuneração e definição de um sistema de incentivos aos serviços ambientais que integre C no solo.

Nas amostras analisadas os deltas de C (Figura 4.13) variaram de $-33,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $37,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ com uma média geral de $10,6 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 11,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que permite identificar os usos da terra nas propriedades em que houve redução dos estoques de C, correspondendo

a 14 amostras com deltas negativos, o que significa que os estoques reduziram com o tempo, em relação às médias de estoques no levantamento de solo realizado, em função do manejo utilizado.

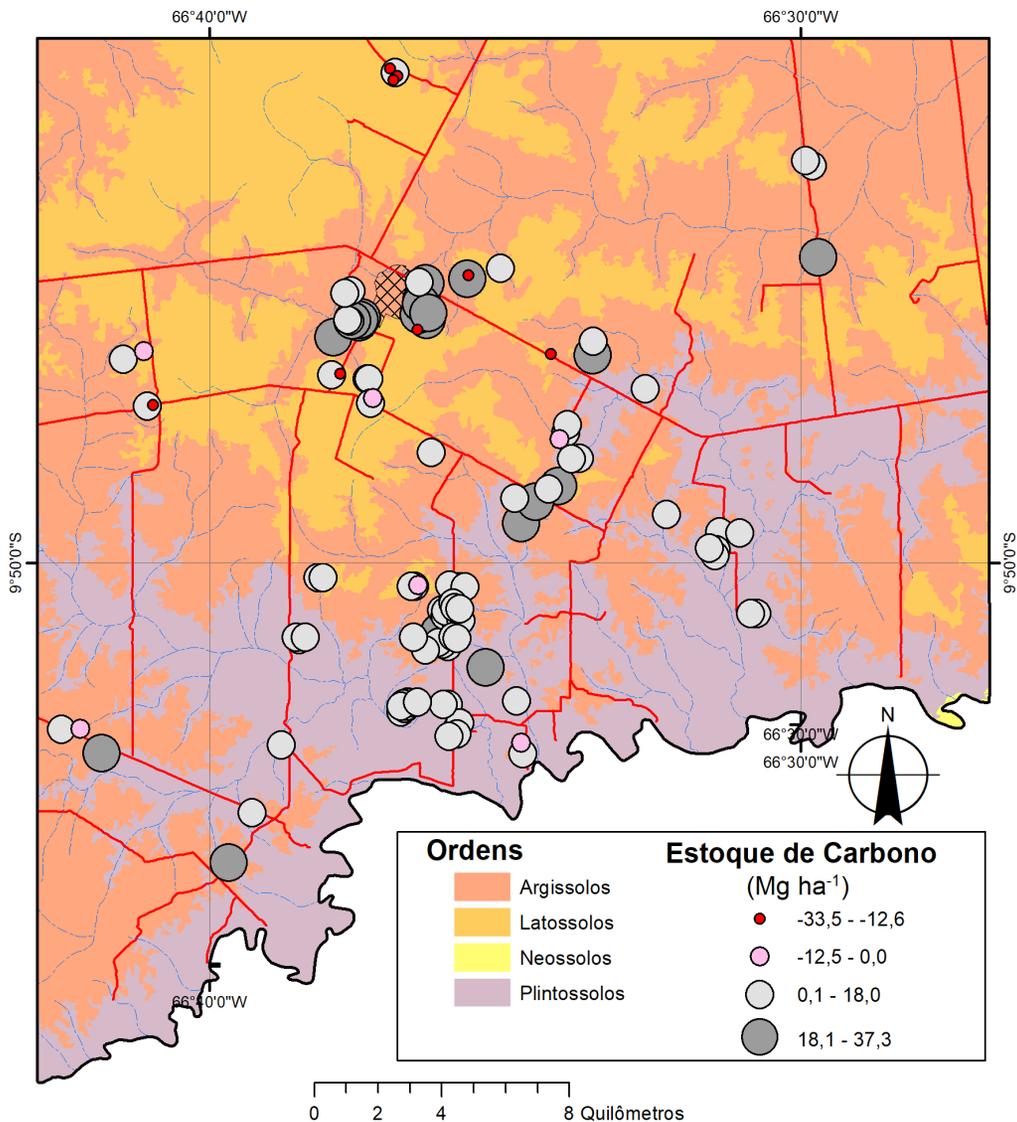


Figura 4.13. Distribuição da variação dos estoques de carbono (Mg ha^{-1}) em propriedades do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, em relação ao mapa de solos e às coletas realizadas no ano de 2016.

O delta médio foi de 11,4 Mg ha⁻¹ nos grupos do Projeto Reca (Tabela 4.7), sendo os menores identificados no Grupo Cascalho, em que predominam Latossolos Vermelhos, e os maiores observados nos produtores do Grupo Pioneiros II, no qual predominam Argissolos Vermelho-Amarelos.

Dessa forma, as áreas cultivadas nas propriedades têm, em média, um incremento de 11,4 Mg C, que correspondem a 41,8 t CO₂ de incremento de C em função do uso. A média das transações de C no mundo variou de 3–6 dólares Mg⁻¹ CO₂ (Donofrio; Thiel, 2018); para a transação com os produtores do Reca, 6 dólares por tonelada seria um valor justo por se tratar de um carbono sociocultural

(que poderá inclusive alcançar valores mais elevados, dependendo do investidor). Nesse caso, a remuneração poderia atingir 251 dólares ao ano, o que corresponde ao estoque acumulado da implantação dos sistemas até 2016.

Em discussões sobre o futuro da Floresta Amazônica, diversos segmentos da sociedade reconhecem a vocação florestal dessa região e consideram ser possível conciliar o desenvolvimento com a conservação de seu imenso patrimônio natural (Azevedo, 2006), e a inserção do tema serviços ambientais pode reforçar ações de produção sustentável.

Tabela 4.7. Delta dos estoques de C (Mg ha⁻¹) médios por grupo do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado, em relação aos estoques definidos nas subordens dos solos, Amazônia Sul-Occidental, na profundidade de 0 cm–20 cm.

Grupo	Produtor	Delta C (Mg ha ⁻¹)
Cascalho	4	-4,2
Pioneiros I	22	6,7
Pioneiros III	8	9,5
BR	18	9,7
Baixa Verde	43	11,2
Linha 07	2	11,5
Linha 05	2	12,6
Linha 08	1	13,8
Linha 06	3	15,2
Aspromacre	3	18,7
Pioneiros II	9	20,9
Média geral		11,4

Considerações finais

O arranjo dos consórcios agroflorestais reduz a variação da temperatura, indicando que a manutenção da cobertura foliar é um fator de prestação de serviços ambientais tanto por aprisionar carbono, quanto por regulação térmica no sistema solo-planta-atmosfera.

Os estoques de C, na camada de 0 cm–100 cm de profundidade, variaram de 76,8 Mg ha⁻¹ a 219,2 Mg ha⁻¹. Os maiores estoques foram encontrados nos Cambissolos, nos quais 26,7% se concentraram nos primeiros 20 cm de profundidade, em função das maiores densidade e textura.

Os estoques totais de C, considerando a profundidade de 0 cm–20 cm, seguiram sequência decrescente (Cambissolo > Latossolo > Neossolo > Argissolo > Plintossolo) e para os estoques totais de 0 cm–100 cm de profundidade a sequência foi Cambissolo > Latossolo > Argissolo > Plintossolo > Neossolo, o que ressalta a importância de estratificação das ordens de solos em escala adequada para a avaliação dos estoques, como base para indicadores de serviços ambientais em função da mudança de uso da terra.

O estoque médio de carbono na profundidade de 0 cm–20 cm foi de 30,1 Mg ha⁻¹ nos grupos do Projeto Reça, que constitui a linha de base para referência em projetos de serviços ambientais, sendo os menores estoques identificados nos Plintossolos associados com Argissolos e os maiores nos Argissolos, ressaltando a influência das ordens de solos e do manejo agroflorestal na definição dos estoques.

Referências

- ACRE (Estado). Instituto de Mudanças Climáticas. **Nota técnica**: nível de referência estadual (SISA-ISA Carbono) vs submissão do nível de referência nacional à UNFCCC. Rio Branco, AC, 2014. 7 p.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, n. 1-3, p. 15-27, Oct. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, mar. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100020>.
- AMARAL, E. F. do; LEAL, M. J. de Los R.; BARDALES, N. G. Sistema estadual de incentivos aos serviços ambientais do Acre: lições para a construção de instrumentos econômicos nacionais. In: JENKINS, M.; BORGES, J. B. (coord.). **Incentivos econômicos para serviços ecossistêmicos no Brasil**. Rio de Janeiro: Forest Trends, 2015. p. 65-71.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico**: rumo a uma 'Economia dos Ecossistemas'. Campinas: Unicamp: Instituto de Economia, 2009. 24 p. (IE/ UNICAMP. Texto para discussão, 159).
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-10-6141-2013>, 2013.
- AYRES, M. I. de C.; ALFAIA, S. S. Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 957-963, jul. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700007>.

AZEVEDO, C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação**. 2006. 254 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BASTOS, T. X. O estudo atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: IPEAN. **Zoneamento agrícola da Amazônia: 1ª aproximação**. Belém, PA, 1972. p. 68-122. (IPEAN. Boletim técnico, 54).

BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, v. 89, n. 1-3, p. 273-286, May 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00086-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00086-X).

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 91, p. 217-226, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.12.006>.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 599-607, set. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300013>.

BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. 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**, v. 139, n. 1-2, p. 90-97, Apr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.005>.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRANCHER, T. **Estoque de carbono e ciclagem de sistemas agroflorestais em Tomé-açu, Amazônia Oriental**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SC 19 - Rio Branco**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. p. 452. (Projeto Radambrasil. Levantamento de recursos naturais, 12).

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SA - 20 Manaus**. Rio de Janeiro, 1978. (Projeto Radambrasil. Levantamento de recursos naturais, 18).

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Programa agricultura de baixo carbono**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade>. Acesso em: 11 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF, 2010. 280 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **3ª Comunicação Nacional do Brasil para a Convenção do Clima da Organização das Nações Unidas**: sumário executivo. Brasília, DF, 2016. 42 p.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. **Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx)**. Versão 3.0. 2013. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>. Acesso em: 13 maio 2019.

BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO-MENDOZA, A.; MALHI, Y.; LEWIS, S. L.; VÁSQUEZ, R.; MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ÁLVAREZ DÁVILA, E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M.; ARROYO, M. L.; AYMARD, G. A.; BÁNKI, O. S.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, p. 344-348, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14283>.

BRITO, E. S.; FRADE JUNIOR, E. F. F.; COSTA, F. S.; SILVA, A. G.; MENEZES, A. L. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de uso e manejo de solos do Acre: sudoeste da Amazônia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2012, Lages. **Conservação do solo e da água no Brasil**: preceitos e ações no ensino, na pesquisa e na extensão. Lages: SBCS: UDESC: IF: EPAGRI, 2012. 1 CD-ROM.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, Jan. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 54, n. 1, p. 382-389, jan./mar. 1999.

BUTZKE, A. G. **Dinâmica de atributos químicos em diferentes tipos de solos sob sistemas agroflorestais**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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. M.; STEWART, B. A. (ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 33-50.

CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CHAPLOT, V.; VOLKOFF, B.; VICTORIA, R. L.; MELILLO, J. M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: A basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 51-68, Nov. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.027>.

CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLON, P.; POWLSON, D. S.; 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 & Environment**, v. 122, n. 1, p. 58-72, Sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.008>.

CHENG, L.; LEAVITT, S. W.; KIMBALL, B. A.; PINTER, JR. P. J.; OTTMAN, M. J.; MATTHIAS, A.; WALL, G. W.; BROOKS, T.; WILLIAMS, D. G.; THOMPSON, T. L. Dynamics of labile and recalcitrant soil carbon pools in a sorghum free-air CO₂ enrichment (FACE) agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 9, p. 2250-2263, Sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.031>.

CIDIN, A. C. M. **Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos, Araras.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 587-589, abr. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000200041>.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 323-332, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>.

COSTA, F. de S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 693-700, abr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000200056>.

COUTO, W. H. do. **Indicadores edáficos e potencial agrícola em áreas do Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (RECA) na Amazônia Ocidental**. 2010. 82 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**,

v. 78, p. 137-156, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0049-4>.

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**, v. 408, p. 184-187, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35041539>.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 913-923, dez. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400008>.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 103, n. 2, p. 365-373, July 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.008>.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 87-95, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.05.003>.

DIXON, R. K. Sistemas agroflorestales y gases de invernadero. **Agroforesteria em las Américas**, v. 2, n. 7, p. 22-26, jul./set. 1995. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6822>. Acesso em: 18 maio 2019.

DOMINY, C. S.; HAYNES, R. J.; van ANTWERPN, R. Loss of soil organic matter an related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 5, p. 350-356, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0538-5>.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DONOFRIO, S.; THIEL, A. (ed.). **Voluntary carbon markets insights: 2018 outlook and first quarter trends**. Forest Trends, 2018. 31 p.

DRUMOND, A.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; NIETO, R.; MOREIRA, L.; GIMENO, L. The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 11, n. 1, p. 1023-1046, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/hessd-11-1023-2014>.

DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971-2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 96-15, 2006.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 192-194, Jan./Feb. 1993. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700010034x>.

FELDPAUSCH, T. R.; RONDON, M. A.; FERNANDES, E. C. M.; RIHA, S. J.; WANDELLI, E. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia. **Ecological Applications**, 14, n. sp4, p. 164-176, Aug. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1890/01-6015>.

FIDALGO, E. C. C.; BENITES, V. de M.; MACHADO, P. L. O. de A.; MADARI, B. E.; COELHO, M. R.; MOURA, I. B. de; LIMA, C. X. de. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 26 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 121). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/216824>. Acesso em: 18 maio 2019.

FIELD, C. B.; BARROS, V. R. (ed.). **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

FREITAS, H. C. **Efluxo de CO₂ do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondônia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o modelo SiB2**. 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FROUZ, J.; ELHOTTOVÁ, D.; PIZL, V.; TAJOUSKY, K.; SOURKOVÁ, M.; PICEK, T.; MALY, S. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: a laboratory study. **Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 1-2, p. 72-80, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.04.001>.

FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLASS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, n. 1, p. 17-26, May 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00091-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00091-7).

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v. 153, n. 3-4, p. 347-352, Nov. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.025>.

GARRITY, D. P. Agroforestry and the achievement of the millennium development goals. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 5-17, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028986.37502.7c>.

HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e longo prazo. **Potafos: Informações Agronômicas**, n. 104, p. 1-12, dez. 2003. Encarte técnico.

HIGUCHI, F.; FILHO, A.; SILVA, R.; LIMA, A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. A floresta e mudanças climáticas. In: GASPARETO, M.; HIGUCHI, N. (ed.). **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. 2. ed. Manaus: Inpa, 2012.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, Dec. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>.

HOLMES, K. W.; CHADWICK, O. A.; KYRIAKIDIS, P. C.; FILHO, E. P. S de; 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**, v. 20, n. 3, GB3004, Sept. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GB002507>.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015. 430 p.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. **PALSAR data [CEOS]**. Fairbanks, Alaska: Americas ALOS Data Node. Disponível em: <http://www.asf.alaska.edu>. Acesso em: 14 jul. 2019.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>.

LAL, R. Enhancing Crop Yields in the Developing Countries through Restoration of the Soil Organic Carbon Pool in Agricultural Lands. **Land Degradation & Development**, v. 17, n. 2, p. 197-209, Mar./Apr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.696>.

LINHARES, J. M. da S.; BASTOS, W. R.; SILVA, D. P. L.; SILVA JÚNIOR, R. F. da; OLIVEIRA, L. C. S. Variabilidade de atributos físico-químicos e dos estoques de carbono orgânico em argissolo vermelho sob sistemas agroflorestais no assentamento Umari sul do Amazonas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 1, p. 93-117, 2016.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 565-579, Oct. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; GUIMARÃES JUNIOR, R. **Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura pecuária no Oeste Baiano**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 6 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 163). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/697303>. Acesso em: 18 maio 2021.

MARIN PEREZ, A. M. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, J. D. de O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. de A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, jan./fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150142>.

MARTORANO, L. G.; NECHET, D.; PEREIRA, L. C. Tipologia climática do Estado do Pará: adaptação do método de Köppen. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, p. 45-46, 1993.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; SILVA, B. P. P. C.; MORAES, J. R. da S. C.; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; REICHARDT, K. Climate conditions in the eastern amazon: rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. **African Journal Agricultural Research**, v. 12, n. 21, p. 1801-1810, Mar. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11801>.

MELO, A. W. F. de. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MORAES, J. F. L.; CERRI, C. C.; MELILO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D. L.; STEUDLER, P. A. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 1, p. 244-247, Jan./Feb. 1995. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900010038x>.

MORAES, J. R. S. C.; ROLIM, G. S.; MARTORANO, L. G.; APARECIDO, L. E. O.; BISPO, R. C.; VALERIANO, T. T. B.; ESTEVES, J. T. Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 803-816, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03231-2>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 626 p.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no estado do Paraná.

Potafos: Informações Agronômicas, n. 100, p. 6-10, dez. 2002. Encarte técnico.

NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M.; HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. **Environmental Science and Policy**, v. 12, n. 8, p. 099-1111, Dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.010>.

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D. Silvopasture and carbono sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (ed.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 145-162. (Advances in agroforestry, 8).

NASA. **Surface meteorology and solar energy**. Disponível em: <http://en.openei.org/datasets/node/616>. Acesso em 12 mar. 2019.

NEGRA, C.; SWEEDO, C. C.; CAVENDER-BARES, K.; O'MALLEY, R. Indicators of carbon storage in US ecosystem baseline for territorial carbon. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 4, p. 1376-1382, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0290>.

OLIVEIRA, E. S. **Estoques de carbono no solo estimado por regressão geograficamente ponderada na Bacia do Sarandí - DF**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília.

ORMSBY, T.; NAPOLEON, E.; BURKE, R.; GROESS, C.; BOWDEN, L. **Getting to know ArcGIS desktop: basics of Arc View, ArcEditor and ArcInfo**. Califórnia: ESRI, 2001. 541 p.

OSTERROHT, M. von. Manejo de SAF's. **Agroecologia Hoje**, v. 15, p. 12-13, 2002.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, n. 5, p. 1109-1118, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500026>.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; FRANCA, G. E. de; MAGALHAES, J. V. de. Fertilidade de solos: calagem e gessagem. In: CRUZ, J. C. (ed.). **Cultivo do milho**. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1).

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 18 maio 2019.

RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. **Database management systems**. 3. ed. Nova York: McGrawHill, 2003. 1065 p.

RANGEL, O.; SILVA, C. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P. J. Crop residue effects on soil C and N cycling under sugarcane. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 112-119.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVARES V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS: UFV: DPS, 1996. p. 19-60.

RODRIGUEZ, C. A. S. Serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: CIRO, A. R.; BERNARDES, M. S. **Caderno da disciplina de sistemas agroflorestais**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015. 79 p.

RONDÔNIA (Estado). Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia. **Solos**. Porto Velho: Seplan: Sedam, 2000. 192 p.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (org.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-41.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 70, n. 2, p. 107-119, Apr. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00160-5).

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SALGADO, G. de M. **Estoque de carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais com seringueira no sul do Estado da Bahia, Brasil**. 2016. 70 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

SANTOS, C. H. dos. **Alterações no estoque de carbono, na dinâmica da matéria orgânica e dos atributos químicos e físicos induzidas por diferentes usos dos solos de Colorado do Oeste-RO**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical)

– Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SANTOS, H. G. dos; HOCHMÜLLER, D. P.; CAVALCANTI, A. C.; RÊGO, R. S.; KER, J. C.; PANOSO, L. A.; AMARAL, J. A. M. do. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 108 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHAEFER, C. E. R.; LIMA, H. N.; VALE JUNIOR, J. F.; MELLO, J. W. V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, n. 12, p. 63-104, 2000.

SILVA JUNIOR, M. L.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V. S.; SANTOS, E. R.; CARVALHO, JR. Carbon content in Amazonian Oxisols after forest conversion to pasture. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 33, n. 6, p. 1603-1611, dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600009>.

SILVA, D. V. **Caracterização de consórcios, variabilidade de atributos do solo e desempenho produtivo do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais no Projeto RECA**. 2018. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

SILVA, G. C. **Desempenho do cupuaçuzeiro e atributos do solo em consórcio agroflorestal com as espécies pupunha, copaiba e andiroba**. 2019. 66 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; SILVA, E. F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégia para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 10-20, 2004.

SILVA, J. M. L.; RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M. A.; CARVALHO, E. J. M.; CAMPOS, A. G. S.; RAPOSO, R. P. **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos do município de Acrelândia, estado do Acre**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 54 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 270). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/903123>. Acesso em: 18 maio 2019.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, v. 70, n. 2, p. 555-569, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>.

SLEUTEL, S.; NEVES, S. de; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 166-171, June 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2003.tb00299.x>.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, v. 19, n. 3, p. 233-240, Sept. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00118781>.

SOMBROEK, W. G.; FEARNESIDE, P. M.; CRAVO, M. Geographic assessment of carbon stored in Amazonian terrestrial ecosystems and their soils in particular. p. 375-389. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. 438 p. (Advances in soil science).

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos à queima e manejos dos resíduos culturais**. 2004. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004.

SRINIVAS, K. **Soil carbon sequestration under agroforestry systems**. 2012. Disponível em: https://core.ac.uk/display/288308488?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1. Acesso em: 18 maio 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology: Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. VIII, n. 1).

TOMICH, T. P.; VAN NOORDWIJK, M.; VOSTI, S.; WHITCOVER, J. Agricultural development with rainforest conservation: methods for seeking Best Bet al., Alternatives to Slash-and Burn, with applications to Brazil and Indonesia. **Agricultural Economics**, v. 19, n. 1-2, p. 159-174, Sept. 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-0862.1998.tb00523.x>.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934.

WATSON, R. T. (ed.). **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University, 2001. 408 p.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1215-1224, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0014>.