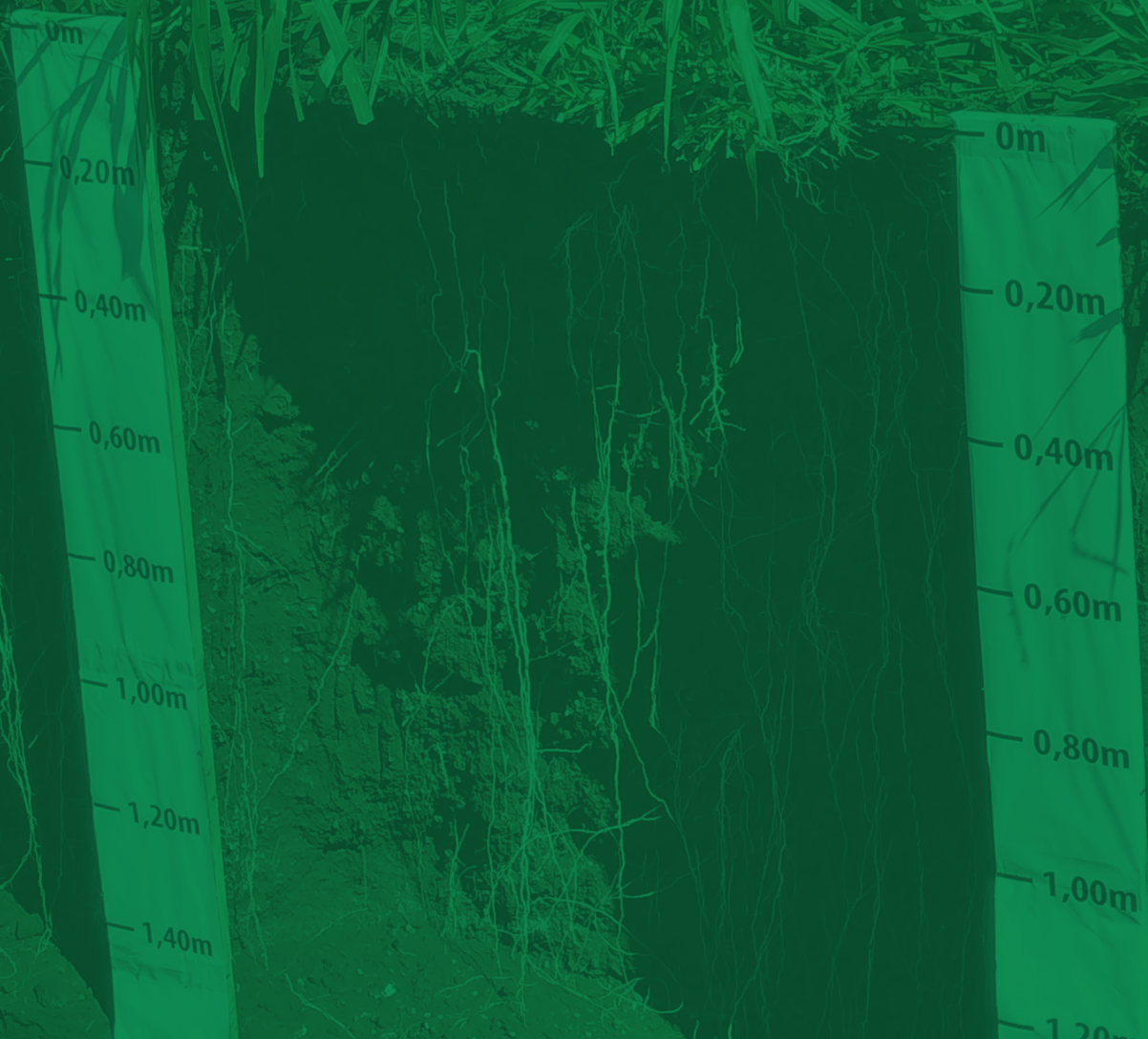




redeILPF

**PROTOCOLO PARA AMOSTRAGEM DE SOLO
PARA DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO
ORGÂNICO EM SISTEMAS INTEGRADOS (ILPF)**



Apoio:



Por meio de:



Execução:





Autores:

Fernanda Figueiredo Granja Dorilêo Leite
Especialista Técnica Rede ILPF

Bruno José Rodrigues Alves
Pesquisador Embrapa Agrobiologia

Colaboradores:

Ademir Fontana
Pesquisador Embrapa Solos

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão

Márcia Thais de Melo Carvalho
Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão

Beata Eموke Madari
Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão

Coordenadores:

Isabel Mauricio Gouvea Ferreira
Diretora Executiva Rede ILPF

Felipe Martini Santos
Gerente Técnico Rede ILPF

Nilo Leal Sander
Coordenador Técnico projeto SustentAgro/LIF

Apoio:



Por meio de:



SustentAgro



Câmara Temática
de Carbono

Execução:



1. Introdução

O carbono orgânico do solo (COS) é um indicador universal da qualidade do solo, importante para as principais funções ecológicas, físicas, químicas e biológicas desse meio. Ao determinar o COS é possível fazer inferência da matéria orgânica do solo (MOS), por se tratar do maior componente e cuja determinação é facilitada em detrimento a MOS. As variações nos níveis de COS podem ocorrer devido ao tipo de solo, ao regime climático, à mudança do uso da terra e ao tipo de manejo e cultivo do solo, podendo influenciar a fertilidade e estrutura do solo, capacidade de retenção de água, erosão e fluxos de Gases do Efeito Estufa (GEE). Portanto, a determinação do COS com acurácia, seguindo recomendações metodológicas reconhecidas internacionalmente, é importante para permitir comparações de estudos, orientar sistemas de produção e subsidiar políticas ambientais (Davis et al., 2018).

A medição adequada do estoque do COS em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é essencial para avaliar o impacto da conversão de uma área para estes sistemas, seja essa uma unidade experimental ou em uma propriedade privada. No âmbito do Projeto SustentAgro, estoque de carbono orgânico do solo refere-se à quantidade absoluta de carbono da matéria orgânica presente em determinado volume no solo e expresso em Megagramas por hectare (Mg/ha) ou Toneladas por hectare (t/ha). Um hectare equivale a uma área de um quarteirão (10.000 metros quadrados).

O uso de protocolos para obtenção dos estoques de COS é importante para que se tenha credibilidade científica e dê suporte para afirmações acerca do efeito da mudança de uso ou de manejo de solo no balanço de carbono desses sistemas. É necessário o planejamento prévio da coleta, da seleção do local de amostragem, delineamento, e profundidades, visto que essa é uma etapa que não poderá ser corrigida posteriormente.

Diante disso, se torna fundamental a elaboração de um protocolo com procedimentos padrões para orientação durante todo o processo de amostragem em campo, preparo do solo, ferramentas, e análise laboratorial. O objetivo deste documento é descrever os procedimentos que serão utilizados para a amostragem do solo e o cálculo do estoque de COS das propriedades participantes do projeto SustentAgro financiado pelo Land Innovation Fund (LIF) e executado pela Rede ILPF.

Apoio:



Por meio de:



Execução:



2. Descrição e seleção das áreas de amostragem

A descrição do histórico de uso da área e de suas características principais devem ser estruturadas no início do trabalho, englobando os atributos geográficos (relevo, drenagem, solo), climáticos (precipitação, umidade), e edáficos. A posição geográfica do local da amostragem do solo deve ser registrada por GPS para orientar novas amostragens no mesmo local para verificação das mudanças de estoques de carbono do solo. Todos os dados e informações de campo deverão ser registrados e arquivados no banco de dados da área em estudo.

A consideração da variabilidade espacial e temporal é essencial na obtenção do estoque de COS, e à medida que a área de estudo e a profundidade do solo aumentam, a variabilidade das propriedades do solo aumentam também (FAO, 2019). Portanto, a escolha do local de coleta está vinculada à avaliação prévia de sua representatividade, com base nas consultas às informações disponíveis sobre as características do local, como classe de solo, textura, material de origem, topografia/relevo, posição na paisagem, microclima, etc. É essencial que se tenha cautela para selecionar áreas homogêneas que podem ser chamadas também de 'estratos', que são similares em termos das características do solo e do histórico de uso e manejo. Quanto maior a área de estudo, maior a variabilidade e maior a probabilidade da existência de mais de um estrato.

Além disso, quando a modalidade do sistema de integração adotado é aquela com o componente arbóreo, ou seja, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril, Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou silviagrícola, e Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou silvipastoril, as árvores adicionam variabilidade pontual, e exigem uma estratégia de amostragem orientada. Por outro lado, sem o componente arbóreo, como nos sistemas Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou agropastoril, a variabilidade espacial pode ser detectada pelas repetições de pontos amostrais estabelecidos ao acaso.

É importante planejar também coletas em uma área de vegetação nativa ou que nunca tenha sido usada para fins agropecuários, adjacente à área sob sistema de integração, com o mesmo tipo de solo. A profundidade de amostragem é a mesma que para os sistemas manejados, e também deve ser adotado o mesmo procedimento amostral para a coleta das amostras de solo. A área não-cultivada servirá como referência para avaliação da mudança dos estoques de COS.

Apoio:



Por meio de:



Execução:



3. Procedimentos gerais para amostragem de solo

Embora o número de amostras coletadas dependa de fatores como tempo e capital disponível, o número necessário para fornecer resultados estatisticamente válidos deve ser cuidadosamente considerado (Davis et al., 2018). Por isso, em cada área de amostragem, devem ser obtidas amostras simples para formar amostras compostas (deformadas), o que permite reduzir a variabilidade espacial e economizar nas análises. Estas amostras compostas deformadas para a obtenção do teor de carbono orgânico deverão ter o peso entre 300 g e 400 g de solo seco (500 a 600 g de solo úmido) para fornecer material suficiente para a execução das análises necessárias e armazenamento.

A densidade do solo também precisa ser avaliada, visto que é um dos parâmetros que entram nos cálculos do estoque de COS. As coletas de solo para a obtenção da densidade do solo são realizadas pelo método da trincheira, possibilitando que a amostragem seja realizada em diferentes profundidades ao longo do perfil do solo. Nesta trincheira serão coletadas as amostras indeformadas para cada profundidade. Excepcionalmente, casos nos quais os solos apresentem um ou mais horizontes com baixo grau de desenvolvimento, ou por fatores logísticos ou técnicos que não permitam a amostragem até a profundidade recomendada, é possível fazer a amostragem no mínimo até 30 centímetros, assim como preconizado pelo IPCC (2006).

Os procedimentos de campo para coleta de solo são: demarcação dos estratos e delineamento amostral, procedimentos para formar amostras compostas e abertura de trincheiras para coleta de amostras indeformadas de solo.

3.1. Demarcação de pontos no campo e delineamento amostral

O planejamento das coletas de solo deve ser realizado no escritório após a avaliação do histórico de uso da área, e de uma visita na área experimental para verificar suas condições. Após as avaliações necessárias e o estudo da área, é feita a demarcação dos pontos de coleta levando em conta a variabilidade da área (textura do solo, relevo, e histórico de uso).

Portanto o esquema de amostragem de solo é feito por estrato, e o número de amostras irá variar de acordo com a homogeneidade da área e o número de

Apoio:



Por meio de:



Execução:



estratos. Para o método de amostragem estratificada, recomenda-se um mínimo de três amostras por estrato (repetições) (FAO, 2019). Onde inclui amostras deformadas com trado (sem a estrutura preservada) para a análise do teor de carbono e indeformadas (anel com estrutura preservada) para a densidade do solo em cada profundidade.

No caso de uma área de ILP em um estrato homogêneo, os pontos de amostragem (repetições) são casualmente definidos, devendo-se evitar condições locais que fogem ao padrão predominante na área (formigueiros, depósitos de fezes, cercas, aguados, manchas de solo atípicas etc.) (**Figura 1**). As profundidades mínimas recomendadas para a coleta das amostras são: 0-10, 10-20; 20-30 e 30-40 cm. Caso a propriedade tenha acordado com a coordenação do projeto e tenha a estrutura para fazer a coleta até 100 cm (retro-escavadeira), recomenda-se utilizar as profundidades de 40-60; 60-80 e 80-100 cm.

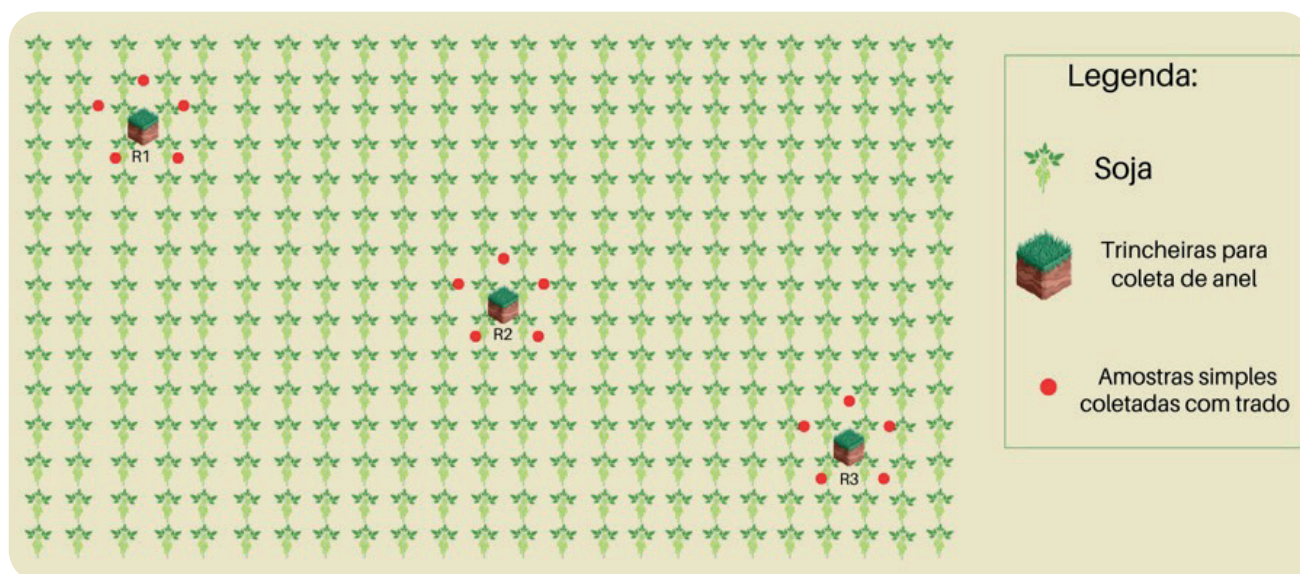


Figura 1: Delineamento amostral para cada estrato da ILP, com a localização das trincheiras para coleta de amostras indeformadas, e os pontos vermelhos as amostras simples deformadas, sendo necessário o mínimo de três repetições por estrato.

No caso dos sistemas com árvores (ILPF, IPF ou ILF), então o delineamento amostral precisará ser diferenciado para que consiga englobar a variabilidade que as árvores trazem ao sistema. O número de três repetições continua o mesmo, o que vai mudar é que as repetições devem levar em consideração a distância dos renques de árvores. Portanto as três repetições devem ser coletadas tanto dentro do renque de árvores, quanto na metade da largura do entre renque (**Figura 2**). É necessário levar em consideração a proporção da área que o componente arbóreo ocupa na área para o cálculo final.

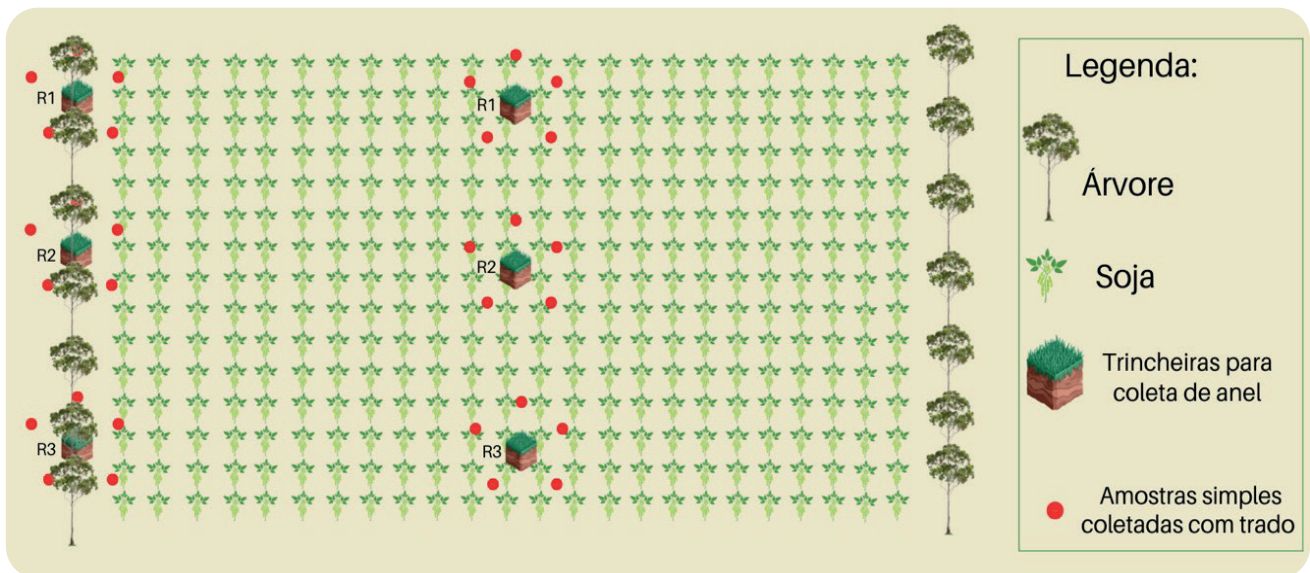


Figura 2: Delineamento amostral para sistemas integrados com árvores, com três repetições nos renques de árvores e três no entre renque. Em cada trincheira será coletado amostras indeformadas, e nos pontos vermelhos as amostras simples deformadas.

3.2. Procedimentos para formar amostras compostas

As amostras simples devem ser coletadas com o auxílio do trado (**Figura 3A**), que são transferidas para um balde (**Figura 3B**) para que ocorra a homogeneização para a formação de uma amostra composta. Após a obtenção da amostra composta, ela deve ser armazenada em sacos plásticos previamente identificados (nome do talhão, N° da repetição e profundidade). Para cada amostra composta é necessário a homogeneização de no mínimo 5 amostras simples (FAO, 2019).

O procedimento para a formação da amostra composta deve ser feito para cada uma das profundidades de forma separada para cada ponto/repetição (**Figura 3C**). Portanto, o ideal é que se tenha um balde para cada profundidade para facilitar a homogeneização e operacionalização.



Figura 3: Etapas para coleta da amostra simples com trado (**A**), homogeneização para formação da amostra composta por profundidade (**B**) e armazenamento em sacos plásticos das amostras compostas (**C**).

Apoio:



Por meio de:



Execução:



3.3. Abertura de trincheiras

As trincheiras podem ser abertas com o auxílio de pás e enxadas, e o ideal é que a parede onde os anéis serão coletados sejam niveladas (**Figura 4**). Para cada 1 hectare, três trincheiras de 50 cm de profundidade devem ser abertas para se coletar os anéis nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 e 30-40 cm. A amostragem inicia com a retirada da camada de serapilheira sobre o solo para coleta da primeira profundidade (0 - 10 cm). Para as demais, recomenda-se marcar as profundidades, que vão delimitar as camadas de amostragem, com o auxílio de uma fita métrica (**Figura 5**).



Figura 4: Trincheira com a fita métrica para delimitar as profundidades para amostragem

Como sugestão, a marcação pode ser realizada com um material pontiagudo de aproximadamente 5 cm, para que as amostras nas diferentes profundidades sejam coletadas de forma adequada (**Figura 5**).



Figura 5: Demarcação das profundidades das amostras a serem coletadas nas trincheiras

Apoio:

Por meio de:

Execução:

4. Procedimentos para a coleta de amostras para densidade do solo

Amostras indeformadas são coletadas por meio de anéis volumétricos nas três trincheiras para avaliar a densidade do solo. Neste método, o solo é coletado usando um anel com volume conhecido (mínimo de 100 cm³), que deve ser inserido de forma centralizada em cada camada delimitada pelas profundidades de amostragem dentro da trincheira.

A coleta de amostra indeformada pode ser feita com o anel volumétrico acoplado no castelinho (**Figura 6A**) e fixado no solo com o auxílio de uma marreta/martelo, o qual é empurrado suavemente na direção vertical para dentro do solo (**Figura 6B**). Evitar empurrar o anel muito profundo para não atingir a próxima profundidade a ser analisada e para não levar à compactação do solo dentro do anel e a deformação de sua estrutura original.



Figura 6: Anel acoplado ao castelinho (A) e empurrado ao solo com o auxílio de um martelo (B) para que o solo preencha totalmente o volume do anel.

A escavação para a retirada do anel deve ser feita sem perturbar o solo que já está dentro do mesmo, e inicia-se com a retirada do excesso de solo da parte externa do anel, com auxílio de uma faca e espátula (**Figura 7A**). A faca será utilizada para cortar o solo ao redor do anel e a espátula para cortar nas partes superior e inferior do anel, evitando que se perca parte da amostra. Após a coleta, atentar para o preenchimento perfeito do volume do anel com o solo, para evitar erros na análise.

Depois de se certificar que o volume do anel está completamente preenchido, colocar o solo em sacos plásticos identificados (propriedade, gleba amostrada, profundidade, data), com cuidado para não perder amostras (**Figura 7B**). Não é necessário levar o anel volumétrico para o laboratório, visto que não será feito a determinação da curva de retenção de água no solo. Assim, é possível reutilizar o anel para as próximas profundidades.

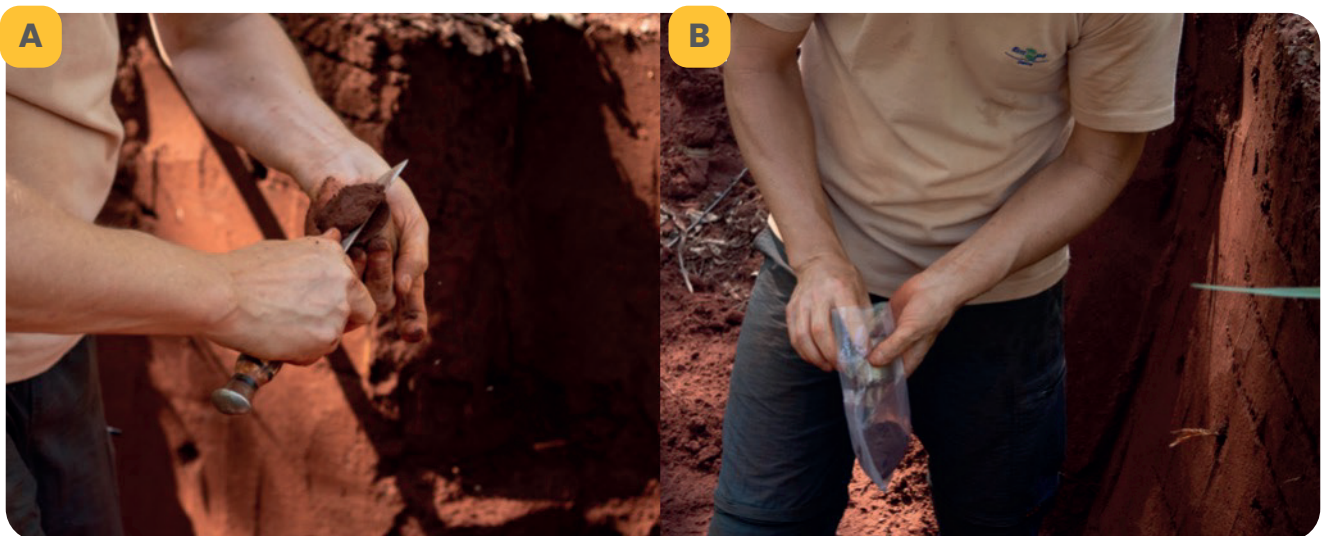


Figura 7 Retirada do excesso de solo da face superior e inferior do anel (**A**) e armazenamento do solo em sacos plásticos (**B**).

O método de determinação da densidade do solo por meio do anel volumétrico consiste na obtenção da massa da amostra dentro do anel após seco em estufa a 105°C até atingir peso constante (aproximadamente 48h). Como o volume do anel é conhecido, é possível saber o volume do solo, e determinar a sua densidade conforme metodologia da EMBRAPA (Teixeira et al., 2017) apresentada na equação 1 abaixo.

DENSIDADE DO SOLO

=

PESO SECO DA AMOSTRA (G)/VOLUME DO ANEL (CM3) (EQUAÇÃO 1)

5. Método de análise do Carbono Orgânico do Solo (COS)

Após levadas ao laboratório, as amostras deformadas para a obtenção do teor de carbono do solo devem ser secas ao ar ou em estufa com circulação forçada a 45°C, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) (Teixeira et al., 2017). Após a obtenção da TFSA é realizada a análise do teor de COS.

Para obtenção do COS será adotado neste protocolo o método de análise por combustão via seca, realizado em analisador elementar (CHNS) ou em analisador de carbono total (Organic Carbon Analyser TOC-V). A combustão a seco é um método químico direto para medir o conteúdo do COS com base na combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, que garante a combustão completa da amostra com temperaturas acima de 1000°C (Nelson & Sommers, 1996). O produto final da combustão (CO₂) é quantificado por cromatografia gasosa usando um detector por condutividade térmica (TCD) ou um detector de ionização de chama (FID) (FAO, 2019).

Para reduzir ao mínimo o erro analítico, a preparação da amostra do solo e os procedimentos analíticos padrões devem ser estabelecidos, seguidos rigorosamente e realizado por um técnico de laboratório treinado. Os equipamentos devem ser calibrados regularmente, incluindo as balanças analíticas com preci-

Apoio:

Por meio de:

Execução:

são adequada. Para fins comparativos, o mesmo método de análise do COS deve ser usado para todas as amostras de determinada fazenda/experimento. Em muitos casos, os analisadores elementares também analisam o conteúdo de N da amostra sem um custo extra. Assim, havendo essa possibilidade, incluir a análise do total de N da amostra.

É importante remover todo o Carbono Inorgânico do Solo (CIS) antes da análise de COS, e para verificar se carbonatos estão presentes, um teste é realizado adicionando poucas gotas de solução de ácido clorídrico ou ácido sulfúrico a 10% v/v ao solo, observando a efervescência. Os carbonatos podem ser eliminados como CO₂ ao adicionar o ácido, antes da análise do COS ser feita (FAO, 2019). Geralmente os solos do Cerrado brasileiro não são ricos em carbonatos (CIS), e por isso na maioria das vezes a quantidade de Carbono Total (CT) do solo será igual ao de COS.

Aproximadamente 1,0 g de amostra de TFSA deve ser macerada em moinhos de bola ou grau de ágata com pistilo até obter o solo homogeneizado com granulometria que passe pela peneira de 80 mesh, para que tenha tamanho de partículas como talco. Em seguida, deve-se pesar aproximadamente 25,00 mg ($\pm 0,01$ mg) da amostra de solo macerada em cápsula de estanho, fechá-las com cuidado e verificar se a mesma não apresenta nenhum orifício e só então que deve ser levado para o analisador elementar para obter o teor de carbono orgânico no solo (Fontana & Bianchi, 2017).

Essa recomendação não é rígida, pois o peso da amostra para análise pode variar em função da sensibilidade do equipamento e do conteúdo de C da amostra. Existem também equipamentos que utilizam amostras menores (entre 10 e 80 mg de solo moído) e outros que utilizam amostras maiores (até 300 mg). É importante destacar que a higienização dos materiais deve ser realizada sempre de uma amostra para outra.

As principais vantagens do método de combustão a seco são a combustão completa de todo o COS presente na amostra, e a possibilidade de que um número relativamente grande de amostras seja processado por unidade de tempo. Porém, a desvantagem é o custo relativamente maior por análise do que outros métodos (FAO, 2019).

Apoio:



Por meio de:



Execução:



6. Cálculo dos estoques de carbono no solo

O estoque de COS de cada profundidade analisada pode ser calculado de acordo com a multiplicação entre a densidade do solo, teor de carbono e espessura da profundidade avaliada de acordo com a equação 2 (Veldkamp, 1994). Portanto o estoque do COS total é a soma dos estoques de COS de cada profundidade analisada.

$$EstC = \frac{CO \times Dilpf \times e}{10} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg. ha⁻¹)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹)

Dilpf = densidade do solo para determinada profundidade na área de ILPF (kg.dm³)

e = espessura da camada considerada (cm)

Como o estoque de C também é uma função da densidade do solo, fatores como tráfego de máquinas e preparo do solo, que afetam a densidade do solo, podem influenciar os resultados. Ao se corrigir a densidade de todos os locais com uma área de referência, a comparação de estoques será feita considerando a mesma massa de solo (baseado em uma camada equivalente) (Cerri et al., 2013). Portanto parte-se da premissa de que a relação entre a densidade aparente e a espessura da camada permanece constante em relação ao solo de referência (Veldkamp, 1994). A correção do estoque então é feita para cada camada estudada, corrigindo-se a espessura da mesma pela razão entre a densidade da área de referência e a área com ILPF. O estoque corrigido de cada camada amostrada pode ser obtido pela Equação 3.

$$Est C corr = \frac{CO \times Dilpf \times \left(\frac{Dref}{Dilpf} \times e \right)}{10} \quad (\text{Equação 3})$$

Est C corr = estoque de C orgânico em determinada profundidade corrigido (Mg.ha⁻¹)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹). Caso tenha em o teor em %, basta multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Dilpf = densidade do solo para determinada profundidade na área de ILPF (kg.dm⁻³)

Dref = densidade do solo para determinada profundidade para área de referência (kg.dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

Apoio:

Por meio de:

Execução:

7. Frequência de amostragem

A medição do estoque de COS é efetuada no início da implantação do sistema (ano zero) que representa a linha de base, representando a condição do solo antes da intervenção realizada. É importante sempre comparar com a área de referência (vegetação nativa) adjacente à área avaliada. Sabe-se que a mudança do estoque de C do solo não é facilmente detectável em curto prazo (dias e meses), por isso é o monitoramento a longo prazo que permite a avaliação da eficiência do manejo do solo no estoque de COS (Stockmann et al., 2013). Por isso, as medidas do estoque de COS são realizadas na mesma área em diferentes momentos do tempo, após 5, 10, 15, 20 anos para avaliar o efeito da mudança de uso do solo e fazer o monitoramento a longo prazo. A diferença entre o estoque de COS aos 5 anos e o da linha de base (implantação do sistema) que irá indicar a quantidade de C sequestrado em Mg ha⁻¹ para determinada área/estrato.

8. Referências bibliográficas

CERRI, C. E. P.; GALDOS, M. V.; CARVALHO, J. L. N. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: Point of view. *Scientia Agricola*, 70, 361–368, 2013.

DAVIS, M. R.; ALVES, B. J. R.; KARLEN, D. L.; KLINE, K. L.; GALDOS, M.; ABULEBDEH, D. (2017). Review of soil organic carbon measurement protocols: A US and Brazil comparison and recommendation. *Sustainability*, 10(1), 4–8. <https://doi.org/10.3390/su10010053>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 pp, 2019.

FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). Carbono e Nitrogênio total – Analisador elementar. Manual de métodos de análise de solo, 3. ed. rev. e ampl, Brasília, DF: Embrapa, 573p, 2017.

Apoio:



Por meio de:



Execução:



IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). Agriculture, forestry and other land use. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. v. 4.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D.L., et al. (Eds.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods, SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI. pp. 961-1010, 1996.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M, A.; CRAWFORD, J. W.; et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 164, n. 2013, p. 80–99, 2013.

STOLBOVOY, V., MONTANARELLA, L., FILIPPI, N., JONES, A., GALLEGO, J., & GRASSI, G. Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. Version 2, 56 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). Manual de métodos de análise de solo, 3. ed. rev. e ampl, Brasília, DF: Embrapa, 573p, 2017.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.175–180, 1994.

Apoio:



Por meio de:



Execução:

