

FUNÇÃO DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DE TEOR DE CARBONO EM SOLO SOB ÁREAS DE CAMPO LIMPO ÚMIDO DO DISTRITO FEDERAL

Andreia M. S. França¹, Edson E. Sano², Arminda M. Carvalho³

Abstract — The objective of this research was to obtain a pedotransfer function to estimate the carbon content over humid grasslands of Federal District of Brazil. The estimation of carbon contents from low time-consuming data acquisition variables such as soil texture, represented a useful measurement not only to quantify carbon content but also to facilitate calculation of soil carbon storage which depends on availability of data regarding carbon content (grams of C/kg of soil) and bulk density. The pedofunction was described by a nonlinear regression and the evaluation of its efficiency of prediction was obtained based on coefficient of determination (R^2), standard error of estimation and graphical interpretation. The carbon contents in Gleysols and Plintosols under humid grasslands were estimated successfully, with coefficient of determination higher than 0.8.

Index Terms — Pedotransfer Function, Carbon Content, Humid Grasslands.

INTRODUÇÃO

Preocupações com as mudanças climáticas globais e a contribuição do acúmulo de carbono à sua mitigação têm requerido estimativas nacionais do estoque de carbono [1]. O compartimento de matéria orgânica no solo é o maior estoque de carbono da maioria dos ecossistemas terrestres [2] e pode ser definida como a soma de todas as substâncias orgânicas do solo, composta por uma mescla de resíduos animais e vegetais, em diversos estádios de decomposição [3]. O estoque de carbono de um solo sob vegetação natural representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização [4]. A variação do estoque de C orgânico de um solo ao longo do tempo é dependente do tipo de uso e dos sistemas de manejo utilizados e seus efeitos sobre as adições e perdas de C. Assim, quando há igualdade entre as quantidades adicionadas e perdidas de C orgânico no solo, não há variação no estoque de C [5].

Estimativas do estoque de carbono do solo dependem da disponibilidade de dados sobre conteúdo de carbono (g C kg^{-1}) e densidade aparente. Entretanto, procedimentos analíticos usuais para a quantificação dos teores de carbono no solo são laboriosos, pouco precisos e/ou geram impactos negativos no meio ambiente [6]. Há necessidade de se

desenvolver métodos ágeis, de baixo custo e precisos para a quantificação do estoque de carbono no solo [6], nesse caso, o uso de funções de pedotransferência para as estimativas de teor de carbono apresentam grande potencial como método alternativo. Estas funções são preditivas de características edáficas de difícil obtenção e de maior custo a partir de outras mais facilmente obtidas e de menor custo [7,8].

É nesse contexto que se insere esse trabalho que tem como objetivo obter funções de pedotransferência para estimativa do teor de carbono em áreas de Campo Limpo Úmido do Distrito Federal, baseada na forte relação linear entre densidade aparente e % carbono (C) [3,9] assim como, entre a relação de % argila e % C e % de silte e % C [3,10].

METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos compreenderam as seguintes etapas: (1) seleção de áreas e amostragens de campo; (2) preparação das amostras; (3) análises laboratoriais e (4) modelagem estatística e (5) avaliação da eficiência da predição.

Área de Estudo

As áreas de Campo Limpo Úmido selecionadas nesse estudo são representativas quanto aos solos predominantes em áreas úmidas, ou seja, Plintossolos e Gleissolos. As amostras de solo foram coletadas em seis áreas de Campo Limpo Úmido localizadas no Distrito Federal do Brasil, sendo quatro em áreas de Unidades de Conservação (UC) – 1. Estação Ecológica de Águas Emendadas em solos do tipo Gleissolos; 2. Área de proteção de mananciais da CAESB em Plintossolos; 3 e 4. Fazenda Água Limpa/UnB (área 1 em Plintossolos e área 2 em Gleissolos); e duas em Áreas de Preservação Permanente (APP) próximas às Unidades de Conservação – 1. Fazenda próxima à área de proteção de mananciais da CAESB em solos do tipo Gleissolos; e 2. Fazenda próxima a Águas Emendadas em Plintossolos. O Distrito Federal situa-se entre os paralelos $15^{\circ} 30'$ e $16^{\circ} 03'S$ de latitude e os meridianos de $47^{\circ} 25'$ e $48^{\circ} 12'W$ de longitude.

Estas áreas foram selecionadas tendo em vista que a conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola exerce uma grande influência no destino do carbono estocado nos solos. Além disso, estas áreas possuem características

¹ Andreia Maria da Silva França, Professora Dedicção Exclusiva, Instituto Federal de Brasília, Brasília, Brasil, andreia.franca@ifb.edu.br

² Edson Eyji Sano, Pesquisador Sênior, EMBRAPA Cerrados, Brasília, Brasil, edson.sano@embrapa.br

³ Arminda Moreira de Carvalho, Pesquisadora Classe A, EMBRAPA Cerrados, Brasília, Brasil, arminda.carvalho@embrapa.br

homogêneas, tendendo a função de pedotransferência à maior acurácia aos dados estimados [11].

Amostragem de campo

Foi delimitado na região central de cada Campo Limpo Úmido, um transecto, iniciando na borda do Cerrado sensu stricto e finalizando na Mata de Galeria ou na Vereda, atravessando toda a extensão do Campo Limpo Úmido. Nestes transectos, foram demarcados 4 pontos amostrais, em cada área. Para a determinação da matéria orgânica e textura do solo, foram coletadas amostras deformadas utilizando trado holandês e para a determinação da densidade aparente foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos, ambas as amostragens foram realizadas em sete profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm e 50-60 cm, totalizando 168 amostras (6 áreas x 4 pontos x 7 profundidades), sendo 84 amostras referentes às áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos e 84 amostras referentes às áreas de Campo Limpo Úmido sob Plintossolos (84 + 84 = 168 amostras).

Preparação das amostras

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar e posteriormente foram destorroadas manualmente utilizando um rolo e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da fração denominada terra fina seca ao ar menor que 2 mm (TFSA). Essas amostras foram trituradas com o auxílio de um moedor de café tomando-se sempre o cuidado com a contaminação. A cada troca de amostra foi realizada a higienização com álcool e folhas de papel toalha tanto do moedor de café, quanto das peneiras. Além disso, a cada 4 amostras, as peneiras eram lavadas com detergente neutro e água. No gral e no pistilo, utilizaram-se água e detergente neutro para retirar o solo e logo após lavava-os com álcool. O solo foi moído e passado em peneira de malha de 0,25 mm o material retido era triturado utilizando a ajuda do gral de pedra e do pistilo até o solo conseguir passar pela malha. Em seguida, subamostras foram pesadas entre 20 e 30 mg, com precisão de 4 casas decimais, em cápsulas de estanho para que fossem iniciadas as análises via combustão seca.

Análises laboratoriais

Para determinação do teor de C total no solo, foi utilizado o método analítico por combustão seca, a 900°C (CHNS/O) em analisador elementar (Perkin Elmer, PE-2400 Séries II). A cada 10 amostras o aparelho foi calibrado com amostras-padrão - cistina.

A textura do solo foi determinada pela análise granulométrica, a qual permite classificar as frações texturais do solo – areia, silte e argila - em classes de acordo com seus diâmetros.

Os métodos empregados na determinação da densidade aparente fundamentam-se na obtenção de dois dados principais: a massa e o volume da amostra do solo. A massa é facilmente determinada pesando-se a amostra depois de

seca em estufa a 110°C. Para a determinação do volume, neste trabalho, foi utilizado o método do anel volumétrico que se fundamenta no uso de um anel de aço, de bordos cortantes e capacidade interna conhecida, que neste caso foi de 100 cm³.

Modelagem Estatística

Para o desenvolvimento da função de pedotransferência foi aplicado uma regressão não-linear múltipla onde o teor de carbono - %C - é a variável dependente e a densidade aparente em g.cm⁻³ (Da), % argila (A), % silte (S), % areia (Ar) e profundidade da camada em cm (p), considerando como valor de profundidade a metade da camada, são as variáveis independentes. O modelo geral é representado por (1):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_m x_{im}^m \quad (1)$$

Onde o y_i é a variável dependente, x_i as independentes, a e m os expoentes e β são os coeficientes. Pretende-se ajustar a função aos dados empíricos de forma a minimizar os erros $\varepsilon = (y - y_i)$, sendo y o valor medido e y_i o valor estimado. O objetivo é estimar o parâmetro da função de modo a minimizar a soma dos quadrados dos erros, SQE, este procedimento é designado método dos mínimos quadrados (MMQ) (2).

$$SQE = \sum (y - y_i)^2 \quad (2)$$

A SQE foi minimizada através de um processo iterativo (cíclico) utilizando um algoritmo apropriado, no caso a ferramenta Solver® do Microsoft Excel 2007® que necessita dos valores iniciais dos coeficientes e expoentes. A ferramenta Solver® é acessada pelo menu Ferramentas do Excel®.

Para iniciar o processo de estimação dos parâmetros – coeficientes e expoentes - do modelo de regressão não-linear utilizando o Solver® necessariamente, deve-se indicar: a célula destino (neste caso, a expressão que será minimizada é a SQE), o tipo de otimização (maximização, minimização ou atingir determinado valor-alvo, neste caso, o tipo de otimização escolhida foi minimização) e as células que contêm os valores (iniciais) dos parâmetros que serão estimados – coeficientes e expoentes - e que irão variar durante o processo de otimização. As estimativas iniciais dos parâmetros podem ser especificadas simplesmente com base em um palpite. Nesse trabalho utilizaram-se como parâmetros iniciais o “1” para coeficientes e “1” para os expoentes. É possível aceitar a solução proposta pelo Solver® ou repor valores originais, e obter relatórios mais completos das soluções encontradas. Após aceitar a solução proposta pelo Solver®, as estimativas dos parâmetros são apresentadas nas células destino.

Avaliação da eficiência da predição

A avaliação da eficiência da predição da função de pedotransferência foi feita com base no coeficiente de determinação (r^2) e no erro-padrão da estimativa (EPE). O r^2 mede a proporção da variação em x que é explicada pela variável independente y no modelo de regressão [12]. É obtido pela soma dos quadrados da regressão (SQReg), ou seja, a variação explicada, dividida pela soma total dos quadrados (STQ), ou seja, a variação total (3).

$$r^2 = \frac{SQReg}{STQ} \quad (3)$$

Embora o método dos mínimos quadrados resulte na linha que ajusta os dados com a quantidade mínima de erro, a menos que todos os pontos de dados observados se posicionem em uma linha reta, a linha de previsão não se configura como um mecanismo perfeito de previsão [12]. Uma estatística importante, chamada de erro-padrão da estimativa, mede a variabilidade em torno da linha de previsão dos valores de y previstos para cada x da regressão. Ele é mensurado nas mesmas unidades da variável dependente, y [12]. O erro-padrão da estimativa, representado pelo símbolo S_{yx} , é definido pela equação (4):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQR}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}} \quad (4)$$

RESULTADOS

Inicialmente foram selecionados dois subconjuntos de dados considerados independentes: 140 amostras para o desenvolvimento da pedofunção e 28 amostras para teste e validação. Os dados utilizados na validação abrangem valores de teores de carbono, silte, areia, argila e densidade aparente, da faixa de valores utilizados no desenvolvimento da FPT.

Para o conjunto de dados utilizados na função de pedotransferência a textura dos solos variou de arenosa (com teores de areia de até 870 g kg⁻¹ de solo) a muito siltosa (teores de argila de 800 g kg⁻¹ de solo). Os valores de densidade do solo variaram de 0,17 a 1,50 g cm⁻³ e sua média foi de 0,67 g cm⁻³. Os teores de carbono variaram de 5,70 a 179,50 g kg⁻¹ com valores de média e mediana de 61,80 e 59,05 g kg⁻¹, respectivamente.

Baseado na forte relação linear entre densidade aparente e % carbono (C) [3,9], assim como entre % argila e % C e entre % silte e % C [3], foi decidido, em um primeiro momento, para o desenvolvimento da função de pedotransferência, para a estimativa do teor de carbono em áreas de Campo Limpo Úmido, utilizar como variáveis independentes todas as propriedades do solo consideradas neste estudo.

A equação (5) apresenta a regressão não-linear para a estimativa do teor de carbono em áreas de Campo Limpo Úmido (EPE). O coeficiente de determinação (R^2) indicou a

qualidade da regressão que, a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), obteve valor de 0,84, ou seja, mais de 80% da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. O valor de EPE foi de 1,55. Ao gerar a função foi estabelecida uma restrição aos resultados das estimativas dos teores de carbono, ou seja, $y_i \geq 0$.

$$C\% = 26,3 * Da^{(-0,19)} + 16,91 * a^{0,01} + (-114,13) * ar^{(-2,44)} + 0,001 * s^{1,74} + 167,49 * p^{(-0,001)} + (-208,83) \quad (5)$$

Na tentativa de melhorar a capacidade preditiva das funções de pedotransferência, procedeu-se à separação dos tipos de solo.

Para tanto, foram selecionados quatro subconjuntos de dados considerados independentes:

- **Subconjunto 1:** 56 amostras para o desenvolvimento da pedofunção para áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos
- **Subconjunto 2:** 28 amostras referentes a áreas sob Gleissolos para teste
- **Subconjunto 3:** 56 amostras para o desenvolvimento da pedofunção para áreas de Campo Limpo Úmido sob Plintossolos
- **Subconjunto 4:** 28 amostras referentes a áreas sob Plintossolos para teste e validação.

No desenvolvimento das funções de pedotransferência, para a estimativa do teor de carbono em áreas de Campo Limpo Úmido, tanto sob Gleissolos quanto sob Plintossolos, foram utilizadas como variáveis independentes todas as propriedades do solo consideradas neste estudo. Os dados utilizados na validação abrangem valores de teores de carbono, silte, areia, argila e densidade aparente, da faixa de valores utilizados no desenvolvimento da FPT.

As equações (6, 7) apresentam as regressões não-lineares para a estimativa do teor de carbono em áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos, assim como, para áreas de Campo Limpo Úmido sob Plintossolos, respectivamente. O coeficiente de determinação (R^2) indicou a qualidade da regressão que, a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), obteve valor de 0,86, para as áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos e um valor de R^2 de 0,75 para as áreas de Campo Limpo Úmido sob Plintossolos. Os valores de EPE foram 1,54 para os Gleissolos e de 1,18 para os Plintossolos. Ao gerar a função foi estabelecida uma restrição aos resultados das estimativas dos teores de carbono, ou seja, $y_i \geq 0$.

$$C\% = 1,33 * Da^{(-1,35)} + 10,35 * a^{(-4,33)} + 0,51 * ar^{(0,27)} + 0,42 * s^{0,63} + 14,30 * p^{(-3,63)} + (-2,58) \quad (6)$$

$$C\% = 2,13 * Da^{(-1,16)} + 3,92 * a^{(-0,82)} + 1,70 * ar^{(-0,45)} + (-3,71) * s^{(-3,77)} + 12,84 * p^{(-3,41)} + (-0,05) \quad (7)$$

DISCUSSÃO

Se analisarmos a pedofunção gerada (1), quando utilizado um único conjunto de dado, observamos que uma das consequências do aumento do teor de matéria orgânica no solo é a redução da densidade do solo. Essa relação ocorre em campo, como já demonstrado [3,13], entretanto, as práticas de manejo podem alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão diferentes, podendo levar a interpretações equivocadas [14,15]. Portanto, comparar camadas de solo idênticas também é fator decisivo na interpretação dos resultados, especialmente de conteúdo C, pois camadas mais espessas implicam em uma maior massa equivalente de solo, com reflexos diretos sobre o conteúdo total [14,15].

O modelo descreveu bem os teores de carbono em solo de áreas de Campo Limpo Úmido do DF (Figura 1). O grau de correlação entre os valores estimados e observados dá uma ideia da dispersão das estimativas em relação à regressão linear dos dados. Nessa comparação, quanto mais próximo de um for o coeficiente angular e mais próximo de zero for o coeficiente linear, menor é o desvio em relação à linha 1:1 e maior é a concordância entre os valores observados e os estimados pelo modelo. O coeficiente de determinação (R^2) indicou a qualidade da regressão que, a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), obteve valor de 0,84, ou seja, mais de 80% da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados.

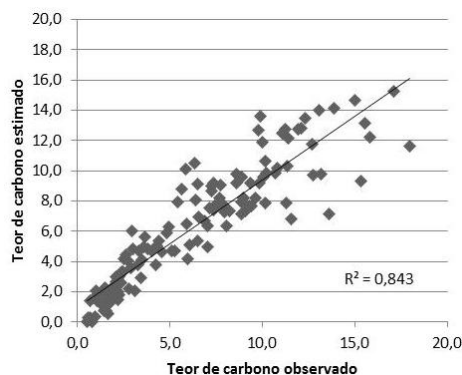


FIGURA. 1

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 140 AMOSTRAS DE TEORES DE CARBONO OBSERVADOS E ESTIMADOS PELO MODELO PROPOSTO

Para os dados utilizados na validação do modelo o gráfico que apresenta a relação entre os dados preditos e observados mostra que há uma boa concordância na estimativa (Figura 2) que a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,91 e um erro-padrão da estimativa (EPE) de 0,70.

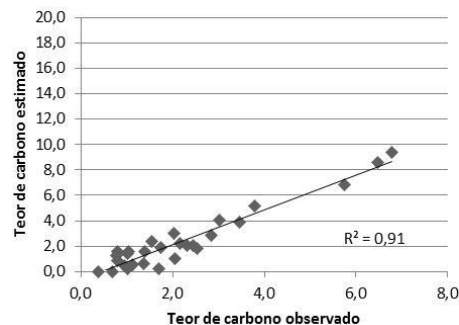


FIGURA. 2

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 28 AMOSTRAS UTILIZADAS NA VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO PARA ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO

O modelo desenvolvido para as áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos descreveu bem os teores de carbono em solo (Figura 3), apresentando melhorias na capacidade preditiva para este tipo de solo. O coeficiente de determinação (R^2) indicou a qualidade das regressões que, a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), para as áreas sob Gleissolos obteve valor de 0,86, ou seja, mais de 80% da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados e para áreas sob Plintossolos o valor do coeficiente de determinação foi de 0,75 (Figura 4).

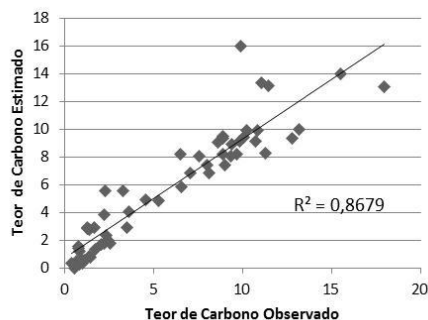


FIGURA. 3

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 56 AMOSTRAS DE TEORES DE CARBONO OBSERVADOS E ESTIMADOS PELO MODELO PROPOSTO UTILIZANDO O CONJUNTO DE DADOS DOS GLEISSOLOS

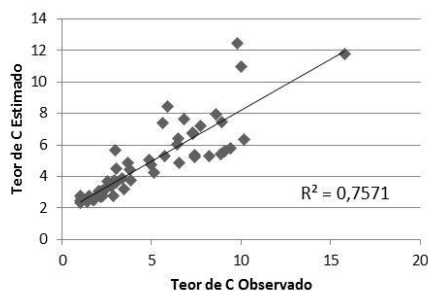


FIGURA. 4

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 56 AMOSTRAS DE TEORES DE CARBONO OBSERVADOS E ESTIMADOS PELO MODELO PROPOSTO UTILIZANDO O CONJUNTO DE DADOS DOS PLINTOSSOLOS

Para os dados utilizados nas validações dos modelos os gráficos que apresentam a relação entre os dados preditos e observados mostram que para as áreas de Campo Limpo Úmido sob Gleissolos houve uma boa concordância na estimativa (Figura 5) que a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,95. Entretanto, para os resultados referentes à validação das áreas de Campo Limpo Úmido sob Plintossolos o coeficiente de determinação foi de 0,54 (Figura 6).

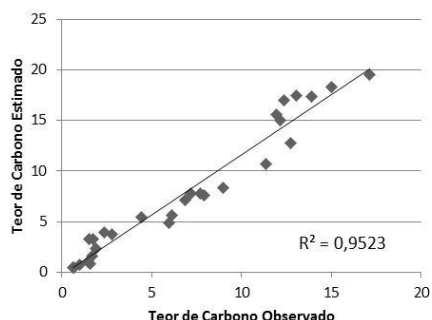


FIGURA. 5

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 28 AMOSTRAS UTILIZADAS NA VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO PARA ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO UTILIZANDO O CONJUNTO DE DADOS DOS GLEISSOLOS

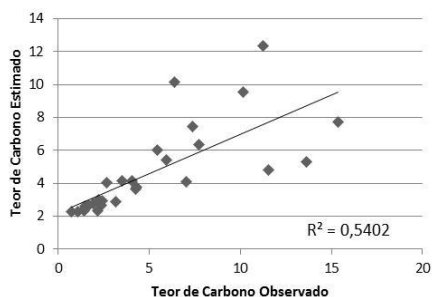


FIGURA. 6

DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS 28 AMOSTRAS UTILIZADAS NA VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO PARA ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO UTILIZANDO O CONJUNTO DE DADOS DOS PLINTOSSOLOS

Um possível motivo para que o modelo desenvolvido para os Plintossolos não apresentar, tanto vigor, preditivo em comparação ao modelo desenvolvido para os Gleissolos é que os Plintossolos apresentam uma maior oscilação do lençol freático em comparação aos Gleissolos, o que consequentemente afeta sua dinâmica associada à acumulação da matéria orgânica.

CONCLUSÃO

O valor médio de C% para as amostras solos de áreas de Campo Limpo Úmido do DF utilizadas no desenvolvimento da FPT foi 6,18%, variando entre 0,57 e 17,95%. A função não-linear foi útil para estimar os teores de carbono a partir

de outras propriedades do solo – textura e densidade aparente. Em um primeiro conjunto de dados (número de observações = 140), um modelo foi desenvolvido utilizando regressão não-linear múltipla e o C% pode ser estimado a partir das seguintes variáveis: densidade aparente, argila, silte, areia e profundidade da camada. Essas variáveis explicam 84% da variação de C%. Um segundo conjunto de dados (número de observações – 28) descreveu 91% da variação de C%. ‘Na tentativa de melhorar a capacidade preditiva das funções de pedotransferência, procedeu-se à separação dos tipos de solo, ou seja, Gleissolos e Plintossolos. Para os Gleissolos o modelo desenvolvido descreveu bem os teores de carbono em solo. Entretanto, para os Plintossolos o modelo desenvolvido não apresentou, com tanto vigor, melhorias na capacidade preditiva em comparação aos outros modelos desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

- [1] ESWARAN, H., VAN DEN BERG, E., REICH, P., “Organic carbon in soils of the world”, *Soil Science Society of America Journal*, Vol, 57., 1993. pp. 192-194.
- [2] LAL, R., “World soils and the greenhouse effect”, *Global Climate Newsletter*, Vol, 37., 1999.
- [3] KIEHL, E. J., “Manual de Edafologia – Relações Solo-Planta”, Editora Agronômica Ceres, 1979, pp. 1 – 263.
- [4] SCHOLE, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G., “Input control of organic matter dynamics”, *Geoderma*, Vol, 79., 1997, pp. 25-47.
- [5] ADDISCOTT, T. M. “Entropy and sustainability”, *European Journal of Soil Science*, Vol, 46., 1995, pp.161-168.
- [6] MACHADO, P. L. O., “Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global”, *Química Nova*, Vol, 28., 2005, pp. 329-334.
- [7] LIN, H. S.; MCINNES, K. J.; WILDING, L. P.; HALLMARK, C. T., “Effects of soil morphology on hydraulic properties. Hydraulic pedotransfer functions”, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 63., 1999, pp. 955-961.
- [8] BUDIMAN, M., BRATNEY, A. B. M. C., MENDONÇA-SANTOS, M. L., SANTOS, H. G., “Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo”, *Embrapa Solos. Documentos*, Vol, 45., 2003, pp.50.
- [9] BERNOUX, M., ARROUAYS, D., CERRI, C. C., BORENNANE, H., “Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondonia)”, *Soil Science*, Vol, 163, 1998, pp. 941-951.
- [10] ZINN, Y. L., LAL, R., RESCK, D. V. S., “Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils”, *Geoderma*, Vol, 127, 2005, pp. 168-173.
- [11] OLIVEIRA, L. B., RIBEIRO, M. R., JACOMINE, P. K. T., RODRIGUES, J. J. V., MARQUES, F. A., “Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco”, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vol, 26., 2002, pp. 315-323.
- [12] LEVINE, D. M., STEPHAN, D. F., KREHBIEL, T. C., BERENSON, M. L., “Estatística. Teoria e Aplicações”, Editora LTC, 2008, pp. 752.
- [13] CERRI, C.C., BERNOUX, M., CERRI, C.E.P., LAL, R., “Carbon Sequestration in Soils of Latin America”, *Haworth Press*, 2006, pp. 41-48.
- [14] PILLON, C. N., “Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto”, *Tese UFRGS*, 2000, pp. 232.
- [15] JANTALIA, C. P., ALVES, B. J. R., ZOTARELLI, L., BODEY, R. M., URQUIAGA, S., “Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa”, *Embrapa Agrobiologia*, 2006, pp. 35-57.