
Daniel Ruiz Potma Gonçalves¹,
João Carlos de Moraes Sá,
Allison José Fornari, Flávia
Juliana Ferreira Furlan,
Lucimara Aparecida Ferreira

**RELAÇÕES ENTRE OS
COMPARTIMENTOS DE CARBONO
ORGÂNICO DO SOLO E A
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM
PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO***

RESUMO: Os benefícios do acúmulo de C na promoção e manutenção da saúde do solo são bem conhecidos. Entretanto, ainda são escassas as informações relacionando os seus efeitos diretos na produtividade das culturas. O objetivo deste estudo foi analisar a relação entre os compartimentos de C orgânico total (COT) e as produtividades de soja, milho e trigo em escala da paisagem em uma fazenda na região dos Campos Gerais do Paraná. Foram coletadas amostras nas principais classes de solo em diferentes posições na paisagem e analisados o COT e o C das frações lábeis. Também foram calculados o índice de manejo de C (IMC) e o índice de resiliência do solo (IRS) para relacioná-los com as produtividades das culturas e atributos da fertilidade do solo por meio de análises de componentes principais (ACP) e do ajuste de regressões. As produtividades de soja e trigo apresentaram uma relação positiva com o COT e com o nitrogênio total (NT) enquanto o milho apresentou uma relação positiva com o C nas frações mais lábeis.

PALAVRAS-CHAVE: Produtividade de soja; produtividade de milho; produtividade de trigo; análise de componentes principais.

Data de submissão: 20/06/2016

Data de aceite: 26/09/2016

¹ Doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, (42) 32203000, CEP: 84030900, e-mail: drpgonc@gmail.com

² Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, email: jcmsa@uepg.br

³ Eng. Agrônomo pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, e-mail: allison.fornari@gmail.com

⁴ Aluna do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, e-mail: ju.frl@hotmail.com

⁵ Aluna do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, e-mail: lucimaraferreira02@hotmail.com

RELATIONS BETWEEN SOIL ORGANIC CARBON POOLS AND CROP YIELD IN LONG TERM NO-TILL

SUMMARY: The benefits of C accumulation to the promotion and maintenance of soil health are well known. However, there's still little information relating its effects on crop yield. The aims of this study were to analyze the relationship between the total organic carbon (TOC) pools and soybean, maize and wheat yields in landscape scale at a farm located in Campos Gerais do Paraná region. Samples were collected in the main soil types in different landscape positions and was analyzed the TOC and the C from labile pools. It were also calculated the C management index (CMI) and the soil resilience index (SRI) to relate with crop yields and soil fertility attributes through principal component analysis (PCA) and linear regressions. The yields of soybean and wheat showed a positive relationship with TOC and total nitrogen (NT) while maize showed a positive relationship with C from labile pools.

KEYWORDS: Soybean yield; maize yield; wheat yield; principal component analysis.

INTRODUÇÃO

Os benefícios do acúmulo de COT para a promoção e manutenção da saúde do solo são bem conhecidos (LAL, 2004; LAL, 2008). Entretanto, ainda são escassas as informações relacionando o efeito direto do acúmulo de C na produtividade das culturas.

Informações pioneiras foram reportadas em experimentos seculares realizados em Askov e Rothamsted no qual verificaram a relação entre incrementos na produtividade das culturas relacionados com aumentos na concentração de C (CHRISTENSEN & JOHNSTON, 1997). Mais recentemente, na mesma linha, Zhang et al. (2009) relataram incrementos nas produtividades de trigo (*Triticum aestivium* L.) e milho (*Zea mays* L.) em regiões altas da China, relacionados com aumentos na concentração de COT, Sá et al. (2014) relataram que as produtividades de trigo e soja (*Glycine max* L.) se relacionaram positivamente com os estoques de COT na região dos Campos Gerais do Paraná, Culman et al. (2013) realizaram um trabalho no estado do Michigan (EUA) e relataram que o C oxidado por permanganato de potássio (C-OXP) apresentou correlação positiva com a produtividade de milho e com o NT do solo.

Porém, nem sempre efeitos positivos são verificados, Ogle et al. (2012) realizaram uma meta análise e verificaram que o sistema plantio direto (SPD) resultou em declínio das produtividades de milho e

trigo em regiões frias dos EUA. Como a produtividade de culturas é restringida pelo fator mais limitante, efeitos negativos do acúmulo do COT, como a diminuição da temperatura do solo, podem gerar tais resultados. Esta relação também é difícil de ser estudada porque o acúmulo de COT depende do aporte de fitomassa ao solo, que geralmente é maior em locais onde a produtividade das culturas é elevada, compondo um ciclo em que se torna difícil diferenciar causas e efeitos.

Desta maneira, o objetivo desse trabalho foi explorar a relação entre os compartimentos de COT, os índices IMC e IRS e as produtividades de milho, soja e trigo em SPD de longa duração.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado na Fazenda Paiquerê, propriedade do Sr. Lúcio Miranda, localizada no município de Piraí do Sul/Arapoti, cujas coordenadas geográficas são: latitude 24° S 20' 20" e longitude 50° O 07' 31" (Figura 1). A escolha do local de estudo foi devido à existência de uma base de dados detalhada com informações sobre a produtividade das culturas e atributos do solo, aliada ao longo período (30 anos) sob plantio direto contínuo.

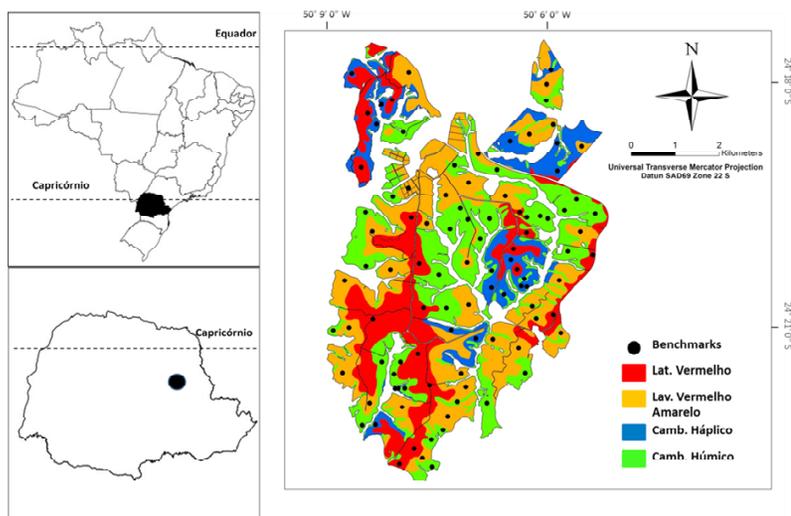


Figura 1 Localização da área de estudo, principais classes de solo encontradas na fazenda e posição dos benchmarks.

A altitude média da fazenda é de 970 m, o clima da região é classificado como cfb (classificação de Köppen) e corresponde a um clima subtropical úmido (MAAK, 1981), com a temperatura média máxima de 25,9 °C e média mínima de 13,5 °C (IAPAR, 2013). A precipitação pluvial anual média na região situa-se entre 1524 e 1860 mm. As principais classes de solo encontradas na fazenda são: Latossolos Vermelhos - LV, Latossolos Vermelho-Amarelos - LVA, Cambissolos Húmicos - CH e Cambissolos Háplicos - CX (SOLOS, 1999). O sistema de rotação de culturas da fazenda é realizado na seguinte ordem, inverno / verão respectivamente: ano 1 - trigo / soja; ano 2 - trigo / soja; ano 3 - aveia-preta (*Avena sativa* L.) / milho. A cada dois anos são realizadas amostragens nos solos, direcionadas por talhão para analisar os componentes da fertilidade e dar suporte às estratégias de adubação das culturas.

Amostragem

As amostras de solo foram coletadas em áreas pré-definidas em cada classe de solo denominadas “benchmarks” (Figura 1). As dimensões da área de referência foram 30x30 m e as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, cinco sub amostras por profundidade (GONÇALVES et al., 2015).

Análises realizadas

A extração do C com a água quente foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Ghani et al. (2003) e a determinação do C foi obtida com a oxidação em meio ácido e a titulação com o sulfato ferroso conforme Walckley & Black (1934). A determinação do C-OXP foi realizada de acordo com a metodologia descrita em Weil, et al. (2003).

A determinação do COT e do NT foi realizada pelo método de combustão seca à uma temperatura de 950° C, utilizando-se um determinador elementar de C e N (Truspec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA). O COT foi considerado como o total de C existente no solo, porque o C inorgânico presente nos solos desta região é menor que 0,1% para Latossolos e que 0,25% para Cambissolos, (SÁ et al., 2013).

Base de dados da Fazenda Paiquerê

A base foi constituída pelo monitoramento temporal da fertilidade do solo realizado na fazenda. Como as amostras analisadas para este estudo foram coletadas em maio de 2013, foram utilizados somente dados provenientes do mesmo ano.

Os dados utilizados foram: Fósforo (P, mg/kg); Potencial hidrogeniônico (pH); Hidrogênio mais Alumínio (H+Al, cmol/dm³); Cálcio (Ca, cmol/dm³); Magnésio (Mg, cmol/dm³); Potássio (K, cmol/dm³); Soma de bases (SB, cmol/dm³); Capacidade de Troca de Cátions efetiva do solo (CTC ef., cmol/dm³); Teor de argila (Argila, g/Kg); Teor de Silte (Silte, g/Kg); Teor de areia (Areia, g/Kg).

Também foram obtidas da base de dados da fazenda, a variação espacial das produtividades de soja, milho e trigo através de sensores instalados nas colhedeadas, utilizando sistemas GPS integrados Greenstar.

Índices calculados

Visando acessar a labilidade do COT foi calculado o índice de manejo de carbono (IMC), de acordo com a metodologia proposta por Blair et al. (1995), e visando acessar a recuperação dos estoques de COS que o SPD promoveu ao longo de 30 anos na fazenda foi calculado o Índice de resiliência do solo (IRS) de acordo com a metodologia proposta por Herrick & Wander (1997). Foram consideradas como referências superior e inferior para o cálculo dos índices os pontos amostrados que apresentaram a maior e a menor concentração de COT, respectivamente.

Análises estatísticas

Para resumir as informações e facilitar a sua interpretação foram ajustadas ACPs com as variáveis IMC, COT, NT, C-OXP, C-EAQ, relação C/N do solo e as produtividades de soja, trigo e milho, respectivamente. Para acessar as relações entre as variáveis analisadas e a produtividade de culturas foram ajustadas regressão entre os componentes principais (RCP) - sem a adição das variáveis de produtividade - e as produtividades das culturas.

Para a realização das ACPs e do ajuste das RCPs, foi utilizado o software R v. 3.2.2 e para a organização das informações georreferenciadas, foi utilizado o software ArcGIS v. 10.2.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de componentes principais

Não foram observados padrões de diferenciação nas classes de solos analisadas pelas ACPs (Figuras 2, 3 e 4), o que pode ser devido à

homogeneização dos atributos do solo promovida ao longo de 30 anos sob SPD.

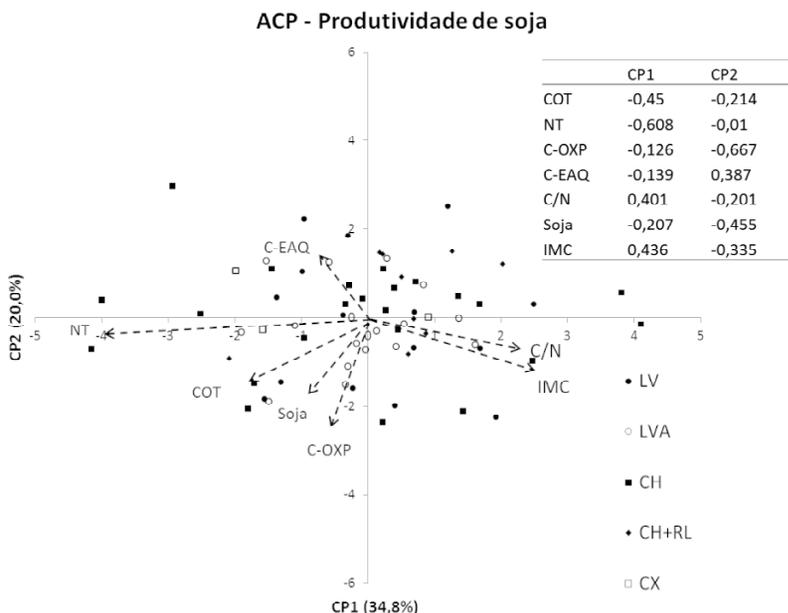


Figura 2 ACP realizada com os compartimentos do COT e a produtividade de soja. *Soja = Produtividade de soja; COT = Carbono Orgânico Total; NT = Nitrogênio total; C-OXP = Carbono extraído por permanganato; C-EAQ = Carbono extraído por água quente; C/N = Relação C/N. *LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; CH = Cambissolo Húmico; CH+RL = Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico; CX = Cambissolo Háplico. *CP1 = Componente principal 1; CP2 = Componente principal 2.

O CP1 explicou 35% e o CP2 20% de toda a variância dos dados (Figura 2). Assim, a ACP resumiu 65% da variância total. A produtividade de soja foi positivamente correlacionada com COT, NT e C-OXP, e apresentou correlação nula com C-EAQ, com a relação C/N do solo e com o IMC. A relação positiva com o COT pode ser explicada pelo efeito do mesmo sobre outros atributos do solo, vários autores destacaram características físicas do solo como a capacidade de infiltração e retenção de água (JAGADAMMA et al. 2008; FRANCHINI et al. 2012; SANTI et al. 2012), e químicas, como a mineralização de N e a disponibilidade de K (JAGADAMMA et al. 2008; SANTI et al. 2012; CULMAN et al. 2013) como as principais responsáveis pelo incremento da produtividade de culturas em SPD.

A relação positiva com o NT pode ser reflexo da associação do N

com o COT, já que a associação entre as raízes da soja e o *Bradyrhizobium sp.* que garante o suprimento de N para a cultura é mais eficiente quando o solo apresenta baixos teores de N disponível para as plantas (HUNGRIA et al., 2001). A associação com *Bradyrhizobium sp.* também ajuda a explicar a relação nula com o C-EAQ, já que a soja não é dependente da atividade da biomassa microbiana para a assimilação de N, e este compartimento apresenta relação com a biomassa microbiana do solo (GHANI et al. 2003).

Na ACP realizada com a produtividade de trigo, o CP1 explicou 45% e o CP2 19% de toda a variância dos dados, totalizando 64%. As relações entre a produtividade de trigo e as variáveis analisadas seguiram o mesmo padrão observado para a soja (Figura 2), diferindo na relação C/N do solo e IMC, as quais foram negativamente correlacionadas com a produtividade de trigo.

A variável mais correlacionada com a produtividade de trigo foi o NT, o que ajuda a explicar a correlação negativa entre a produtividade de trigo e a relação C/N do solo, pois relações C/N menores implicam maiores em conteúdos de N no solo.

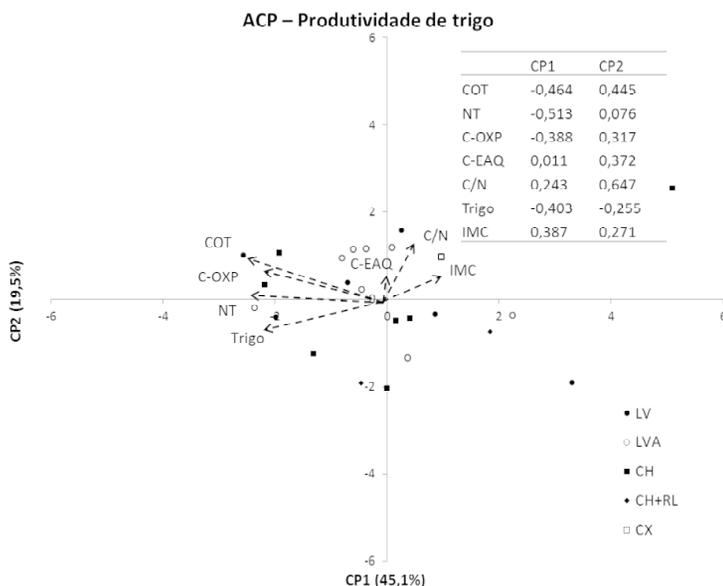


Figura 3 ACP realizada com os compartimentos do COT e a produtividade de trigo. *Trigo = Produtividade de trigo; COT = Carbono Orgânico Total; NT = Nitrogênio total; C-OXP = Carbono extraído por permanganato; C-EAQ = Carbono extraído por água quente; C/N = Relação C/N.

*LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; CH = Cambissolo Húmico; CH+RL = Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico; CX = Cambissolo Háplico.

*CP1 = Componente principal 1; CP2 = Componente principal 2.

Para a cultura do milho, o CP1 explicou 39% da variância total e o CP2 21%, totalizando 60% da variância total explicada pela ACP. As relações observadas entre a produtividade de milho e as variáveis foram diferentes das observadas para a soja e para o trigo. A produtividade de milho correlacionou-se positivamente com o IMC, a relação C/N do solo e o C-EAQ, negativamente com o C-OXP, e não apresentou correlação com o COT e o NT.

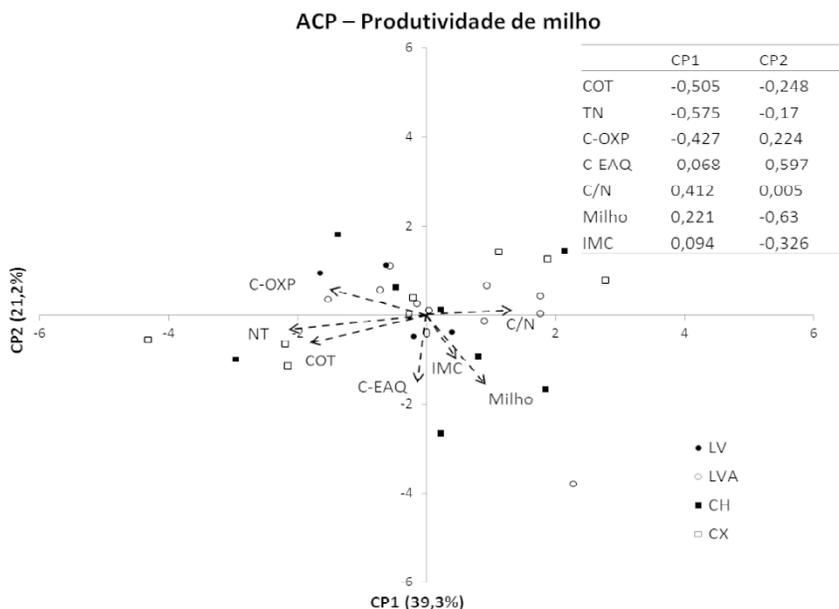


Figura 4: ACP realizada com os compartimentos do COT e a produtividade de milho. *Milho = Produtividade de milho; COT = Carbono Orgânico Total; NT = Nitrogênio total; C-OXP= Carbono extraído por permanganato; C-EAQ = Carbono extraído por água quente; C/N = Relação C/N. *LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; CH = Cambissolo Húmico; CX = Cambissolo Háplico. *CP1 = Componente principal 1; CP2 = Componente principal 2.

A correlação positiva entre a produtividade de milho e o C-EAQ (Figura 4) pode ser devida à mineralização de N orgânico, disponibilizando o nutriente para o milho. Por outro lado a relação observada entre a produtividade de milho, o COT e o NT não corroboram esta explicação. A produtividade de milho apresentou correlação negativa com o C-OXP, embora o contrário tenha sido observado por Culman et al. (2013), quais verificaram correlação positiva entre a produtividade de milho e C-OXP. A relação positiva entre a produtividade de milho e o IMC pode ser um indicativo de que este índice representa

a mineralização de nutrientes e indica que o mesmo pode ser mais explorado em trabalhos futuros.

Regressões com os componentes principais

Os ajustes das regressões múltiplas com os componentes principais apresentaram significância somente para a cultura do trigo e somente para o CP1 (Tabela 1).

A produtividade de trigo se relacionou positivamente com as seguintes variáveis (os números entre parênteses indicam a contribuição da variável para o CP1, único a apresentar significância): CTC efet. (12,32%) > NT (11,97%) > Argila (11,63%) > COT (10,50%) > Ca (10,37%) > SB (10,11%) > H+Al (5,48%) > Mg (4,97%) > C-OXP (2,07%) > C-EAQ (1,80%) > K (1,66%) > P (0,02%).

Tabela 1: Regressão ajustada entre o CP1 e a produtividade de trigo.

Modelo		CP1					
Intercepto	3123,3	COT	0,32	NT	0,35	C-OXP	0,14
C. Angular	105,66	C-EAQ	0,13	P	0,01	pH	- 0,14
R ²	0,20	H+Al	0,23	Ca	0,32	Mg	0,22
P	< 0,03	K	0,13	SB	0,32	CTC Ef.	0,35
n	24	Argila	0,34	Areia	- 0,39		

*COT = Carbono Orgânico Total; NT = Nitrogênio total; C-OXP = Carbono extraído por permanganato; C-EAQ = Carbono extraído por água quente; P = Fósforo total; pH = Potencial de hidrogênio; H +Al = Hidrogênio + Alumínio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; K = Potássio; SB = Soma de bases; CTC Ef. = Capacidade de troca de cátions efetiva.

*CP1 = Componente principal 1; C. Angular = Coeficiente angular do modelo.

No ajuste do modelo de regressão para cada aumento de uma unidade no CP1, o modelo indica um aumento de 105,7 kg/ha de trigo. O R² baixo (0,2) pode ser uma consequência do papel do solo no agroecossistema quando comparado a outros fatores como o clima, pois esse último pode sobrepor o efeito do solo ao determinar a disponibilidade de água, afetando diretamente a produtividade.

A elevada contribuição da CTC efetiva reflete a capacidade do solo de reter nutrientes e liberá-los para as plantas. Da mesma forma a contribuição da argila pode ser explicada pela influência desta na CTC do solo e na formação dos agregados (SIX et al., 2002).

A significativa contribuição do NT indica que este nutriente deve

estar sendo limitante para a produtividade das culturas na fazenda. Apesar dos valores elevados de COT, a mineralização do N depende da atividade da biomassa microbiana, que pode ser estimada pelo C-EAQ que variou entre os talhões em função da sucessão de culturas e de características físicas do solo, como a umidade (GONÇALVES et al., 2015). A contribuição do COT demonstra o efeito positivo deste sobre a produtividade de trigo. O COT refletiu mais os benefício do acúmulo de C no solo do que a avaliação dos compartimentos C-OXP e C-EAQ, apesar desses últimos terem sido relacionados com a mineralização de N (GHANI et al., 2003; CULMAN et al., 2013), que foi apontado como um nutriente limitante para a produtividade do trigo.

Outro nutriente que apresentou uma elevada contribuição foi o Ca, indicando que este também pode estar limitando a produtividade de trigo na fazenda, os valores baixos de pH e altos teores de alumínio (pH = 4,8 e H+Al = 8 Cmolc dm⁻³) são um indicativo de que esta área apresenta solos muito ácidos e que o Ca assim como outras bases podem limitar o desenvolvimento e a produtividade das culturas na fazenda. A contribuição do P foi menor que dos demais nutrientes. Como os conteúdos de COT foram elevados e o P orgânico pode representar até 90% do P presente nos solos (ANGHINONI & BISSANI, 2004), esse nutriente provavelmente não limitou a produtividade das culturas na fazenda.

CONCLUSÃO

As produtividades de soja e trigo apresentaram correlação positiva com o conteúdo de COT e C-OXP, enquanto o milho se correlacionou positivamente com o IMC e C-EAQ. Os conteúdos de COT e NT foram as variáveis que mais contribuíram para explicar a produtividade de trigo (dos atributos relacionados ao COT), seguidos por C-OXP e C-EAQ. Isto demonstra o potencial destas variáveis para serem utilizadas no dimensionamento da adubação de áreas agrícolas.

REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Fósforo a adubos fosfatados. Em: BISSANI, C. A. GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. D. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, p.117-138, 2004.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. *Australian Journal of Agriculture Research*, v.46, p.1459-66, 1995.

CHRISTENSEN, B. T.; JOHNSTON, A. E. Soil organic matter and soil quality – Lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. Em: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. (Eds.) *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Developments in soil science, v.25. Elsevier Science, p. 399-430, 1997.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; GREEN, J. M.; GENTRY, L. E. Short- and Long-Term Labile Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Reflect Management and Predict Corn Agronomic Performance. *Agronomy Journal*, v.105, n.2, 2013.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crops Research*, v.137, p.178–185, 2012.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K. W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 35, p. 1231–1243, 2003.

GONÇALVES, D.R.P., DE MORAES SÁ, J.C., FORNARI, A.J., FURLAN, F.J.F., FERREIRA, L.A., DE OLIVEIRA FERREIRA, A. Total Carbon and Labile Fractions Inventory and Mapping by Soil Orders under Long-Term No-Till Farming to Promote Precision Agriculture. *Soil-Specific Farming: Precision Agriculture* 22, 307, 2015.

HERRICK, J. E.; WANDER, M. M. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition, and soil biological activity. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1997.

HUNGRIA, M.; CAMPOS, J. R.; MENDES, I. C. Fixação Biológica do Nitrogênio na Cultura da Soja. EMBRAPA Soja, Circular Técnica n° 35, 2001.

IAPAR – Instituto agrônômico do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>> Acesso em: 10/06/2015.

JAGADAMMA, S.; LAL, R.; HOEFT, R. G.; NAFZIGER, E. D.; ADEE, E. A. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. *Soil*

& Tillage Research, v.98, p.120–129, 2008.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, n.304, v.1623, 2004.

LAL, R. Carbon Sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological sciences*, v.363, 2008.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. J. Olympio. 1981.

OGLE, S. M.; SWAN, A.; PAUSTIAN, K. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems and Environment* v.149, p.37–49, 2012.

R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. ISBN 3- 900051-07-0, 2012.

SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; LAL, R.; MORAES, A.; TIVET, F.; SÁ, M. F. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O.; EURICH, G.; FARIAS, A.; FRIEDRICH, T. Soil-Specific Inventories of Landscape Carbon and Nitrogen Stocks under No-till and Native Vegetation to Estimate Carbon Offset in a Subtropical Ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, v.77, p.2094-20110, 2013.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research*, v.136, p.38–50, 2014.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.9, n.47, p.1346-1357, 2012.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, v.241, p.155–176, 2002.

SOLOS, E. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro 412. 1999.

WALKLEY, A; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, v.63, p.251-263, 1934.

WEIL, R.R; ISLAM, K.R; STINE, M.A. et. al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, v.18, p.3–17, 2003.

ZHANG, W.; XU, M.; WANG, B.; WANG, X. Soil organic carbon, total nitrogen and grain yields under long-term fertilizations in the upland red soil of Southern China. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v.84, p.59–69, 2009.