

Revista Agrária Acadêmica

Agrarian Academic Journal

Volume 1 – Número 3 – Set/Out (2018)

doi: 10.32406/v1n32018/6-15/agrariacad

Erosão e valoração econômica de reposição nutricional em solo cultivado com cana queimada e não queimada em Campos dos Goytacazes – RJ

Erosion and economic valuation of nutritional supplementation in cultivated soil with burned and non-burned sugarcane in Campos dos Goytacazes – RJ

Niraldo José Ponciano¹, Ana Carolina Guzzo Monteiro², Sérgio Gomes Tosto³, Paulo Marcelo de Souza⁴, Cláudio Roberto Marciano⁵

¹- Professor da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: njponciano@gmail.com

²- Doutoranda em Produção Vegetal – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: carolgmz@yahoo.com.br

³- Pesquisador Doutor da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP. E-mail: sgtosto@gmail.com

⁴- Professor da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: pmsouza@gmail.com

⁵- Professor da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: marciano@uenf.br

Resumo

É inquestionável a eficiência do Brasil na produção de açúcar e de etanol, no entanto, ainda persiste os desafios do manejo da queima da palhada na pré-colheita da cana-de-açúcar que tem gerado externalidades negativas. A erosão hídrica é uma das formas mais agressivas de degradação ambiental e que causa prejuízos econômicos. Este trabalho foi realizado no município de Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, com o objetivo de estimar as perdas de erosão do solo em uma área plantada com cana-de-açúcar sob dois tipos de manejo. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) foi usada para obter as taxas de erosão e o Método de Custo de Reposição (MCR) para efetuar a valoração econômica do serviço ecossistêmico. Os resultados mostram que a taxa de perda de solo da cana-de-açúcar queimada foi quatro vezes maior quando comparada à taxa para a cana-de-açúcar colhida crua para ambas as áreas estudadas. O custo de reposição dos nutrientes perdidos no cultivo da cana-de-açúcar sob sistema de colheita com queima prévia foi de R\$ 6,73 e R\$ 15,91 por hectare de baixada e tabuleiro, respectivamente, enquanto no sistema de colheita da cana crua o custo por hectare foi de R\$ 1,66 para a baixada e de R\$ 7,56 para o tabuleiro. Conclui-se que o sistema de manejo da colheita influencia ambientalmente na preservação da fertilidade do solo e no custo de adubação da cultura.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L., valoração ambiental, perda de nutrientes, sistema colheita de cana, conservação de solo

Abstract

The efficiency of Brazil in the production of sugar and ethanol is unquestionable, however, the challenges still remain for the management of the burning of the straw in the pre-harvest of sugarcane, which has generated negative externalities. Water erosion is one of the most aggressive forms of environmental degradation and which has caused huge losses. This work was carried out in the municipality of Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, in order to estimate soil erosion losses in an area planted with sugarcane under two types of crop management. The Universal Soil Loss Equation (EUPS) was used to obtain the erosion rates and the Replacement Cost Method (MCR) to carry out the economic valuation of the ecosystem service. The results show that the rate of soil loss from sugarcane burned was four times greater when compared to the rate for sugarcane harvested raw for both areas studied. The replacement cost of lost nutrients in the cultivation of sugarcane under harvesting system with previous burning was R\$6.73 and R\$15.91 per hectare of lowland and coastal tableland, respectively, while in the sugarcane harvesting unburned system the cost per hectare was R\$ 1.66 for the lowland and R\$ 7.56 per hectare for the coastal tableland. It is concluded that the crop management system influences environmentally the preservation of soil fertility and the cost of fertilization of the crop.

Keywords: *Saccharum officinarum* L., environmental valuation, loss of nutrients, sugarcane harvesting system, soil conservation

Introdução

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, nas últimas dez safras (no período de 2009 a 2018) produziu uma média anual de 618,5 milhões de toneladas de cana em 9,6 milhões de hectares. Essa cana foi processada gerando anualmente uma média de 26,8 milhões de metros cúbicos de etanol total e 36,1 milhões de toneladas de açúcar (UNICA, 2018). Não se questiona a eficiência do Brasil na produção de açúcar e de etanol, que é o País com maior produtividade do planeta. Apesar deste progresso, ainda persiste alguns desafios no que se refere ao manejo de colheita da cana-de-açúcar, tradicionalmente realizada após a queima da palha e que tem sido gradativamente substituída pela colheita sem uso do fogo, reduzindo a emissão de gases e promovendo o aumento do estoque de carbono no solo.

Os trabalhos de Canellas *et al.* (2003), Luca *et al.* (2008), Galdos *et al.* (2010) e Azevedo *et al.* (2015) evidenciaram que a colheita da cana-de-açúcar sem queima da palhada aumenta a quantidade de C no solo. O carbono armazenado no solo encontra-se principalmente na forma de compostos orgânicos, englobando resíduos frescos ou em diferentes estádios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados que podem estar associados à fração mineral e à fauna (ROSCOE, MACHADO, 2002).

Prado *et al.* (2015) enfatizaram que as pressões antrópicas sobre os ecossistemas tem causado degradação dos recursos naturais, redução da biodiversidade e redução do bem estar humano. Alterações climáticas tem afetado os componentes econômicos, sociais e ambientais. Os estudos de serviços ecossistêmicos e ambientais tem sido relevantes para a agricultura brasileira. Entre outros, podem ser considerados como serviços ecossistêmicos: controle da erosão, retenção e formação de solo, regulação de nutrientes, oferta de água, polinização e controle biológico (COSTANZA, 1994; COSTANZA *et al.*, 1997; de GROOT *et al.*, 2002).

Em se tratando de erosão do solo no Brasil, a erosão hídrica é considerada a mais importante e tem causado graves prejuízos, tanto em áreas agrícolas quanto nas cidades. O fenômeno da erosão caracteriza-se pelo desprendimento e arraste de partículas de solo, decorrentes da ação das chuvas, sendo que vários pesquisadores tem trabalhado neste tema. Barreto *et al.* (2009) verificaram que dois terços das publicações geradas sobre erosão em cinco décadas, entre 1950 e 2000, referiam-se à tema sobre a Equação Universal de Perda de Solo e, também, à comparações de manejos agrícolas relacionados à erosão de solo.

É oportuno enfatizar que embora o cálculo da taxa de perdas de solo por erosão seja um ponto relevante nos estudos ambientais, a valoração econômica dessas perdas devem ser considerada igualmente importante, principalmente quando se verifica que há escassez de estudos com este fim. A valoração econômica de serviços ecossistêmicos se constitui numa importante ferramenta, não só na organização de informações como também no fornecimento de métricas referentes à perdas ambientais e econômicas, que são fundamentais para ações de planejamento e gestão sustentáveis dos recursos naturais, assim como as tomadas de decisão.

Neste contexto, o principal objetivo do trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão nos sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima da palha e avaliar economicamente essas perdas nos dois tipos de manejos na cultura da cana-de-açúcar.

Material e métodos

tendo por base os dados sugeridos por Bellinazzi Jr. *et al.* (1981). O total da perda dos nutrientes foi transformado em fertilizantes por meio de coeficientes técnicos da cultura na região. A equação do custo de reposição permitiu estimar o valor econômico das perdas de nutrientes do solo:

$$CR = \sum P_n * Q_n + Caf_n$$

CR = Custo de Reposição, em R\$/Mg

P_n = Preço dos Fertilizantes, em R\$/Mg

Q_n = Quantidade de fertilizante, em Mg

Caf_n = Custo da aplicação de fertilizantes, em R\$/Mg

É importante destacar que a compreensão dos resultados obtidos a partir do cálculo da valoração econômica deve ser interpretada com os devidos cuidados, parte dos resultados da aplicação prática das técnicas de valoração ambiental pode não refletir um único valor que represente o ecossistema como um todo. Nesse sentido, atribuíram valores monetários a determinados serviços ambientais, colaborando na análise das motivações econômicas que levam à decisão do melhor uso das diferentes formas de sistema de manejo do solo.

Estimou-se a taxa de erosão do solo por meio da equação universal da perda de solo, na qual a perda média anual de solo foi obtida pelo produto de seis fatores determinantes, de acordo com a equação abaixo:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A = Perda anual de solo, em Mg/ha.ano

R = Fator erosividade da precipitação e da enxurrada, em MJ.mm/ha.h.ano

K = Fator erodibilidade do solo, em Mg/ha (MJ/ha.mm/ha)

L = Fator de comprimento da encosta, (adimensional)

S = Fator grau de declividade, (adimensional)

C = Fator de cobertura e manejo da cultura, (adimensional)

P = Fator prática de controle de erosão, (adimensional)

Os fatores R, K, L e S dependem das condições naturais do clima, do solo e do relevo, e definem em conjunto o potencial natural de erosão. Utilizou-se os fatores L e S combinados, já que estão diretamente vinculados à topografia. Os fatores C e P são antrópicos e se relacionam com as formas de ocupação e manejo das terras.

Os dados necessários para o cálculo do custo de reposição foram os seguintes: a área total ocupada com cana-de-açúcar colhida crua e queimada, as taxas de erosão do solo (determinada a partir da EUPS - Equação Universal de Perda de Solo), a composição do solo em termos de nutrientes, o montante de fertilizantes utilizados pelos sistemas de produção, os preços pagos na aquisição de fertilizantes e o preço pago para aplicação destes fertilizantes. As cotações dos insumos e da mão de obra foram para o ano de 2015, no Município de Campos dos Goytacazes, RJ.

Resultados e discussão

Os resultados deste trabalho podem contribuir não apenas no acervo de conhecimento de áreas de pesquisa, mas também servir de parâmetros para tomadas de decisão com vistas à adoção de práticas conservacionistas e subsidiar planos de uso sustentáveis em propriedades agrícolas.

Estimou-se a taxa de erosão nas áreas de baixada e de tabuleiros dos talhões cultivados com cana-de-açúcar nos sistemas de colheita de cana crua e queimada. Para área de baixada, as estimativas

da taxa de erosão hídrica do solo para o uso com cana crua foi de 2,08 t ha⁻¹ ano⁻¹ e para o uso com cana queimada foi de 8,34 t ha⁻¹ ano⁻¹. Para área de tabuleiro esta taxa foi maior para ambos os sistemas de colheita, devido principalmente a maior declividade do terreno. As taxas para cana crua e queimada foram respectivamente de 3,94 t ha⁻¹ ano⁻¹ e 15,76 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Utilizando a EUPS foi encontrada uma diferença significativa para a taxa de perda de solo para os dois sistemas de colheita da cana em ambas as áreas. Os fatores que mais contribuíram para esta diferença são os antrópicos, o fator C que corresponde ao fator uso e manejo do solo e o fator P que representa as práticas conservacionistas. São fatores importantes na comparação da mesma cultura com sistemas de manejos distintos. O emprego dessas práticas de manejo que preserva o ambiente minimiza o impacto da erosão hídrica no solo.

Tôsto *et al.* (2009), utilizando a EUPS e o método do custo de reposição de nutrientes, no Município de Araras – SP, estimaram que a taxa de perda de solo para o cultivo da cana mecanizada e queimada foram 3,90 t ha⁻¹ ano⁻¹ e 14,90 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Nota-se que estes valores foram relativamente próximos ao da pesquisa em Campos dos Goytacazes e evidencia a confirmação de que a forma de manejo influencia as taxas de erosão e perda de solo no sistema de colheita de cana.

Os resultados da pesquisa estão de acordo com os analisados por Canellas *et al.* (2007), que observaram melhora na qualidade da matéria orgânica em áreas de cana crua, que pode ser atribuída a um aumento significativo na quantidade de carbono de compostos aromáticos, e que está relacionado com o processo de humificação e estabilização da matéria orgânica do solo.

Wang *et al.* (2006) apontaram benefícios potenciais associados às lavouras sob manejo conservacionista, como sequestro de carbono, disponibilidade de nutrientes e resposta da produção. Canellas *et al.* (2003) revelaram que os nutrientes são mais facilmente assimiláveis pela cultura da cana-de-açúcar, o que pode reduzir a aplicação de fertilizantes químicos, além de aumentar o tempo de renovação da lavoura.

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da mensuração de perdas totais de solos e nutrientes, nos manejos que adotam colheita de cana-de-açúcar crua e de queima na pré-colheita, em áreas de baixada e de tabuleiro no Município de Campos dos Goytacazes. A área de cana colhida crua no município é menos de 20% da área total. Comparou-se a perda por hectare e verificou maior perda de nutrientes na área do sistema de colheita da cana queimada.

Tabela 1. Perda média anual de solo e de nutrientes em área de um hectare de baixada

Perda solo e nutrientes	Cana crua (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Cana queimada (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Perda de solo	2.080,000	8.340,000
Perda de N	0,269	1,084
Perda de P	0,067	0,275
Perda de K	0,233	0,942
Perda de Ca + Mg	1,683	6,755

A região de baixada é constituída principalmente da classe de solo cambissolo, que apresenta uma percentagem média no teor de nutrientes superior ao tipo de solo da região caracterizada como tabuleiro, onde as classes de solo predominante são os argissolos e latossolos. A maior taxa de perda de solo para região de tabuleiro pode ser atribuída às maiores erodibilidade, declividade e comprimento de rampa. Enquanto que as áreas de baixada cultivadas com cana possuem declividades mais amenas, entre 0 e 3% de declive. Essa é a principal razão de menores movimentações de solos nas áreas de baixada, e conseqüentemente menores perdas de solos e de nutrientes.

Tabela 2. Perda média anual de solo e de nutrientes em área de um hectare de tabuleiro

Perda solo e nutrientes	Cana crua (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Cana queimada(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Perda de solo	3.940,000	15.760,000
Perda de N	1,024	4,097
Perda de P	0,050	0,205
Perda de K	1,717	2,049
Perda de Ca + Mg	4,798	10,874

Andrade *et al.* (2011) verificaram impactos técnico e econômico das perdas de solo e de nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar no Município de Catanduva, SP, em dois sistemas de colheita de cana crua e queimada. Os resultados foram semelhantes inclusive com valores relativamente superiores em perda de fósforo, de cálcio e de magnésio em relação aos valores do presente trabalho. Os valores mais elevados de perdas de cálcio e de magnésio, em Catanduva, SP, podem ser atribuídos ao relevo relativamente mais inclinado.

Pugliesi *et al.* (2011) estimaram as perdas de nutrientes do solo sob diferentes formas de cultivo de milho em seis safras, no período de 1990 a 1996. Observou que os tratamentos denominados conservacionistas obtiveram as menores perdas de nutrientes em relação aos tratamentos convencionais de manejo do solo. O valor da perda total de nitrogênio por hectare no tratamento conservacionista foi de 9,39 kg ha⁻¹, enquanto que no tratamento convencional foi de 44,26 kg ha⁻¹. Esses valores foram superiores aos resultados encontrados no presente trabalho, mas com semelhança na proporção, no qual constata perda de nutrientes inferiores nas áreas com práticas conservacionistas.

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados das quantidades necessárias de fertilizantes químicos para reposição da fertilidade do solo perdida no processo de erosão nos dois sistemas de colheita da cana para as duas áreas estudadas. A quantidade de fertilizante utilizada para repor os nutrientes perdidos em ambas as áreas nos fornece um indicativo monetário, que permite inferir em relação aos processos antrópicos que têm causado erosão na região estudada.

Tabela 3. Quantidade média de fertilizantes para reposição dos nutrientes perdidos por erosão nos cultivos de cana, em kilograma por hectare na baixada

Reposição de nutrientes	Colheita cana crua (kg)	Colheita cana queimada (kg)
Sulfato de amônia (45% N)	0,598	2,409
Superfosfato simples (18% P ₂ O ₅)	0,372	1,528
Cloreto de potássio (60% K ₂ O)	0,388	1,571
Calcário dolomítico (28% CaO + 16% MgO)	3,825	15,353

Tabela 4. Quantidade média de fertilizantes para reposição dos nutrientes perdidos por erosão nos cultivos de cana, em kilograma por hectare no tabuleiro

Reposição de nutrientes	Colheita cana crua (kg)	Colheita cana queimada (kg)
Sulfato de amônia (45% N)	2,276	9,105
Superfosfato simples (18% P ₂ O ₅)	0,278	1,138
Cloreto de potássio (60% K ₂ O)	2,862	3,414
Calcário dolomítico (28% CaO + 16% MgO)	10,905	24,713

Os resultados indicam que os produtores locais continuam adotando práticas rudimentares como a utilização de fogo na colheita da cana. A adoção da modernização da colheita da cana adicionada com a utilização de práticas conservacionista diminuiria a taxa de perda de solo, resultando em uma economia em longo prazo.

Bertol *et al.* (2007) analisaram as perdas de nutrientes e calcularam o custo financeiro do superfosfato triplo (P), cloreto de potássio (K) e de calcário (Ca e Mg), perdidos na erosão hídrica, em três sistemas de manejo do solo. No preparo convencional perderam-se US\$ 24,94 por ano em cada hectare. No sistema de preparo mínimo, a perda foi de US\$ 16,33 e no sistema semeadura direta, as perdas foram de US\$ 14,83 por hectare por ano.

Utilizou-se o preço médio dos fertilizantes, sulfato de amônia, superfosfato simples, cloreto de potássio e do calcário dolomítico, para o ano de 2015, cotado no comércio de Campos dos Goytacazes. Para efeitos comparativos, calculou-se o custo de reposição dos nutrientes por hectare de área cultivada com cana colhida crua e queimada para as regiões de baixada e tabuleiro, utilizando a média dos preços

juntamente com a adição do custo de aplicação dos fertilizantes e do calcário. A tabela 5 apresenta a estimativa do custo de reposição de nutrientes incluindo o custo da aplicação dos mesmos, por hectare e por tipo de uso de solo na região.

Tabela 5. Estimativa do custo médio de reposição de nutrientes em área de um hectare de acordo com o sistema de colheita de cana, em Campos dos Goytacazes - RJ.

Sistema de uso do solo e manejo	Custo de reposição de nutrientes (R\$ * ha ⁻¹)
Cana crua - Baixada	1,66
Cana queimada - Baixada	6,73
Cana crua - Tabuleiro	7,56
Cana queimada - Tabuleiro	15,91

Observa-se que o custo de reposição de nutrientes no cultivo da cana queimada é de cerca de 75% maior quando comparado ao sistema de colheita da cana crua, nas áreas de baixadas e em torno de 53% nas áreas de tabuleiros. Verifica-se gasto quatro vezes maiores para reposição dos nutrientes perdidos em função da queima da palha que protege a camada superficial do solo.

Os resultados evidenciaram argumentos favoráveis à modernização da colheita da cana e ao manejo conservacionista do solo. Dessa forma, constata a importância de pesquisas que utilizam o método de valoração econômica na estimativa de parâmetros responsáveis pela adoção de manejo racional, objetivando à sustentabilidade econômica, social e ambiental da cultura.

Rodrigues *et al.* (2009) verificaram, por meio do MCR, os custos ambientais ocasionados pelas externalidades negativas da expansão da produção de soja em áreas de cerrados. Os custos ambientais anuais no sistema de plantio convencional foram de R\$ 169.415,50, sendo que por hectare este custo foi de R\$ 4,58. Por outro lado, aplicando-se o sistema de plantio direto, o valor global diminuiu para R\$ 4.294,37 ao ano, correspondendo a um custo médio por hectare de R\$ 0,12.

Signor *et al.* (2016) avaliaram atributos químicos do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com ou sem queima. Observaram que o estoque de carbono a 0,0–0,3 m de profundidade, na área queimada, foi 22% menor do que na área sem queima, aos 6 anos, e 43% menor, aos 12 anos. Os maiores graus de humificação ocorreram na área sem queima por 19 anos. Constataram-se que a fertilidade do solo aumentou em áreas de cana-de-açúcar sem queima, em razão da matéria orgânica do solo mais humificada e da maior quantidade de grupamentos carboxílicos e fenólicos. Luca *et al.* (2008) também encontraram resultados semelhantes, no qual o manejo sem queima da cana-de-açúcar resultou em melhorias nas propriedades dos solos com aumento do sequestro de carbono e de nitrogênio na cobertura e nas camadas superficiais dos solos.

A queima pré-colheita da cana-de-açúcar ainda é uma prática utilizada pela grande maioria dos produtores da Região Norte Fluminense, com o intuito de facilitar e agilizar a colheita. Contudo esta prática ocasiona diversos impactos negativos, promovendo o empobrecimento do solo, prejudicando a

ciclagem e a disponibilidade dos nutrientes. Há que se mencionar, ainda, que perdas de nutrientes por volatilização durante a queima não foram contabilizados no presente trabalho, o que concorreria para uma vantagem financeira ainda maior em favor da cana colhida crua.

Essa prática tem provocado maior utilização de agrotóxicos (inseticidas e herbicidas) para o controle de pragas e de plantas invasoras que colonizam o solo rapidamente por não necessitarem de grande disponibilidade nutricional, afetando a própria sustentabilidade da cultura. Por outro lado, tem ocorrido pressão de alguns membros do Ministério Público por meio de ações judiciais, pela ação das comunidades preocupadas com os efeitos negativos sobre a saúde, a segurança e o meio ambiente.

Conclusões

Constatou-se maior taxa de erosão do solo e perda mais elevada de nutrientes no sistema de colheita de cana queimada. Da mesma forma, ocorreu maior taxa de perda de solo para as áreas de tabuleiro em comparação com as áreas de baixada, o mesmo ocorreu para os nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Para as áreas de baixada, o custo para reposição dos nutrientes sob sistema de colheita com queima prévia foi quatro vezes maior do que no sistema de colheita da cana crua. Para as áreas de tabuleiro o custo de reposição ainda foi maior em comparação com baixada.

A limitação do trabalho passa pela utilização de métodos reducionistas de economia ambiental. A valoração de nutrientes perdidos não reflete a totalidade de serviços ecossistêmicos ofertados pelo solo, pois outros benefícios relacionados a estruturação e a indicadores biológicos e ecológicos não foram totalmente captados pelo método de reposição.

Para pesquisas futuras, sugere-se avaliar os principais fatores técnicos que afetam a implantação do sistema de colheita mecanizada da cana crua na região. Analisar possíveis externalidades negativas relacionadas ao meio ambiente em conjunto com os fatores de competitividade que possa contribuir para a viabilidade econômica da cultura acompanhada dos benefícios sociais e ambientais.

Referências bibliográficas

- ANDRADE, N.S.F.; MARTINS FILHO, M.; TORRES, J.L.R.; PEREIRA, G.T.E.; MARQUES JÚNIOR, J. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** v.31, p.539-550, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300014>>
- AZEVEDO, L.C.B.; MORAES, M.; LAMBAIS, M.R. Early Changes in Soil Metabolic Diversity and Bacterial Community Structure in Sugarcane under Two Harvest Management Systems. **Revista Brasileira Ciência de Solo**. v.39, n.3, Viçosa, May/June, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100683rbc20140426>
- BARRETTO, A.G.O.P.; LINO, J.S.; SPAROVEK G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1845-1854, 2009.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.133-142, 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 25p. Boletim Técnico, 21, 1975.

- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.
- CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, I.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.331-340. 2007.
- COSTANZA, R. **Economia ecológica: uma agenda de pesquisa**. In: MAY, P.M.; MOTTA, R.S. (org.). Valorando a natureza: Análise econômica para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Campus, Cap. 7, p.111-44, 1994.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem. **Nature**, v.387, p.253-260, 1997.
- DE GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v.41, p.393-408, 2002.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; LAL, R.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.E.P. Net greenhouse gases fluxes in Brazilian ethanol production systems. **GCB Bioenergy**. 2:37-44, 2010.
- LUCA, E.F. DE; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHES, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.E.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, Viçosa, mar./abr., 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200033>>
- LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; CARVALHO FILHO, A. *et al.* Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro. Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.33, Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2003. 113p.
- OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1981. 440p.
- PRADO, R.B.; FIDALGO, E.C.C.; FERREIRA, J.N.; CAMPANHA, M.M.; VARGAS, L.M.P.; PEDREIRA, B.C.C.G.; MONTEIRO, J.M.G.H.L.C.; TURETTA, A.P.D.; MARTINS, A.L.S.; DONAGEMMA, G.K.; COUTINHO, H.L.C. Pesquisas em serviços ecossistêmicos e ambientais na paisagem rural do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.IV SMUD, p.610-622, 2015.
- PUGLIESI, A.C.V.; MARINHO, M.A.; MARQUES, J.F.; LUCARELLI, J.R.F. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. **Bragantia**, v.70, p.113-121, 2011.
- RODRIGUES, W.; BARBOSA, G.F.; ALMEIDA, A. Análise custo/benefício ambiental da produção de soja em área de expansão recente nos cerrados brasileiros: O caso de Pedro Afonso – TO. **Custos e Agronegócios on line**, v.5, n.2, p.59-80, 2009. <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v5/custo%20beneficio%20soja.pdf>>
- SIGNOR, D.; CZYCZA, R.V.; MILORI, D.M.B.P.; CUNHA, T.J.F.; CERRI, C.E.P. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1438-1448, set. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900042
- UNICA – **União da Indústria de Cana-de-Açúcar**, acessado em 14 de junho de 2018. <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>
- TÔSTO, S.G.; SOBRINHO, R.P.; ANDRADE, D.C. **Valoração ambiental da perda de solo na cultura da cana-de-açúcar sob colheita queimada e mecanizada no município de Araras, SP**, 2009. <<http://www.sober.org.br/palestra/15/529.pdf>>
- WANG, X.B.; CAI, D.X.; HOOGMED, W.B.; OENEMA, O.; PERDOK, U.D. Potential effect of conservation tillage on sustainable land use: **A review of global long-term studies**. *Pedosphere*, v.16, p.587-595, 2006.

Recebido em 23/08/2018

Aceito em 10/09/2018