Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Conservação do solo e cana-de-açúcar: aspectos legais e bibliométricos e uma
ferramenta de determinação do Fator C (RUSLE)

Gustavo Casoni da Rocha

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Gustavo Casoni da Rocha
Engenheiro Agrônomo e Licenciado em Ciências Agrárias

Conservação do solo e cana-de-açúcar: aspectos legais e bibliométricos e uma ferramenta
de determinação do Fator C (RUSLE)

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GERD SPAROVEK**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Rocha, Gustavo Casoni da

Conservação do solo e cana-de-açúcar: aspectos legais e bibliométricos e uma ferramenta de determinação do Fator C (RUSLE) / Gustavo Casoni da Rocha. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

94 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Leis ambientais 2. Pesquisa bibliográfica 3. Erosão do solo 4. Perda de solo 5. Modelagem ambiental . I. Título

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi escrito com duas mãos, mas construído com muitas outras:

- Adirso: apoio no campo e amizade
- Alexandre P. B. Franco: ensinamentos práticos de conservação de solo
- Álvaro Pires Silva (prof. Coordenador do programa de pós-graduação): pela compreensão ao longo do curso e pelas marcantes conversas
- André Vitti (pesquisador): apoio na cessão de área da APTA
- Antônio (Tonho): apoio no campo e amizade
- Bernado (filho): sabedoria
- Clodoaldo: apoio no campo
- Elena (filha): sorriso
- Gerd (prof. orientador): confiança ao longos destes anos
- Guilherme (irmão): revisão detalhada
- Isabella C. de Maria (prof): pelos ensinamentos
- Ivete (mãe): apoio no campo (cedeu um grande ajudante!) e fora dele
- José (pai): apoio imenso no campo e fora dele
- Laís (esposa): paciência e apoio integral
- Lucas R. Sartor: apoio no campo e fora dele
- Renata Bovi: apoio no campo e fora dele
- Sérgio N. Duarte (prof): apoio nos trabalhos de campo e muitos ensinamentos hidrológicos
- Sidneide Manfredini (prof): pelo acolhimento, apoio e bons ensinamentos

Estas instituições subsidiaram de forma decisiva a elaboração do trabalho:

- ASCANA: apoio no campo
- Agrícola BPZ
- Agrícola Rio Claro
- CAPES: bolsa
- Programa de Pós-Graduação em Solo e Nutrição de Plantas: aceite e confiança desde o mestrado
- WWF: financiamento

Obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. APRESENTAÇÃO GERAL.....	9
REFERÊNCIAS.....	10
2. ARCABOUÇO LEGAL E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA ÁREA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO NO BRASIL.....	11
RESUMO	11
ABSTRACT	11
2.1. INTRODUÇÃO	12
2.1.1. <i>Regulamentação e seus instrumentos</i>	13
2.1.2. <i>Objetivo</i>	13
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.2.1. <i>Levantamento das leis e normas de conservação de solo no Brasil</i>	14
2.2.2. <i>Levantamento de publicações nacionais na área de conservação de solo</i>	15
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
2.3.1. <i>Leis e normas no âmbito federal</i>	18
2.3.2. <i>Leis e normas no âmbito estadual</i>	20
2.3.2.1. <i>Instrumento econômico: pagamento por serviços ambientais (PSA)</i>	22
2.3.2.2. <i>Mecanismos de penalidade ou responsabilização ao causador do dano</i>	25
2.3.3. <i>Publicações nacionais na área de conservação de solo</i>	27
2.3.3.1. <i>Trabalhos com abordagem pública</i>	29
2.4. AS LEIS E A CIÊNCIA ESTÃO CONVERGINDO?	32
REFERÊNCIAS.....	34
3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO FATOR C (COBERTURA E MANEJO) PARA A CANA-DE-AÇÚCAR	39
RESUMO	39
ABSTRACT	39
3.1. INTRODUÇÃO	39
3.1.1. <i>Objetivo</i>	40

3.2. METODOLOGIA.....	41
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.3.1. <i>O Fator C da cana-de-açúcar: análise bibliométrica e histórica</i>	42
3.3.2. <i>O conceito do Fator C na literatura básica: bases para a aplicação</i>	47
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49
4. UMA FERRAMENTA COMPLETA PARA CÁLCULO DO FATOR C (COBERTURA E MANEJO) DA RUSLE PARA CANA-DE-AÇÚCAR	55
RESUMO	55
ABSTRACT	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.1.1. <i>Objetivo</i>	57
4.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	57
4.2.1. <i>Uso anterior (Prior Land Use- PLU)</i>	59
4.2.2. <i>Cobertura do dossel (Canopy Cover- CC)</i>	59
4.2.3. <i>Cobertura da liteira (Soil Cover- SC)</i>	60
4.2.4. <i>Rugosidade do solo (Soil Roughness- SR)</i>	61
4.3. A FERRAMENTA DE CÁLCULO DO FATOR C	62
4.3.1. <i>Dados de entrada: nível desenvolvedor</i>	62
4.3.2. <i>Dados de entrada: nível usuário</i>	63
4.3.2.1. <i>Impossibilidade de combinações: mensagens de erro</i>	64
4.3.3. <i>Dados de saída: valores e gráficos</i>	65
4.4. DESCRIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS	65
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICES.....	73

RESUMO

Conservação do solo e cana-de-açúcar: aspectos legais e bibliométricos e uma ferramenta de determinação do Fator C (RUSLE)

A pressão por aumento da produção agrícola, seja por abertura de novas áreas, seja por aumento de produtividade, tem um impacto direto no uso e conservação do solo. A cana-de-açúcar, por ser uma cultura híbrida- alimentar e energética, tem grande relevância estratégica e seu sistema de produção muito ligado à agroindústria. Seu sistema de produção, portanto, tem pressão direta para uma maior eficiência (indústria), mas também para mecanismos ambientalmente mais sustentáveis (sociedade). O primeiro artigo apresentado foi uma sistematização da regulamentação legal e da produção científica na área de conservação de solo no Brasil e uma análise comparativa de ambos elementos: regulamentação e ciência. O arcabouço legal brasileiro sobre a conservação de solo reconhece sua importância, mas apresenta poucas ferramentas práticas efetivas. Existem políticas de incentivos econômicos à produção em nível federal e são observadas regulamentações para a penalização de danos causados ao solo, apenas em nível estadual (4 estados). Outros 4 estados preveem sistemas de PSA. No geral, a decisão de se conservar o solo é privada, não sendo direcionada ou induzida por um regulamento (salvo exceções). A produção científica tem uma abordagem predominantemente privada, contribuindo com soluções e compreensão dos impactos internos ao sistema agrícola. Os estudos que abordam as externalidades do processo erosivo, ou que possuem o entendimento da conservação de solo como um serviço ambiental, estão em menor número quando comparados aos estudos de abordagem privada. O estabelecimento de normatização que contemple os princípios básicos do direito ambiental (precaução, responsabilidade e poluidor-pagador) e os diferentes instrumentos (comando e controle e incentivos econômicos) é um caminho promissor para a regular o uso do solo de forma sustentável. Uma produção científica oriunda de linhas de pesquisa que contemplem as externalidades do processo erosivo pode contribuir para o estabelecimento destas normas de forma mais clara, viável e efetiva. A importância de modelos para estudo da erosão vem da dificuldade de montar experimentos de mensuração de perda de solo em campo. O Fator C (RUSLE) congrega a cobertura e o manejo das culturas. Dada a variabilidade de manejo da cana-de-açúcar, buscou-se no segundo capítulo compilar e analisar trabalhos que geraram ou citaram o valor de C. Levantou-se 39 trabalhos científicos, com valores que variam de 0.0012 a 0.5800. Este intervalo resulta em uma variação de mais de 480 vezes nos valores finais de perda de solo. Uma grande lacuna de valores de Fator C para variadas condições de manejo é observada, bem como a falta de clareza e critérios no uso de valores por modeladores e pesquisadores. Neste sentido, o terceiro artigo é uma contribuição para sintetizar o conhecimento local da cultura, na forma de uma ferramenta de cálculo do Fator C para a cultura. A ferramenta permite mais de 100 milhões de combinações e está em ambiente acessível e com interface simplificada (Excel). Os valores obtidos pela ferramenta são comparáveis aos desenvolvidos em campo. A amplitude máxima e mínima (0.5922 a 0.0351) observada reafirma a importância do conhecimento completo das condições de manejo da área de estudo para sua modelagem. A ferramenta é gratuita e está disponível para pesquisadores.

Palavras-chave: Leis ambientais; Pesquisa bibliográfica, Erosão do solo, Perda de solo, Modelagem ambiental

ABSTRACT

Soil conservation and sugarcane: legal and bibliometric outlook and a comprehensive C-Factor calculation tool (RUSLE)

The pressure for increased agricultural production, either by opening new areas or by increasing productivity, has a direct impact in the soil use and conservation. Sugarcane, because it is a hybrid food and energy crop, has great strategic relevance and its production system closely linked to agroindustry. Its production system, therefore, has direct pressure for greater efficiency (industry), but also for more environmentally sustainable mechanisms (society). The first article presented was a systematization of legal regulation and scientific production in the area of soil conservation in Brazil and a comparative analysis of both elements: regulation and science. The Brazilian legal framework on soil conservation recognizes its importance, but presents few effective practical tools. There are policies of economic incentives for production at the federal level and regulations are observed to penalize damages to the soil, only at the state level (4 states). Another 4 states provide PSA systems. In general, the decision to conserve the soil is private, not being directed or induced by a regulation (with exceptions). Scientific production has a predominantly private approach, contributing with solutions and understanding of the internal impacts to the agricultural system. Studies that address the erosion process externalities, or that have the understanding of soil conservation as an environmental service, are less numerous when compared to the private approach studies. The establishment of standardization that contemplates the basic principles of environmental law (precaution, responsibility and polluter-payer) and the different instruments (command and control and economic incentives) is a promising way to regulate the use of the soil in a sustainable way. A scientific production derived from lines of research that contemplate the externalities of the erosive process can contribute to the establishment of these norms in a clearer, viable and effective way. The importance of models for the study of erosion comes from the difficulty of assembling soil loss measurement experiments in the field. C-Factor (RUSLE) brings together the coverage and management of crops. Considering the variability of sugarcane management, the second chapter compiled and analyzed works that generated or quoted the value of C. 39 scientific works, with values ranging from 0.0012 to 0.5800 were surveyed. This interval results in a variation of more than 480 times in the final values of soil loss. A large gap of C-Factor values for various management conditions is observed, as well as the lack of clarity and criteria in the use of values by modelers and researchers. In this sense, the third article is a contribution to synthesize local knowledge of culture, in the form of a tool for calculating C-Factor for culture. The tool allows more than 100 million combinations and is in an accessible environment with a simplified interface (Excel). The values obtained by the tool are comparable to those developed in the field. The maximum and minimum amplitude (0.5922 to 0.0351) observed reaffirms the importance of the complete knowledge of the management conditions of the study area for its modeling. The tool is free and available to researchers.

Keywords: Environmental law; Bibliographical research, Soil erosion, Soil loss, Environmental modeling

1. APRESENTAÇÃO GERAL

A cultura da cana-de-açúcar tem relevância econômica no Brasil desde o século XVI, apresentando um papel de destaque na efetividade da ocupação e na expansão da colonização (Prado Junior, 1978). Suas características fisiológicas, tais como, crescimento rápido, robustez e multifinalidade (alimentação humana e animal e geração de energia) aliadas às condições ambientais brasileiras foram fundamentais para o sucesso da cultura até os dias atuais.

O setor canavieiro é responsável por gerar 17.9% da oferta interna de energia no Brasil, superando o setor hidrelétrico (MME, 2016) e por produzir 34 Mt de açúcar, representando cerca de 2% do PIB nacional (tendo como referência o ano de 2015) (CEPEA, 2016). Esta importância estratégica se reflete em constantes aperfeiçoamentos produtivos com objetivo de aumentar a eficiência operacional do sistema produtivo, inclusive na parte agrícola do processo, por exemplo a incorporação de sistemas de manejo de colheita mecanizada, por motivações ambientais (cessão da queima) e operacionais (diminuição da mão de obra).

O solo é parte fundamental do sistema produtivo, é um recurso finito e tem função determinante em ciclos de nutrientes, da água e da vida. Sua conservação, portanto, é um serviço ambiental fundamental para a sustentabilidade da própria produção agrícola e sociedade como um todo. Uma das formas de controle e orientação de uso de recursos ambientais em nossa sociedade é via regulamentação legal. No Brasil, as leis ambientais são relativamente recentes e, como todas as normas, necessitam de subsídios técnico-científicos para que sua aplicação apresente alguma efetividade. O primeiro artigo é uma sistematização da regulamentação legal geral e da produção científica na área de conservação de solo no Brasil, contemplando uma análise comparativa de ambos elementos: regulamentação e ciência (ver cap. 2. Arcabouço legal e sua relação com a produção científica na área de conservação de solo no Brasil)

A erosão é o problema mais comum oriundo da degradação do solo (Pimentel *et al.*, 1995). A dificuldade de medição *in situ* da erosão torna os modelos de predição muito utilizados como um instrumento de investigação e gestão do problema. Um dos modelos de predição de perda de solo mais comuns e testados é a USLE (Equação Universal de Perda de Solo) e suas modificações ou atualizações (tais como RUSLE e MUSLE). Para que o modelo seja efetivo, há a necessidade de um conjunto de premissas coerentes e de dados de entrada compatíveis com a situação de estudo. As premissas da USLE e suas atualizações já estão bastante consolidadas, tanto pela sua extensa base de testes, como pelo amplo conhecimento da mecânica do processo erosivo. Os dados de entrada, portanto, podem ser um fator de incerteza, gerando resultados discordantes com a situação de estudo.

O dado de entrada da USLE (e de suas atualizações), que traduz a forma de uso e manejo da cultura é o Fator de Cobertura e Manejo, chamado de Fator C. Este fator é pouco estudado para a cultura da cana-de-açúcar e os motivos prováveis são:

- A cana-de-açúcar ser uma cultura tropical e, portanto, ser cultivada em locais de clima distinto da origem do modelo, no caso os EUA (clima temperado);
- A semiperenidade da cultura, que demanda experimentos de campo de longo prazo, tornando sua execução difícil e custosa;
- Historicamente, a cultura ter sido considerada conservacionista (por exemplo, quando comparada a pastagens mal manejadas), gerando comparativamente menos problemas de erosão e, portanto, despertando menor interesse em estudos.

Há a percepção de aumento na incidência e intensidade da erosão nos canaviais, seja por alterações de manejo, seja por pressão pelo uso de áreas mais suscetíveis a degradação. O contexto de elevada importância da cultura no Brasil e do aumento da incidência de degradação de solos ligadas à cultura e seu manejo demonstra a importância de consolidar valores de Fator C para a cana-de-açúcar, a fim de elevar a confiabilidade dos resultados de trabalhos de modelagem de predição de perda de solo. **O segundo artigo é uma revisão da produção científica sobre o Fator C da cana-de-açúcar, tanto das fontes primárias (trabalhos básicos), quanto do uso do fator (modelagem), analisando aspectos metodológicos, geográficos, temporais e de conexão entre os trabalhos** (ver cap. 3. Análise bibliométrica do Fator C (cobertura e manejo) para a cana-de-açúcar).

As condições de manejo da cana-de-açúcar são extremamente diversificadas. A época de plantio, de preparo e de corte, o tipo de preparo, o espaçamento, o tipo de muda, as culturas de cobertura, a irrigação, o número de cortes ao longo do ciclo e o cultivar são as principais variáveis de manejo. Esta variabilidade traduz em uma alta variabilidade os valores de Fator C. Este fato, aliado ao seu longo ciclo (semipereenidade), traz dificuldades para a realização de pesquisas básicas para determinação do Fator C no campo, em parcelas padrão.

A falta de valores compatíveis com esta diversidade de manejo cria dificuldades e eleva as incertezas para o uso de modelos de predição de perda de solo nesta cultura. **O terceiro artigo é a apresentação de uma ferramenta abrangente para determinação do Fator C para cana-de-açúcar em diferentes condições de manejo, baseada na RUSLE, em dados de crescimento da cultura e em dados da literatura científica** (ver cap. 4. Uma ferramenta completa para cálculo do Fator C (cobertura e manejo) da RUSLE para cana-de-açúcar).

Originalmente, este trabalho previa estudos em campo, monitorando vazão e sedimentação de duas bacias hidrográficas, com objetivo de comparar sistemas de conservação de solos. Esta etapa do projeto não foi concluída. Pela relevância do tema e a potencialidade das áreas para futuros estudos, a descrição geográfica das bacias e alguns resultados obtidos são apresentados no 0.

Referências

- CEPEA CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (2016) PIB Agronegócio de cadeias- 2015. Disponível em:<<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-de-cadeias-agropecuarias.aspx>>. Acesso em: 06 de ago de 2016.
- MME MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2016) Boletim mensal de energia: fevereiro de 2016. Disponível em:<[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3594382/02+-+Boletim+Mensal+de+Energia+-+Fevereiro+2016+\(PDF\)/168ba72f-f1a4-4129-9e93-d2330332fddd;jsessionid=1C220D2A66E5D27F9EAF4AD1811929D2.srv155](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3594382/02+-+Boletim+Mensal+de+Energia+-+Fevereiro+2016+(PDF)/168ba72f-f1a4-4129-9e93-d2330332fddd;jsessionid=1C220D2A66E5D27F9EAF4AD1811929D2.srv155)>. Acesso em: 06 de ago de 2016.
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Sphritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science. 1995; 276:1117–1123. doi: 10.1126/science.267.5201.1117
- Prado Junior C. História econômica do Brasil. São Paulo: Editora brasiliense; 1978.

2. ARCABOUÇO LEGAL E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA ÁREA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO NO BRASIL

Resumo

A governança da conservação do solo no Brasil é pouco estudada no contexto acadêmico, bem como a contribuição da produção científica para a elaboração de leis e normas. Este capítulo se propôs a investigar leis e normas estaduais e federais brasileiras que tratam da conservação do solo e seus mecanismos de atuação. Ainda buscou analisar a abordagem da produção científica na área de conservação de solo do ponto de vista da contribuição potencial para a regulamentação na área. Buscas em sites governamentais, com o uso de ferramentas de pesquisa gerais e específicas (acadêmicas) foram utilizadas para formação de um banco de dados de leis e normas e trabalhos científicos. Chaves de classificação foram elaboradas e utilizadas para agrupar e compreender a abordagem, tanto das leis e normas, quanto dos trabalhos científicos. Um total de 37 leis foram analisadas e classificadas em 6 classes. Após as buscas e análises, observou-se que apenas 4 estados preveem punição por danos causados ao solo. Destes, São Paulo e Paraná apresentam mecanismos efetivos de execução, enquanto em outros 4 estados existem mecanismos de PSA, destacando-se Tocantins com o ICMS-Ecológico. No geral, as normas reconhecem a importância do solo, entretanto, não preveem mecanismos de controle de sua degradação ou de estímulo à sua conservação. Dos 477 trabalhos científicos analisados, apenas 15% tratam a conservação do solo como um problema público e analisam suas externalidades. O enfoque principal é a abordagem privada, com estudos de manejo e qualidade do solo principalmente, sem analisar as externalidades do processo. A escassa regulamentação sobre o tema permite afirmar que a visão da questão, por parte do arcabouço legal, é limitada e tem o entendimento de que a autorregulamentação é suficiente, e que a decisão e motivação para conservar o solo é dada ao gestor privado do processo (agricultor, técnico responsável). A produção científica subsidia amplamente esta visão, com uma série de trabalhos que abordam principalmente sistemas de manejo conservacionistas. Contribuições científicas podem favorecer o desenvolvimento de ferramentas que efetivem princípio ambientais como da precaução, da responsabilidade e o do poluidor-pagador, tais como: mapeamento de solos e de áreas frágeis, definição de níveis toleráveis de perda de solo, qualificação de níveis de processos erosivos e desenvolvimento de ferramentas de valoração da conservação do solo.

Palavras-chave: Lei ambiental; Pesquisa bibliométrica; Erosão do solo

Abstract

There are a few academic studies about the governance of soil conservation in Brazil, and about the contribution of scientific production to the creation of laws and norms. This chapter contains Brazilian state and federal laws that deal with soil conservation and its mechanisms of action. It also analyzed the approach of scientific production in the area of soil conservation from the point of view of the potential contribution to the area regulation. Searches on government sites, general and specific (academic) research tools were used to create a database of laws and scientific papers. Classification keys were used to group and understand both laws and regulations, as well as scientific work. A total of 37 laws were analyzed and classified into 6 classes. After the searches and analyzes, it was observed that only 4 states foresee punishment for soil damages. São Paulo and Paraná. Have effective execution mechanisms while in other 4 states there are mechanisms of PSA, standing out Tocantins with the ICMS-Ecológico (Ecological part of state tax). In general, norms recognize the importance of soil, however, they do not provide mechanisms to control degradation or to stimulate conservation. From 477 scientific papers analyzed, only 15% treat soil conservation as a public problem and analyze its externalities. The main focus is the private approach, with soil management and quality studies, without analyzing the externalities of the process. The scarce regulation on the subject allows to affirm that the vision of the question by the legal framework is limited and has the understanding that self-regulation is sufficient and that the decision and motivation to conserve the soil belongs to the private manager of the process (Farmer, responsible technician). Scientific production broadly supports this view, with a

series of works that mainly address conservation management systems. Scientific contributions can meet the basic principles of environmental law, such as mapping of soils and fragile areas, definition of tolerable levels of soil loss, qualification of levels of erosive processes, development of soil conservation valuation tools.

Keywords: Environmental law; Bibliometric research; Soil erosion

2.1. Introdução

O Código Florestal de 1965 (Lei n. 4.771/1965¹) foi um importante marco na arcabouço legal ambiental brasileiro, muito embora considera-se que a consolidação do reflexo das preocupações ambientais nas leis e normas tenham iniciado efetivamente da década de 1980, a partir da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei n. 6.938/1981²) e a própria Constituição Federal (CF/1988³) (Nazo e Mukai, 2001). De uma visão antropocêntrica estrita, as leis caminharam para uma visão antropocêntrica ampliada, incluindo o homem como parte do ecossistema (Costa, 2007). Analisando a política ambiental brasileira, Moura (2006) aponta que o Brasil tem uma estrutura institucional e marcos legais bem definidos, mas coloca como desafios a falta de planejamento de longo prazo, a desestruturação de órgãos locais (estaduais e municipais) de apoio e a falta de clareza na definição de responsabilidades e prioridades.

As discussões globais contemporâneas sobre mudanças climáticas são pautadas nas alterações no ciclo do carbono. O grande estoque deste elemento no solo tende a elevar a importância da ciência do solo no contexto científico (Janzen, 2004), sendo uma oportunidade de se posicionar para a investigação do fenômeno de forma interdisciplinar⁴. O uso e o manejo do solo alteram os estoques de carbono do mesmo e, conseqüentemente, podem retardar ou acelerar os impactos da mudança climática global (Carvalho *et al.*, 2010).

Neste contexto, o Brasil definiu metas de redução de emissões de carbono e meios de alcançá-las, via instituição da Política Nacional de Mudanças do Clima (Lei n. 12.187/2009⁵). Há a expectativa de medidas adicionais (ou atualizações) por ser país signatário da Conferência de Paris (ONU, 2015) e por seguir uma agenda ambiental global (ou multilateral), tornando prioridades, as questões que afetam o globo, tal como as mudanças climáticas (Moura, 2016).

Dada a importância estratégica do solo no contexto ambiental, o conjunto de atos normativos na área específica da conservação de solo não está organizado ou compilado. Pesquisas referentes a este tema são raras⁶ e contribuem para a compreensão da visão institucional da questão.

1 Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal.

2 Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

3 Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, de 5 de outubro de 1988. Capítulo VI “Do meio ambiente”

4 Para se aprofundar sobre a epistemologia da ciência do solo, sugiro ver Basher (1997). O autor discute a dificuldade de comunicação da ciência do solo com outras ciências e uma possível perda de relevância por esta dificuldade.

5 Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.

6 Uma revisão das leis específicas na área de conservação de solo foi elaborada por Dolabella (2014), como parte de uma consulta legislativa sobre o tema. Sendo um texto técnico e não acadêmico ou científico.

2.1.1. Regulamentação e seus instrumentos

As regulamentações se encaixam em dois grandes grupos, as ações de comando e controle, tais como instrumentos que definem padrões, zoneamentos e licenças, e as ações de instrumento econômico (ou de mercado), tais como os mecanismos de taxação do poluidor ou consumidor, a criação de mercado e de subsídios (Margulis, 1996).

Uma das formas de utilizar instrumentos econômicos como mecanismo de conservação, é definindo o ganho ambiental de uma determinada ação como um serviço ambiental, de forma mensurável e valorável, e, assim, criar um mercado deste serviço. O conceito de serviços ambientais busca unir conceitos ambientais e econômicos para o planejamento ambiental (De Groot, 1987). A conservação do solo é um meio de prestação de serviços ambientais⁷, pois, se feita corretamente, influencia positivamente com serviços de provimento (produção de alimentos e fibras, substrato construtivo, substrato para suporte de animais, filtro de nutrientes e contaminantes) e de regulação (vazão da água, na manutenção da qualidade do substrato para cultivo de alimentos, ciclo de nitrogênio, carbono e metano) (Dominati *et al.*, 2014), portanto, é uma atividade valorável e passível de desenvolvimento de um mecanismo de pagamento por serviços ambientais (PSA).

Existem diversas formas de valorar o serviço ambiental efetuado, sendo a valoração econômica a mais intuitiva e de troca mais rápida do beneficiado (sociedade) com o beneficiário (fornecedor do serviço), embora possa ser considerada uma visão antropocêntrica e utilitária (Heal *et al.*, 2005).

Os instrumentos de comando e controle são a base da política ambiental global, definindo padrões, zoneamentos e licenças. Geralmente obedecem a critérios para conservação ambiental em consonância com a manutenção da atividade econômica, pois instrumentos muito rígidos podem dificultar o desenvolvimento da atividade (Margulis, 1996). A ciência tem papel fundamental na formulação destas normas, definindo métricas e potencialidades dos impactos gerados. Um exemplo recente de colaborações científicas para normatização foi a intensa discussão sobre alterações no código florestal brasileiro⁸.

Analisando políticas ambientais, Margulis (1996) delimita que temas ou assuntos com baixo nível de regulamentação tem duas possíveis causas: i) a preferência pela autorregulamentação, por ser mais eficiente ou ii) a não identificação ou a não valorização do tema como um problema público.

2.1.2. Objetivo

O objetivo geral do trabalho foi elaborar um levantamento de leis e normas e da pesquisa científica na área de conservação de solo no Brasil e analisa-lo. Especificamente:

- Compilar e analisar o estado atual do conjunto de leis e normas brasileiras de conservação de solo (federais e estaduais);
- Compilar os artigos científicos na área de conservação de solo no Brasil e analisar sua abordagem sobre o tema;

⁷ Há utilização de ambos termos, serviço ambiental ou serviço ecossistêmico, por vezes como sinônimos na literatura técnica e científica. Neste capítulo, escolheu-se o termo serviço ambiental por estar em sintonia com a nomenclatura de leis e com o termo pagamento por serviços ambientais (PSA). O entendimento do autor é que os termos são sinônimos.

⁸ Diversos trabalhos acadêmicos foram elaborados no período de discussão política, tais como: Silva et al (2011), Tundisi e Tundisi (2011), Metzger (2010) e Sparovek et al (2011).

- Comparar o conteúdo do conjunto das leis e normas com o conteúdo da produção científica na área.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Levantamento das leis e normas de conservação de solo no Brasil

Para o levantamento de leis e normas federais, a busca foi realizada no site da Presidência da República (<http://www2.planalto.gov.br/>) no dia 03/05/2015, além de pesquisas gerais em sites de buscas. Para o levantamento de leis e normas estaduais, no buscador Google (<https://www.google.com.br>), no período de 04 a 27/05/2016, foram utilizadas palavras chave utilizadas foram “lei” ou “norma”+ “conservação”+ “solo”+ unidade da federação.

Uma chave de classificação foi elaborada, a fim de organizar e entender o principal mecanismo ou objetivo das leis e normas encontradas (Figura 1). A chave consiste de relações booleanas SIM/NÃO a partir de questões geradoras (caixas brancas), gerando uma classe ou uma nova pergunta, totalizando 6 classes de leis e normas, assim descritas:

- *Genérica*: Leis ou normas genéricas, que compreendem a importância, mas não delimitam os mecanismos de controle ou estímulo à conservação do solo;
- *Educação*: Leis ou normas que compreendem instrumentos de educação, informação e/ou conscientização tendo como foco a conservação de solo;
- *Preservação florestal*: Leis ou normas que fomentam a conservação de solo via restauração ou preservação florestal, desconsiderando o solo agrícola;
- *Zoneamento*: Leis ou normas que definem instrumentos reguladores (licenças ou zoneamento) para a conservação do solo;
- *PSA*: Leis ou normas que preveem mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA) visando a promoção da conservação do solo;
- *Penalidades*: Leis ou normas que delimitam penalidades aos responsáveis quando verificada a não conformidade de atividades em relação à conservação do solo.

As classes, bem como a chave de classificação, foram criadas pelo autor, a partir da exaustiva análise e reanálise das normas, de forma que englobassem e comunicassem uma ideia clara o conjunto de leis e normas encontrados, em classes coerentes e simples e com perguntas geradoras de entendimento claro.

Figura 1. – Fluxo booleano utilizado para a classificação das leis e normas estaduais e federais encontradas

2.2.2. Levantamento de publicações nacionais na área de conservação de solo

O levantamento de publicações na área de conservação de solo foi realizado na base Web of Science™ (ISI) no dia 18/06/2016. Os termos utilizados na busca avançada foram:

- *TS (Tópico)*= (“soil conservation” or “soil erosion” or “erosão do solo” or “erosão de solo”, or “conservação do solo” or “conservação de solo”) and
- *CU (País)* = (Brazil or Brasil)

As publicações resultantes do levantamento descrito acima foram classificadas em 3 níveis. O procedimento para a classificação dos trabalhos foi a leitura de seu resumo e, posteriormente, caso essa etapa não fosse suficiente para que o seu enquadramento, foi feita a leitura do trabalho na íntegra. A classificação das publicações é assim descrita:

1º nível - Tema central do artigo

O tema conservação do solo ou, especificamente, erosão do solo pode ser citado em trabalhos onde o foco pode ser outro que não o alvo deste estudo. Neste nível de classificação, as publicações foram qualificadas em relação a área de conservação de solo, havendo três possíveis alternativas:

- *Sem relação*: trabalhos que citam a conservação de solo, captados, portanto, na busca efetuada, mas com foco em outros temas, tais como fertilidade, biologia do solo, entre outros.
- *Relação indireta*: trabalhos que estudam temas que indiretamente influenciam na conservação do solo e a usa como forma de discussão ou conclusão. Em um entendimento *latu sensu* da conservação de solo.
- *Relação direta*: trabalhos que tem como tema central a conservação do solo, formas de controle de processos erosivos, quantificação e variáveis que a influenciam. Aborda o processo erosivo ou suas relações casuísticas.

2º nível - Tipificação da abordagem

Neste 2º nível, foram excluídos os trabalhos classificados como *sem relação* em 1º nível. Foi gerada uma nova chave de classificação, com uso da lógica booleana (SIM/NÃO), a partir de uma tipificação excludente em cadeia (perguntas), conforme demonstrado na Figura 2. Esse nível de classificação dos trabalhos foi dividido em quatro classes, assim denominadas:

- *Entendimento básico*: trabalhos sem um objetivo claro de aplicação, com finalidade no entendimento do processo erosivo ou parte dele.
- *Conservação do solo no meio não agrícola*: trabalhos aplicados que apresentam como alvo de estudo, ambientes não agrícolas, tais como áreas urbanas e estudos geomorfológicos.
- *Abordagem pública*: trabalhos aplicados, em ambiente agrícola, com uma abordagem pública do problema, buscando entendimento das externalidades do processo (impactos para além do próprio sistema gerador, geralmente o sistema agrícola). São estudos de impactos de sistemas de produção ou de uso da terra de forma difusa e externa ao local do impacto. Tem sua função mais facilmente compreendida (ou aplicável) por um gestor ou tomador de decisão em esfera pública.
- *Abordagem privada*: trabalhos que abordam o assunto, dentro de uma esfera agrícola, de forma interna. Considera os impactos e a influência do impacto no próprio local, sem extrapolar ou externalizar análises. Tem uma função mais facilmente compreendida (ou aplicável) por um gestor ou tomador de decisão de propriedade agrícola ou técnico.

Figura 2. Chave lógica de tipificação dos trabalhos em 2º nível

3º nível - Aplicabilidade ou importância para um gestor público

Neste nível, foram excluídos trabalhos classificados em 2º nível como: *Entendimento básico*, *Conservação do solo no meio não agrícola* e *Abordagem privada*; restando apenas a classe *Abordagem pública*. As categorias utilizadas em 3º nível são complementares umas às outras, portanto, cada trabalho pode estar em mais de uma categoria:

- *Subsídio para zoneamento*: trabalhos que diretamente servem de subsídio para delimitação de zonas para a otimização da conservação do solo ou para a definição de áreas de risco. Essa categoria engloba trabalhos de modelagem em larga escala e mapeamento de áreas de risco de zoneamento agroambiental.
- *Conservação do solo como um serviço ambiental*: esta categoria é composta por trabalhos que utilizam a premissa de que a conservação do solo é um tipo de serviço ambiental ou tem uma forma de valorar a conservação de solo.
- *Alterações de uso e manejo e consequências para a conservação do solo*: alterações de uso e manejo impactam diretamente a conservação de solo. Nesta categoria foram selecionados trabalhos que avaliam

impactos do uso e manejo na perda de solo em uma abordagem história, de opinião ou em escala compatível com a classe de 2º nível *Abordagem pública*.

- *Estudos de externalidades do processo erosivo*: trabalhos que utilizam medições diretas ou modelos para avaliar a geração de sedimentos de atividades agrícolas, identificação de origem de sedimentos (estradas, agrícola, etc.). Esta categoria exclui trabalhos que avaliam o tema sob uma ótica interna (perda de nutrientes ou produtividade).
- *Carbono do solo*: trabalhos que discutem o Carbono no solo e a importância da conservação do solo neste contexto
- *Educação e história da conservação do solo*: trabalhos que abordam a educação na área de solos e aspectos históricos da conservação de solos

Para entender outros aspectos deste grupo, adicionalmente, detalhou-se três pontos da metodologia dos trabalhos: método, dimensão espacial e local da pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1. Detalhamento classificação em 3º nível: descrição dos sub-níveis

Sub-níveis	Opções
A - método	Modelagem
	Experimental
	Opinião/revisão
B – dimensão espacial	Bacia hidrográfica
	Bioma
	Política (UF ou município)
	Adimensional
C – local da pesquisa	UF (se Brasil) ou país se outro país

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Leis e normas no âmbito federal

O levantamento realizado resultou na identificação de 61 leis, decretos e medidas provisórias, dos quais apenas 4 tratam de fato do tema solo e de sua conservação.

As primeiras normatizações diretamente ligadas à conservação do solo agrícola são dos anos de 1970 e coincidem com a modernização da agricultura brasileira, representada pela intensificação da mecanização e aumento do processo erosivo (Balsan, 2006). Neste período, foram criadas duas importantes normas para o setor agrícola, sendo a primeira a Lei n. 6.225/1975⁹, que delimita as regiões onde devem obrigatoriamente ser executados planos de proteção ao solo e o combate à erosão, e o Decreto n. 76.470/1975, que institui o Programa Nacional de Conservação

⁹ Lei n. 6.225 de 14 de julho de 1975. Dispõe sobre discriminação, pelo ministério da agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate a erosão e dá outras providências.

de Solo¹⁰. A primeira foi um instrumento de regulação por zoneamento, delimitando zonas frágeis, com necessidades especiais de manejo, um instrumento eminentemente de planejamento agrícola. A segunda visava promover a adoção de práticas conservacionistas via destinação de crédito rural, entre os anos 1975 e 1977 e cooperações entre estados que já tivessem atividades nesta área, com uma colaboração técnico-financeira. A lei não é clara na definição de “crédito rural específico”, porém o entendimento mais direto é de que este decreto reservou recursos por três anos para estimular a conservação de solo, concedendo crédito rural para agricultores, sendo, portanto, um instrumento econômico (classe 6. PSA).

Nos anos 1980, o principal ato normativo foi o da instituição do Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH) (Decreto n. 94.076/1987¹¹). Atualmente em vigor, o PNMH tem uma visão geral de conservação de recursos naturais (além do solo) e substituiu o Programa Nacional de Conservação de Solo. O PNMH visa propiciar parcerias para capacitação e divulgação de práticas de manejo conservacionistas e definição de planejamento do uso da terra por bacias (classes 3. Educação e 4. Zoneamento).

Já nos anos 1990, a Lei de Política Agrícola (Lei n. 8.171/1991¹²) define alguns pontos importantes sobre a conservação do solo (classes 3. Zoneamento e 5. PSA):

O poder público deve disciplinar e fiscalizar o uso racional do solo, da água, da fauna e da flora (art. 19);

O crédito agrícola deve ser um instrumento que vise incentivar a introdução de métodos racionais no sistema de produção, visando ao aumento da produtividade, à melhoria do padrão de vida das populações rurais e à adequada conservação do solo e preservação do meio ambiente (art. 48);

O conjunto de ações do poder público sobre a mecanização agrícola, deve constar a divulgação e estímulo as práticas de mecanização que promovam a conservação do solo e do meio ambiente (art. 96).

Um instrumento já descrito no Programa Nacional de Conservação de Solo de 1975 é reafirmado na Política Agrícola: o crédito agrícola condicionado ao uso adequado do solo. Uma nova abordagem é a previsão fiscalizatória e disciplinadora do poder público no uso racional do solo, mas não há regulamentação sobre o assunto. Existe uma preocupação em relação a desertificação, detalhada em levantamento e definição de formas de exploração destas áreas, dada em complemento à Política Agrícola original. (Lei n. 10.228/2001¹³).

O plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) é parte dos esforços brasileiros para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (Decreto 7.390/2010¹⁴). Apropriando-se do entendimento de que solos conservados emitem menos carbono, o plano condiciona a concessão de crédito à adoção de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, a integração lavoura pecuária, a recuperação de pastagens degradadas por meio de créditos subsidiados, a capacitação profissional, o zoneamento agrícola e a pesquisa. O principal método de disseminação é via concessão de crédito agrícola subsidiado, como previsto desde o Programa Nacional de Conservação de Solos¹⁰ e na Política Nacional Agrícola¹².

10 Decreto n. 76.470 de 16 de outubro de 1975. Cria o programa nacional de conservação dos solos, - P.N.C.S., e dá outras providências.

11 Decreto 94.076 de 5 de março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e dá outras providências.

12 Lei n. 8.171 de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola.

13 Lei n. 10.228, de 29 de maio de 2001. Acrescenta artigo à Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991, que dispõe sobre a política agrícola, a fim de estabelecer procedimentos relativos ao cadastramento e à recuperação de áreas desertificadas.

14 Decreto. 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências.

As normas federais têm um caráter eminentemente de zoneamento e, de forma inovadora, mecanismos de pagamento por serviços ambientais. Iniciadas em 1975, vem sendo aprimoradas e resultando em um plano geral de agricultura de baixo carbono. Um quadro resumido dos atos normativos federais é apresentado na Tabela 2, com os principais mecanismos descritos.

Tabela 2. Atos normativos federais e seus mecanismos

Descrição	Norma	Mecanismo
Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate a erosão	Lei n. 6.225/1975	4. Zoneamento
Cria o Programa Nacional de Conservação dos Solos	Decreto n.76.470/1975	5. PSA
Cria o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas	Decreto n. 94.076/1987	2. Educação 4. Zoneamento
Dispõe sobre a Política Agrícola	Lei n. 8.171/1991	3. Zoneamento 5. PSA

2.3.2. Leis e normas no âmbito estadual

Na esfera administrativa estadual, após buscas específicas para cada um dos 27 estados brasileiros e no Distrito Federal, foram identificadas 32 leis ou normas que atribuem valor à conservação do solo. Todas as normas foram descritas e comentadas (APÊNDICE B). A representação da distribuição geográfica das classes das normas e dos estados está exposta na Figura 3. Por meio do método utilizado no atual trabalho, não foram identificadas normas sobre o tema nos estados de Pernambuco, Rio de Janeiro e Sergipe.

Os estados de Alagoas, Amapá, Amazonas e Rondônia, além do Distrito Federal, têm atos normativos genéricos que citam a conservação do solo como elemento importante no ecossistema, porém não descrevem objetivamente os mecanismos de controle ou estímulo à sua conservação. São normas referentes à Política Florestal de Alagoas¹⁵, o Código Ambiental Estadual do Amapá¹⁶ ou a Política Ambiental do Distrito Federal¹⁷. Entre essas localidades, nenhum é classificado como um grande produtor agrícola¹⁸. Uma hipótese possível, para estes estados em que a agricultura tem pouca relevância, é a de que há poucos problemas com erosão devido à baixa pressão por novas áreas e, portanto, não houve motivação para o desenvolvimento de leis e normas específicas para este tema.

15 Lei n. 5.854, de 14 de outubro de 1996. Dispõe sobre a política florestal no Estado de Alagoas.

16 Lei complementar n. 5, de 18 de agosto de 1994. Institui o Código de Proteção Ambiental ao Meio Ambiente do Estado do Amapá e dá outras providências.

17 Lei n. 41, de 13 de setembro de 1989. Dispõe sobre a Política Ambiental do Distrito Federal e dá outras providências.

18 O autor considerou como grande produtor os 13 estados (50%) com maior PIB agrícola, de acordo com dados do IBGE para o ano de 2012.

Figura 3. Mapa das Unidades da Federação classificadas por tipificação das leis e normas

Os estados que preveem mecanismos de controle do uso do solo sem levar em consideração o solo agrícola, ou seja, via conversão para o uso florestal ou manutenção de florestas são: Bahia, Espírito Santo, Rio Grande do Norte e Roraima. Destes, apenas o estado da Bahia é considerado um grande produtor agrícola. O incentivo ao reflorestamento é o mecanismo encontrado em três estados como meio de estímulo à conservação do solo: Bahia¹⁹,

¹⁹ Lei 6.569 de 17 de janeiro de 1994. Dispõe sobre a política florestal no Estado da Bahia e dá outras providências.

Espírito Santo²⁰ e Roraima²¹. No estado do Rio Grande do Norte²², existem normas que definem diretrizes específicas de conservação de solo para unidades de conservação.

Estados que adotam a conservação de solo agrícola em instrumentos de comando e controle, prevendo sua análise em definição de zoneamentos e na emissão de licenças ambientais são: Acre, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul. Conforme a regulamentação do uso do solo vai sendo aprimorada, engloba questões diretamente relacionadas ao manejo e conservação do solo agrícola, elevando a importância e relevância do setor agrícola. Os estados citados no presente parágrafo, com exceção do Acre, apresentam um robusto setor agrícola e adotam em suas normas a conservação do solo como critério para programas de regularização ambiental (Goiás²³, Minas Gerais²⁴, Rio Grande do Sul²⁵ e Santa Catarina²⁶).

Os mecanismos mais complexos de gestão da conservação de solo foram observados nas classes de 3º nível *PSA* e *Penalidades*. Estas classes envolvem uma série de regulamentações e mecanismos que necessitam e merecem um capítulo à parte, com descrição e análise de alguns casos (itens 2.3.2.1 e 2.3.2.2).

2.3.2.1. Instrumento econômico: pagamento por serviços ambientais (PSA)

Dos 4 estados que preveem pagamentos por serviços ambientais, Tocantins e Pará estão localizados na área definida como Amazônia Legal e estão nos limites dos arcos de desmatamento (Vedovato *et al.*, 2016). Já os estados de Piauí e Paraíba estão localizados em áreas do bioma Caatinga que se encontram em um estado de desmatamento avançado (60 a 70%, segundo dados do Probio, 2002). Destaca-se, ainda, que o estado do Piauí apresentou um expressivo crescimento da agricultura na última década²⁷.

A Lei da Política Estadual de PSA da Paraíba (Lei n. 10.165/2013²⁸) define dois subprogramas que têm a conservação de solo como pano de fundo. O primeiro segue a lógica de que o reflorestamento deve ser adotado como medida para a conservação do solo (conservação pelo uso da terra) e o segundo lida com a questão do sequestro de carbono e dispõe sobre o uso e manejo adequado do solo como meio de mantê-lo no solo. Já a lei paraense²⁹, define incentivos ou linhas de créditos especiais para proprietários rurais que tenham restrições de uso do solo devido à fragilidade do mesmo.

20 Lei n. 5.361, de 30 de dezembro de 1996. Dispõe sobre a Política Florestal do Estado do Espírito Santo e dá outras providências.
21 Lei Complementar n. 7, de 26 de agosto de 1994. Institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente para a Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e uso adequado dos Recursos Naturais do Estado de Roraima.

22 Lei n. 9.254, de 06 de outubro de 2009. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico Econômico da Área de Proteção Ambiental Jenipabu – APAJ, nos Municípios de Extremoz e Natal. Natal, 2009 e Lei n. 8.426, de 14 de novembro de 2003. Faixa de proteção ambiental do Rio Pitimbu.

23 Lei n. 18.104, de 18 de julho de 2013. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências.

24 Decreto n. 43.710, de 08 de janeiro de 2004. Regulamenta a Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no Estado.

25 Decreto n. 52.751, de 04 de dezembro de 2015. Institui a Política de Conservação do Solo e da Água no Estado do Rio Grande do Sul.

26 Lei n. 16.342, de 21 de janeiro de 2014. Altera a Lei nº 14.675, de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

27 Valor de produção, no período de 2005 à 2015, aumentou para as culturas agrícolas (3x) e pecuária (2x), segundo dados do Ministério da Agricultura. (disponível em: <
<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/12/valor-bruto-da-producao-de-2015-alcanca-rs-491-bilhoes>>, acesso em: 08 de setembro de 2016).

28 Lei n. 10.165, de 25 de novembro de 2013. Dispõe sobre a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, autoriza instituir o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, e dá outras providências.

29 Lei n. 6.462, de 04 de julho de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Florestas e demais Formas de Vegetação e dá outras providências.

A aplicação do mecanismo de PSA em uma escala institucional (entes federados) é parte da política ambiental dos estados do Piauí e Tocantins, prevendo repasses financeiros dos estados aos municípios mais conservacionistas (de acordo com critérios de cada programa), o chamado ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) ecológico. O ICMS é um imposto estadual, previsto por lei federal, que determina repasse de 25% do total arrecadado aos municípios. Deste valor, 75% devem ser destinados de acordo com o local da produção ou origem. O restante (25%) fica a critério do gestor estadual, objetivando uma equidade no desenvolvimento (Scaff e Tupiassu, 2004).

No Piauí, de acordo com as diretrizes da lei de criação do ICMS ecológico (Lei n. 5.813/2008³⁰), cada município é avaliado de acordo com nove critérios, dentre eles há o denominado “Redução dos riscos de queimadas, conservação do solo, da água e da biodiversidade”, tem em seu texto dois itens básicos relacionados à conservação de solo (Decreto n. 14.861/2012³¹):

- Dispõe de propostas ou planos, programas, ou projetos de gestão do uso da água, conservação do solo e/ou biodiversidade
- Dispõe sobre ações efetivas de mitigação de impactos sobre o solo, recursos hídricos e/ou biodiversidade e recuperação de espécies

Assim, com base na avaliação dos nove critérios, o governo do estado distribui selos de acordo com a observância dos critérios estabelecidos para cada ponto. Para a obtenção do selo “A”, é necessário estar de acordo com seis critérios, para o selo “B” com quatro critérios e para o selo “C” são três critérios. O valor distribuído corresponde a 1.25% do ICMS total arrecadado e varia de acordo com as diferentes categorias de enquadramento dos municípios. Ou seja, são nove critérios e a conservação do solo é parte de critérios um deles, quanto mais critérios o município atingir, mais recursos estaduais receberá.

Dos quatro estados com mecanismos de PSA para a conservação de solo, o Tocantins tem o conjunto de normas mais estabelecidas (critérios claros) e um robusto montante de recursos reservados e definidos pela conservação de solo. O conjunto de leis e normas no estado é discutido no item a seguir.

Descrição da legislação: Tocantins

O estado do Tocantins instituiu uma política de ICMS ecológico prevendo repasse de verbas do governo do estado para municípios, de acordo com critérios ambientais (Lei n. 2.959/2015³²). Os valores repassados aos municípios são oriundos da arrecadação do ICMS, sendo reservados 13% de seu total para esse fim. Esse recurso deve ser destinado após avaliação de cinco grandes áreas, sendo duas as áreas mais valorizadas, com maior percentual reservado, “saneamento básico e conservação da água” e “conservação da biodiversidade e terras indígenas”, conforme Tabela 3.

30 Lei n. 5.813, de 03 de dezembro de 2008. Cria o ICMS ecológico para beneficiar municípios que se destaquem na proteção ao meio ambiente e dá outras providências.

31 Decreto n. 14.861, de 15 de junho de 2012. Dispõe sobre as diretrizes da concessão do Selo Ambiental para os municípios que atenderem aos critérios estabelecidos na Lei Ordinária Nº. 5.813, de 03 de dezembro de 2008 - Lei do ICMS Ecológico, por estarem desenvolvendo ações para a melhoria da qualidade de vida, através da promoção de políticas e ações de gestão ambiental, e revoga o Decreto n. 14.348, de 13 de dezembro de 2010.

32 Lei n. 1.323, de 04 de abril de 2002. Dispõe sobre os índices que compõem o cálculo da parcela do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos Municípios e adota outras providências.

Tabela 3. Percentuais destinados a cada critério do ICMS ecológico do estado do Tocantins (Lei n. 2.959/2015³³)

Critério (área)	% absoluto	% relativo (ao ICMS-ecológico)
Conservação da biodiversidade e terras indígenas	3.5	27
Saneamento básico e conservação da água	3.5	27
Controle de queimadas e combate a incêndios	2.0	15
Conservação e manejo do solo	2.0	15
Política municipal de meio ambiente	2.0	15

O Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), órgão ambiental estadual, é responsável por avaliar cada município, com exceção ao item de conservação do solo, que é de responsabilidade do Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (RURALTINS). Especificamente para a avaliação da conservação e manejo do solo, são oito critérios a serem analisados, que abordam com pesos diferentes (definidos pela resolução COEMA-TO n. 40/2013³⁴), questões relacionadas à gestão e capacitação (25%), estradas rurais (10%), execução de serviços em propriedades (30%) e recuperação do solo via preservação ambiental (35%). Ou seja, há uma previsão orçamentária do estado especificamente definida por critérios de políticas de conservação do solo. Quanto mais ações o município efetivamente executa na área de conservação e manejo do solo (a partir de critérios da Tabela 4), mais recursos ele recebe na forma de repasses estaduais.

Tabela 4. Itens do ICMS Ecológico (TO) relativos a conservação e manejo do solo e sua participação correspondente

Tipo de abordagem do item	Item- descrição	Participação máxima (%) (0-100)
Gestão e capacitação	O Município implantou o órgão municipal para setor agropecuário?	5
	Tem corpo técnico especializado?	5
	O Município realiza, diretamente ou em parceria, eventos e/ou capacitação na área de manejo e conservação do solo e água?	15
Estradas	A manutenção e conservação de estradas vicinais rurais obedecem às normas técnicas e ambientais?	10
Execução de serviços em solo agrícola	Executa programa de correção de solo com distribuição de calcário em áreas legalmente convertidas, de forma direta ou por meio de associações de pequenos produtores?	20
	O Município disponibiliza patrulha mecanizada para que os agricultores façam a conservação do solo e água?	10
Recuperação do solo via preservação florestal	Produz e distribuem mudas nativas para recuperação de áreas degradadas?	15
	Executa ações de conservação e proteção dos solos e águas em Áreas de Preservação Permanente?	20

33 Critérios da distribuição dos recursos são definidos pela Lei n. 2.959, de 18 de junho de 2015. Dispõe sobre critérios de distribuição das parcelas municipais do ICMS, e adota outras providências.

34 Definidos pela Resolução COEMA/TO n. 40, de 27 de agosto de 2013. Dispõe sobre o questionário de avaliação qualitativa do ICMS. Conselho Estadual do Meio Ambiente do Tocantins).

Em valores absolutos, aproximadamente R\$ 268.080.000,00 foram repassados aos municípios tendo como critério o ICMS ecológico (ano de referência 2015), sendo que R\$ 41.240.000,00 foram direcionados para os municípios utilizando como critério as ações de conservação e manejo do solo locais.

Analisando os critérios descritos, há um espectro grande de atuação (capacitação, manutenção de estradas, serviços de conservação de solo), porém são genéricos. Há uma clara dificuldade em mensurar de fato o serviço ambiental prestado pelos itens. A iniciativa tem uma clara vantagem em escala de atuação, pois dissemina o estímulo no engajamento de gestores mais próximos do problema (municípios) na busca de soluções, mas esta pulverização dificulta a análise e avaliação de resultados.

2.3.2.2. Mecanismos de penalidade ou responsabilização ao causador do dano

Entre todos estados que tiveram suas normas avaliadas, quatro abordam o solo agrícola, entendem a degradação do solo como um dano³⁵ e culpabilizam o responsável: Maranhão, Mato Grosso, Paraná e São Paulo. Destes estados, três apresentam grande importância agrícola, a exceção é o Maranhão. A evolução das atividades agrícolas e, conseqüentemente, dos problemas a ela relacionados, podem ter sido a motivação para a normatização.

Para os estados do Maranhão e Mato Grosso não foram levantadas regulamentações, resoluções ou outras formas de execução da lei encontrada. Embora haja a previsão legal da penalidade ou responsabilidade do causador do dano ao solo, não há mecanismos para executá-la. Concentramo-nos, portanto, no aprofundamento das leis e normas para os estados do Paraná e São Paulo, os quais delimitam claramente os mecanismos de execução. A discussão dos atos normativos apresentados nos subitens a seguir.

Descrição da legislação: Paraná

No estado do Paraná, são consideradas infrações não apenas as ações, mas também as omissões por parte do proprietário em relação aos danos ao solo, conforme determinado nos artigos 2º e 3º do Anexo do Decreto n. 6.120/1985³⁶. A não conformidade de manejo ou desacordo com as classes de aptidão agrícola de terras são formas de infração (Art. 2º da Resolução SEAB n. 172/2010³⁷). A caracterização da não conformidade com a lei não é apenas relacionada ao dano (processo erosivo), mas também por não seguir preceitos técnicos previamente estabelecidos em publicações técnicas, como dado pela Resolução SEAB n. 172/2010.

35 O conceito de dano ambiental não é claro conjunto de leis ambientais brasileiras, mas tem respaldo na literatura jurídica, sendo considerado uma “lesão aos recursos ambientais, com conseqüente degradação-alteração adversa ou *in pejus* do equilíbrio ecológico e da qualidade de vida” (Milaré, 2005 apud Auharek e Araújo, 2016, p. 4)

36 Decreto n. 6.120, de 13 de agosto de 1985. Regulamento da Lei Estadual nº 8.014 de 14 de dezembro de 1984, que dispõe sobre a preservação do solo agrícola, e adota outras providências.

a) a utilização do solo em desacordo com as classes de aptidão agrícola das terras, estabelecidas pelo Ministério da Agricultura através da EMBRAPAS/NLCS, acrescidos por elementos e aperfeiçoamentos estabelecidos através dos órgãos de pesquisa estaduais ou federais;

b) a não observância das práticas conservacionistas definidas neste Regulamento, devidamente ajustadas às necessidades e características de cada propriedade rural;

c) a utilização de agentes químicos, mecânicos e biológicos que induzam à poluição, à contaminação, à erosão e à degradação do potencial produtivo do solo agrícola, respeitando o disposto na Lei Estadual nº 7.827/84;

d) o parcelamento, a urbanização e a instalação de atividades no meio rural, que reflitam na inviabilidade da produção agro-silvo-pastoril, pela degradação e contaminação dos recursos naturais e pela elevação artificial do valor venal das terras;

e) A manutenção do solo agrícola apenas como reserva de valor através do não uso e/ou abandono das áreas com potencial de produção, ressalvando-se as áreas com vegetação florestal natural, declaradas de preservação permanente e averbadas em cartório, bem como, as áreas de reserva legal previstas pelo Código Florestal Brasileiro.

37 Resolução SEAB n. 172, de 03 de setembro de 2010. Estabelece critérios para alocação de terraços em sistema de plantio direto, segundo orientações técnicas do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR.

Art. 1º Determinar que as obras e práticas conservacionistas de controle do escoamento superficial de águas pluviais e de sustação do processo erosivo do solo sejam implementadas de forma integrada e sistêmica e obedeçam aos parâmetros técnicos estabelecidos em publicações oficiais emanadas desta Pasta [*Secretaria de Agricultura*], por intermédio ou por proposição do Instituto Agrônomo do Paraná- IAPAR, sem prejuízo das demais recomendações técnicas aplicáveis às condições edafoclimáticas do Estado do Paraná.

A adoção deste princípio traz a vantagem de permitir que o estado atue na prevenção do dano, por meio da delimitação de práticas conservacionistas e de parâmetros técnicos previamente estabelecidos (por publicações oficiais da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – SEAB ou do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR). O órgão fiscalizador da legislação vigente é a Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR).

Outra premissa observada nas normas de conservação de solo é o princípio da precaução. Este princípio, difundido internacionalmente em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO 92), observa que:

“Com o fim de proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deverá ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental” (Princípio 15, ONU, 1992)

Em seu artigo, Hammerschmidt (2002), descreve que o princípio da precaução é a inclusão da incerteza, de um risco não mensurável, é a necessidade de intervir, ainda que com falta de evidência científica completa, para cessar um dano, e também o controle de produtos ou procedimentos que tenham um determinado grau de incerteza.

O entendimento linear de evolução científico-tecnológica (a ciência básica que formula e estuda leis e conhecimentos gerais de um tema, seguida do desenvolvimento de aplicações no campo experimental, inicialmente conduzida por algum pesquisador científico e posteriormente por departamentos de Pesquisa & Desenvolvimento de empresas que expandem a sua aplicação a uma escala comercial, podendo gerar enfim, um novo produto ou processo) tem falhas e, no geral, não é obedecido na prática (Strokes, 2005). Neste sentido, a inovação tecnológica pode ser um motor para o entendimento de conceitos básicos (ciência básica), e a inovação pode ser elaborada e aplicada diretamente pelo agricultor, contribuindo inclusive para a elucidação de processos básicos na ciência. Pela forma que estão colocados, os atos normativos de conservação de solo paranaense não preveem o processo inovador na conservação do solo vindo da prática, mas apenas de órgãos técnicos ou acadêmicos.

Legislação modelo: São Paulo

Segundo a lei de uso, conservação e preservação do solo agrícola (Lei n. 6.171/1988³⁸), é considerado responsável o proprietário, arrendatário, posseiro ou responsáveis técnicos de uma área por processos erosivos, assoreamento ou desertificação, graduado pela extensão e gravidade do impacto. De acordo com o artigo 2º da Lei n. 8.421/1993³⁹ (alterações da Lei n. 6.171/1988), identificado o dano e autuado o responsável, há previsão de aplicação de multa pelo dano causado. Observa-se o princípio da responsabilidade, em que o gerador do dano é responsabilizado, neste caso, administrativamente (Araújo, 2010).

38 Lei n. 6.171 de 04 de julho de 1988. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

39 Lei n. 8.421 de 23 de novembro de 1993. Altera a redação de dispositivos da Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências.

O proprietário pode ainda reverter a multa, por meio de um projeto técnico de adequação (Decreto 41.719/1997⁴⁰), no qual é definido que o órgão técnico-ambiental deve observar medidas para evitar ou reparar o dano ambiental. No caso de danos ao solo, a reparação, embora seja de difícil execução (impossível a retirada de sedimentos no rio, por exemplo), é possível no sentido executar um plano geral de restauração ambiental da área afetada e alteração do sistema de manejo causador do dano.

O princípio da precaução⁴¹ não é observado na primeira etapa da lei (autuação), pois a mesma só tem efetividade a partir do dano já estabelecido. Uma vez que dano foi estabelecido, o projeto técnico de adequação tem de estar de acordo com bases técnico-científicas, ou seja, a técnica estabelecida pelo agricultor não teve resultado e uma técnica já conhecida deverá ser utilizada, com uso de dimensionamento e critérios técnicos. Neste segundo momento, o princípio da precaução.

A flexibilidade da norma permite ao agricultor ou técnico desenvolver técnicas novas, observando a sua eficácia e a inexistência do dano ao solo. Entretanto, caso ocorra dano, o responsável será penalizado e o agricultor terá que alterar seu sistema de manejo para dentro de critérios técnicos já estabelecidos, avaliáveis pelo órgão fiscalizador (Coordenadoria de Defesa Agropecuária).

Dada as especificidades de manejo e importância no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar tem um boletim técnico de conservação de solo específico (De Maria *et al.*, 2016), criado em 2016, pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Este documento estabelece recomendações técnicas para o controle da erosão e do escoamento superficial. Diferentemente da norma geral, este boletim distingue projetos e técnica inovadores e afirmam que devam ter um tratamento especial, com monitoramento e acompanhamento pelo órgão estadual de pesquisa agropecuária (APTA). O desenvolvimento de técnicas novas ou de técnicas que não constem no referido boletim técnico deve ser tratado como projetos de pesquisa, tecnologia e inovação tecnológica, definidos pela Resolução SAA n. 19/2016⁴². Esta etapa de testes e avaliação tem o mérito de validar técnicas novas em uma área restrita, tendo o estado como avaliador e o agricultor como desenvolvedor. Esta possibilidade torna o agricultor parte fundamental do processo inovador, com a vantagem de ter uma regulamentação e um acompanhamento por parte do órgão do estado.

Em paralelo às ações descritas, houve a iniciativa da criação do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas (Decreto n. 27.329/1987⁴³). Este programa visa promover o desenvolvimento rural com sustentabilidade ambiental e participação social tendo como unidade de planejamento a bacia hidrográfica. Dentre as práticas abordadas e estimuladas no programa que atuam na conservação do solo, destacam-se manutenção de estradas rurais, estímulo ao plantio direto e reflorestamento (Neves Neto, 2009). Este programa teve uma grande abrangência, está atualmente em sua segunda fase, mas não foi encontrado estudos de avaliação do programa como um todo.

2.3.3. Publicações nacionais na área de conservação de solo

O levantamento resultou em um total de 477 trabalhos científicos, sendo distribuídos em 39 revistas ou anais de congressos. Na classificação em 1º nível, 138 trabalhos foram classificados como *sem relação* e foram excluídos

40 Decreto n. 41.719 de 16 de abril de 1997. Regulamenta a Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, alterada pela Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

41 Conceito já apresentado no item Legislação modelo: Paraná.

42 Resolução SAA n. 19, de 13 de abril de 2016. Dispõe sobre procedimentos para cadastramento, autorização e acompanhamento de projeto de pesquisa em áreas privadas, para avaliação pelos órgãos oficiais, de novas tecnologias de manejo e conservação do solo agrícola na cultura de cana-de-açúcar.

43 Decreto n. 27.329, de 3 de setembro de 1987. Institui o Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas (PEMH) e dá outras providências.

das análises seguintes, restando 339. Destes 339 trabalhos, o principal canal de comunicação foi a Revista Brasileira de Ciência do Solo (55%), única revista brasileira na lista. As 10 principais revistas concentram 86% dos artigos selecionados (Tabela 5).

Tabela 5. Relação das 10 revistas com mais trabalhos selecionados (Classificação em 1º nível: relação direta ou indireta com conservação de solo)

Nome do Periódico	Número de artigos	%
Revista Brasileira de Ciência do Solo	186	55
Soil & Tillage Research	36	11
Soil Science Society of America Journal	13	4
Catena	12	4
Land Degradation & Development	11	3
Geoderma	10	3
Journal of Soils and Sediments	9	3
Communications in Soil Science and Plant Analysis	8	2
Soil Biology & Biochemistry	4	1
Journal of Soil and Water Conservation	4	1

A Tabela 6 apresenta os números relativos e absolutos da classificação em 2º nível. A análise demonstrou que a principal abordagem observada foi a de dimensão privada da conservação (*Abordagem privada*).

Tabela 6. Número absoluto e relativo de trabalhos por classificados em 2º nível

Classes 2º nível	Número de trabalhos	%
<i>Abordagem privada</i>	196	58
<i>Entendimento do processo</i>	76	23
<i>Abordagem pública</i>	52	15
<i>Conservação do solo no meio não agrícola</i>	12	4

A maior parte dos trabalhos (58%) abordam os impactos internos do processo erosivo, principalmente as alterações de uso ou manejo, seguido pelos impactos em propriedades físicas do solo, práticas de controle, perda de fertilidade e práticas de recuperação. Os temas refletem a necessidade de sistemas de manejo cada vez mais eficientes e que preservem o solo e sua capacidade produtiva, dentre estes, destaca-se trabalhos avaliando o sistema de plantio direto (SPD).

A classe em 2º nível *Entendimento básico* engloba 76 trabalhos (23%). Apesar não possuir um caráter aplicado e sem apresentar uma preocupação direta na aplicação do conhecimento gerado, o entendimento do processo é fundamental para avanço do conhecimento científico na área. Um destaque neste item é o conhecimento gerado dos fatores da USLE (Equação Universal de Perdas de Solo) e suas variações, base para modelagem da perda de solo, temática de 50 artigos publicados. Em uma menor frequência, foram observados outros temas: mecânica do processo erosivo e história da ciência.

Na classe *Conservação do solo no meio não agrícola*, erosão em estradas, degradação do solo por mineração e movimento de massas são temas que apresentam a maior frequência nas publicações avaliadas. Esta classe é composta

de 12 artigos, representando apenas 4% do total de trabalhos analisados. A abordagem do tema em ambientes não agrícolas tem um número de trabalhos menor do que em ambientes agrícolas. Isso ocorre pela própria dimensão do problema (mais comum em ambientes agrícolas) e por razões históricas do desenvolvimento científico da área no Brasil, no fato de que os estudos sobre erosão e, pedologia em geral, terem ocorrido principalmente em ambientes de escolas agrícolas⁴⁴. Dado o foco deste capítulo, os trabalhos classificados em 2º nível como *Abordagem pública* são discutidos em maior profundidade no item 2.3.3.1.

2.3.3.1. Trabalhos com abordagem pública

A aplicação de modelos e trabalhos experimentais de campo estão presentes em aproximadamente 80% do total de publicações analisadas, enquanto trabalhos de opinião ou revisões bibliográficas representam cerca de 20% (Tabela 7). Quando comparados com resultados obtidos por Hartemink *et al.* (2001), o número de aproximadamente 20% pode ser considerado elevado, pois o autor citado indica em artigo sobre a história da revista *Geoderma*, esse número não ultrapassou os 9% dos artigos com este foco.

Tabela 7. Percentual de trabalhos Abordagem pública considerando sua abordagem metodológica

Sub-nível A – método	%
Modelagem	40
Experimental	39
Opinião/revisão	21

A bacia hidrográfica, por ser a unidade geográfica de referência para o ciclo da água, é também uma unidade básica de estudo do processo erosivo, pois todas as suas etapas ocorrem dentro desta unidade. Ela representa a dimensão ou o recorte geográfico adotado em 40% dos trabalhos selecionados (Tabela 8). A dimensão política e parcelas representam cerca de 20% cada, enquanto 15% dos trabalhos não tinham limites dimensionais e o uso de biomas ocorreu em apenas 4% dos estudos (2 trabalhos). Neste ponto, os trabalhos com *abordagem pública* demonstram que a unidade básica de estudo é coerente com o entendimento do problema estudado, a bacia hidrográfica. Estudos com divisão política, embora conceitualmente falhos, são importantes para a compreensão de um gestor público nos diversos níveis (municípios, estados, países) e muitas vezes são a única forma de execução do trabalho (quando dados básicos são agregados por divisão política).

Tabela 8. Percentual de trabalhos Abordagem pública por dimensão espacial da pesquisa (unidade de estudo)

Sub-nível B - dimensão espacial	%
Bacia hidrográfica	40
Política	21
Parcela	19
Adimensional	15
Bioma	4

44 Uma ampla revisão sobre o tema pode ser consultada em Barretto (2007), p. 18-25.

Existe uma série de iniciativas para que a gestão ambiental passe da dimensão política para uma dimensão ambientalmente coerente, de bacia hidrográfica. Instrumentos de gestão de águas por bacias hidrográficas no Brasil foram instituídos no ano de 1997, quando foi definida a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n. 9.433/1997⁴⁵). Há a previsão da gestão compartilhada dos recursos hídricos, de acordo com a disponibilidade e demanda, por meio de comitês interinstitucionais que debatem, arbitram conflitos, aprovam e acompanham planos de bacias. Neste ponto, a dimensão de bacia permite um respeito metodológico (coerente com o processo natural) e tem uma compreensão por gestores. A importância da gestão de bacias hidrográficas, da gestão descentralizada e da articulação interinstitucional são amplamente debatidas por Porto e Porto (2008), bem como os avanços obtidos neste campo a partir da implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Geograficamente, temos como a localidade mais recorrente a região Sul, com 37% dos trabalhos analisados (Tabela 9). Seguidos por Brasil (sem divisões) e as regiões Nordeste e Sudeste (cerca de 10% cada). Esta concentração da pesquisa é observada em parte no estudo bibliométrico de Barretto *et al.*, 2008, no qual indica que a pesquisa brasileira em erosão acelerada está concentrada nas regiões Sul e Sudeste.

Tabela 9. Percentual de trabalhos Abordagem pública por local da pesquisa (Grandes regiões)

Sub-nível C – local da pesquisa	%
Sul	37
Brasil	12
Não definido	12
Nordeste	10
Sudeste	10
Centro-Oeste	8
Norte	6
Outros países	6
Diversos	2

A classe em 3º nível com maior quantidade de trabalhos é *Alterações de uso e manejo e consequências para a conservação do solo*, formada por mais da metade dos trabalhos analisados. Todos os percentuais são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Percentual de trabalhos para classificação em 3º nível

Classes em 3º nível	%
Alterações de uso e manejo e consequências para a conservação do solo	56
Estudos de externalidades do processo erosivo	44
Subsídio para zoneamento	25
Carbono do solo	23
Conservação de solo como um serviço ambiental	13
Educação e história da conservação do solo	6

45 Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

A classe *Alterações de uso e manejo* congrega uma série de elementos sob domínio humano. As decisões desta natureza são tomadas por gestores privados (agricultores ou técnicos), mas podem sofrer influência externa de mecanismos de gestão pública (incentivos econômicos, órgãos de extensão, capacitação técnica). A expansão da agricultura, especialmente em incremento de produtividade, é uma oportunidade para otimizar a conservação de solos agrícolas e de pastagens, conforme discutem Merten *et al.* 2009. Alterações de manejo e consequências para conservação de solo e do carbono no solo são discutidos por Tornquist *et al.* (2009), Silveira *et al.* (2011), Leite *et al.* (2004), Fageria (2012), Bortolon *et al.* (2012) e Bayer *et al.* (2016). O carbono do solo é um tema com grande representatividade na análise, devido às preocupações atuais da interferência em seu ciclo nas mudanças climáticas, representa 23% dos trabalhos analisados neste nível. Uma matriz de combinações é apresentada na Figura 4, em que cada valor representa o número de trabalho nas duas classes correspondentes e expõe o número de trabalho por cada classe em 3º nível e as combinações encontradas. Trabalhos que discutem externalidades de uso e manejo são os mais descritos (13), seguidos da influência do uso e manejo no ciclo do carbono (9) e dos trabalhos que tratam apenas de externalidade do processo (9).

Figura 4. Gráfico da matriz de classificação N3_publi. Tamanho das bolhas representam o número de trabalhos com a abordagem em ambas as classes (x,y).

A classe que trata das *Externalidades do processo erosivo* é bastante representativa, com 44%, sendo a bacia hidrográfica a unidade básica de estudo mais utilizada. O trabalho de Miguel *et al.* (2014), por exemplo, investiga a relação entre sedimentos e suas fontes geradoras. Por sua vez, o trabalho de Santos e Sparovek (2011) aborda impactos de sedimentos em áreas ripárias e a importância destas áreas para retenção de sedimentos, evitando chegar ao corpo d'água.

A classe *Subsídio para zoneamento* foi discutido em 25% dos trabalhos. A avaliação de risco de erosão em Rondônia (LU *et al.*, 2004), os reflexos de alterações de uso da terra no Ceará (Andrade e Oliveira, 2004) e a avaliação de aptidão agrícola de solos do Acre (Delarmelinda *et al.*, 2011) são alguns exemplos de trabalhos nesta classe.

O trabalho de Landers (1999) representa de forma clara a classe menos citada, “*Educação e história da conservação de solo*”, com 6%. O autor discute aspectos históricos, sociais e geográficos da expansão do sistema de plantio direto no Brasil.

Na classe *Conservação do solo como um serviço ambiental*, Rodrigues *et al.* (2011) propõe uma abordagem do ponto de vista da conservação de solo para o modelo de PSA denominado “Produtor de Água”, levando em consideração o risco de erosão e classes de aptidão agrícola para a valoração do serviço. Martins e Angers (2015) discutem os efeitos de diferentes tipos de plantas (de forma genérica) na geração de dois serviços ambientais: a prevenção de erosão do solo e o sequestro de Carbono. Existem tipos de plantas que favorecem um ou outro serviço, portanto, escolha da espécie deve ser coerente com o objetivo do serviço ambiental a ser prestado. Utilizando a USLE como modelo para apoiar decisões em projetos de PSA, Lima *et al.* (2014) propõe que áreas que possuam alto risco de perda de solo tenham um tratamento especial nestes tipos de projetos.

Constanza *et al.* (2014) afirmam que o caminho para atingir a valoração do serviço ambiental gerado deve ser o entendimento da contribuição que o estoque do capital natural traz para a comunidade e a sustentabilidade ambiental. Complementarmente, Jax *et al.* (2013) aborda a importância dos valores não humanos e das correlações ocultas entre beneficiários e beneficiados dos serviços, portanto, a valoração do serviço ambiental pode ser baseada em valores não monetários. Neste sentido, a contribuição de Sparovek e Schnug (2001) é um exemplo de valoração temporal da conservação, conceituada como de tempo de vida do solo, que é não monetária e que aborda os valores humanos (uso agrícola) e não humanos (existência do solo para os demais seres).

Compilando dados brasileiros e internacionais sobre a valoração monetária de erosão, a revisão de literatura de Telles *et al.* (2011) descreve os impactos internos e externos ao local do processo e contribui na sistematização de dados de valoração já obtidos nesta área no Brasil. Os dados descritos no trabalho de Landers *et al.* (2003) contribuem para o esclarecimento da valoração monetária da conservação do solo, estimando valores de benefícios internos e externos do sistema de plantio direto. A partir de uma série de estimativas de impacto, os valores chegam a mais de 3 bilhões⁴⁶ de dólares anuais em serviços gerados. Caso fosse comercializado, este serviço representaria um incremento de cerca de 4% no valor de produção gerado⁴⁷.

A etapa de valoração de serviços ambientais é complexa e possibilita diversas visões da questão, Bartkowski *et al.* (2015) aborda esta dificuldade em artigo sobre a biodiversidade. A área de conservação de solo no Brasil ainda é pouco estudada a partir do conceito de serviços ambientais e, portanto, pouco se discute formas de valoração.

2.4. As leis e a ciência estão convergindo?

As leis e normas brasileiras analisadas reconhecem a importância ambiental que a conservação de solo agrícola representa e que já foi exaustivamente comprovada por meio de trabalhos científicos. Entretanto, a governança sobre o tema de conservação de solo é dispersa. Na esfera federal há algumas ações de estímulo e nas esferas estaduais ações de responsabilização e incentivos econômicos são restritas a 8 estados.

Neste contexto, destacam-se normas de alguns estados. Legislações com mecanismos mais completos de controle ou estímulo, como do Tocantins, que prevê instrumentos de PSA entre entes federados (do estado para municípios). Em São Paulo, é previsto multa para o responsável pelo dano, mas é possível transformar esta multa em

⁴⁶ Considerando que 80% da área agrícola use o sistema de plantio direto na palha.

⁴⁷ Valor de produção para a agricultura de 2015 de 292 bilhões de reais (IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA) e a cotação do dólar americano para o dia 07/12/2016 (R\$ 3,40 de acordo com o Banco Central).

um projeto de adequação da área. O estado do Paraná utiliza o princípio da precaução em suas normas, ou seja, se há dúvidas ou não há confirmação da eficácia da atividade, não se deve aplicá-la.

Por falta de regulamentação, do ponto de vista dos marcos legais, os problemas de degradação de solos permanecem privados e internos ao próprio sistema que os cria (as atividades agrícolas, pecuária, etc.). Esta situação torna a tomada de decisão de efetivar mecanismos de conservação de solo incerta, pouco previsível e baseada em conhecimentos e motivações do gestor privado do sistema (agricultor, técnico responsável, etc.). De acordo com a revisão elaborada, a ciência e, especificamente, a área de conservação de solo tem contribuído para a visão privada da questão, definindo sistemas de manejo e produção mais eficientes e conservacionistas. A produção científica brasileira na área privilegiou aspectos específicos de física do solo, perda de fertilidade e tipos de preparo e aprofundou o entendimento do processo erosivo de forma bastante completa, mas não avançou para subsidiar ferramentas públicas de controle, tais como modelos de PSA, valoração e modelagem em larga escala.

O avanço científico e da legislação nos estados do Paraná e de São Paulo levou ao desenvolvimento de um conjunto de publicações técnicas (tais como Caviglione *et al.*, 2010; De Maria *et al.*, 2016) com diretrizes e parâmetros para a conservação do solo.

Complementar os instrumentos de estímulos e de controle demonstra ser o melhor caminho para a conservação. Regulamentar o controle, tira a incerteza, definindo o que é errado e o certo, mostra caminhos claros para não admitir o dano⁴⁸. Os incentivos econômicos fixam os fins regulatórios como meta, mas delimitam meios mais flexíveis para chegar, geralmente de uma forma menos complexa. Portanto, sistemas híbridos, que regulam o dano e estimulam a conservação tendem a ser mais eficientes e menos custosos que um sistema baseado em uma via.

Baseado nos princípios básicos do direito ambiental, na chave de classificação desenvolvida neste trabalho e na produção científica na área, algumas ferramentas possíveis para contemplar a conservação de solo no arcabouço legal são apresentadas:

- *Princípio da precaução*: zoneamentos e estabelecimento de critérios técnicos mínimos

A definição de locais sensíveis ou críticos para a conservação de solo, estabelecendo restrições para atividades agropecuárias já é feito em parte, por meio de zoneamentos ecológicos econômicos, mas devem ter a fragilidade dos solos ou o risco de degradação ou erosão compatíveis com sistemas de manejo definidos de forma mais clara. Critérios técnicos mínimos podem ser estabelecidos, compatibilizando as condições ambientais com os sistemas de manejo.

- *Princípio da responsabilidade*: o usuário do solo deve ser responsabilizado pelo mau uso do solo e pela geração do dano

É um princípio muito utilizado em ferramentas de comando e controle, com punições para o responsável pelo dano. A definição do dano é o primeiro passo para a responsabilização, definindo níveis toleráveis de perda de solo para erosão laminar e níveis de perda por ravinas (mais visíveis), com parâmetros de tamanho e profundidade. Outro ponto é a definir o limite da ação humana no controle de evento extremos. Os projetos de controle de erosão devem ser dimensionados com um nível de segurança (tempo de retorno) compatível com a atividade agrícola e o seu risco. Portanto, deve-se observar o mérito de projetos de conservação de solo e sua execução, não somente o dano causado após sua implantação..

⁴⁸ Em um entendimento binário das leis e normas, ou está dentro da lei ou fora dela. Esta característica necessita de critérios claros para sua efetividade.

- Princípio do poluidor-pagador: deve pagar pela poluição gerada

Não é uma liberação para poluir, mas se deve internalizar os custos de reparação natural, seja pelo agente poluidor ou pelo consumidor final do produto. Existem potenciais implicações para culturas não alimentares, como por exemplo a cana-de-açúcar. Sendo discutível ou questionável que uma cultura energética pague pela geração de danos ambientais os mesmos valores que uma cultura alimentar.

Incertezas adicionais aos sistemas normativos devem ser colocadas à luz das alterações climáticas. Eventos extremos no Brasil tendem a ter maior frequência com o aquecimento global (Groissman *et al.*, 2005). A ciência pode colaborar neste ponto, subsidiando modeladores e gestores com atualizações de parâmetros de erosividade das chuvas (p.e. dimensionamento de estruturas de contenção de água) e épocas críticas de preparo e plantio (planejamento agrícola) para estas novas condições. Esta pode ser mais uma variável de incerteza na responsabilização do causador do dano.

Referências

- Andrade JB, Oliveira TS. Análise espaço-temporal do uso da terra em parte do semi-árido cearense. R. Bras. Ci. Solo. 2004; 28:393-401. doi: 10.1590/S0100-06832004000200018
- Araújo LCM. Princípios Jurídicos do Direito Ambiental. Revista da AGU. 2010; 106:1-20.
- Auharek ZA, Araújo MM. A responsabilidade civil pelo dano ambiental. [internet]. PUC-MG. Acesso em 25 nov 2015. Disponível em http://www.fmd.pucminas.br/Virtuajus/1_2009/Discentes/A%20Responsabilidade%20Civil%20pelo%20dano%20Ambiental.pdf
- Balsan R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. Campo-território: revista de geografia agrária. 2006; 1:123-151.
- Barretto AGOP. História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo [dissertação]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2007.
- Barretto AGOP, Barros MG, Sparovek G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. R. Bras Ci. Solo. 2008; 32:2443-2460. doi:10.1590/S0100-06832008000600022
- Bartkowski B, Lienhoop N, Hansjürgens B. Capturing the complexity of biodiversity: A critical review of economic valuation studies of biological diversity. Ecological Economics. 2015; 113: 1–14. doi: 10.1016/j.ecolecon.2015.02.023
- Basher LR. Is pedology dead and buried? Australian Journal of Soil Research. 1997; 35:979-994. doi: 10.1071/S96110
- Bayer C, Gomes J, Zanatta JA, Vieira FCB, Dieckow J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. Soil & Tillage Research. 2016; 161:86–94. doi: 10.1016/j.still.2016.03.011
- Bortolon ESO, Mielniczuk J, Tornquist CG, Lopes F, Giasson E, Bergamaschi H. Potencial de Uso do Modelo Century e SIG para Avaliar o Impacto da Agricultura sobre Estoques Regionais de Carbono Orgânico do Solo. R. Bras. Ci. Solo. 2012; 36: 831-849. doi: 10.1590/S0100-06832012000300014

- Carvalho JLN, Raucci GS, Cerri CEP, Bernoux M, Feigl BJ, Wruck FJ, Cerri CC. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research*. 2010; 110: 175–186. doi: 10.1016/j.still.2010.07.011
- Caviglione JH, Fidalski J, Araújo AG, Barbosa GMC, Llanillo RF, Souto AR. Espaçamento entre terraços em plantio direto. 1a ed. Londrina: IAPAR; 2010 (Boletim técnico 71).
- Costa DSC. A tutela jurídica do meio ambiente. *Revista Intertemas*. 2007; 12: 321-341.
- Costanza R, De Groot R, Sutton P, Ploeg SVD, Anderson SJ, Kubiszewski I, Farber S, Turner RK. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*. 2014; 26:152-158. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- De Groot RS. Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*. 1987; 7: 105- 109. doi: 10.1007/BF02240292
- De Maria IC, Drugowich MI, Bortoletti JO, Vitti AC, Rossetto R, Fontes JL, Tcatchenco J, Margatho SMF. Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar. 1a ed. Campinas: IAC, 2016 (Boletim Técnico IAC n. 216).
- Delarmelinda EA, Wadt PGS, dos Anjos, LHC, Masutti CSM, Silva EF, Silva MB, Coelho RM, Shimizu SH, Couto WH. Avaliação da aptidão agrícola de solos do Acre por diferentes especialistas. *R. Bras. Ci. Solo*, 2011; 35:1841-1853. doi: 10.1590/S0100-06832011000600001
- Dolabella RHC Legislação brasileira e programas do governo federal para o uso sustentável e a conservação de solos agrícolas. Brasília: Câmara dos deputados; 2014. (Estudo consultoria legislativa).
- Dominati EJ, Mackay A, Lynch B, Heath N, Millner I. An ecosystem services approach to the quantification of shallow mass movement erosion and the value of soil conservation practices. *Ecosystem Services*. 2014; 9: 204–215. doi: 10.1016/j.ecoser.2014.06.006
- Fageria NK. Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2012; 43:2063-2113. doi: 10.1080/00103624.2012.697234
- Groissman P, Knight RW, Easterling DR, Karl TR, Hegerl GC, Razuvayev VN. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*. 2005; 18:1326-1350. doi:10.1175/JCLI3339.1
- Hammerschmidt D. O risco na sociedade contemporânea e o princípio da precaução no direito ambiental. *Revista Sequência*. 2002; 23:97-122.
- Hartemink AE, Mcbratney AB, Cattle .A. Developments and trends in soil science: 100 volumes of *Geoderma* 1967–2001. *Geoderma*. 2001; 100:217–268. doi: 10.1016/S0016-7061(01)00024-6
- Heal GM, Barbier EE, Boyle KJ, Covich AP, Gloss SP, Hershner CH, Pringle CM, Polasky S, Segerson K. Valuing Ecosystems Services: Toward Better Environmental Decision-Making. 1a ed. Washington: National Research Council; 2005.
- Janzen HH. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agr. Ecosyst. Environ*. 2004; 104:399–417. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.040
- Jax K, Barton DN, Chan KMA, De Groot R, Doyle U, Eser U, Görg C, Gómez-Baggethun E, Griewald Y, Haber W, Haines-Young R, Heink U, Jahn T, Joosten H, Kerschbaumer L, Korn H, Luck GW, Matzdorf B, Muraca B, Neßhöver C, Norton B, Ott K, Potschin M, Rauschmayer F, Von Haaren C, Wichmann S. Ecosystem services and ethics. 2013; 93:260–268. doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.06.008
- Landers JN, Barros GSC, Rocha MT, Manfrinato WA, Weiss J. Environmental impacts of zero tillage in Brazil - a first approximation. In: Garcia-Torres L, Benites J, Marínez-Vilela A, Holgado-Cabrera A. editores. *Conservation*

- Agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy. Roma:FAO/ECAF, 2003. p. 341-350.
- Landers JN. Technology transfer mechanisms for the new zero tillage techniques in the savannahs of central Brazil and its benefits for the environment. In: F. Rasolo & M. Raunet, eds. *Gestion Agrobiologique du Sol et des Systèmes de Culture - Acts of the international workshop*, Antsirabe: CIRAD; 1998.
- Leite LFC, Mendonça ES, Machado PLOA, Fernandes Filho EI, Neves JCL. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. *Geoderma*. 2004; 120:283–295. doi: 10.1016/j.geoderma.2003.09.010
- Lima JEFW, Lopes WTA, Aquino FG, Oliveira-Filho EC, Sano EE, Silva FDM. Assessing the use of erosion modeling to support payment for environmental services programs. *J Soils Sediments*. 2014; 14:1258–1265. doi: 10.1007/s11368-013-0821-0
- Lu D, Li G, Valladares GS, Batistella M. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degrad. Develop*. 2004; 15:499–512. doi: 10.1002/ldr.634
- Margulis S. A regulamentação ambiental: instrumentos e implementação. Rio de Janeiro: IPEA; 1996. (Texto para discussão n° 437).
- Martins MR, Angers DA. Different plant types for different soil ecosystem services. *Geoderma*. 2015; 237:266–269. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.09.013
- Metzger JP. O Código Florestal tem Base Científica. *Conservação e Natureza*. 2010; 8:92-99. doi: 10.4322/natcon.00801017
- Miguel P, Dalmolin RSD, Pedron FA, Moura-Bueno JM, Tiecher T. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta. *R. Bras. Ci. Solo*. 2014; 38:585-598. doi: 10.1590/S0100-06832014000200023
- Moura AMM. Trajetória da política ambiental federal brasileira. In: Moura AMM (editora). *Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas*. Brasília: Ipea; 2016.
- Nazo GN, Mukai T. O direito ambiental no brasil: evolução histórica e a relevância do direito internacional do meio ambiente. *R. Dir. Adm*. 2001; 224:117-145. doi: 10.12660/rda.v223.2001.48313
- Neves Neto, C.C. O Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas em São Paulo: o caso do município de Assis/SP [dissertação]. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista; 2009.
- ONU Organização Das Nações Unidas. Acordo de Paris. Paris, 2015. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/acordodeparis/>>. Acesso em 30 de nov de 2016.
- ONU Organização Das Nações Unidas. Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>. Acesso em 30 de nov de 2016.
- Porto MFA, Porto RL. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*. 2008; 22:45-60. doi: 10.1590/S0103-40142008000200004
- PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do bioma caatinga. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002.
- Rodrigues DBB, Sobrinho TA, Oliveira PTS, Panachuki E. Nova abordagem sobre o modelo brasileiro de serviços ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 2011; 35:1037-1045. doi: 10.1590/S0100-06832011000300037
- Santos DS, Sparovek G. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *R. Bras. Ci. Solo*. 2011; 35:1811-1818. doi: 10.1590/S0100-06832011000500035

- Santos HG, Aglio ML, Dart RO, Breffin MLMS, Souza JS, Mendonça LR. Distribuição espacial dos níveis de levantamento de solos no Brasil. In Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo; agosto 2013; Florianópolis. Florianópolis: SBCS; 2013.
- Scaff FF, Tupiassu LVC. Tributação e políticas públicas: o ICMS ecológico. *Verba Juris*. 2004; 3:154-190.
- Silva JAA, Nobre AD, Manzatto CD, Joly CA, Rodrigues RR, Skorupa LA, Nobre CA, Ahrens S, May PH, Sá TODA, Cunha MC, Rech Filho EI. O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. 1a edição. São Paulo: SBPC/ABC. 2011.
- Silveira FM, Favaretto N, Dieckow F, Pauletti V, Vezzani FM, Silva EDB. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *R. Bras. Ci. Solo*. 2011; 35:1759-1767. doi: 10.1590/S0100-06832011000500030
- Sparovek G, Barreto A, Klug I, Papp L, Lino J. A revisão do código florestal brasileiro. *Novos Estudos*. 2011; 89:111-135. doi: 10.1590/S0101-33002011000100007
- Sparovek G, Schung E. Temporal Erosion-Induced Soil Degradation and Yield Loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2011; 65:1479–1486. doi: 10.2136/sssaj2001.6551479x
- Strokes DE. O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica. 1a edição. Campinas: Editora da Unicamp; 2005.
- Telles TS, Guimarães MF, Dechen SCF. The costs of soil erosion. *R. Bras. Ci. Solo*. 2011; 35:287-298. doi: 10.1590/S0100-06832011000200001
- Tornquist CG, Mielniczuk J, Cerri CEP. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. *Soil & Tillage Research*. 2009; 105:33-43. doi: 10.1016/j.still.2009.05.005
- Tundisi JG, Tundisi TM. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*. 2010; 10:67-75. doi: 10.1590/S1676-06032010000400010
- Vedovato LB, Fonseca MG, Arai E., Anderson LO, Aragão LEOC. The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Reg Environ Change*. 2016; 16:2485–2490.

3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO FATOR C (COBERTURA E MANEJO) PARA A CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

O Fator C é uma das variáveis que compõe a RUSLE, captando alterações de cobertura e manejo do solo. Dada a importância econômica da cana-de-açúcar, bem como sua grande extensão em área plantada e alterações recentes de manejo, a conservação de solo se tornou uma questão em pauta para esta cultura. O estudo buscou compilar, comparar e avaliar os valores de Fatores C da cana-de-açúcar utilizados na literatura técnica e científica, como forma de subsidiar modeladores e cientistas do solo sobre o estado da arte neste tema. Foram encontrados 39 trabalhos, dos quais 14 são fontes primárias (geraram novos valores de C). Uma síntese de inter-relações na forma de figura foi construída, apresentando valores e as citações entre os trabalhos. A sua análise permite afirmar que há poucas citações de fontes primárias (predomínio de citações de citações), há casos de descontinuidades de valores utilizados, constata-se uma variação grande nos valores obtidos, com amplitude de 0.0012 a 0.5800, poucas fontes de dados primárias para as condições brasileiras (5) e apenas um trabalho com revisão por pares. Esta situação do uso do Fator C da cana-de-açúcar pode causar confusões e os resultados podem não ser compatíveis com a área a ser modelada.

Palavras-chave: RUSLE; USLE; Modelagem, Erosão do solo, Revisão de literatura

ABSTRACT

The C-Factor is one of the variables that compose RUSLE model, capturing changes in soil cover and management. Considering the economic importance of sugarcane cultivation and its recent management changes, soil conservation has become a matter of concern for this crop. The study sought to compile, compare and evaluate the values of sugarcane C-factors used in the technical and scientific literature, as a way to subsidize modelers and soil scientists about the state of the art in this theme. 39 papers were found, from which 14 are primary sources (generated new values of C-Factor). A synthesis of inter-relations in figure form was constructed, presenting values and citations between the works. Their analysis allows affirming that there are few citations from primary sources (predominance of citations of citations), there are cases of discontinuities of values, there is a great variation in the obtained values, with amplitude of 0.0012 to 0.5800, few sources of primary data for Brazilian conditions (5) and only one paper with peer review. This use of sugarcane Factor C can cause confusion and the results may not be compatible with the area to be modeled.

Keywords: RUSLE; USLE; Modeling; Soil erosion; Literature review

3.1. Introdução

A ocupação humana é uma força motriz de aceleração de processos erosivos. O uso da terra, bem como o manejo adotado, é decisivo para a compatibilidade e longevidade da relação entre a ocupação humana e o solo. A cobertura vegetal tem relação direta com a intensidade dos processos erosivos. Há um amplo e consolidado conhecimento científico na área, tal como apresentado por Wischmeier e Smith (1978), Dechen *et al.* (2015), entre outros.

Em modelos de perda de solo, o Fator C (manejo e cobertura, da USLE) agrega informações fenológicas (cobertura do dossel, produção de matéria seca e ciclo produtivo) e de manejo (época de preparo, plantio e colheita, tipo de preparo, cobertura do solo) com informações ambientais (precipitação).

Para o planejamento da utilização do solo, tendo como ponto de vista a conservação do mesmo, pode ser utilizado o fator manejo e cobertura, Fator C, da USLE (Equação Universal de Perda de Solo). Atualmente existe um extenso banco de dados de valores de Fator C para diversas culturas e sistemas de manejo, com amplo campo de testes, especialmente para climas temperados (Wischmeier e Smith, 1978; Morgan, 2005). Este banco de dados é base para modeladores em trabalhos de quantificação da perda de solo e dinâmica de sedimentos.

O Fator C é o dado de entrada de uma série de modelos, tais como USLE (Wischmeier e Smith, 1978), RUSLE (Renard, 1997), MUSLE (Williams, 1975), USLE-MM (Bagarello *et al.*, 2010), InVest (Tallis *et al.*, 2013) e GHSSA (Downer *et al.*, 2003) e tem a função de gerar variância do ponto de vista do uso e manejo do solo nestes modelos.

O manejo agrícola pode ser definido como uma série de operações executadas com a finalidade de permitir o melhor desenvolvimento vegetal possível, tais como: época de plantio, tipo de preparo de solo, variedade escolhida, lâmina de irrigação, manejo de pragas, densidade de plantio, etc. Há, portanto, uma série de variáveis que influenciam diretamente neste processo que estão sob o controle do homem.

No contexto da cultura da cana-de-açúcar, a recente expansão de 63% da área plantada nos últimos 10 anos foi principalmente em estados do Centro-Sul brasileiro (CONAB, 2016b). Há estudos que relatam alterações no uso da terra, com a cana-de-açúcar substituindo áreas de pastagens (Sparovek *et al.*, 2009; Lourenzani e Caldas, 2014), geralmente com aptidão mais baixa e mais suscetíveis a erosão. A relativa recente alteração na matriz de colheita, saindo da colheita manual para a colheita mecanizada, tem causado impactos ainda não claros para a conservação de solo. Por um lado, há maior cobertura da liteira (solo), por outro há maior compactação e diminuição da infiltração pelo trânsito de máquinas maiores e mais pesadas. Este aumento foi amplamente discutido em eventos temáticos⁴⁹, se refletindo inclusive em atualizações na legislação de conservação de solo de forma específica para a cultura da cana-de-açúcar⁵⁰.

3.1.1. Objetivo

O estudo demonstrado no presente capítulo teve como objetivo compilar e comparar os valores de Fatores C da cana-de-açúcar utilizados na literatura técnica e científica, como forma de subsidiar modeladores e cientistas do solo sobre o estado da arte neste tema.

Para além da compilação, é uma avaliação bibliométrica da produção acadêmica que gerou (chamadas “fontes primárias”) ou utilizou (citou) o Fator C da cana-de-açúcar, do ponto de vista metodológico, geográfico e das conexões entre os trabalhos.

⁴⁹ Eventos organizados pela Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB), Simpósio de Conservação do solo e da água em áreas de cana-de-açúcar, 2013 e 2014.

⁵⁰ Portaria CDA n. 15, de 14 de agosto de 2012.

3.2. Metodologia

A premissa básica para a seleção dos trabalhos foi a de identificar em seu conteúdo o valor do Fator C para a cana-de-açúcar, seja no corpo do texto, em anexos ou em informações de suporte. Pela abrangência restrita do escopo da pesquisa, não foi descartado nenhum tipo de trabalho, mesmo os que não são necessariamente submetidos a uma revisão por pares, como por exemplo, resumos de congressos, trabalhos de conclusão de curso ou boletins técnicos.

A pesquisa bibliográfica foi executada em oito bases de dados gerais e de trabalhos técnicos e acadêmicos, nacionais e internacionais até 17/08/2016. As bases utilizadas foram:

- Web of Science™ (ISI);
- Scopus®;
- DEDALUS (sistema de bibliotecas da Universidade de São Paulo);
- P@rthenon (sistema de bibliotecas da Universidade Estadual Paulista);
- BSP@ (Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária da EMBRAPA);
- SophiA® (sistema de biblioteca do IAC);
- Google Acadêmico e
- Google.

Os termos utilizados no levantamento dos trabalhos foram “Fator C cana-de-açúcar” e suas variações em português e inglês. Os trabalhos foram organizados na forma de tabela, com os campos descritos na Tabela 11. Quando identificadas as citações relacionadas ao Fator C, foram feitas buscas pretéritas, com o objetivo de encontrar o trabalho gerador da citação do Fator C.

Tabela 11. Descrição das variáveis que compõe o banco de dados da pesquisa bibliográfica

Rótulo	Tipo de dados	Descrição
Valor de Fator C	Numérico	Numérico, 0-1, formato de quatro casas decimais
Condições	Alfanumérico	Descrição geral das condições de manejo e ambiental do local da pesquisa
Metodologia para obtenção ou citação de outros trabalhos	Alfanumérico	Descrição sucinta da metodologia (caso for fonte primária) ou citação de outros trabalhos (caso apenas citar o fator)
Autor(es) (ano)	Alfanumérico	Citação do autor e ano da publicação do trabalho
Local do estudo (UF)	Alfabético	Nome da Unidade da Federação (Se país=Brasil)
Local do estudo (país)	Alfabético	Nome do país que abrigou a pesquisa
Tipo de trabalho	Alfabético	Classificação do trabalho entre: i) livro, ii) artigo revisado por pares, iii) TCC/dissertação/tese, iv) boletim técnico/trabalho de congresso e v) outros

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. O Fator C da cana-de-açúcar: análise bibliométrica e histórica

Foram encontrados 39 trabalhos que citavam explicitamente o fator. A amplitude de valores do Fator C encontrados está no intervalo de 0.0012 a 0.5800. Dos estudos selecionados, 14 são fontes primárias, desenvolvidos por experimentação (parcelas padrão) ou a partir de dados de evolução da cobertura. Adicionalmente, 4 trabalhos são citados como fontes, mas não consta em seu conteúdo o Fator C para cana-de-açúcar. Dois trabalhos são citados, mas não foi obtido acesso ao seu conteúdo⁵¹ (Tabela 12).

Tabela 12. Trabalhos citados sem valores de Fator C ou não encontrados

Descrição do trabalho	Autor(es)	Tipo de trabalho
Não encontrado	Soil Conservation Service (1975)	Boletim técnico
Não encontrado	Hamer (1981)	Boletim técnico
Apresenta as bases teóricas de determinação dos fatores da USLE (não há citação do Fator C da cana-de-açúcar)	Wischmieier e Smith (1978)	Boletim técnico
Os autores apresentam tabelas com valores de Fator C (não há citação do Fator C da cana-de-açúcar)	Mitchell e Bubenzer (1980)	Livro
Dados gerados pela seção de conservação de solo do IAC, razões de perda de solo em parcelas (não há citação do Fator C da cana-de-açúcar)	Bertoni e Lombardi Neto (1990)	Livro
Dados gerados pela seção de conservação de solo do IAC, razões de perda de solo em parcelas (não há citação do Fator C da cana-de-açúcar)	Bertoni e Lombardi Neto (1995)	Livro

A síntese dos resultados da revisão está na Figura 5, que reúne informações dos trabalhos analisados, com ano de publicação (eixo y), valor do fator, tipo de trabalho e se é citação ou fonte primária. Há as inter-relações entre os trabalhos (flechas) e eventuais discontinuidades ou valores incompatíveis com os dados originais citados. O banco de dados completo é apresentado no APÊNDICE C.

⁵¹ O trabalho “Second soil conservation consultant report”, de Hamer W.I., citado por Vis (1987), é um relatório técnico da FAO/ONU, disponível apenas na biblioteca da instituição em Roma. Já o trabalho “Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas”, elaborado por Soil Conservation Service, citado por Brooks (1977), é nota técnica do serviço de conservação de solo não encontrada com a descrição dada pelo autor nas referências bibliográficas.

Figura 5. Trabalhos que utilizam o Fator C da cana-de-açúcar e suas conexões (setas): por intervalo de valores (tamanho das formas), por tipo de publicação (cor), ano (posição vertical no gráfico) e se for fonte primária ou citação (formato). As setas em vermelho apenas transpõem citações ou outras setas, não sendo um novo símbolo

Analisando o período de publicação dos artigos, é observado um recente aumento no número de trabalhos. As publicações tiveram início no final da década de 70 e apresentam um aumento no último quinquênio de análise (2011-2015) (Figura 6).

Figura 6. Quantitativo de publicações com Fator C da cana-de-açúcar: total e trabalhos que geraram novos valores

Geograficamente, os trabalhos concentram os estudos no Sudeste brasileiro (26), especialmente no estado de São Paulo (19). No Nordeste, foram 6 trabalhos desenvolvidos nos estados da Paraíba, Pernambuco e Sergipe. Fora do Brasil, destacam-se os Estados Unidos (10 trabalhos entre Hawaii, Porto Rico e parte continental). O estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil (CONAB, 2016a) e tem uma produção acadêmica robusta na área de erosão (Barretto *et al.*, 2008), portanto esta concentração de trabalhos é coerente e esperada.

Quanto a variabilidade dos resultados, para cada região, há variações significativas de resultados. Sendo as maiores (diferença entre valor mais alto e mais baixo), dentro dos agrupamentos regionais, são: Hawaii (0.44), Pernambuco (0.29) e São Paulo e Paraná (0.25) (Figura 7).

Em relação ao número de citações, os trabalhos mais citados são de Ribeiro e Alves (2007), de De Maria *et al.* (1994) e de Donzelli *et al.* (1992), citados por outros três autores cada um. Destes, apenas o trabalho de De Maria *et al.* (1994) é uma fonte primária.

De todos os trabalhos que usaram (citaram) o valor de C, apenas nove autores usaram as fontes primárias⁵² (Aragão *et al.*, 2013; Andrade *et al.*, 2011; Bacchi *et al.*, 2003; Sparovek *et al.*, 2000; Vázquez-Fernández, 1996; Ramos-Scharron, 2015; Mata, 2009; Vis, 1987; Brooks, 1977). São utilizadas comunicações pessoais ou dados não publicados por dois autores (Donzelli *et al.*, 1992; Cavalieri, 1998), fontes que não constam valores de Fator C para a cultura em três trabalhos (Silva *et al.*, 2007; Morgan, 1986; Costa e Silva, 2012) e os demais trabalhos analisados utilizam citações não primárias.

⁵² Não foi encontrada as fontes primárias de Vis (1987) e Brooks (1977) (Hamer, 1981 e SCS, 1975, respectivamente). Considerou-se como fontes primárias validadas nesta análise.

Figura 7. Variação dos valores (pontos) e número de trabalho (barras) de Fator C por local de estudo

Os trabalhos básicos: geração de dados primários no Brasil.

Dos 14 trabalhos levantados nos quais foram determinados o do Fator C para a cana-de-açúcar, sete foram elaborados no Brasil. Os primeiros trabalhos datam nos anos 1980 e 1990, desenvolvidos no IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) não foram publicados, porém serviram de base para estudos posteriores, conforme observado em algumas citações destes estudos por Donzelli *et al.* (1992) e Cavalieri (1998). O primeiro trabalho publicado com o Fator C calculado no Brasil foi elaborado por De Maria *et al.* (1994) e foi baseado em um sistema de três ciclos de corte da cultura e baseados em dois tipos de solos diferentes. Este precursor trabalho está disponível na forma de resumo da Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, em 1994, sem revisão por pares.

Amaral (2003) e Serra (2004) desenvolveram o Fator C da cana-de-açúcar para a região de Catanduva (SP) e Jaboticabal (SP), respectivamente. Amaral (2003) utilizou em seus estudos parcelas padrão, com a adoção de chuvas artificiais e calhas coletoras, enquanto Serra (2004) utilizou a razão da perda de solo (RPS) de Pundek (1994) para as erosividades locais. Ambos são trabalhos de conclusão de curso, com circulação restrita⁵³ e sem revisão por pares.

Weill e Sparovek (2008) desenvolveram um trabalho aplicado, utilizando o Fator C para mapear a perda de solo em uma bacia. Neste estudo, o valor do Fator C (0.3066) foi calculado com base em uma publicação de Machado *et al.* (1982), no qual foram determinados índices biométricos para a cana-de-açúcar em função de dias após o plantio. Não é especificada no estudo a metodologia da determinação. Este foi o primeiro artigo nacional, submetido a uma revisão por pares, em que foi publicado um novo valor de Fator C para cana-de-açúcar.

A tese de doutoramento de Corrêa (2016) explorou de forma abrangente o Fator C e a MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada). Foram calculados quatro Fatores C, baseados em quatro parcelas padrão e chuvas naturais. Como resultado, para cana planta, com plantio em julho, uso anterior pastagens e sem restos culturais: 0.4314 e 0.4181; e para cana em 3ª colheita, 2ª colheita mecânica, com manutenção dos restos culturais, colheita em junho: 0.2342 e 0.1308. Resumidamente, as fontes primárias desenvolvidas no Brasil estão descritas na Tabela 13.

⁵³ Disponível apenas na biblioteca física da UNESP/Jaboticabal.

Tabela 13. Trabalhos com cálculo do Fator C de cana-de-açúcar: descrição detalhada e valores

Autor	Método para determinar a RPS	Tipo de cana	Descrição do sistema de manejo	Fator C
De Maria <i>et al.</i> (1994)	Parcelas padrão e chuvas naturais	Ciclo completo	Locais: Campinas e Pindorama Cana de ano Ciclo de 3 cortes,	0.1100
Amaral (2003)	Parcelas padrão e chuvas artificiais	Não descrito	Local: Catanduva Manutenção de 100% da palha no campo	0.114
		Não descrito	Local: Catanduva Manutenção de 50% da palha no campo	0.317
Serra (2004)	RPS obtidas por Pundek (1994)	Planta	Local: Jaboticabal Referente ao período de fim do ciclo anterior até o primeiro corte	0.060
Weill e Sparovek (2008)	Não descrito ⁵⁴	Não descrito	Local: Piracicaba (SP)	0.3066
Corrêa (2016)	Parcelas padrão e chuvas naturais	Soca	Local: Rio Claro Manutenção de 100% da palha no solo	0.2342 e
			Referente ao período entre o segundo e terceiro corte.	0.1308 ⁵⁵
		Planta	Local: Rio Claro Cana de ano Preparo em outubro, retirada total da palha no solo Referente ao período de fim do ciclo anterior até o primeiro corte.	0.4314 e 0.4181 ⁵⁵

As fontes primárias têm descrição simplificada do sistema de manejo. Particularidades importantes de manejo da cultura foram relegados ou descritas de forma incompleta, tais como época de preparo, de plantio, cultura de cobertura, número de ciclos.

Variações quanto ao valor adotado. A cana-de-açúcar tem como característica de manejo, possuir ciclos variáveis de corte e de renovação (retirada e implantação de um novo canavial, com novas mudas). Os ciclos variam de um ano, quando o plantio ocorre no início da época das águas no Sudeste brasileiro, a até dois anos, como ocorre no Hawaí e no Brasil quando há cana-de-açúcar bisada⁵⁶.

⁵⁴ Baseado em curvas de crescimento de cultura da cana-de-açúcar de Machado et al (1982).

⁵⁵ Os dois valores referem-se a diferentes posições no relevo.

⁵⁶ Cana bisada é a cana não colhida, ficando no campo por dois ciclos agrícolas (cerca de 2 anos), geralmente por dificuldade operacional do produtor ou baixa demanda na unidade industrial de processamento. Este tipo de cana é marginal no processo produtivo brasileiro, como aponta estudo de Novaes et al (2011).

Dos trabalhos analisados, o menor valor de Fator C, é descrito no trabalho de Costa e Silva (2012), sendo de 0.0012 em clima tropical úmido, na zona da mata paraibana (bioma Mata Atlântica). Adaptando os valores de RPS de Bertoni e Lombardi Neto (1990), os autores chegaram a um valor de Fator C da cana-de-açúcar cerca de 10x menor do que o obtido para Mata Atlântica por Martins *et al.* (2010) e na mesma ordem de grandeza encontrado para florestas por Wischmeier e Smith (1978). O valor mais alto determinado foi de 0.5800, obtido por Evensen *et al.* (2001), este estudo foi desenvolvido no estado americano do Hawaí, onde, devido às condições climáticas, o ciclo da cana-de-açúcar é de 24 meses e seu fechamento tende a demorar mais que nas condições apresentadas no Brasil.

O intervalo encontrado, do mínimo ao máximo (0.0012 a 0.5800), resulta em uma variação de mais de 480 vezes entre os valores de perda de solo, podendo causar entendimentos e dimensionamentos variados, especialmente quando analisado à luz da tolerância à perda de solo.

Outro ponto importante verificado é a descontinuidade ou as adaptações sem clareza de valores de Fator C entre as citações. Tais como encontrado por Silva *et al.* (2012), Silva *et al.* (2007) e Mitchel e Bubenzer (1980), relatando valores de Fator C de 0.018, 0.1743 e nenhum, respectivamente. Ou como nos trabalhos de De Maria *et al.* (1994), Sparovek *et al.* (2000) e Bacchi *et al.* (2003), com valores de 0.1100, 0.3066⁵⁷ e 0.3066⁵⁷, respectivamente (estas descontinuidades são mais claramente compreendidas nas conexões com traços duplos transversais na Figura 5).

3.3.2. O conceito do Fator C na literatura básica: bases para a aplicação

A história dos esforços para estimar a perda de solo por meio de modelos é esmiuçada por Laflen e Moldenhauer (2003). Os modelos iniciais sequer previam a cobertura do solo, contemplando apenas a morfologia do terreno como variáveis, como nos modelos propostos por Zing, Smith e Browning, respectivamente nos anos de 1940, 1941 e 1947 (Laflen e Moldenhauer, 2003).

Ainda sem o nome de Equação Universal de Perda de Solo (apenas Equação Universal), a primeira publicação em manuais do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) por Wischmeier e Smith (1961), descreve a complexidade que envolve este fator pelas diferenças de manejo e locais de cultivo e o procedimento de cálculo.

Os efeitos da cobertura e manejo não devem ser analisados independentemente, mas sim ao longo do ciclo agrícola como um todo (Wischmeier e Smith, 1961). O regime de chuvas tem alterações significativas para cada localidade, impactando diretamente na erosividade da chuva e também no Fator C. Deve-se, portanto, regionalizar o Fator C, como descrito por Wischmeier e Smith (1978):

A correspondência dos períodos de precipitação altamente erosiva com períodos de cobertura vegetal alta ou baixa difere entre regiões ou locais. Portanto, o valor de C para um sistema de cultivo em particular não será o mesmo em todas as partes do país. Derivar os valores C apropriados para uma determinada localidade requer conhecimento da distribuição da chuva erosiva local ao longo dos 12 meses do ano e o nível de proteção que as plantas em crescimento fornecem contra a erosão, resíduos de culturas e práticas de controle executados fornecerão no momento em que as chuvas erosivas são mais prováveis de ocorrer. (p. 17-18).[tradução nossa]

⁵⁷ Sparovek *et al.* (2000) e Bacchi *et al.* (2003) colocam como valor de CP= 0.1533. Considerando o valor de P=0.5, o valor isolado de C=0.3066.

Conhecer todo o ciclo do sistema de cultivo, desde o fim do ciclo anterior, passando pela cultura de cobertura (se houver) e pelo tamanho do ciclo (quantos cortes de cana ocorreram no ciclo) é pré-requisito para determinação do Fator C, em sua concepção original. O manual da RUSLE (Renard *et al.*, 1997) é bem claro neste ponto:

Em quase todas as culturas, e em muitos casos de pastagens, os parâmetros de cobertura e solo se alteram com o tempo devido a manejos específicos ou ciclos climáticos naturais (inverno/verão, por exemplo). Isto demanda que o RPS seja calculado na frequência suficiente ao longo de um ano ou do ciclo de rotações de cultura para proporcionar uma medida adequada de como se alteram no tempo. (p. 147). [tradução nossa].

Valor de Fator C é anual, mas deve compreender todo o ciclo da cultura, incluindo rotações. Para a cana-de-açúcar, que possui como característica a semiperenidade, não é possível determinar o Fator C nos moldes propostos da USLE (Wishmeier e Smith, 1978) e da RUSLE (Renard, 1997) com apenas um ano de coleta de dados. Em um ano é possível ter um valor de Fator C parcial da cultura para o período. Um estudo de longo prazo, plurianual, é necessário, até que as variáveis de cobertura e manejo se tornem constantes.

Na cultura da cana-de-açúcar, depois do 1º corte, o desenvolvimento segue um padrão semelhante, com a soqueira já estabelecida, há sucessivos cortes anuais, geralmente na mesma época do ano. As curvas de crescimento nos intervalos tendem a diminuir o vigor e produtividade (Teramoto, 2003; CONAB, 2015), resultando em uma sensível variação negativa ao longo dos cortes.

Há condições de estudos que, para captar as situações do período de interesse, o dado de entrada do modelo deve ser um recorte do ciclo da cultura. Como por exemplo, um trabalho que tenha como objetivo discutir a influência da renovação do canavial na perda de solo. Nesta situação, um valor de Fator C para o ciclo completo da cultura diminuiria drasticamente os valores finais de perda de solo, o valor de C para este período específico seria mais coerente.

3.4. Considerações finais

Após uma análise geral dos trabalhos, podemos afirmar que existem poucas citações de fontes primárias (predomínio de citações de citações), foram observados casos de descontinuidades de valores utilizados e se constata uma variação grande nos valores obtidos, com amplitude de 0.0012 a 0.5800, poucas fontes de dados primárias para as condições brasileiras (5) e apenas um trabalho com revisão por pares. Esta situação do uso do Fator C da cana-de-açúcar pode causar confusões e resultados não compatíveis com a ser área modelada.

Em linhas gerais, conforme descrito no item anterior, a busca por regionalização dos valores, da análise do ciclo completo da cultura e a descrição clara do sistema de manejo adotado são premissas básicas para geração de valores de Fator C. No contexto explorado neste capítulo, devido ao baixo número de trabalhos de fonte primária e a alta variabilidade de condições ambientais e de manejo, algumas sugestões aos pesquisadores da área podem ser feitas:

- *Cientistas do solo*: geradores de dados primários

A clareza na descrição das condições de manejo dos valores obtidos é fundamental. O modelador necessita grande quantidade de informação das condições para que eleja um valor compatível com sua área de estudo.

Com a preocupação com o conceito básico do Fator C, a padronização torna a utilização do conceito e do próprio valor gerado mais clara e objetiva. Ou seja, valores parciais (ou de uma parte do ciclo) tem diversas aplicações e devem estar claramente descritos como tal.

- *Modeladores*: usuários de dados primários

A USLE é utilizada como base para modelos que buscam entender os processos ambientais gerais, tal como o InVest (Tallis *et al.*, 2013). Na utilização do Fator C, é importante estabelecer as condições ambientais e de manejo da área a ser modelada e buscar na literatura valores de Fator C compatíveis com as condições, especialmente para a cultura da cana-de-açúcar. A USLE é um modelo multiplicativo e variações no Fator C são diretamente proporcionais a variações no resultado final de perda de solo. Há uma clara dificuldade para modeladores de perda de solo que trabalham com cana-de-açúcar pela falta de trabalhos com valor de C em diferentes condições e pela disseminação de uso de valores com critérios pouco claros. Esta dificuldade deve ser colocada de forma clara nos trabalhos desta natureza.

Trabalhos de campo e experimentais estão sendo substituídos por estudos desenvolvidos em escritório, especialmente trabalhos de modelagem, como relatado historicamente na revista *Geoderma* por Hartemink *et al.* (2001). Há, portanto, uma demanda crescente de dados de entrada confiáveis para os modeladores e, por outro lado, a necessidade de critérios objetivos na utilização de modelos e bases de dados compatíveis. O uso das fontes primárias do dado de entrada é fundamental para ter conhecimento da origem, forma de obtenção e diminuir eventuais descon continuidades de valores (erros).

Referências

- Amaral NS. Variabilidade espacial da expectativa e risco de erosão num Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar em Catanduva (SP). [Trabalho de conclusão de curso]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2003.
- Andrade NSF, Martins Filho MV, Torres JLR, Pereira GT, Marques Júnior J. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar *Engenharia Agrícola*. 2011; 31:539-550. doi: 10.1590/S0100-69162011000300014
- Aragão R, Cruz MAS, Amorim JRA, Mendonça LC, Figueiredo EE, Srinivasan VS. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. *R Bras Ci Solo*. 2013; 37:1091-1102. doi: 10.1590/S0100-06832013000400026
- Ayer JEB, Olivetti D, Mincato RL, SILVA MLN. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. *Pesq Agropec Trop*. 2015; 45:180-191. doi: 10.1590/1983-40632015v4531197
- Bacchi OOS, Reichardt K, Sparovek G. Sediment spatial distribution evaluated by three methods and its relation to some soil properties. *Soil and Tillage Research*. 2003; 69:117-125. doi: 10.1016/S0167-1987(02)00133-2
- Bagarello V, Ferro V, Giordano G. Testing alternative erosivity indices to predict event soil loss from bare plots in Southern Italy. *Hydrol Process*. 2010; 24:789-797.
- Barretto AGOP, Barros MGE, Sparovek G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. *Rev Bras Ciênc Solo*. 2008; 32:2443-2460. doi: 10.1590/S0100-06832008000600022
- Bengtson RL, Selim HM. USLE "C" values for Louisiana sugarcane In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Mineapolis: ASABE; 2007.

- Bengtson RL, Selim HM. USLE "C" values for Louisiana sugarcane In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Pittsburgh: ASABE; 2010.
- Bengtson RL, Selim HM. USLE "C" values for Louisiana sugarcane In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Dallas: ASABE; 2012.
- Bertoni J, Lombardi Neto F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone; 1985.
- Bertoni J, Lombardi Neto F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone; 1990.
- Brooks FL. Use of the universal soil loss equation in Hawaii In: SCSA Soil Erosion: Prediction and control. West Lafayette: SCSA; 1977. p 22-30
- Cavaliere A. Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Moji-Mirim (SP) utilizando diferentes métodos [tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 1998.
- CEPEA CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (2016) PIB Agronegócio de cadeias- 2015 Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-de-cadeias-agropecuarias.aspx>> Acesso em: 06 de ago de 2016
- Companhia Nacional De Abastecimento Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – v1 Brasília: CONAB, 2015 30p
- Companhia Nacional De Abastecimento Acompanhamento da safra brasileira 2º levantamento da cultura da cana-de-açúcar 2014/2015 Brasília: CONAB, 2016a Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Acucar_e_alcool/27RO/App_Safra_27RO_Alcool.pdf Acesso em: 04 dezembro 2016
- Companhia Nacional De Abastecimento Perspectivas para a agropecuário na safra de 2013/14- Cana-de-açúcar Brasília: CONAB, 2016b Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_12_17_50_12_11_cana-de-acucar.pdf Acesso em 04 de dezembro de 2016
- Corrêa, EA Perdas de solo e índices de vegetação: proposta metodológica para determinação do Fator C (MEUPS) em pastagens e cana-de-açúcar [tese]. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista; 2016.
- Costa SGF, Silva RM. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do riacho Guraraíra. Cadernos do LOGEPA. 2012; 7:72-91.
- De Maria IC, Lombardi Neto F, Dechen SCF, Castro OM. Fator da equação universal de perdas de solo (EUPS) para a cultura da cana-de-açúcar. In: Anais da X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água Resumos; 1994; Florianópolis. Florianópolis: SBCS; 1994. p.148-149.
- Dechen SCF, Telles TS, Guimarães MD, De Maria IC. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. Bragantia. 2015; 74:224-233. doi: 10.1590/1678-4499.0363
- Publicado: APR-JUN 2015 Demarchi JC. Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo [dissertação]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2012.
- Donzelli PL, Valério Filho M, Pinto AS, Nogueira FP, Rotta CL, Lombardi Neto F. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas. In: Lombardi Neto F, Camargo AO. Editores. Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP). Campinas: IAC; 1995. (Documentos IAC 29). p 91-119.

- Downer CW, Nelson EJ, Byrd A. Primer: Using Watershed Modeling System (WMS) for Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) Data Development—WMS 61 and GSSHA 143C. Vicksburg:US Army Corps of Engineers; 2003.
- El-Swaify SA, Dangler EW, Aarmstrong CL. Soil erosion by water in the tropics. Honolulu: University of Hawaii; 1982.
- Evensen CI, El-Swaify SA, Smith CW. C-factor development for sugarcane in Hawaii Soil erosion research for the 21st century. In: Proceedings of the International Symposium of ASEA; Janeiro 2001; St. Joseph. St. Joseph: ASAE; 2001. p 687-690.
- Farias VNC, Reis RS. Simulação da produção de sedimento para bacia hidrográfica do rio Mundaú através do modelo SEDNET. In: Anais do XIX Simpósio brasileiro de recursos hídricos; novembro 2011; Maceió. Maceió:ABRH; 2011. p.1-20.
- Fujihara AK. Predição da erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste paulista com suporte de geoprocessamento [dissertação]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2002.
- Hartemink AE, McBratney AB, Cattle JA. Developments and trends in soil science: 100 volumes of Geoderma 1967–2001. *Geoderma*.2001; 100:217–268. doi: 10.1016/S0016-7061(01)00024-6
- Laflen JM, Moldenbahr WC. Pioneering soil erosion prediction: the USLE story. 1a edição. West Lafayette:World Association of Soil and Water Conservation; 2003.
- Lourenzani WL, Caldas MM. Land use change from the sugar cane expansion in the western region of São Paulo state, Brazil. *Cienc Rural*. 2014; 44:1980-1987. doi: 10.1590/0103-8478cr20140186
- Machado EC, Pereira AR, Fahl JI, Arruda HV, Cione J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesq Agropec Bras*. 1982; 17:1323-1329.
- Machado ML, Alves JS, Gomes I, Vieira EM, Simão MLR, Naime UJ. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, abril 2009; Natal. Natal:INPE; 2009. p 7733-7739.
- Martins SG, Silva MLN, Avanzi JC, Curi N, Fonseca S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. *Sci For*. 2010; 38:517-526.
- Mata CL. Análise multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perda de solos [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2009.
- Mitchell JK, Bubenzer GD. Soil loss estimation In: Kirkby MJ, Morgan RPC. Editores. Soil erosion. Chichester: John Wiley & Sons; 1980. p.17-62.
- Monteiro ACG. Avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos da queima da cana-de-açúcar no município de Campos dos Goytacazes – RJ [dissertação]. Campos de Goytacazes: Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2011.
- Morgan, RPC. Soil erosion and conservation. 3a edição. Oxford: Blackwell Publishing; 2005.
- Novaes MR, Rudorff BFT, Almeida CM, Aguiar DA. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. *Eng Agric*. 2011; 31:572-583.
- Olivetti D, Mincato RL, Ayer JEB, Silva MLN, Curi N. Modelagem espacial e temporal da erosão hídrica em Latossolo vermelho distrófico com uso agropecuário numa sub-bacia hidrográfica do sul de Minas Gerais. *Ciênc Agrotec*. 2015; 39:58-67. doi: 10.1590/S1413-70542015000100007

- Prado JPB, Nóbrega MT. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). *Acta Sci Technol.* 2005; 27:33-42.
- Pundek M. Utilização prática da equação universal de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento, Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. Florianópolis: Epagri; 1994. p. 99-129.
- Ramos-Scharrón CE, Torres-Pulliza D, Hernández-Delgado EA. Watershed- and island wide-scale land cover changes in Puerto Rico (1930s–2004) and their potential effects on coral reef ecosystems. *Science of the Total Environment.* 2015; 506:241–251. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.016
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: USDA; 1997. (Agricultural Handbook n. 703).
- Ribeiro LS. Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento [mestrado]. Campos dos Goytacazes: Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2006.
- Ribeiro LS, Alves MG. Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 21-26 abril 2007; Florianópolis. Florianópolis: INPE; 2007. p. 3039-3046.
- Siche R, Agostinho F, Ortega E, Romeiro A. Índice versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente e Sociedade.* 2007; 2:137-148. doi: 10.1590/S1414-753X2007000200009
- Slva AM, Casatti L, Álvares CA, Leite AM, Martinelli LA, Durrant SF. Soil loss risk and habitat quality in streams of a meso-scale river basin. *Scientia Agrícola.* 2007; 64:336–343. doi: 10.1590/S0103-90162007000400004
- Silva RM, Montenegro SMGL, Santos CAG. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment. *Nat Hazards.* 2012; 62:953-970.
- Sparovek G, Bacchi OOS, Chung E, Ranieri SBL, De Maria IC. Comparison of three water erosion prediction methods (137Cs, WEPP, USLE) in South-East Brazilian sugarcane production. *Der Tropenlandwirt.* 2000; 101:107-118.
- Sparovek G, Barretto A, Berndes G, Martins S, Maule R. Environmental, land-use and economic implications of Brazilian sugarcane expansion 1996–2006. *Mitig Adapt Strateg Glob Change.* 2009; 14:285–298.
- Serra AS. Expectativa e risco de erosão dos solos da FCAV/UNESP – Jaboticabal (SP) [trabalho de conclusão de curso]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista; 2004.
- Stein DP, Donzelli PL, Gimenez AF, Ponçano WL, Lombardi Neto F. (1987) Potencial de erosão laminar, natural e antrópica, na Bacia do Peixe Paranapanema, *Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão*; 1987; Marília. Marília: ABGE; 1987. p105-135.
- Teramoto ER. Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima. [tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2003.
- Tallis HT, Ricketts T, Guerry AD, Wood SA, Sharp R, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C, Verutes G, Kim CK, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Glowinski K, Chaumont

- N, Perelman A, Lacayo M, Mandle L, Griffin R, Hamel P, Chaplin-Kramer R. InVEST 260 User's Guide The Natural Capital Project. Stanford: NCP; 2013.
- Vázquez-Fernández GA, Formaggio AR, Epiphany JCN, Gleriani JM. Determinação de Sequências Culturais em Microbacia Hidrográfica para Caracterização do Fator C da EUPS, Utilizando Fotografia Aérea. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 1996; Salvador. Salvador: INPE; 1996. p 63-67.
- Vis M. A procedure for the analysis of soil erosion and related problems in water and land resources management studies. The Hague: IRC; 1987 (The Netherlands Research report/ Felft Hydraulics Laboratory).
- Weill MAM. Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida [tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 1999.
- Weill MAM, Rocha JV, Lamparelli RA. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (SP). Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão; 2001; Goiânia. Goiânia: ABGE; 2001. p. 1-10.
- Weill MAM, Sparovek G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. R Bras Ci Solo. 2008; 32:801-814. doi: 10.1590/S0100-06832008000200034
- Williams JR. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy fator. Proceedings of the sediment-yield workshop; novembro 1972; Oxford. Oxford: USDA-ARS-S-40; 1975. p. 118-124.
- Wischmeier WH; Smith DD. A universal equation for predicting rainfall-erosion losses – An aid to conservation farming in humid regions. U.S. Department. of Agriculture/ Agricultural Research Service; 1961 (ARS Special Report 22-66).
- Wischmeier WH; Smith DD. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA; 1978. (Agricultural Handbook, 537).
- Xavier APC, Silva AM, Silva RM. Mudanças espaço-temporais da variabilidade da precipitação e perdas de solo na bacia do rio Mamuaba, Brasil. Cadernos do Logepa. 2013; 8:79-102.
- Xavier APC, Silva RM. Geoprocessamento na modelagem da vulnerabilidade à erosão na bacia do Rio Mamuaba, estado da Paraíba. In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia; agosto 2014; Gramado. Gramado: SBC; 2014.

4. UMA FERRAMENTA COMPLETA PARA CÁLCULO DO FATOR C (COBERTURA E MANEJO) DA RUSLE PARA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

O Fator C reúne características de cobertura e manejo das culturas para indicar o potencial erosivo de cada situação de uso e manejo. A cultura da cana-de-açúcar apresenta diversas combinações de manejo possíveis, tornando a captação desta diversidade em experimentos de campo complexa. Com oito variáveis de entrada (local, data de plantio, data de preparo, tipo de preparo, cultura de cobertura, manejo da palha, vida útil do canavial e níveis de manejo), a ferramenta calcula o Fator C baseado no método descrito nos manuais da RUSLE. A ferramenta baseou-se em dados de crescimento da cultura obtidos pelo autor e outros dados obtidos na literatura científica. A ferramenta tem um nível de usuário, onde é possível alterar os sistemas de manejo, permitindo mais de 100 milhões de combinações. A amplitude dos valores obtidos foi de 0.0351 a 0.5922. As variáveis com maior impacto benéfico no resultado final do Fator C, quando comparado com um sistema padrão, são i) alteração a no número de cortes (até -40%), ii) a época de plantio (-23%) e iii) a cultura de cobertura (-16%). Esta ferramenta está disponível gratuitamente para pesquisadores.

Palavras-chave: USLE; Modelagem; Erosão do solo

ABSTRACT

The C-Factor gathers characteristics of cover and crop management to indicate the erosive potential of each use and management situation. The sugarcane culture has several possible management combinations and the field experiments are not doable to capture all the variations. With eight initial variables (local, planting date, tillage date, tillage system, crop rotation, straw management, life cycle of cane cropland and management levels), the tool calculates the C-factor based in the RUSLE method. The tool was based on the data of culture growth obtained by the author and other data obtained in the scientific literature. The tool has a user level, where it is possible to change the management systems, allowing more than 100 million combinations. The amplitude of the values obtained was from 0.0351 to 0.5922. The variables with the greatest beneficial impact on the sugarcane C-Factor final result, when compared to a standard system, are i) change in the number of cycles (up to -40%), ii) the planting season (-23%) and iii) the crop rotation (-16%). This tool is free available for researchers.

Keywords: USLE; Modeling; Soil erosion

4.1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar apresenta uma importância ímpar, seja como fornecedora de alimento ou de energia. Seu processo produtivo tem sofrido alterações, tanto para melhorar a eficiência operacional, como para acatar aos protocolos ambientais, como por exemplo, a colheita sem queima⁵⁸. A cada inovação ou alteração no sistema de manejo, novos impactos ou desafios são gerados, tais como: i) a mesma colheita mecanizada que viabiliza a colheita sem queima, diminui emissão de carbono e impactos na saúde pública e aumenta a cobertura da liteira (solo), tende a aumentar a compactação dos solos (máquinas maiores e mais pesadas); ii) os novos processos de uso de palha para

⁵⁸ Dados de 2014 para o estado de São Paulo, apenas 16.3% da colheita foi realizada com queima, frente a 65.8% em 2006 (ÚNICA, 2016).

cogeração de energia aumentaram a eficiência energética do sistema produtivo, porém podem retirar a proteção do solo se usado em demasia; iii) a melhoria do controle operacional e industrial pode elevar a pressão por plantio e colheita em épocas não recomendadas (controle de oferta e demanda de matéria-prima na indústria) e, consequentemente, aumentar o risco de erosão⁵⁹.

Os aspectos referentes à conservação de solo ligados à cultura da cana-de-açúcar são alvo de debates e questionamentos, tanto na comunidade acadêmica, quanto nos órgãos técnicos de planejamento e fiscalização. Exemplificados em eventos recentes sobre o tema⁶⁰, na produção de material técnico de apoio (De Maria *et al.*, 2016) e em normativas específica⁶¹.

Uma das formas mais utilizadas para estudar e mensurar a erosão é a utilização de equações empíricas de perda de solo, como a USLE e suas variações (MUSLE, RUSLE, RUSLE2, USLE-MM), servindo de base para o planejamento agroambiental (Weill e Sparovek, 2008; Caviglione *et al.*, 2010; De Maria *et al.*, 2016). Nestes modelos, as variações de manejo são integradas pelo Fator de Cobertura e Manejo, ou Fator C, tais como: época de plantio, de preparo, cultura intercalar, espaçamento, uso de irrigação, entre outras.

Os sistemas de manejo da cana-de-açúcar apresentam uma grande diversidade, isso ocorre por possuir características de cultura anual e perene (corte anual e plantio e renovação plurianuais), diversidade de material genético, diferentes exigências aos variados tipos de clima, entre outros. Para a cultura da cana-de-açúcar, a base de dados de Fator C é limitada, não existindo compatibilidade com a variabilidade de manejo apresentada na prática (ver Cap. 3).

Estabelecer um único valor de C para a cana-de-açúcar é desprezar estas particularidades e tornar a aplicação de modelos de perda de solo ou dinâmica de sedimentos menos precisa e confiável. Tendo em vista uma estimativa sem considerar as condições climáticas locais, a cana-de-açúcar permite, pelo menos, 27216 sistemas de manejo distintos (0), gerando a demanda de um novo Fator C para cada combinação possível.

59 Segundo o protocolo agroambiental do estado de São Paulo, a safra (período de colheita) durou 222 dias em 2013/2014 (UNICA, 2016), ante 161 dias em 2007/2008.

60 Eventos organizados por diversas entidades (universidades, institutos de pesquisa, entidades de classe, entidades empresariais) sobre conservação de solo e cana-de-açúcar contaram com a participação de pesquisadores e técnicos da área em 2013 e 2014. Conteúdo dos eventos podem ser acessados em: http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=76 e http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=83

61 A portaria CDA n. 15, de 14 de agosto de 2012 especifica que a companhia ambiental estadual (CETESB) deve exigir certificado de adimplência às normas de uso e conservação do solo agrícola.

Tabela 14. Estimativa das combinações de manejo possíveis para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil

Variável de manejo	Descrição das opções	Número de opções
Época de plantio	Inverno, Ano e ano e meio	3
Época de preparo	Inverno, Ano e ano e meio	3
Tipo de preparo	Profundo, SPD, convencional, mínimo	3
Espaçamento	1m, 1,5m, duplo combinado (0.90x1,50m)	3
Tipo de muda	Tolete, mudas pré-brotadas	2
Cultura de cobertura	Soja, amendoim, crotalária, pousio, entre outras	4
Irrigação	Presente, ausente	2
Número de cortes ao longo do ciclo	4 a 10	7
Época de colheita	Início, meio ou fim de safra	3
Total de combinações possíveis		27216

4.1.1. Objetivo

Baseada em curvas de crescimento e de cobertura da cultura e em dados obtidos por outros pesquisadores, o objetivo foi desenvolver uma ferramenta de cálculo do Fator C e apresentá-la para as distintas situações de manejo previstas para a cultura da cana-de-açúcar. Este instrumento visa fornecer dados básicos para comunidade de pesquisadores e técnicos que desenvolvem trabalhos com modelagem, bem como ser uma ferramenta de gestão para tomadores de decisão.

4.2. Conceitos fundamentais

A abordagem apresentada na formulação da USLE (Wischmeier e Smith, 1978) sugere que a determinação da Razão de Perda de Solo seja uma função de três variáveis, conforme apresentado na Equação 1 e Figura 8.

$$f_{SLR}=SC;CC;HC$$

Equação 1

SLR – taxa de perda de solo (%; 0-1)

SC – cobertura da liteira (%; 0-1)

CC- cobertura do dossel (%; 0-1)

HC- altura do dossel (m)

FIGURE 5.—Influence of vegetative canopy on effective EI values. Canopy factor is a subfactor of C.

FIGURE 6.—Combined mulch and canopy effects when average fall distance of drops from canopy to the ground is about 40 inches (1 m).

Figura 8. Relações entre Fator C da USLE e três variáveis básicas (reprodução de Wischmeier e Smith (1978) (p.19)

O Fator C da USLE é o resultado da relação entre a erosão real (perda de solo) e a erosão potencial (combinação dos demais fatores RKLS). O Fator C depende do estágio de crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal, ajustando a perda de solo para condições específicas. Há neste sentido, uma particularização do Fator C, pois a determinação do mesmo varia no espaço e no tempo e possui diferenças quanto ao regime hídrico em determinados locais, bem como no manejo da cultura de estudo.

O Fator C descrito na revisão da USLE, a RUSLE (Renard *et al.*, 1997), avança nestes subfatores (Equação 2), tornando-o mais completo e complexo.

$$SLR = PLU \cdot CC^* \cdot SC \cdot SR \cdot SM$$

Equação 2

PLU – subfator de uso anterior (0-1)

SR – subfator de rugosidade do solo (%; 0-1)

SM – subfator de umidade do solo (%; 0-1)

* a variável de altura do dossel (HC) está dentro do subfator CC

Assim como utilizado por Benkobi *et al.* (1994) e Streck e Cogo (2003), o subfator de umidade do solo foi considerado o solo na capacidade de campo, valor 1, por ter a expressão do processo erosivo mais intensa com o solo nestas condições. O cálculo final do Fator C para cada situação é dada pela Equação 3.

$$C_{\text{fator}} = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{SLR_n EI_n}{EI_{\text{anual}}} \right)$$

Equação 3

EI_n – Índice de Erosividade para o mês n

EI_{anual} – Índice de Erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano)

A erosividade parcial foi obtida por município e mensalmente, para todo o estado de São Paulo, seguindo o método simplificado proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), apresentado na Equação 4. A base de dados utilizada é a da Agência Nacional de Águas (ANA, 2005).

$$EI_n = 68.730 \left[\frac{(P_n^2)}{P_a} \right]^{0.841} \quad \text{Equação 4}$$

P_n – precipitação para o mês n (mm)

P_a – precipitação anual (mm)

4.2.1. Uso anterior (Prior Land Use- PLU)

O subfator uso anterior (PLU) é apresentado na Equação 5, expressa a influência dos resíduos da cultura anterior (ou ciclo anterior) em subsuperfície e o efeito do preparo na consolidação do solo. A relação utilizada é uma adaptação do original descrito no Manual da RUSLE (Renard *et al.*, 1997), desenvolvida por Streck e Cogo (2003).

$$PLU = C_f e^{[-c(f_{si} B_u)]} \quad \text{Equação 5}$$

C_f – fator de consolidação na superfície do solo, varia de acordo com o preparo (0-1)

c – coeficiente adimensional (0-1)

f_{si} – fator de transformação para o sistema inglês ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ para $\text{lb} \cdot \text{acre}^{-1} \cdot \text{in}^{-1}$)

B_u – biomassa de raízes na camada de 0-25 cm de profundidade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

O fator de consolidação é descrito por Streck e Cogo (2003) e sua adaptação é demonstrada na Equação 6

$$C_f = e^{-kt} \quad \text{Equação 6}$$

k – fator de ajuste para cada situação de manejo

t – tempo após o preparo (dias)

No trabalho de Streck e Cogo (2003), o valor mínimo de C_f para pastagens após dois anos foi determinado em 0.35 (tendência a ser constante). Considerando as semelhanças nas características de crescimento da cana-de-açúcar com pastagens, assumimos o mesmo valor mínimo.

4.2.2. Cobertura do dossel (Canopy Cover- CC)

O subfator cobertura do dossel (CC) é uma função entre a altura da planta e porcentagem de cobertura da parte aérea viva (dossel) no solo (Equação 7). Esta variável não engloba a liteira ou os restos culturais.

$$CC=1-F_c \exp(-0.1H) \quad \text{Equação 7}$$

F_c – cobertura do dossel (%; 0-1)

H – altura do dossel (in)

Não foram encontrados trabalhos na literatura sobre cobertura do dossel para cana-de-açúcar. Experimentalmente, foi executado um monitoramento da evolução da cobertura do dossel com base em imagens de uma torre fenológica portátil, ao longo de um ciclo, em algumas situações distintas de manejo. A descrição do método e dos resultados estão no APÊNDICE D.

4.2.3. Cobertura da liteira (Soil Cover- SC)

Originalmente, o subfator cobertura da liteira (SC) é uma função entre a porcentagem de cobertura do dossel, preparo (ou incorporação) e a rugosidade do solo (Equação 8), descrita no Manual da RUSLE⁶² (Renard *et al.*, 1997).

$$SC=e^{\left[-0.028S_L\left(\frac{0.24}{R_u}\right)^{0.08}\right]} \quad \text{Equação 8}$$

S_L – cobertura do solo pela liteira (%; 0-1)

R_u – rugosidade da superfície do solo (in)

Benkobi *et al.* (1994) comparou a equação original (Equação 8) com a desenvolvida por Benkobi *et al.* (1993) - Equação 9 - e concluiu que a retirada da rugosidade e a simplificação (retirada da função exponencial) tem respostas mais precisas na predição da perda de solo em parcelas padrões.

$$SC=1-0.82S_L+0.48S_r-1.23S_LS_r-1.25S_r^2 \quad \text{Equação 9}$$

S_r – cobertura do solo por rochas (%; 0-1)

Quando as condições de plantio de cana-de-açúcar (que não utiliza áreas pedregosas ou com afloramentos rochosos) são simplificadas, temos a Equação 10.

$$SC=1-0.82S_L \quad \text{Equação 10}$$

A cobertura do solo para cada período mínimo estudado foi estabelecida com base na correlação entre a massa seca e a cobertura do solo, e determinada por meio de uma regressão exponencial baseada em estudos de Wishmeier e Smith (1978), Figura 9 e Equação 11.

Figura 9. Gráfico baseado da relação entre a massa seca de palha produzida (kg.ha⁻¹) e a % de cobertura do solo (S_L), baseado em Wishmeier e Smith (1978)

$$S_L = 27.751 \exp(M_S) - 165.11 \quad \text{Equação 11}$$

M_S – massa seca (kg.ha⁻¹)

A equação final utilizada (Equação 12) é uma função entre SC e massa seca (substituição da Equação 11 na Equação 10).

$$SC = 1 - 0.82(27.751e^{M_S} - 165.11) \quad \text{Equação 12}$$

4.2.4. Rugosidade do solo (Soil Roughness- SR)

A rugosidade do solo tem o potencial de interferir na capacidade do retardamento do processo de escoamento superficial (Castro *et al.*, 2006; Darboux *et al.*, 2004), o que indiretamente diminui o efeito do escoamento superficial de chuvas (eventos com a intensidade maior que a capacidade de infiltração do solo). Uma função exponencial representa a relação entre este subfator e a rugosidade do solo (Equação 13).

$$SR = e^{[-0.66(R_u - 0.24)]} \quad \text{Equação 13}$$

R_u – rugosidade superficial (in)

Para esta ferramenta, utilizou-se de dados de literatura compatíveis com cada de sistema de manejo escolhido.

4.3. A ferramenta de cálculo do Fator C

A ferramenta de cálculo do Fator C pode ser dividida em três níveis, i) dados de entrada: nível desenvolvedor, ii) dados de entrada: nível usuário e iii) dados de saída: valores e gráficos. O ciclo considerado para a cultura foi de julho a julho, ou seja, o último corte sempre ocorrerá em julho.

4.3.1. Dados de entrada: nível desenvolvedor

Os dados de entrada neste nível são alteráveis apenas para o desenvolvedor da ferramenta. Os valores básicos e as fontes utilizadas estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15. Valores adotados e fontes dos dados de entrada, para cada variável e subfator

Subfator	Variável	Valor				Fonte
CC	Produtividade média por corte	1º - 110.44 Mg.ha ⁻¹				MAPA (2016)
		2º - 94.08 Mg.ha ⁻¹				
		3º - 82.12 Mg.ha ⁻¹				
		4º - 74.32 Mg.ha ⁻¹				
		5º - 69.24 Mg.ha ⁻¹				
CC	Fator decaimento de velocidade de cobertura por corte. Quanto dias a menos (ref. 1º corte) demora para ter cobertura total (considerado 99%) do dossel.	1º referência				Próprio autor, baseado na curva de produtividade média (MAPA, 2016)
		2º - 15.1 dias				
		3º - 12.3 dias				
		4º - 10.2 dias				
		5º - 8.7 dias				
		6º - 7.4 dias				
		7º - 6.3 dias				
		8º - 5.4 dias				
		9º - 4.5 dias				
CC	Fator presença de palha normalizado (tempo adicional para fechamento do dossel)	100% palha – 10 dias				Observações do autor (baseados nos dados do APÊNDICE D)
		1% palha – 0 dias				
CC	Variáveis de entrada do modelo logístico de evolução da cobertura do dossel	Plantio	A	B	C	Próprio autor (baseados nos dados do APÊNDICE D)
		Fev	27.842	-0.023	99	
		Mai	29.213	-0.033	99	
		Out	20.835	-0.045	99	
CC e SC	Fator de manejo de soqueira (incidirá sobre a produção de palha e velocidade de fechamento do canavial)	Alto desempenho – 1.25				Valor assumido pelo autor
		Desempenho intermediário – 1.00				
		Baixo desempenho – 0.75				

Subfator	Variável	Valor	Fonte
EI	Precipitação mensal	Valor mensal e anual para cada município do estado de São Paulo.	ANA (2005)
PLU	Valor relativo de biomassa do sistema radicular (25 cm)	3.73%	Baseado nos dados obtidos por Otto <i>et al.</i> (2005)
PLU e SC	Biomassa da parte aérea da cana	13900 kg.ha ⁻¹	Macedo (1996)
PLU e SR	Rugosidade aleatória	Convencional - 0.014 m Mínimo - 0.013 m SPD - 0.010 m Após plantio ⁶³ - 0.001 m	Renard <i>et al.</i> (1997)
SC	Fator decaimento de produção de massa seca por corte	1º - 1 2º - 0.84 3º - 0.74 4º - 0.67 5º - 0.62 6º - 0.58 7º - 0.54 8º - 0.51 9º - 0.48	Próprio autor, baseado na curva de produtividade média (MAPA 2016)
SC	Correlação entre % cobertura da liteira e massa seca	Ver Equação 11	Equação gerada pelo autor, baseado em curvas de Wishmeier e Smith (1978)
SC	Fator de decomposição da palha mensal	Cana planta – 5% Cana soca – 5% Após o plantio – 75% Após preparo do solo – 75%	Baseado em dados obtidos para a cultura do milho por Redin (2010) ⁶⁴

4.3.2. Dados de entrada: nível usuário

Os dados de entrada neste nível são alteráveis pelo usuário da ferramenta. As opções de municípios (apenas para o estado de São Paulo) permitem ao usuário alterar os regimes de chuvas aplicado ao modelo (EI). A época de preparo e plantio são alteráveis e podem ser em épocas diferentes e sua variação está diretamente associada a combinação SLR e EI. As opções de tipo de preparo são três e afetam PLU e SR. As opções de cobertura entre o corte

⁶³ Este valor não foi encontrado na literatura. O valor foi atribuído de forma empírica pelo autor, considerando valores baixos no trabalho de Renard et al (1997), pois após o plantio há geralmente a passagem de quebra lombo, que deixa a superfície do canavial aplainada para facilitar a colheita mecanizada.

⁶⁴ Redin (2010) estudou decomposição de vários materiais vegetais. Pelas características semelhantes, os valores atribuídos são adaptados da cultura do milho. Ver gráficos da página 88.

do ciclo anterior (julho) até o novo plantio atuam em SC e CC. O manejo da palha é a quantidade de palha deixada sob o solo após a colheita, esta variável incide sobre todo o ciclo da cana, em todos os cortes, nos subfatores SC e CC⁶⁵. O nível de manejo, qualitativamente, quanto ao manejo varietal, compatibilidade de ambiente de produção, manejo de pragas, controle de plantas daninhas e manutenção da fertilidade, se há pisoteio e soqueiras danificadas pelo trânsito de máquinas estão diretamente ligados a produtividade. Descrição geral na Tabela 16.

Tabela 16. Variáveis de entrada: opções, descrição e restrições.

Variável de entrada	Opções (n)	Descrição	Restrições
Município	645	Apenas estado de São Paulo, a escolha altera o regime de chuvas	Sem restrições
Época de plantio	3	Cana de ano (outubro) Cana de ano e meio (fevereiro) Cana de inverno (maio)	Deve estar depois do mês de preparo
Mês de preparo	12	Qualquer período do ano	Deve ser feito o preparo antes do mês de plantio ⁶⁶
Tipo de preparo	3	Convencional: antes da sulcação, operações de aração, subsolagem, gradagem, em área total Mínimo: antes da sulcação, é feita apenas a operação de subsolagem em faixas na linha de plantio SPD: tem apenas a operação de sulcação	Na opção do SPD, o preparo e plantio deve estar no mesmo período (mês)
Cultura de cobertura	3	Solo descoberto (ausência de cobertura total) Pousio (vegetação espontânea, sem controle) Adubo verde	O uso de adubo verde é apenas para cana de ano e meio e cana de inverno (plantio em fevereiro ou maio)
Manejo da palha	100	É o percentual de palha que fica no solo após a colheita É atribuído o mesmo valor para o ciclo inteiro da cultura.	Sem restrições
Número de cortes	9	De 1 a no máximo 9	Sem restrições
Nível de manejo	3	Alto nível de manejo Intermediário nível de manejo Baixo nível de manejo	Sem restrições

4.3.2.1. Impossibilidade de combinações: mensagens de erro

⁶⁵ A palha na cobertura do solo retarda o crescimento inicial da cana e, consequentemente, a evolução da cobertura do dossel.

⁶⁶ Note que o preparo escolhido deve ser antes do plantio, caso o usuário escolha um período posterior ao plantio, aparecerá uma mensagem de erro.

Meses possíveis para preparo, de acordo com a época de plantio.

Época de plantio	Meses possíveis de preparo
Outubro ou cana de ano	julho, agosto, setembro ou outubro
Fevereiro ou cana de ano e meio	agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro ou fevereiro
Maio ou cana de inverno	julho, agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio

Algumas são improváveis ou impossíveis no campo. Caso o usuário assinalar alguma destas, uma mensagem de erro aparecerá na tela, de forma que o usuário possa alterar algum parâmetro e assim seguir o cálculo (Tabela 17).

Tabela 17. Combinações de manejo não são aceitas pela ferramenta

Erro	Mensagem
Escolher o mês de preparo depois do mês de plantio	1 - Plantio deve estar depois do Preparo
Assinalar cultura de cobertura quando o plantio é de ano (Outubro). Não há tempo para desenvolvimento da cultura	2 - Plantio em outubro (cana de ano) não aceita cultura de cobertura
O mês de preparo para SPD é sempre junto ao plantio	3 - Para SPD, o mês de plantio e preparo devem ser iguais
O início do ciclo do adubo verde é em outubro, portanto o preparo deve ser neste mês	4 - Para uso do adubo verde, mês de preparo deve ser outubro

4.3.3. Dados de saída: valores e gráficos

Para cada conjunto de opções escolhido pelo usuário, há saídas numéricas e gráficas. As saídas numéricas são:

- Fator C (Ciclo completo)

Valor inteiro, entre 0-1, com 4 casas decimais. É o valor anual considerando o ciclo inteiro. Deve ser utilizado em trabalhos que compreendem o período inteiro do ciclo produtivo da cana-de-açúcar

- Fator C (ciclos parciais)

Valor inteiro, entre 0-1, com 4 casas decimais. É o valor anualizado, considerando partes do ciclo da cultura. Deve ser utilizado em trabalhos que compreendem períodos específicos do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, como renovação do canavial ou um período da cana-soca, por exemplo.

- Tabela de percentual de perda de solo em relação ao ciclo

É apresentado o valor percentual de perda de solo de cada ciclo parcial de corte e crescimento da cultura.

Auxiliando o entendimento dos valores gerados, as saídas gráficas são:

- Desenho do sistema de manejo adotado, ao longo do tempo

Calendário com as operações e situação do canavial ao longo dos ciclos, permite uma visão mês a mês das etapas de preparo, plantio, cultura de cobertura, cortes, etc.

- Gráfico de SLR e EI

Gráfico representando o EI mensal e a razão de perda de solo mensal, ao longo dos 24 primeiros meses do ciclo escolhido.

4.4. Descrição geral dos resultados

A situação de manejo que resultou no maior valor de Fator C, 0.5922, foi no município de Mococa, cana de ano com preparo em agosto, com solo mantido descoberto e preparo convencional, retirada de 100% da palha, apenas 1 corte antes da renovação e baixo de nível de manejo.

A situação de manejo que resultou no menor valor de Fator C, 0.0351, foi no município de Orindiúva, cana de inverno com preparo em outubro e plantio de adubo verde, preparo mínimo, manutenção de 100% da palha, longevidade de 9 cortes e alto de nível de manejo. O sistema de manejo de maior Fator C é cerca de 17x maior que o de menor valor. Em modelos multiplicativos, como USLE e RUSLE, esta diferença resultará em valores de perda de solo com a mesma variação.

A ferramenta permite mais de 100 milhões de combinações de manejo. A análise de algumas dessas combinações é apresentada na Tabela 18. É apresentada a linha ID 1 uma situação padrão, em um município de tradição na cultura (Piracicaba), com plantio de cana de ano e meio (fevereiro), preparo convencional em outubro, com pousio até o plantio, retirada de metade da palha para cogeração, 4 cortes antes da renovação e nível de manejo considerado intermediário. Esta situação padrão resultou em um Fator C no valor de 0.1242.

A partir desta situação padrão, comparações alterando cada variável de entrada (nível usuário) foi realizada e está apresentada resumidamente na Tabela 18. Alterações no local de plantio (município) geram variações, na situação de manejo padrão, na ordem de 9% em relação ao valor mínimo. O município com características de erosividade (valores e distribuição) que gerou valor máximo (na situação de manejo padrão) é Santos e o de valor mínimo é Américo de Campo (IDs 2 e 3).

A época de plantio que gera menor valor é cana de inverno (maio) e a de maior valor cana de ano (outubro). O valor máximo representa incremento de 68% no valor do fator, em relação ao mínimo. O valor de cana de ano e meio é intermediário, sendo 29% maior que a cana de inverno (IDs 1, 4 e 5).

O uso de SPD (ID 9) em julho (ID 6), uso de adubo verde (ID 11), manutenção de 100% da palha (ID 14), ciclo da cultura com 9 cortes (ID 18) e nível de manejo alto (ID 19) levam a valores mais baixos de Fator C quando comparados com a situação padrão.

Tabela 18. Relação do valor de Fator C para situação padrão, variações máximas e mínimas, diferença percentual do padrão (DPPad) e diferença percentual do mínimo (DPMIn)

ID	Município	Época de Plantio	Época de preparo	Tipo de preparo	Cultura de cobertura	Manejo da palha	Número de cortes	Nível de manejo	Fator C	DPPad	DPMIn
1	Piracicaba	Cana de ano e meio	outubro	Convencional	Pousio	50%	4	intermediário	0.1242	-	-
2	Santos								0.1328	7%	+9%
3	Américo de Campos								0.1221	-2%	-
4		Cana de ano							0.1615	+30%	+68%
5		Cana de inverno							0.0962	-23%	-
6			julho						0.1054	-15%	-
7			dezembro						0.1400	+13%	+33%
8				mínimo					0.1189	-4%	+9%
9				SPD					0.1089	-12%	-
10					Mantido descoberto				0.1851	+49%	+76%
11					Adubo verde				0.1050	-16%	-
12						1%			0.1396	+12%	+16%
13						75%			0.1217	-2%	+2%
14						100%			0.1199	-4%	-
15							1		0.2819	+127%	+280%
16							2		0.1938	+56%	+162%
17							7		0.0862	-31%	+16%
18							9		0.0741	-40%	-
19								alto	0.1227	-1%	-
20								baixo	0.1262	+2%	+3%

A Tabela 19 é uma comparação dos valores descritos nos trabalhos desenvolvidos no Brasil que determinam o valor do Fator C para a cana-de-açúcar (ver cap. 3.3.1). A diferença foi definida em três níveis, baixa, média e alta, a partir dos seguintes critérios:

$$\text{Se } \left| \log_2 \frac{\text{Fator C autor}}{\text{Fator C ferramenta}} \right|$$

- < 1,0; baixa;
- < 2,0; média e
- $\geq 2,0$; alta.

É possível verificar valores comparáveis, com baixa diferença nos dois trabalhos de De Maria et al. (1994) e uma situação de manejo de Amaral (2003) e outra de Corrêa (2016), ID's 1, 2, 4 e 8, respectivamente

A comparação só foi possível assumindo alguns valores não declarados nas metodologias dos trabalhos, assinalados com asterisco. Nos trabalhos com maior número de variáveis descritas (ou seja, que tivemos que assumir menos valores), é possível verificar correlação com baixa diferença com os valores obtidos pela ferramenta.

Nos trabalhos com menos variáveis de manejo descritas (ID's 3, 4, 5 e 6), apenas um valor é comparado como baixo, os demais estão com média e alta diferença. Não é possível analisar estatisticamente estes valores pela baixa quantidade de trabalhos e pelas incertezas envolvidas. Entretanto, estas diferenças indicam uma tendência de aumento da precisão nos valores da ferramenta conforme aumenta a descrição dos dados de entrada no modelo.

Tabela 19. Valores de Fator C nas condições de manejo de alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil: comparação entre os dados obtidos pela ferramenta e pelos autores citados.

ID	Total de variáveis descritas no trabalho	Município	Época de Plantio	Época de preparo	Tipo de preparo	Cultura de cobertura	Manejo da palha	Número de cortes	Nível de manejo	Fator C ferramenta	Fator C autor	Diferença
1	4	Pindorama	Cana de ano	Outubro	Convencional*	Pousio*	50%*	3	Intermediário*	0.2046	0.1100 (De Maria <i>et al.</i> , 1994)	Baixa
2	4	Campinas	Cana de ano	Outubro	Convencional*	Pousio*	50%*	3	Intermediário*	0.1637	0.1100 (De Maria <i>et al.</i> , 1994)	Baixa
3	2	Catanduva	Cana de ano e meio*	Outubro*	Convencional*	Pousio*	50%	4*	Intermediário*	0.1258	0.3170 (Amaral, 2003)	Média
4	2	Catanduva	Cana de ano e meio*	Outubro *	Convencional*	Pousio*	100%	4*	Intermediário*	0.1219	0.1140 (Amaral, 2003)	Baixa
5	1	Jaboticabal	Cana de ano e meio*	Outubro *	Convencional*	Pousio*	50%*	4*	Intermediário*	0.2879	0.060 (Serra, 2003) ⁶⁷	Alta
6	1	Piracicaba	Cana de ano e meio*	Outubro *	Convencional*	Pousio*	50%*	4*	Intermediário*	0.1258	0.3066 (Sparovek e Weill, 2008)	Média
7	3	Rio Claro	Cana de ano e meio*	Outubro *	Convencional	Pousio*	100%	4*	Intermediário*	0,0119	0.1825 (Corrêa, 2016) ⁶⁸	Alta
8	4	Rio Claro	Cana de ano	Outubro	Convencional*	Pousio*	1%	4*	Intermediário*	0,5631	0.4247 (Corrêa, 2016) ⁶⁷	Baixa

* variáveis não descritas no trabalho, os valores assumidos são o do sistema de manejo padrão - Tabela 18 – ID 1

⁶⁷ O valor é descrito como cana planta, o valor de C da ferramenta, portanto, corresponde apenas ao primeiro período (do plantio até o primeiro corte)

⁶⁸ Valor descrito para o segundo corte. Na ferramenta, considerou-se valor parcial do 2º ao 3º corte.

4.5. Considerações finais

Os alcances máximos e mínimos de cada situação revelam que conhecer o manejo adotado é fundamental para a escolha dos valores do Fator C e, assim, modelar a perda de solo de forma mais próxima ao sistema de manejo do local de estudo. As variáveis com maior impacto benéfico no resultado final do Fator C, quando comparado com um sistema padrão, são i) alteração a no número de cortes (até -40%), ii) a época de plantio (-23%) e iii) a inserção de adubo verde como plantio de cobertura (-16%).

A ferramenta pode contribuir para o planejamento agrícola e para a delimitação de estratégias de manejo que permitam compatibilizar o sistema produtivo e a conservação do solo, tanto do ponto de vista do gestor da produção (agricultor) como do gestor público. Estudos para estimar a erosão evitada, sistemas de PSA ou compensação, relatórios ambientais setoriais e certificações ambientais podem utilizar os resultados como dados de entrada, bem como estudos e inventários de emissões de carbono.

A ferramenta é gratuita e está disponível para pesquisadores em: <www.esalq.usp.br/gerd> ou via contato direto com os autores⁶⁹.

Referências

- Amaral NS. Variabilidade espacial da expectativa e risco de erosão num Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar em Catanduva (SP). [Trabalho de conclusão de curso]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2003.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS Sistema de informações hidrológicas Hidroweb, 2005. Disponível em: [HTTP://hidroweb.ana.gov.br/](http://hidroweb.ana.gov.br/). Acesso em: 7 dez de 2011.
- Benkobi L, Trlica MJ, Smith JL. Evaluation of a refined surface cover subfactor for use in RUSLE. J. Range Manage. 1994; 47:74-78.
- Benkobi L, Trlica MJ, Smith JL. Soil loss as affected by different combinations of surface litter and rock. J. Environ. Qual. 1993; 22:657-661.
- Castro LG, Cogo NP, Volk LBS.(4). Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. R. Bras. Ci. Solo. 2006; 30:339-352.
- Caviglione JH, Fidalski J, Araújo AG, Barbosa GMC, Llanillo RF, Souto AR. Espaçamento entre terraços em plantio direto. Londrina: IAPAR, 2010. (Boletim técnico 71).
- Corrêa, EA Perdas de solo e índices de vegetação: proposta metodológica para determinação do Fator C (MEUPS) em pastagens e cana-de-açúcar [tese]. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista; 2016.
- Darboux F, Reichert JM, Huang C. Soil roughness effects on runoff and sediment production. 13th International Soil Conservation Organisation Conference; julho 2004; Brisbane. Brisbane: ISCO; 2004. paper n. 116.
- De Maria IC, Lombardi Neto F, Dechen SCF, Castro OM. Fator da equação universal de perdas de solo (EUPS) para a cultura da cana-de-açúcar. In: Anais da X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água Resumos; 1994; Florianópolis. Florianópolis:SBCS; 1994. p.148-149.

⁶⁹ casonidarocha@gmail.com; gerd@usp.br

- De Maria, I.C.; Drugowich, M.I.; Bortoletti, J.O.; Vitti, A.C.; Rossetto, R.; Fontes, J.L.; Tcatchenco, J.; Margatho, S.M.F. Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar. 1a ed. Campinas: IAC, 2016 (Boletim Técnico IAC n. 216).
- Lombardi Neto F, Moldenhauer WC. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas SP. *Bragantia*.1992;51: 189-196.
- Macedo IC. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). *Biomass and Bioenergy*. 1998; 14:77-81.
- MAPA, 2016 Evolução da produtividade da cana-de-açúcar por porte. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETEMBRO_2012/evolucao%20produtividade%20cana.pdf, acesso em 18 de ago de 2016.
- Otto R, Franco RCJ, Faroni CE, Vitti AC, Trivelin PCO. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. *Pesq. agropec. bras.* 2009; 44:398-405.
- Redin M. Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e plantas de cobertura de solo [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2010.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: USDA; 1997. (Agricultural Handbook n. 703).
- Serra AS. Expectativa e risco de erosão dos solos da FCAV/UNESP – Jaboticabal (SP) [trabalho de conclusão de curso]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista; 2004.
- Streck EV, COGO NP. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. *R. Bras. Ci. Solo*. 2003;27:141-151.
- UNICA União da Indústria de cana-de-açúcar. Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista: dados consolidados das safras 2007/08 a 2013/14. São Paulo: ÚNICA; 2016. Disponível em: <<http://unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=28826518>>
- Weill MAM, Sparovek G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. *R Bras Ci Solo*.2008; 32:801-814.
- Wischmeier WH; Smith DD. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washngton: USDA; 1978. (Agricultural Handbook, 537).

APÊNDICES

APÊNDICE A. Análise da vazão e sedimentação de duas bacias hidrográficas

Originalmente, este trabalho previa estudos em campo, monitorando vazão e sedimentação de duas bacias hidrográficas, com objetivo de comparar sistemas de conservação de solos. Esta etapa do projeto não foi concluída. Pela relevância do tema e a potencialidade das áreas para futuros estudos, a descrição geográfica das bacias e alguns resultados obtidos são apresentados neste apêndice.

Ocorreu uma tentativa de monitoramento hidrossedimentológico de duas bacias hidrográficas. O objetivo era comparar duas bacias com sistemas de manejo distintos. Uma com terraços de infiltração e outra sem terraços, com sistema de escoamento superficial difuso.

Algumas dificuldades encontradas ao longo do projeto inviabilizaram a realização da análise:

- Logística: acesso e isolamento dificultaram
- Falta de automação no processo: todas as medições foram manuais e isso limitou a obtenção de dados
- Perda de vertedor: inicialmente a medição seria com vertedor, de forma a perenizar o projeto. Houve uma chuva extrema e o vertedor foi destruído, tivemos, portanto, que alterar a metodologia (uso de réguas e construção de curva-chave).

As duas bacias apresentam potencial para estudos, especialmente se conseguir estruturar sistemas automatizados de captura de dados. A título de apresentação do trabalho parcialmente realizado, é apresentado brevemente a metodologia e alguns resultados, não sendo possível concluir sobre o objeto do projeto: comparação entre sistemas de manejo.

O primeiro desafio foi encontrar duas bacias hidrologicamente comparáveis, com características geomorfológicas semelhantes. Análises do relevo e buscas em campo foram realizadas. Duas bacias foram selecionadas com características satisfatórias e, posteriormente, analisadas digitalmente em SIG. São apresentadas na Figura 10 e Figura 11 mapas gerais das bacias e especificamente um local propício ao monitoramento (Figura 12 e Figura 13).

Figura 10. Mapa das bacias: ESD, altimetria (A) e declividade (B) e Terraços, altimetria (C) e declividade (D).

Figura 11. Bacias selecionadas (em vermelho e em amarelo), a Bacia do Rio Lençóis (azul) e seus municípios

Figura 12. Vista da seção transversal do canal da bacia Terraços

Figura 13. Vista da seção transversal do canal da bacia ESD

A construção da curva-chave teve como objetivo transformar os dados de altura (cm) das réguas instaladas nos rios em vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). Portanto, nesta etapa, determinou-se, em campo, a correspondência entre altura na régua e a respectiva vazão, sendo executada com auxílio de um molinete hidrométrico, que mede a velocidade do curso.

No ponto da medição da velocidade, determina-se a área molhada do rio, com trenas e réguas. A partir disso, usando a fórmula descrita pela Equação 14, é determinada a vazão.

$$Q = VA_{\text{seção}} \quad \text{Equação 14}$$

Q = Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

V = Velocidade ($\text{m}.\text{s}^{-1}$)

$A_{\text{seção}}$ = Área da seção molhada do corpo d'água (m^2)

(A)

(B)

(C)

(D)

(E)

(F)

Molinete hidrométrico utilizado na determinação da velocidade do rio. (A) Detalhe da hélice, (B) em uso, dentro d'água. C, D, E e F são detalhes de campanhas de medição e das réguas instaladas.

O monitoramento diário, feito por parceiros nas localidades das bacias, capta oscilações gerais da chuva e da vazão. Os dados foram coletados a cada 12h, tanto de chuvas, com auxílio de um pluviômetro, como de vazão dos rios, a partir da leitura na régua instalada em cada bacia (Figura 14 e Figura 15). As leituras foram feitas de forma escrita (anotações em caderno de campo) e em fotos, de forma a ter uma maior segurança e nos resultados.

Figura 14. Gráfico das chuvas e vazão para Bacia Terraços (12 em 12h)

Figura 15. Gráfico das chuvas e vazão para Bacia ESD (12 em 12h)

A partir das medições de cada evento, foi construída uma curva-chave para cada bacia e para os referidos pontos. São apresentadas na Figura 16.

Figura 16. Curva chave referidas das bacias de estudo (eixo y: vazão-L/s; eixo x: altura da régua- cm)

As dificuldades nesta etapa foram a previsão das chuvas e a logística de campo (transporte em estradas de terra na chuva). Conseguimos analisar 4 eventos. A partir das observações de campo, foi possível construir um gráfico da vazão (eixo y principal), pela precipitação (eixo y secundário) pelo tempo (eixo x), para cada evento.

Na primeira figura, a vazão de pico se deu aproximadamente 1h30 depois do início da chuva em intensidade elevada (9h00). A ordem de grandeza do aumento da vazão foi de mais de 10 vezes, indo de cerca de 100 L.s⁻¹ para 1400 L.s⁻¹.

(A)

(B)

(C)

(D)

Figura 17. Descrição das chuvas e evolução da vazão de um evento na bacia Terraços (C) e três eventos na bacia ESD (A, B e D)

APÊNDICE B. Leis e normas estaduais sobre conservação de solo

Este apêndice contém seis tabelas, uma para cada classe de leis e normas desenvolvidas no item 2.3 do Cap. 2. Arcabouço legal e sua relação com a produção científica na área de conservação de solo no Brasil (p. 18). As tabelas contêm a relação de leis e normas, o estado correspondente e um breve comentário a respeito dos mecanismos de ação das referidas normas.

Tabela 20. Leis ou normas que definem a importância, mas não delimitam mecanismos de controle ou estímulo à conservação do solo.

UF	Normas	Comentários
Alagoas	Lei 5854/1996	O governo prevê criar mecanismos de fomento à programas de conservação de solo e regeneração ou recomposição de áreas degradadas, para incremento do potencial florestal do estado, bem como a minimização da erosão e o assoreamento de cursos de água, naturais ou artificiais. Não é explícito os mecanismos desta lei.
Amapá	Lei complementar 5/1994	No código ambiental estadual, há uma seção definindo que a utilização do solo deve seguir critérios técnicos de uso e de recuperação. Assume como competência por parte dos executores da política ambiental estadual elaborar e implantar a política de uso racional do solo agrícola.
Amazonas	Lei complementar 53/2007	Institui o sistema estadual de unidades de conservação. Considera a conservação do solo um serviço ambiental, mas não delimita ou prevê instrumentos de fomento focados da conservação do solo.
Distrito Federal	Lei 41/1989	A conservação de solo é citada genericamente na Política Ambiental do DF. É uma diretriz da política ambiental distrital, mas não define mecanismos de execução.
Rondônia	Lei 547/1993	Cria o sistema estadual de desenvolvimento ambiental e tem como um dos objetivos a organização e utilização racional do solo.

Tabela 21. Leis ou normas que contemplam instrumentos de educação, informação e conscientização acerca da conservação de solo

UF	Normas	Comentários
Ceará	Lei 14892/2011	Consta na política estadual de educação ambiental que erosão e conservação do solo devem ser temas no ensino formal.

Tabela 22. Leis ou normas que tratam a conservação de solo via conservação florestal, sem prever ou considerar a conservação do solo agrícola

UF	Normas	Comentários
Bahia	Lei 6569/1994	É uma política florestal, pensa a conservação do solo via planejamento do uso da terra, ou seja, fomentando a regeneração ou recomposição florestal.
Espírito Santo	Lei 5361/1996	Institui como obrigação do estado promover e difundir técnicas de conservação de solo. A conservação do solo é prevista via planejamento do uso, fomento florestal. Não delimitação da conservação de solo das áreas agrícolas.
Rio Grande do Norte	Leis 9254/2009 8426/2003	A conservação de solo é citada como parte das diretrizes de unidades de conservação.
Roraima	Lei complementar 7/1994	Conservação do solo é um capítulo da Lei que institui a política ambiental estadual. Prevê que o poder público estabelecerá normas de uso, obedecendo critérios técnicos e características ambientais e sociais. Tem uma visão de controle da erosão por reflorestamento.

Tabela 23. Leis ou normas de que levam em consideração a conservação do solo por meio de instrumentos reguladores (licenças ou zoneamentos)

UF	Normas	Comentários
Acre	Lei	A conservação de solo é objetivo do Sistema estadual de áreas naturais protegidas e é citada como pré-requisito para o zoneamento ecológico-econômico.
	1426/2001	
	1500/2003	
Santa Catarina	Lei	Lei indireta, espécie de código florestal estadual. A conservação de solo é parte de critérios para o Programa de Regularização Ambiental.
	16342/2014	
Minas Gerais	Decreto 43710/2004	Regulamenta a política florestal estadual. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado. A conservação de solo é parte de critérios para o PRA. Tem uma lógica de conservação do solo via planejamento do uso - fomento a florestas. Não prevê a conservação do solo em áreas agrícolas.
Goiás	Lei 18104/2013	A conservação de solo e água deve ser observada na execução de programa de regularização ambiental. A conservação de solo e água é delimitada apenas nas áreas florestais ou de interesse ambiental.
Rio Grande do Sul	Decreto 52751/2015	Institui a Política de Conservação do Solo e da Água no Estado do Rio Grande do Sul. Considera a perda de solo e baixa capacidade de infiltração um problema no estado. Tem uma linha de atuação regulatória, incentivando o uso da terra adequado e a aplicação de políticas já existentes (Cadastro ambiental rural, programa agricultura de baixo carbono), elaboração e distribuição de manuais técnicos.
Mato Grosso do Sul	Lei 2043/1999	Estabelece a obrigatoriedade de apresentação de projeto de manejo e conservação de solo para obtenção de licença de desmatamento. Atua essencialmente em áreas agrícolas ou em processo de conversão de uso.

Tabela 24. Leis ou normas que preveem mecanismos de pagamento por serviços ambientais

UF	Normas	Comentários
		Lei da Política estadual de pagamento por serviços ambientais.
Paraíba	Lei 10165/2013	Define dois subprogramas com a conservação de solo como pano de fundo. Um com a lógica do reflorestamento como conservador do solo (conservação pelo uso) e o segundo, que lida com a questão do sequestro de carbono, dispõe sobre uso e manejo adequados para o armazenamento do carbono.
	Resolução Consema 10/2004	Resolução do conselho ambiental estabelece que deve ser feito planos de conservação de solo em empreendimentos de uso alternativo do solo.
Piauí	Lei 5813/2008	A lei do ICMS ecológico tem um item que consta a conservação do solo como critério na distribuição dos repasses aos municípios (item d) redução do risco de queimadas, conservação do solo, da água e da biodiversidade).
	Decreto 14348/2010	Há três tipos de selos, e cada selo tem um percentual de repasse A conservação de solo é uma parte de um subitem (d), que compõe o Selo A (todo o selo tem peso de 2%, do total de 5% reservado ao ICMS ecológico).
Tocantins	Leis 1323/2002	Uma lei é a da criação do ICMS ecológico, no qual a conservação do solo é critério. A mais recente, estabelece critérios de partilha do ICMS para os municípios, define um índice de conservação e manejo do solo por município tem peso igual a 2,0 no montante geral a ser repassado pelo estado ao município.
	2959/2015	
Pará	Lei 6462/2002	O licenciamento ambiental deve levar em consideração a fragilidade do solo. Incentivos ou linhas de créditos especiais para proprietários que tenham restrição de uso por fragilidade do solo.

Tabela 25. Leis ou normas relacionadas que delimitam penalidades aos responsáveis com a não conformidade com a conservação de solo,

UF	Norma	Comentário
Maranhão	Lei 5405/1992	Há uma seção exclusiva para a conservação do solo.
		O solo deve ser utilizado com técnicas que visem sua conservação, não definindo critérios em lei. A adoção e fomento de técnicas devem ser planejadas independentemente dos limites de propriedade, mas sim com critérios ambientais. Define o que deve ser controlado (dunas, assoreamento, etc.), ou seja, indiretamente, delimita o que é degradação ou solo não-conservado. O estado deve prover meios de estimular o uso racional e exigir a recuperação por parte do responsável, prevendo inclusive a execução pelo estado às custas do causador do dano. Causador da degradação ou desertificação deve promover a recuperação, podendo ter financiamento estatal para tal finalidade.
Mato Grosso	Lei 6115/1992	O estado pode intervir, executando a recuperação às custas do causador.
		Caso não seja recuperável, a área será considerada APP.
		A punição prevista progride de uma advertência, a suspensão do crédito rural e do acesso aos benefícios, auxílios e incentivos dos programas governamentais, multas, até a desapropriação de terras.
Paraná	Portaria 272/2014	Dispõe sobre a fiscalização para cumprimento da lei de conservação de solo.
	Resolução 172/2010	Para todas áreas agrícolas, define que as práticas conservacionistas devem estar de acordo com os parâmetros técnicos estabelecidos por publicações oficiais da Secretaria de Agricultura ou IAPar. O que não tiver amparo técnico, é considerado infração.
	Decreto 4861/1998	Atualiza as penalidades do decreto de 1985, indo de advertência por escrito à desapropriação de terras.
	Decreto 6120/1985	Estado pode intervir, recuperando o dano e o proprietário deve pagar os custos em 5 anos. Descreve todas as técnicas conservacionistas.
São Paulo	Lei 6171/1988	Lógica de que é infração apenas na materialidade do dano, ou seja, quando tem erosão.
		A punição pode ser revogada por meio de elaboração e execução de um projeto de recuperação da área. É prevista punição, partido de uma advertência verbal, multa e até a desapropriação da terra.

APÊNDICE C. Banco de dados de Fator C (RUSLE/USLE) da cana-de-açúcar

Este apêndice contém todas as citações, valores e descrição dos trabalhos com valores de Fator C para cana-de-açúcar. Este banco de dados é composto de diversas informações e foi construído conforme descrito no cap. 3.2 (p. 41).

Tabela 26. Descrição das citações sobre Fator C da cultura da cana-de-açúcar: tipo de trabalho, citação, valores obtidos e condições

Valor	Condições	Método ou Citação de outro trabalho	Autor(es), (Ano)	Local do estudo (UF)	Local do estudo (País)	Tipo de trabalho
0.11	Cana soca	Nota técnica do Soil Conservation Service (SCS, 1975)	Brooks (1977)	Hawaí	Estados Unidos	Livro
0.29	Plantio de inverno					
0.11	Cana soca	Brooks (1977)	El-Swaify <i>et al.</i> (1982)	Hawaí	Estados Unidos	Livro
0.29	Plantio de inverno					
0.13-0.40	Não descrita	El Swaify <i>et al.</i> (1982) Wischmeier e Smith (1978)	Morgan (1986)			Livro
0.1	Não descrita	Dado gerado pelos autores baseados em proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985)	Stein <i>et al.</i> (1987)	São Paulo	Brasil	Trabalho de congresso
0.05	Com incorporação de palha	Dados gerados pela seção de conservação de solo do IAC (não publicados), razões de perda de solo em parcelas	Donzelli <i>et al.</i> (1992)	São Paulo	Brasil	Artigo técnico
0.10	Sem manejo					
0.11	Para plantio em outubro	Gerado por razões de perda de solo em parcelas, em áreas do IAC, em dois locais no estado de São Paulo	De Maria <i>et al.</i> (1994)	São Paulo	Brasil	Trabalho de congresso
0.11	Não descrita	De Maria <i>et al.</i> (1994) Donzelli <i>et al.</i> (1992)	Vázquez-Fernandez <i>et al.</i> (1996)	São Paulo	Brasil	Trabalho de congresso

Valor	Condições	Método ou Citação de outro trabalho	Autor(es), (Ano)	Local do estudo (UF)	Local do estudo (País)	Tipo de trabalho
0.1076	Primeiro corte	Lombardi Neto (comunicação pessoal), dados preliminares em desenvolvimento pelo autor (1998)	Cavalieri (1998)	São Paulo	Brasil	Tese
0.3066	-	Calculado baseado no crescimento da planta (Machado <i>et al.</i> , 1982) e conceito de Wischmeier e Smith (1978)	Weill (1999)	São Paulo	Brasil	Tese
0.3066	-	De Maria <i>et al.</i> (1994)	Sparovek <i>et al.</i> (2000)	São Paulo	Brasil	Artigo
0.35	Plantio em Janeiro com 20% de resíduo inicial	Conceito de Renard <i>et al.</i> (1997) e baseado em medições de parâmetros em campo (crescimento de cultura, rugosidade) para as condições do	Evensen <i>et al.</i> (2001)	Hawaii	Estados Unidos	Boletim Técnico
0.58	Plantio em Maio sem cobertura do solo	Hawaii				
0.12		Cavalieri (1998)	Weill <i>et al.</i> (2001)	São Paulo	Brasil	Trabalho de congresso
0.05- 0.3066		Donzelli <i>et al.</i> (1992) Cavalieri (1998) Weill (1999)	Fujihara (2002)	São Paulo	Brasil	Tese
0.114	Com 100% de cobertura do solo	Parcelas experimentais, calculando a RPS para dois tratamentos	Amaral (2003)	São Paulo	Brasil	Trabalho de conclusão de curso
0.317	Com 50% de cobertura do solo					
0.1533 (CP combinado)		De Maria <i>et al.</i> (1994)	Bacchi <i>et al.</i> (2003)	São Paulo	Brasil	Artigo

Valor	Condições	Método ou Citação de outro trabalho	Autor(es), (Ano)	Local do estudo (UF)	Local do estudo (País)	Tipo de trabalho
0.06	cana planta	Cita razões de perda de solo do trabalho de Pundek (1994), calculando o Fator C para a região de interesse	Serra (2004)	São Paulo	Brasil	Trabalho de conclusão de curso
0.05 – 0.3066		Fujihara (2002)	Prado e Nóbrega (2005)	Paraná	Brasil	Artigo
0.3066		Weill (1999)	Ribeiro (2006)	Rio de Janeiro	Brasil	Tese
0.104		Parcelas padrão, em vários anos e ciclos da cultura	Bengtson e Selim (2007)	Louisiana	Estados Unidos	Trabalho de congresso
0.3066		-	Ribeiro e Alves (2007)	Rio de Janeiro	Brasil	Trabalho de congresso
0.1743		Mitchell e Bubenzer (1980)	Silva <i>et al.</i> (2007)	São Paulo	Brasil	Artigo
0.3066		Calculado baseado no crescimento da planta (MACHADO <i>et al.</i> , 1982) e dados base obtidos em Wischmeier e Smith (1978)	Weill e Sparovek (2008)	São Paulo	Brasil	Artigo
0.3066		Ribeiro e Alves (2007)	Machado <i>et al.</i> (2009)	Minas Gerais	Brasil	Trabalho de congresso
0.1		Stein <i>et al.</i> (1987)	Mata (2009)	Minas Gerais	Brasil	Tese
0.09		Parcelas padrão, em vários anos e ciclos da cultura	Bengtson e Selim (2010)	Louisiana	Estados Unidos	Trabalho de congresso
1º corte=0.16, 2º corte=0.10, 3º corte= 0.09, 4º corte= 0.07,	Cana sem queima	Amaral (2003)	Andrade <i>et al.</i> (2011)	São Paulo	Brasil	Artigo

Valor	Condições	Método ou Citação de outro trabalho	Autor(es), (Ano)	Local do estudo (UF)	Local do estudo (País)	Tipo de trabalho
5º corte= 0.06						
1º corte=0.16, 2º corte=0.13, 3º corte=0.16, 4º corte= 0.13 5º corte= 0.13	Cana com queima					
0.3066		Ribeiro e Alves (2007)	Farias e Reis (2011)	Pernambuco e Alagoas	Brasil	Trabalho de Congresso
0.084		Parcelas padrão, em vários anos e ciclos da cultura	Bengtson e Selim (2012)	Louisiana	Estados Unidos	Trabalho de congresso
0.0012		Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (1990)	Costa e Silva (2012)	Paraíba	Brasil	Artigo
0.05-0.10		Donzelli <i>et al.</i> (1992)	Demarchi (2012)	São Paulo	Brasil	Tese
0.1533	Cana com queima	Ribeiro e Alves (2007)	Monteiro (2012)	Rio de Janeiro	Brasil	Tese
0.3066	Cana sem queima					
0.018		Silva <i>et al.</i> (2007)	Silva (2012)	Pernambuco	Brasil	Artigo
0.3066		Weill e Sparovek (2008)	Aragão <i>et al.</i> (2013)	Sergipe	Brasil	Artigo
0.018		Silva <i>et al.</i> (2012)	Xavier <i>et al.</i> (2013)	Paraíba	Brasil	Artigo
0.018		Silva <i>et al.</i> (2012)	Xavier e Silva (2014)	Paraíba	Brasil	Trabalho de congresso
0.096	Cana sem queima	Andrade <i>et al.</i> (2011)	Ayer <i>et al.</i> (2015)	Minas Gerais	Brasil	Artigo
0.142	Cana com queima					
0.1		Nilo <i>et al.</i> (2011)	Olivetti <i>et al.</i> (2015)	Minas Gerais	Brasil	Artigo

Valor	Condições	Método ou Citação de outro trabalho	Autor(es), (Ano)	Local do estudo (UF)	Local do estudo (País)	Tipo de trabalho
0.35- 0.58		Evensen <i>et al.</i> (2001)	Ramos-Scharron <i>et al.</i> (2015)	Porto Rico	Porto Rico	Artigo
0.1308-0.2342	Cana soca	Fator C em parcelas, em área produtiva	Corrêa (2016)	São Paulo	Brasil	Tese
0.4181-0.4314	3º corte					

APÊNDICE D. Metodologia para determinação do subfator CC

As variáveis básicas para determinação do subfator CC, descritos no cap. 4.2.2 (p. 59), foram determinados por meio de fotografias tiradas em campo, ao longo de um ciclo de 1 ano, em talhões com características distintas, tais como: época de plantio, fertilidade e tipo de preparo e de solo.

Técnica de coleta das imagens

As imagens da cobertura do dossel foram obtidas com uma câmera fotográfica fixada em um suporte desmontável (ou torre fenológica móvel) com 3.05 m de altura, confeccionada em PVC (Figura 18).

A câmera utilizada foi uma Nikon Coolpix S5300 V11, a uma altura de 3.05m, a imagem teve um alcance horizontal de 412 m e vertical de 309 m, com configuração de dimensão 4:3 totalizando uma área de 12.73 m² (Figura 19). O alcance horizontal da torre é pequeno, tornando parte da imagem captada inutilizada (parte de baixo da imagem contém a própria torre e o operador).

As imagens foram obtidas na estação experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios de Piracicaba (APTA-Piracicaba). A partir do banco de dados de imagens formado, de cada tratamento ao longo do ciclo completo da cana-de-açúcar, foi necessária a fotointerpretação, ou seja, a separação do que é planta viva (folhas verdes, correspondentes à cobertura do dossel), restos vegetais (cobertura da liteira) e solo exposto (Figura 20).

Processamento e classificação das imagens

A diferenciação das três partes, liteira, solo e folhas vivas foi feita por cor. As imagens foram salvas com extensão “JPEG” e classificadas utilizando o software desenvolvido pela EMBRAPA- SISCOB (Jorge e Silva, 2013). Este software utiliza padrões para definir uma rede neural que fará a classificação automática das imagens. Foi utilizada a mesma rede neural para todas as imagens ao longo do ciclo. Fluxo de processos para a classificação e dos percentuais de cada item (folha, palha, solo) é apresentado abaixo:

- treinamento da rede (R1)
- aplicação e avaliação de R1
- novo treinamento a partir de outras imagens da rede (R2)
- aplicação e avaliação de R2
- novo treinamento a partir de outras imagens da rede (R3)
- aplicação e avaliação de R3
- Aplicação de R1, R2 e R3 para todas campanhas executadas
- Avaliação visual imagem a imagem e escolha da melhor Rede para cada dia
- Exportação dos percentuais de cada parte (folha, palha, solo) de cada imagem obtida
- Exclusão de valores extremos (avaliação numérica) e imagens discrepantes (avaliação visual)
- Organização do Banco de Dados por tratamento e por dia
- Regressão logística individualizada, por tratamento (pois diferem da data de plantio), obtendo uma curva de percentual de cobertura de solo em função dos dias após o plantio (DPP).

Figura 18. Imagens do suporte de 26 m de altura (A) montado e (B) desmontado

Figura 19. Imagens produzida pelo suporte, área teste na ESALQ

Figura 20. Fluxo de obtenção e processamento das imagens (A) imagem original, com elementos estranhos à cultura da cana (torre e operador) (B) imagem cortada, de acordo com o espaçamento e eliminando partes indesejadas e (C) imagem cortada processada, com separação entre folhas, palha e solo (verde escuro, amarelo e marrom, respectivamente).

Ajuste logístico e análises estatísticas

Para cada tratamento e condição estudada, os dados de cobertura e altura foram ajustados num modelo matemático empírico logístico. Como utilizado para a cultura da cana-de-açúcar na estimativa de crescimento por McMartin (1979), para o acúmulo de nitrogênio por Gava *et al.* (2001) e para o acúmulo de matéria seca por Batista *et al.* (2013).

$$y = \frac{C}{1 + Ae^{Bx}}$$

y - % de cobertura ou altura da planta (m)

C – valores máximos de cobertura ou altura

x – dias após o corte ou plantio

C, A, E – variáveis de ajuste

Basicamente, os valores de ajuste podem ser interpretados para a aplicação deste trabalho como: **A**, curva continua com mesma inclinação, só muda os pontos de inflexão; **N**, muda a inclinação da curva, quanto menor mais veloz o crescimento (até atingir o máximo, valor de C) e **C** é o valor máximo de cobertura do modelo.

Os valores de A, B e C para plantio em fevereiro, maio e outubro são apresentados na tabela abaixo. A descrição dos valores para alterações em cobertura e outras variáveis estão no capítulo 4 (p.55).

Tabela 27. Valores de A, B e C da regressão logística para três épocas de plantio (cana-planta)

Plantio	A	B	C
Fev	27.842	-0.023	99
Mai	29.213	-0.033	99
Out	20.835	-0.045	99

Referências

- Batista ELS, Zolnier S, Ribeiro A, Lyra GB, Silva TGF, Boehringer D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2013; 17:1080–1087.
- Gabriels D, Ghekiere G, Schiettecatte W, Rottiers I. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. *Soil and Tillage Research*. 2003; 74:47–53.
- Gava GJC, Trivelin PCO, Oliveira MW, Penatti CP. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesq. agropec. bras.* 2001; 36:1347-1354.
- Jorge LAC, Silva DJCB. *SisCob- Software para análise de cobertura vegetal 1.0*. São Carlos:Embrapa Instrumentação Agropecuária; 2013.
- McMartin A. The logistic curve of plant growth and its application to sugarcane. In: *Proceedings of the 53rd Annual Congress*, junho 1979. South Africa: South African Sugar Technologists Association; 1979. p. 189-193.