

Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar

Isabella Clerici De Maria
Mário Ivo Drugowich
José Osmar Bortoletti
André César Vitti
Raffaella Rossetto
José Luiz Fontes
Jairo Tcatchenco
Silvana Maria Franco Margatho

Instituto Agrônômico (IAC)
Campinas, outubro de 2016



**Governo do Estado de São Paulo
Secretaria de Agricultura e Abastecimento
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Instituto Agrônomo**

Governador do Estado de São Paulo
Geraldo Alckmin

Secretário de Agricultura e Abastecimento
Arnaldo Jardim

Secretário-Adjunto de Agricultura e Abastecimento
Rubens Rizek Jr.

Coordenador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Orlando Melo de Castro

Coordenador da Assistência Técnica Integral
João Brunelli Júnior

Coordenador da Defesa Agropecuária
Fernando Gomes Buchala

Diretor Técnico de Departamento do Instituto Agrônomo
Sérgio Augusto Morais Carbonell

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Isabella Clerici De Maria

Mário Ivo Drugowich

José Osmar Bortoletti

André César Vitti

Raffaella Rossetto

José Luiz Fontes

Jairo Tcatchenco

Silvana Maria Franco Margatho

R311 Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar / Isabella Clerici De Maria; Mário Ivo Drugowich; José Osmar Bortoletti; et al. Campinas: Instituto Agrônômico, 2016
100 p. online (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 216)

ISSN 1809-7936

I. Cana-de-açúcar. 2. Conservação do solo. I. De Maria, Isabella Clerici. II. Drugowich, Mário Ivo. III. Bortoletti, José Osmar. IV. Vitti, André César. V. Rossetto, Raffaella. VI. Fontes, José Luiz. VII. Tcatchenco, Jairo. VIII. Margatho, Silvana Maria Franco. IX. Série. X. Título.

CDD. 633.61

O Conteúdo do Texto é de Inteira Responsabilidade dos Autores.

Comitê Editorial do Instituto Agrônômico

Gabriel Constantino Blain
Lúcia Helena Signori Melo de Castro

Equipe participante desta publicação

Coordenação da Editoração: Silvana Aparecida Barbosa Abrão
Maria Regina de Oliveira Camargo
Editoração Eletrônica e Capa: Cíntia Rafaela Amaro - Amaro Comunicação

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do Copyright © (Lei n.º 9.610).

Instituto Agrônômico

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento
Caixa Postal 28
13012-970 Campinas (SP) - Brasil
www.iac.sp.gov.br

APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas os sistemas de produção da cana-de-açúcar, o principal produto do agronegócio paulista, e que ocupa aproximadamente 30% da área cultivável do Estado de São Paulo, passaram por importantes mudanças tecnológicas, em função do desenvolvimento científico, das exigências ambientais, da legislação e da busca por maior produtividade e sustentabilidade. As principais alterações foram a eliminação das queimadas e a adoção do corte e colheita mecanizada.

A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA) estabeleceu um grupo técnico composto por especialistas nas áreas de conhecimento da conservação do solo e da água e da produção de cana-de-açúcar das Coordenadorias de Defesa Agropecuária (CDA), de Assistência Técnica e Extensão Rural (CATI) e da Pesquisa Agropecuária (APTA). O grupo técnico avaliou os impactos agrônômicos e ambientais sobre a conservação do solo e da água em função da necessidade de otimizar a colheita mecanizada e de eliminar a queima da palha nos sistemas de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Os profissionais do grupo técnico, pesquisadores, consultores e técnicos da iniciativa privada realizaram rodadas de discussão nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do nosso Estado e elaboraram a primeira versão deste Boletim, que foi então oferecida à consulta pública permitindo a maior participação dos interessados do setor. Este processo democrático e participativo de elaboração gerou um documento que contém recomendações técnicas que visam melhorar a operação nos sistemas de produção de cana-de-açúcar e permitir a obtenção de maior renda com menores impactos ambientais.

Como resultado deste esforço, o grupo técnico propôs o estabelecimento de procedimentos que visam analisar cientificamente as inovações tecnológicas por meio de projetos de pesquisa em áreas privadas previamente cadastradas, as quais serão acompanhadas pela APTA. Dessa forma, a SAA trabalha em parceria com o setor produtivo e dá maior celeridade à validação das novas tecnologias e cria um processo contínuo de atualização das recomendações técnicas da atividade.

Ressalto que, concomitantemente à produção deste Boletim, foi publicada a Resolução SAA nº 11 de 2015, que trata da normativa técnica para

a elaboração de Projetos Técnicos de Conservação do Solo, padronizando assim as ações das diferentes coordenadorias da SAA e o tutorial que detalha as etapas de trabalho para garantir maior efetividade às ações de fiscalização da legislação que trata do uso, conservação e preservação do solo agrícola.

Com esse conjunto de atos e ações e, fundamentalmente, com este Boletim “**Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar**”, a SAA contribui para elevar a competitividade e sustentabilidade da atividade sucroenergética do Estado de São Paulo, reduzir riscos da degradação do solo e promover conservação dos recursos naturais, harmonizando geração de renda e empregos com a preservação ambiental.

Deputado Arnaldo Jardim

Secretário de Estado de Agricultura e Abastecimento de São Paulo

PREFÁCIO

Cicatrizes de erosão que se mostram na paisagem indicam que algo de errado aconteceu e alertam que providências urgentes para sanear o problema e possibilitar a recuperação destas áreas degradadas devem ser adotadas. Isso é apenas a parte visível, já que a erosão laminar não mostra imediatamente seus efeitos.

Como determina a legislação, é competência da SAA ditar normas técnicas, construindo padrões e protocolos que sejam referência para o uso e conservação dos solos agrícolas. Este Boletim visa disponibilizar, dentro das especificidades da cultura da cana-de-açúcar, as propostas e conceitos apresentados na publicação oficial da SAA que versa sobre o assunto, o conjunto de Manuais Técnicos de nºs 38, 39, 40, 41 e 42, denominado Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e da Água (Lombardi Neto e Drugowich, 1994), acrescido de dados atualizados para dar suporte às recomendações de práticas conservacionistas aos novos sistemas de produção canavieira, com base nos conceitos e princípios da física e mecânica dos solos.

A inovação tecnológica busca o aumento da produtividade e eficiência dos processos que atendem às necessidades do homem, acompanhando as mudanças de cenários e tendências. O componente ambiental ajusta os processos tecnológicos à sustentabilidade, visando prover às próximas gerações os insumos mais importantes para a produção agrícola: o solo e a água.

Em função do desenvolvimento tecnológico e das exigências ambientais, de legislação e de mercado, os sistemas de produção da cultura canavieira sofreram substanciais alterações, gerando, portanto, novas demandas para assegurar a conservação do solo e da água. Para compreender a extensão dessas mudanças e seus efeitos, o grupo de especialistas representando os diferentes órgãos da SAA, visitou diferentes condições edafoclimáticas no Estado de São Paulo e vários segmentos do setor sucroenergético, dialogando com consultores, profissionais de campo (gerentes, extensionistas e agentes de defesa agropecuária), pesquisadores, professores, produtores e realizando revisões bibliográficas para traçar um diagnóstico, considerando conflitos entre legislação e prática, e as necessárias intervenções para atender as exigências das demandas social, econômica, técnica e ambiental.

Com o advento da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, os sistemas de produção tiveram que ser adaptados às máquinas disponíveis, gerando conflitos com os sistemas conservacionistas implantados. A busca de rendimento operacional de máquinas agrícolas não deve promover perdas de solo incompatíveis com a sustentabilidade dos sistemas de produção ou associadas a impactos ambientais relevantes.

Um dos maiores problemas é a compactação do solo nas áreas de cana-de-açúcar, especialmente nas que adotam práticas isoladas de controle da erosão em detrimento da aplicação de um conjunto de práticas consagradas, sejam simples ou complexas, que podem garantir a eficiência do planejamento conservacionista. A compactação reduz a infiltração de água, aumentando o volume de escoamento superficial, o que indica que é necessário associar ao planejamento das práticas conservacionistas o respeito à dinâmica das águas, por meio do planejamento do escoamento superficial.

Nas décadas de 60 e 70, adotavam-se práticas conservacionistas isoladas, muitas vezes o terraceamento, tendo como referência tabelas de espaçamentos com normas americanas. Nesse período os talhões eram pequenos e ocupavam terras de elevada aptidão agrícola, as terras roxas paulistas, solos argilosos, profundos e muito resistentes à erosão.

Já entre os anos 80 a 85, passou-se a adotar, ainda em pequenos talhões, o preparo profundo com uso de grade aradora para melhorar a infiltração, seccionando o declive com terraços e tendo como prática corriqueira o cultivo nas soqueiras. O sistema de terraceamento, como prática isolada ou principal continuava dando bons resultados.

O quinquênio seguinte, 85-90, trouxe novos tipos de terraços, como os em gradiente, com extensão de 250 a 300 m, e o início da expansão do cultivo, ainda incipiente, para solos menos resistentes à erosão. Nesse período novas recomendações para o dimensionamento de práticas conservacionistas foram apresentadas pelos órgãos da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, com base em dados de experimentações e de levantamentos de campo, que indicavam a importância do planejamento da conservação do solo e das práticas conjuntas, incluindo o manejo do solo e das culturas. Consagrou-se a adoção de diferentes épocas de plantio, na seca com irrigação por vinhaça, em solos mais suscetíveis à erosão (maior declive e alta relação textural) e a adoção das tabelas oficiais de espaçamentos de terraços em solos de menor suscetibilidade à erosão, com boa infiltração de água e menor declividade.

Grandes alterações nos sistemas de produção ocorreram a partir de meados da década de 90, com a intensificação do uso de colheita mecanizada e a expansão do cultivo em solos mais suscetíveis à erosão. A adoção de maiores espaçamentos entre terraços e o estímulo ao não cultivo das soqueiras coincidindo com a tendência de ampliação dos tamanhos dos talhões, visando aumento da eficiência das frentes de corte e maior rendimento operacional, resultaram na diminuição da eficiência das práticas tradicionais e aumentaram os riscos de erosão.

A partir de 2005, algumas usinas pioneiras passaram a adotar o sistema de sulcos retos, em certas condições especiais de solo e topografia. Em seguida, a partir de critérios isolados e busca de redução de custos, veio a adoção de sulcação reta sem terraços, com um manejo único para diferentes situações de paisagem, com linhas de plantio longas, sulcação reta em terraços passantes e sem escarificação. Essa tendência evoluiu para a eliminação total dos terraços, sem a validação pelos órgãos competentes da Secretaria de Agricultura e Abastecimento e sem o respaldo de resultados de pesquisa consolidados, gerando grandes problemas que culminaram com um acréscimo expressivo de autuações por parte da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, dentro das suas atribuições de aplicar a Lei de Uso do Solo.

A tendência atual é a de adoção crescente de práticas como canteirização permanente, controle de tráfego, preparo mais profundo, plantio direto e o planejamento da conservação do solo levando em conta, além do solo, sua inserção na paisagem, o clima e as práticas indicadas para situações específicas das glebas, classificadas em unidades de classes de capacidade de uso.

Como resultado dos esforços empreendidos para compreender e avaliar as mudanças ocorridas e as necessidades atuais do setor canavieiro, este Boletim de Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar, procura abordar os tópicos de interesse, como legislação, atributos dos solos, clima, sistemas de produção, classificação técnica, planejamento de ocupação do solo, planejamento da conservação do solo e parâmetros para cálculos de engenharia. O objetivo do trabalho foi oferecer subsídios para garantir segurança à exploração da cultura canavieira no que tange à conservação do solo, atendendo às demandas atuais, apresentando informações e recomendações para ações de conservação do solo e dimensionamento de práticas conservacionistas. Com isso, buscou-se a padronização dos referenciais técnicos para efeito de planejamento do uso do solo e da cultura da cana-de-açúcar, de acordo com a legislação vigente no Estado de São Paulo.

O conhecimento das potencialidades e limitações do meio físico é essencial para o planejamento conservacionista. Como define a legislação, a base para tal é o enquadramento das terras em Classes de Capacidade de Uso, que indicará áreas de risco de erosão. Essa caracterização vai embasar, juntamente com as informações disponíveis para cada situação de cultivo, a indicação segura do conjunto de práticas conservacionistas a serem adotadas no cultivo da cana-de-açúcar.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	2
2. LEGISLAÇÃO	5
2.1. Legislação ambiental	5
2.2. Legislação sobre conservação do solo no Estado de São Paulo	6
2.2.1. Definição de solo agrícola e conservação do solo	6
2.2.2. Conservação e o uso adequado do solo.....	7
2.2.3. Obrigações no escoamento das águas pluviais	8
2.2.4. Competência de fiscalização	9
2.2.5. Penalidades	9
2.2.6. Responsabilidades da autoria dos danos	10
2.2.7. Classificação dos danos causados ao solo agrícola.....	10
2.2.8. Apresentação do projeto.....	11
3. SOLOS E CLIMA DO ESTADO DE SÃO PAULO	12
3.1. Solos e levantamento do meio físico	12
3.2. Clima.....	20
3.3. Zoneamento agroambiental para a cana-de-açúcar.....	26
4. SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO CULTIVO DA CANHA-DE-AÇÚCAR	28
4.1. Características dos sistemas de manejo e a conservação do solo	28
4.2. Sistemas de preparo do solo.....	28
4.3. Fatores limitantes ao desenvolvimento radicular e época de plantio.....	32
4.4. Épocas de plantio	32
4.5. Espaçamentos e sistema de plantio	37
4.5.1. Espaçamentos.....	37
4.5.2. Plantio	37
4.5.3. Formas de plantio.....	38
4.6. Cultivo.....	42
4.7. Colheita da cana-de-açúcar e manejo da palhada	43
5. PLANEJAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO.....	44

5.1. Classe de capacidade de uso	46
5.1.1. Características e propriedades do solo	47
5.1.2. Características da paisagem	49
5.1.3. Erosão anterior	50
5.1.4. Fatores limitantes	51
5.2. Ambientes de produção	53
5.3. Risco de erosão	54
6. PLANEJAMENTO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO	55
6.1. Componentes do planejamento da conservação do solo	55
6.1.1. Projeto de Controle da Erosão (PCE)	55
6.1.2. Projeto de Controle da Enxurrada (PCX)	56
6.2. Descrição do Projeto de Controle da Erosão (PCE)	57
6.2.1. Técnicas para aumentar a cobertura vegetal	59
6.2.2. Técnicas para aumentar a infiltração de água	62
6.2.3. Técnicas para controlar o escoamento superficial	63
6.2.3.1. Direção da sulcação	63
6.2.3.2. Sistema de terraceamento	63
6.2.3.3. Canais e prados escoadouros	75
6.2.3.4. Canais divergentes	76
6.2.3.5. Arcabouço de estradas e carreadores	76
6.2.4. Elementos técnicos do PCE	77
6.3. Projeto de Controle da Enxurrada (PCX)	78
6.3.1. Conceitos	78
6.3.2. Estruturas de interceptação e condução da enxurrada	78
6.3.2.1. Terraços de Infiltração (TI)	79
6.3.2.2. Terraços de Drenagem (TD)	82
6.3.2.3. Canais Escoadouros Vegetados (CEV)	84
6.3.2.4. Sistemas conservacionistas sem terraços (ST)	87
6.3.3. Elementos técnicos do PCX	88
6.4. Manutenção e monitoramento dos projetos de conservação do solo	89
7. PESQUISA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA	91
ATUALIZAÇÃO E REVISÃO DESTE BOLETIM	93
AGRADECIMENTOS	93
LITERATURA CONSULTADA	94

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Isabella Clerici DE MARIA ⁽¹⁾

Mário Ivo DRUGOWICH ⁽²⁾

José Osmar BORTOLETTI ⁽³⁾

André César VITTI ⁽⁴⁾

Raffaella ROSSETTO ⁽⁴⁾

José Luiz FONTES ⁽⁵⁾

Jairo TCATCHENCO ⁽³⁾

Silvana Maria Franco MARGATHO ⁽⁵⁾

RESUMO

O controle dos processos erosivos e a manutenção da qualidade do solo são itens fundamentais para a sustentabilidade de sistemas de produção agropecuária. O objetivo deste trabalho é apresentar informações e recomendações para auxiliar o planejamento das ações de conservação do solo e o dimensionamento de práticas conservacionistas para o cultivo da cana-de-açúcar, considerando as demandas geradas com a mudança do sistema de produção para a colheita sem despalha a fogo e completa mecanização das operações de plantio, manutenção e colheita.

Palavras-chave: controle de erosão, práticas conservacionistas, proteção do solo.

⁽¹⁾ Instituto Agrônômico (IAC), Centro de Solos e Recursos Ambientais, Campinas (SP).
icdmaria@iac.sp.gov.br.

⁽²⁾ CATI, Centro de Informações Agropecuárias, Campinas (SP).

⁽³⁾ CDA, Escritório de Defesa Agropecuária, São José do Rio Preto e Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Polo Regional do Centro Sul/APTA, Piracicaba (SP).

⁽⁵⁾ SAA, Assessoria Técnica do Gabinete, São Paulo (SP).

ABSTRACT

RECOMMENDATIONS FOR SOIL CONSERVATION IN CANE SUGAR

The control of erosion and the maintenance of soil quality are key items for the sustainability of agricultural production systems. The objective of this report is to provide information and recommendations to assist the planning of soil conservation measures and the design of conservation practices for sugarcane cultivation, considering the demands generated by the change of the production system to harvest without burning the straw and complete mechanization on planting, maintenance and harvesting operations.

Key words: erosion control, conservation practices, soil protection.

1. INTRODUÇÃO

Em função da legislação em vigor, do desenvolvimento tecnológico e das exigências ambientais, os sistemas de cultivo da cana-de-açúcar mudaram significativamente na última década. A cana-de-açúcar produz grande quantidade de massa vegetal, tem sistema radicular vigoroso e é rústica, características que, associadas ao fato de não haver preparo da área anualmente, auxiliam a conservação do solo. Provavelmente por isso, as práticas conservacionistas utilizadas se restringiam a práticas mecânicas, especialmente os terraços em nível. Com as mudanças nos sistemas de cultivo surgiram particularidades que contribuíram para impulsionar processos erosivos e geraram conflitos com essas práticas tradicionalmente utilizadas para o controle da erosão. Entre essas particularidades podemos citar:

- Blocos, talhões e frentes de trabalho ocupando grandes áreas (microbacias);
- Retirada da palha para cogeração de energia e etanol de segunda geração;
- Tráfego intenso de máquinas muito pesadas, aumentando a compactação do solo e, com isso, o volume de enxurradas;
- Safras mais longas.

Por outro lado, novas oportunidades para a conservação dos solos no cultivo da cana-de-açúcar surgiram, como:

- Sistemas de manejo conservacionistas como plantio direto e cultivo mínimo;
- Canteirização permanente e controle de tráfego;
- Flexibilidade de épocas de plantio e de uso de cobertura do solo na época de reforma (adubo verde, braquiária, cobertura morta);
- Sistemas de produção e plantio de mudas pré-brotadas, com melhor qualidade, sanidade e rastreabilidade, que poderão impactar positiva ou negativamente o processo erosivo dependendo do sistema de manejo adotado.

Esses fatores afetam positiva ou negativamente a suscetibilidade das áreas agrícolas ao processo de erosão do solo e, portanto, devem ser considerados nos projetos de conservação do solo e na escolha das práticas necessárias para cada situação. Por exemplo, a utilização de preparo mínimo e plantio de inverno reduzem o risco de erosão, enquanto a retirada da palha e utilização de cultivos de verão podem aumentar esse risco.

O sistema conservacionista mais utilizado emprega o sistema convencional, com terraços e sulcação em nível, com espaçamentos entre terraços definidos em função do declive, buscando o mínimo de ruas mortas e com carreador entre os terraços. Esse sistema também é utilizado em áreas não indicadas para o uso dessas tecnologias, de acordo com as recomendações constantes do Manual Técnico atualmente em vigor (Lombardi Neto e Drugowich, 1994). O aumento do risco de erosão nesse sistema convencional vem ocorrendo em consequência do aumento de área dos blocos de manejo, maior compactação das lavouras pela mecanização e expansão do plantio para áreas mais suscetíveis à erosão. A utilização de terraços embutidos e invertidos de grandes dimensões, armazenando grandes volumes de água para conter o escoamento superficial e o arraste de terra, em solos de textura média e arenosa, aumentaram ainda mais os riscos e a extensão dos danos nos eventos extremos.

O sistema de terraços em desnível com canal escoadouro natural ou construído, em áreas de baixa infiltração ou de maior risco de erosão passou a ser mais utilizado, mas ainda há pouca experiência nesse tipo de tecnologia, principalmente na construção de canais escoadouros.

Cada vez mais frequente tem sido a implantação de projetos conservacionistas que mantêm o conceito do terraço em nível, mas utilizam outras práticas com objetivo de facilitar operações mecanizadas de plantio e colheita, como utilização de terraços em nível, de base larga, intercalado com terraços em nível embutido, com linhas de sulcação passantes sobre o terraço de base larga, utilizando ou não bacias de captação para coleta de

água excedente, ou apenas utilização de sulcação passante em tiro longo com terraço de base larga. Esses sistemas têm uma adaptação melhor às variações da paisagem (solo e relevo), mas são feitos utilizando experiências locais, sem levantamento de dados de campo ou bases teóricas, funcionando em solos mais resistentes à erosão e apresentando problemas quando tipos de solo, forma da paisagem, fluxo de enxurrada e época de plantio não são levados em consideração ou são desfavoráveis ao seu funcionamento.

Projetos que combinam terraço em nível e desnível, conforme o relevo do bloco de manejo e dependendo de textura e declividade do solo, ou até sem terraços nos terços superiores do relevo em áreas planas também têm sido implantados com frequência.

Por fim, há projetos que não utilizam terraços, com adoção de diversos tipos de sulcação, com e sem canais escoadouros para conduzir a enxurrada. Nesses projetos também há áreas bem conduzidas e sem erosão, e ocorrem também problemas de processos erosivos intensos, tanto nas áreas plantadas como nos canais construídos. Alguns desses projetos têm sido elaborados sem levar em conta conceitos básicos de conservação do solo, o que tem levado aos insucessos também por não serem consideradas diferenças entre solo, paisagens e histórico de erosão nas áreas de implantação.

A busca de novas opções na elaboração de projetos realizados com critérios conservacionistas tem como objetivo alcançar maior eficiência nas operações mecanizadas, buscando sulcos de maior comprimento, menor número de manobras, menor pisoteio das linhas e dos terraços e menor matação de linhas. Essas mudanças são importantes no sistema de manejo totalmente mecanizado da cana-de-açúcar, não apenas na questão do custo das operações, mas também para maior produtividade e longevidade do canavial. As mudanças nos projetos de conservação do solo foram necessárias, mas resultaram em insucessos em algumas situações pelo pouco conhecimento teórico e técnico dos fatores de controle do processo erosivo e da pouca experiência de produtores e técnicos em adaptar as práticas conservacionistas a cada condição particular de manejo, solo, clima e relevo, dentro da nova realidade de condução da cultura.

Assim, os projetos de conservação do solo devem:

- Identificar a intensidade e as causas da erosão já ocorrida na área e a restauração do potencial produtivo do solo quando necessário. A determinação da classe de capacidade de uso pode orientar a avaliação das causas da erosão já ocorrida;
- Qualificar e subdividir as áreas em relação às práticas conservacionistas adequadas considerando o risco de erosão e a presença de cicatrizes de erosão e decapitação de horizontes;

- Incluir no planejamento o projeto de produção agrícola (projeto agrônômico) considerando as características do sistema de produção para definir as práticas conservacionistas necessárias;
- Escolher práticas que proporcionam o aumento da cobertura vegetal e da infiltração da água no solo para, em sequência, planejar a condução da enxurrada na lavoura e na paisagem.
- Estabelecer um projeto de condução de excesso de enxurrada, incluindo práticas associadas ao leito de estradas e carregadores quando for o caso, associado a um projeto de controle de tráfego e de controle da compactação do solo;
- Estabelecer um programa de monitoramento das áreas após as práticas conservacionistas terem sido implantadas.

Este Boletim busca apresentar informações e recomendações para auxiliar o planejamento de ações de conservação do solo e do dimensionamento de práticas conservacionistas para o cultivo da cana-de-açúcar, em consonância com os conceitos apresentados nesta introdução.

2. LEGISLAÇÃO

2.1. Legislação ambiental

As áreas protegidas pela Legislação Ambiental (Lei Florestal Brasileira nº 12.651/12, de 25/5/2012, e nº 12.727/12, de 17/10/2012, regulamentada pelo Decreto Federal 7.830/12) dentro das propriedades agrícolas (Áreas de Preservação Permanente - APP e Reserva Legal - RL) devem ser consideradas no planejamento de uso e manejo das áreas de entorno e no planejamento da conservação do solo. Essas áreas estão estabelecidas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) de cada propriedade e suas respectivas ações de recuperação, quando for o caso, definidas pelo Plano de Recuperação de Áreas Alteradas e Degradadas (PRADA). É importante que os projetos de conservação do solo estejam integrados com o manejo das APP e RL. Destaca-se que a recuperação de vegetação ciliar ou a recomposição vegetal não são práticas de conservação do solo ou de controle de erosão e de retenção de sedimentos, e que processos erosivos devem ser controlados antes de atingir essas áreas. Por outro lado, as águas das enxurradas poderão ser conduzidas por canais escoadouros planejados ou outras estruturas até essas áreas, desde que não resultem em assoreamentos ou contaminações que prejudiquem o desenvolvimento da vegetação.

Na Legislação sobre Conservação do Solo no Estado de São Paulo, detalhada a seguir, a Resolução SAA nº 11, de 15/04/2015, que orienta a elaboração dos projetos de conservação do solo nas áreas autuadas, não especifica a necessidade de identificar as APPs e RLs nos croquis e detalhamentos. Entretanto, uma vez que essas áreas devem estar integradas ao projeto conservacionista, é importante que estejam anotadas.

2.2. Legislação sobre conservação do solo no Estado de São Paulo

A Legislação que dispõe o uso, conservação e preservação do solo agrícola no Estado de São Paulo compreende:

- Resolução SAA nº 11, de 15 de abril de 2015
- Decreto nº 45.273, de 6 de outubro de 2000
- Decreto nº 44.884, de 11 de maio de 2000
- Portaria CATI nº 6, de 24 de junho de 1997
- Resolução SAA nº 7, de 14 de maio de 1997
- Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997
- Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993
- Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988

2.2.1. Definição de solo agrícola e conservação do solo

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 2º

§ 1º - Considera-se solo agrícola para efeitos deste decreto a superfície de terra utilizada, ou passível de utilização para a exploração agrosilvopastoril.

Portanto, incluem-se como solo agrícola as áreas de terras com solo em pousio e aquelas abandonadas devido ao alto nível de degradação. Não são abrangidas por esta legislação o quadro urbano e as estradas, assim como as áreas protegidas pela Lei Florestal Brasileira, mas sim os danos causados por essas áreas ao solo agrícola.

§ 2º - Entende-se por conservação do solo a manutenção e melhoramento de sua capacidade produtiva.

Entende-se, assim, que a conservação do solo exprime uma produção agrossilvipastoril sustentável, ou seja, o projeto conservacionista deve ser econômica e ambientalmente viável.

§ 3º - As responsabilidades por danos ou prejuízos ao solo agrícola podem decorrer tanto de ação quanto de omissão e serão estabelecidas nos termos deste decreto.

2.2.2. Conservação e o uso adequado do solo

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 4º - A utilização e manejo do solo agrícola serão executados mediante planejamento embasado na capacidade de uso das terras, de acordo com técnicas de conservação do solo agrícola correspondentes.

O solo pode ser definido como um conjunto de corpos tridimensionais que ocupam a porção superior da crosta terrestre e é classificado em tipos, conforme suas propriedades, como textura, profundidade efetiva, permeabilidade, etc. Em função dessas diferentes propriedades, para cada tipo de solo há técnicas adequadas de conservação do solo correspondentes.

As terras podem ser definidas como o local onde está localizado o solo, incluindo sua caracterização e outros atributos do meio físico como: localização, vegetação, relevo, clima, impedimentos à mecanização e, ainda, as condições socioeconômicas não só da região, mas também do usuário deste solo.

Neste artigo, a legislação individualiza a propriedade rural. Com a junção das características dos solos e das terras pode-se elaborar um projeto de uso do solo agrícola para que não ocorra depauperamento, isto é, um projeto sustentável ambiental, social e econômico. A legislação não define qual ou quais técnicas devem ser utilizadas para a conservação do solo, mas penaliza quem não planeja adequadamente a conservação do solo, resultando em processos de erosão e degradação.

§ 1º - Os trabalhos de determinação das classes de capacidade de uso dos solos e de definição de tecnologia de conservação do solo agrícola serão priorizados pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento quando:

1. houver solicitação formal do interessado;
2. for constatada, em inspeção, irregularidade no uso do solo agrícola.

As irregularidades no uso do solo agrícola ocorrem quando o uso e o manejo adotados estão provocando erosão e/ou degradação de solos agrícolas. Por uso do solo entende-se a cultura ou as culturas implantadas. Por manejo entende-se o conjunto das operações e atividades realizadas e conduzidas

sobre, ou aplicadas ao solo, incluindo preparo do terreno, calagem, adubação, forma de semeadura, práticas e tratos culturais, práticas de controle de erosão e outros efetivos para a produção de vegetal.

Considera-se solo degradado quando seu uso atual e/ou as técnicas de manejo e conservação do solo adotadas acarretarem em perda de nutrientes, desequilíbrio nutricional, redução da atividade biológica e nível de matéria orgânica, deterioração da estrutura e compactação do solo, processo erosivo acelerado, redução do rendimento de colheitas, conforme definido no Decreto nº 41.719/1997, Artigo 7º.

Lei nº 6.171/1988, Artigo 3º - O planejamento e execução do uso adequado do solo agrícola será feito independentemente de divisas ou limites de propriedade, sobrelevando-se sempre o interesse público.

O planejamento e execução deve levar em conta o entendimento sistêmico da unidade de planejamento, seja ela propriedade rural, microbacia ou região, com a integração e a diversificação das atividades animais e vegetais, a utilização racional dos fatores de produção disponíveis no local e a busca da sustentabilidade.

§ 1º - Entende-se por uso adequado a adoção de um conjunto de práticas e procedimentos que visem a conservação, melhoramento e recuperação do solo agrícola, atendendo a função sócio-econômica da propriedade rural e da região.

O conceito da função socioeconômica da propriedade é dado por sua eficácia atual diante da sua capacidade de produção e geração de riqueza em harmonia com as condições de conservação ambiental.

2.2.3. Obrigações no escoamento das águas pluviais

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 11 - Todas as propriedades agrícolas, públicas ou privadas, ficam obrigadas a receber as águas de escoamento das estradas ou ferrovias desde que tecnicamente conduzidas, podendo essas águas atravessar tantas quantas forem as propriedades à jusante, até que essas sejam moderadamente absorvidas pelas terras ou seu excesso despejado em manancial receptor natural.

§ 1º - Não haverá em hipótese alguma indenização pela área ocupada pelos canais de escoamento do prado escoadouro revestido especialmente para esse fim.

§ 2º - O escoamento das águas das estradas ou ferrovias deverá ser conduzido tecnicamente, de forma a:

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

1. não causar erosão e degradação do solo nas propriedades agrícolas;
2. não poluir cursos d'água;
3. não obstruir o tráfego dentro da propriedade.

§ 3º - O escoamento das águas de uma propriedade através de outras propriedades será efetuado com observância do disposto no Código de Águas. (Decreto 24.643/1934, Capítulo I, Águas Públicas, Art.69).

Observa-se que as propriedades adjacentes, não poderão utilizar-se do leito das estradas para canalizar as águas de chuva delas oriundas e ficam obrigadas a permitir a utilização das áreas necessárias para adequação e manutenção das estradas e ferrovias e para o escoamento adequado das águas.

2.2.4. Competência de fiscalização

Decreto nº 44.884/2000, Artigo 1º, inciso II (que alterou o Decreto nº 41.719/1997, Artigo 12, §1º): A Coordenadoria de Defesa Agropecuária, da Secretaria da Agricultura e Abastecimento é o órgão responsável pela fiscalização do cumprimento da legislação que dispõe sobre o uso, a conservação e a preservação do solo agrícola.

2.2.5. Penalidades

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 13

I - publicação no Diário Oficial do Estado dos nomes dos proprietários, bem como das respectivas propriedades;

II - multa de 20 (vinte) a 1000 (mil) Unidades Fiscais do Estado de São Paulo - UFESP;

III - pagamento dos serviços realizados pelo Estado para promover a recuperação das áreas em processos de desertificação ou degradação, nos termos do Artigo 17 deste Decreto.

As penalidades pecuniárias serão recolhidas ao “Fundo Especial de Despesas” da Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA). Aquelas não recolhidas nos prazos serão encaminhadas à Procuradoria Geral do Estado para inscrição na dívida ativa e cobrança judicial.

2.2.6. Responsabilidades da autoria dos danos

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 13, § 1º - As penalidades acima referidas incidirão sobre os autores sejam eles arrendatários, parceiros, posseiros, gerentes, técnicos responsáveis, administradores, diretores, promitentes compradores ou proprietários de área agrosilvopastoril, e ainda que praticadas por prepostos ou subordinados e no interesse dos proponentes ou superiores hierárquicos.

2.2.7. Classificação dos danos causados ao solo agrícola

Decreto nº 41.719/1997, Artigo 16 - As penalidades pecuniárias serão graduadas em função do dano causado ao solo agrícola, consideradas a extensão da área e a seguinte classificação:

I - causar erosão:

a) laminar

1. ligeira;
2. moderada;
3. severa;
4. muito severa;
5. extremamente severa.

b) em sulcos

1. superficiais: ocasionais, frequentes ou muito frequentes;
2. rasos: ocasionais, frequentes ou muito frequentes;
3. profundos: ocasionais, frequentes ou muito frequentes;
4. muito profundos: ocasionais, frequentes ou muito frequentes.

II - impedir a correção de erosão adjacente a estradas ou ferrovias;

III - provocar desertificação;

IV - degradar as características físicas, químicas e biológicas do solo agrícola:

- a) dano ligeiro;
- b) dano severo;
- c) dano extremamente severo.

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

V - praticar queimadas sem a necessária autorização ou em desacordo com esta (com a promulgação da Lei Estadual nº 10.547/2000, as questões relativas às queimadas foram transferidas para Secretaria do Meio Ambiente - SMA/SP);

VI - construir barragens, estradas, caminhos, canais de irrigação ou prados escoadouros de forma inadequada, que facilite processo de erosão:

- a) dano ligeiro;
- b) dano severo;
- c) dano extremamente severo.

VII - impedir ou dificultar a ação dos agentes da Coordenadoria de Defesa Agropecuária, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento na fiscalização de atos considerados danosos ao solo agrícola;

VIII - provocar assoreamento ou contaminação de cursos d'água ou bacias de acumulação;

§ 1º - Em caso de reincidência a multa será aplicada pelo valor correspondente ao dobro da anteriormente imposta.

§ 2º - A menor multa aplicada em qualquer caso de irregularidade será de 20 (vinte) Unidades Fiscais do Estado de São Paulo – UFESPs.

2.2.8. Apresentação do projeto

Decreto nº 44.884/2000, Artigo 1º, inciso III, alínea “b” - No mesmo prazo fixado no “caput” o infrator poderá, alternativamente à defesa, apresentar compromisso de elaboração, em 60 (sessenta) dias, prorrogáveis por mais 60 (sessenta) dias, a critério do Escritório de Defesa Agropecuária, desde que solicitado por escrito e devidamente justificado, de projeto contendo a determinação das classes de capacidade de uso de solo da área em questão e um plano de definição de tecnologia de conservação do solo agrícola, obrigando-se formalmente a implantá-lo no prazo previsto.

As normas e procedimentos para a apresentação do projeto e seus encaminhamentos foram definidos pela Resolução SAA - 11, de 15/04/2015, que dispõe sobre normas e procedimentos para aplicação do Decreto nº 41.719/1997, que trata do uso, conservação e preservação do solo agrícola no Estado de São Paulo.

Para auxiliar a preparação dos projetos técnicos de conservação do solo, previstos no Decreto Estadual nº 41.719/1997, foi elaborado um tutorial que se encontra disponível eletronicamente em:

http://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/acervo-tecnico/recursos_naturais/ComunicadoTecnico146-CATI-SAA.pdf.

Observação: Os termos “*agrosilvopastoril*” e “*sócio-econômica*” são a grafia original da legislação. Na atual nomenclatura e gramática a grafia é *agrossilvipastoril* e *socioeconômica*.

3. SOLOS E CLIMA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Chuvas intensas associadas a propriedades físicas do solo, topografia e cobertura do terreno são os principais fatores da erosão acelerada, que é a principal causa da degradação dos solos cultivados em ambientes tropicais e subtropicais. Informações sobre clima e solos (Coelho et al., 2014) para o Estado de São Paulo são apresentadas a seguir.

3.1. Solos e levantamento do meio físico

O Estado de São Paulo possui cinco grandes compartimentos de relevo, chamados de províncias geomorfológicas (Ponçano et al., 1981), que estão associados a grandes domínios de rochas e de solos e podem ser usados para melhor entendimento da distribuição dos principais solos e de suas propriedades importantes para utilização agrícola: Província Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental. A produção de cana-de-açúcar em maior escala está principalmente na Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental.

Na Província Costeira e no Planalto Atlântico, nos relevos colinosos, morros e montanhas, a excessiva declividade associada às chuvas abundantes ao longo de todo o ano se constitui nas principais limitações à sua utilização, demandando preservação ou intensas práticas conservacionistas.

Na Depressão Periférica Paulista, província geomorfológica com predomínio de relevos colinosos, os solos desenvolvem-se principalmente sobre rochas sedimentares, como os arenitos, folhelhos, argilitos e siltitos, mas também sobre rochas ígneas intrusivas básicas (diabásios). Predominam Argissolos e

Latosolos na maior parte da província, mas Neossolos Quartzarênicos ocupam áreas localmente expressivas. Quando desenvolvidos de sedimentos mais finos (folhelhos, argilitos, siltitos), encontram-se principalmente Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos distróficos e Nitossolos Vermelhos distróficos e eutróficos, todos de textura argilosa. Quando desenvolvidos de sedimentos mais grossos (arenitos), os solos apresentam textura média ou arenosa, predominando Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos de textura média e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos de textura arenosa/média. Nos Argissolos, a espessura do horizonte superficial arenoso pode variar de pequena a maior que 50 cm (caráter arênico), e o contato abrupto com o horizonte subsuperficial B pode estar presente. Quando sobre arenitos homogêneos, há extensas áreas de Neossolos Quartzarênicos Órticos, solos com baixíssima retenção de água e de nutrientes. Argissolos com textura média/argilosa também são frequentes quando desenvolvidos de pelitos (por exemplo: siltitos). Quando sobre rochas intrusivas básicas, Nitossolos Vermelhos eutróficos e distroféricos são comuns nas feições de relevo mais dissecado, enquanto nas feições de relevo mais suavizadas são comuns os Latossolos Vermelhos distroféricos, ambos com excelente aptidão ao uso agrícola.

Na província geomorfológica das Cuestas Basálticas, os solos são desenvolvidos principalmente de basaltos e de arenitos. Excetuando-se as escarpas, onde o relevo é montanhoso ou escarpado, esta região do Estado caracteriza-se por relevos colinosos e amorreados, que favorecem o aproveitamento agrícola diversificado, em alguns locais dificultando a mecanização. Nas escarpas, desenvolvidos de arenitos ou de basaltos, predominam Neossolos Litólicos associados à Cambissolos e Nitossolos. Nas colinas, morrotes e morros, condições de relevo mais suavizado que as escarpas, os solos são predominantemente Latossolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos ou Amarelos, de textura argilosa, quando desenvolvidos de basalto, ou Latossolos de textura média e Neossolos Quartzarênicos, quando de arenito. Os solos derivados de basalto, mais férteis e com maiores teores de óxidos de ferro e alumínio, apresentam caráter eutrófico ou distrófico ou, eventualmente, caráter árido (estes mais comuns no Norte do Estado), que denota muito baixa retenção de cátions, mesmo nos solos muito argilosos. Os solos desenvolvidos dos arenitos têm invariavelmente baixa saturação por bases (distróficos). Quando desenvolvidos de basalto, em porções mais dissecadas da paisagem (relevo ondulado e fortemente ondulado), encontram-se Nitossolos Vermelhos eutróficos, com elevada fertilidade e elevada capacidade de armazenamento de água.

A província geomorfológica do Planalto Ocidental ocupa a maior parte da metade oeste do Estado de São Paulo, estendendo-se até a calha do rio Paraná. Este grande domínio geomorfológico apresenta formas de relevo predominantemente suavizadas, caracterizadas principalmente como colinas

(< 15% declividade) médias e amplas. Menos frequentes, relevos de morrotes (declividade > 15%) também são encontrados. Os solos do Planalto Ocidental desenvolvem-se sobre arenitos em sua maior extensão, com influência de basalto exclusivamente próximo à calha de drenagem de alguns rios, como o rio Paranapanema, na região em que se encontram os municípios de Assis e Ourinhos. Os solos desenvolvidos sobre os arenitos são Argissolos Vermelho-Amarelos ou Vermelhos, de textura arenosa/média ou média ao longo do perfil, com fertilidade média (eutróficos) ou baixa (distróficos), podendo apresentar (ou não) mudança textural abrupta (A/B ou A+E/B) e espessura de horizonte superficial arenoso, em alguns casos maior que 50 cm (caráter arênico ou espessarênico). Estes atributos, associados com gradientes de relevo que variam de superiores a 3% até 20%, são responsáveis pela elevada suscetibilidade à erosão desses solos. Os Latossolos desenvolvidos dos arenitos na região têm textura média homogênea no perfil, fertilidade mais baixa (distróficos), menor capacidade de reter água e encontram-se nas posições mais aplanadas que os Argissolos, apresentando assim menor suscetibilidade à erosão que os Argissolos. Os solos influenciados pelo basalto na região do Planalto Ocidental são principalmente Latossolos Vermelhos, quando em relevo aplanado, ou Nitossolos Vermelhos, quando em relevos mais acidentados (ondulados), todos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos de ferro e elevada (Nitossolos e Latossolos) a baixa (Latosolos) saturação por bases.

Em todo o Estado de São Paulo, além das regiões com influência marinha, localmente e com extensão limitada às baixadas e planícies inundáveis, genericamente conhecidas como várzeas, são encontrados solos hidromórficos identificados como Gleissolos, eventualmente associados aos Organossolos, onde não há o cultivo da cana-de-açúcar.

A correspondência entre as diferentes classificações de solos já adotadas no Estado de São Paulo é apresentada no quadro 1.

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

Quadro 1. Classificação dos solos no Estado de São Paulo: comparação entre as classificações de 1951, 1960, 1987 e 1999

Região Paulista	Paiva Neto et al. (1951)	Comissão de Solos (1960)	Camargo et al. (1987)	EMBRAPA - CNPS (1999)
Local de ocorrência	Classificação principalmente pelo critério geológico	Classificação pelo critério morfológico	Classificação pelos critérios morfológicos e interpretativos (analítico: químico e granulométrico)	Classificação por critérios morfológicos e interpretativos (analítico: químico e granulométrico)
Noroeste	Arenito de Bauru	Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico ou álico A moderado textura média	Latossolo Vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura média
Sudoeste	Devoniano	Latossolo Vermelho-Escuro orto	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico ou álico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa	Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura argilosa ou muito argilosa
		Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico Ta ou Tb abrupto A moderado ou A proeminente textura arenosa/média	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média
Centro-Sul e Sudoeste	Glacial	Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico Ta ou Tb abrupto A moderado ou A proeminente textura arenosa/média	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico ou alissolo, A moderado ou A proeminente textura arenosa/média
Centro-Sul, Sudoeste e Sudeste	Glacial	Latossolo Vermelho-Escuro orto	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico ou álico A moderado textura argilosa ou muito argilosa	Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura argilosa ou muito argilosa
		Podzólico Vermelho-Amarelo fase arenosa	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álico A moderado textura média	Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Amarelo distrófico A moderado textura média

Continua

Quadro 1. Continuação

Região Paulista	Paiva Neto et al. (1951)	Comissão de Solos (1960)	Camargo et al. (1987)	EMBRAPA - CNPS (1999)
Centro-Sul	Corumbataí	Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico ou álico Ta ou Tb abrupto ou não A moderado ou A proeminente textura arenosa/média	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico A moderado textura arenosa/média
		Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba	Podzólico Vermelho-Amarelo ou Podzólico Vermelho Escuro ambos distróficos ou álicos Ta ou Tb A moderado textura arenosa/argilosa ou média/argilosa ou argilosa/argilosa	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico ou alissolo, ambos A moderado textura arenosa/argilosa ou média/argilosa ou argilosa/argilosa
		Mediterrânico Vermelho-Amarelo	Brunizém Avermelhado textura argilosa ou muito argilosa ou Podzólico Vermelho Escuro eutrófico Ta A moderado textura argilosa ou muito argilosa	Chernossolo textura argilosa ou muito argilosa ou Luvissole Crômico A moderado textura argilosa ou muito argilosa, respectivamente
Leste	Terciário	Latossolo Vermelho-Escuro fase terraço	Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Amarelo álico A moderado textura argilosa, ou média.	Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado textura argilosa
Todo o Estado	Baixadas	Solos Aluviais	Solo Aluvial ou Cambissolo substrato sedimentos aluviais, normalmente eutróficos	Neossolo Flúvico ou Cambissolo substrato sedimentos aluviais, normalmente eutróficos, respectivamente
		Solos Hidromórficos	Glei Húmico ou Glei Pouco Húmico ou Solo Orgânico com diversificação de grau de saturação por bases	Gleissolo Melânico ou Gleissolo Háptico ou Organossolo com graus de saturação por bases, respectivamente

Continua

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

Quadro 1. Continuação

Região Paulista	Paiva Neto et al. (1951)	Comissão de Solos (1960)	Camargo et al. (1987)	EMBRAPA - CNPS (1999)
Leste Marítimo	Baixadas	Podzol Hidromórfico	Podzol ou Podzol Hidromórfico álico ou distrófico	Espodossolo
Todo o Estado	Baixadas	Litossolo	Solo Litólico ou Litossolo Cambiossolo de diversos substratos, textura e grau de saturação por bases	Neossolo Litólico ou Cambissolo de diversos substratos, texturas e graus de saturação por bases
Leste, Sudeste e Sudoeste	Massapé	Solos de Campos do Jordão	Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico ou Cambissolo álico, todos textura média ou argilosa	Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Amarelo câmbico ou cambossolo textura média ou argilosa
		Latossolo Vermelho-Amarelo orto	Latossolo Vermelho-Amarelo álico ou distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa
Leste, Sudeste	Massapé	Latossolo Vermelho-Amarelo fase rasa	Latossolo Vermelho-Amarelo pouco profundo, Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico, Cambissolo Latossólico, todos álicos A moderado ou A proeminente textura argilosa	Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico ou Latossolico distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa
Leste, Sudeste e Sudoeste	Massapé	Podzólico Vermelho-Amarelo orto	Podzólico Vermelho-Amarelo ou Podzólico Vermelho-Escuro, ambos distróficos ou álicos ou eutróficos A moderado textura argilosa ou média/ argilosa	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Vermelho distrófico A moderado textura argilosa

Continua

Quadro 1. Continuação

Região Paulista	Paiva Neto et al. (1951)	Comissão de Solos (1960)	Camargo et al. (1987)	EMBRAPA - CNPS (1999)
Leste, Sudeste e Sudoeste	Salmourão	Solos podzólicos com cascalho	Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico A moderado textura média/argilosa com cascalho ou cascalhenta	Argissolo Vermelho ou Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico A moderado textura média/argilosa ou argilosa/argilosa com cascalho ou cascalhenta
		Latossolo Vermelho-Amarelo fase rasa	Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico ou Cambissolo Latossólico, todos álicos A moderado ou A proeminente textura argilosa com cascalho ou cascalhenta	Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico A moderado ou proeminente, ou Cambissolo latossólico, ambos com textura argilosa com cascalho ou cascalhenta
Oeste, Noroeste, Nordeste e Sudoeste	Arenito Botucatu	Regossolo	Areia Quartzosa distrófica ou álica A moderado	Neossolo Quartzarênico distrófico a moderado
		Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álico A moderado textura média	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura média
Nordeste	Terra Roxa Legítima	Terra Roxa Legítima	Latossolo Roxo eutrófico ou distrófico A moderado ou A chernozêmico textura argilosa ou muito argilosa	Latossolo Vermelho eutroférico ou distroférico ou acriférico A moderado ou A chernozêmico textura argilosa ou muito argilosa
Sudoeste	Terra Roxa Legítima	Terra Roxa Estruturada	Terra Roxa Estruturada eutrófica ou distrófica A moderada textura argilosa ou muito argilosa	Nitossolo Vermelho eutroférico ou distroférico A moderado textura argilosa ou muito argilosa

Continua

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

Quadro 1. Conclusão

Região Paulista	Paiva Neto et al. (1951)	Comissão de Solos (1960)	Camargo et al. (1987)	EMBRAPA - CNPS (1999)
Oeste, Noroeste, Nordeste e Sudoeste	Terra Roxa Misturada	Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico ou álico A moderado textura média	Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura média
		Latossolo Roxo	Latossolo Roxo distrófico ou álico A moderado textura argilosa ou muito argilosa	Latossolo Vermelho distroférico ou acriférico textura argilosa ou muito argilosa
Noroeste	Arenito de Bauru	Solos Podzolizados variação Lins	Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico ou álico A moderado textura arenosa/média	Argissolo Vermelho-Amarelo Argissolo Vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura arenosa/média
		Solos Podzolizados variação Marília	Podzólico Vermelho-Amarelo ou Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico ou distrófico ou álico Ta ou Tb abrupto A moderado textura arenosa/média	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo ou Argissolo Vermelho eutrófico ou distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média

Adaptado de Prado (2011).

3.2. Clima

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o UNEP (United Nations Environment Programme) criaram o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). De acordo com o IPCC, há uma estimativa superior a 90% de que a maior parte do aumento observado nas temperaturas médias globais, desde meados do século XIX, ocorre devido à elevação da concentração antrópica de gases do efeito estufa, agravada pelo início do processo de industrialização (Gouvêa, 2008). Esses gases de efeito estufa absorvem e refletem parte de raios infravermelhos, contribuindo para o aquecimento da superfície terrestre, e podem causar eventos climáticos extremos, como secas, chuvas, ondas de calor e frio, derretimento de geleiras, entre outros (Gouvêa, 2008).

Com a elevação da temperatura, é possível observar reflexos em setores e sistemas diversos como os recursos hídricos e as consequências na geração de energia, os ecossistemas, as florestas, os sistemas costeiros, a indústria, a saúde humana e, também, a produção de alimentos. A produção de alimentos é diretamente afetada pelas variações de temperatura, que promovem nas plantas uma competição entre a respiração e a fotossíntese, diminuindo a produtividade, considerando-se que há um limite de temperatura no qual, se ultrapassado, pode causar a morte da planta (Brunini, 2013).

No setor agrícola, o sucesso de um empreendimento está ligado a fatores econômicos, sociais, de infraestrutura e viabilidade comercial. Entretanto, é possível afirmar que o clima e as variações climáticas sazonais têm papel decisivo na implantação de uma exploração agrícola racional, tornando imprescindível a manutenção do equilíbrio da agricultura (Brunini, 2013). Portanto, torna-se fundamental entender a relação entre agricultura e agrometeorologia, além de obter subsídios para otimizar e facilitar o processo de tomada de decisões e a formulação de políticas públicas de mitigação dos efeitos e de adaptação ao clima (Gouvêa, 2008).

O Estado de São Paulo compreende seu território entre os paralelos 20° e 25° Sul, cortado pelo trópico de Capricórnio, sendo assim considerado como de características climáticas tipicamente tropicais. As chuvas são em geral abundantes, sobretudo na estação das águas, tornando o clima tropical úmido, em condição que favorece a produção agrícola e pecuária. Apresenta, porém, ao longo de sua extensão territorial regiões climáticas distintas, com maior ou menor quantidade de precipitação no período de seca, probabilidade de ocorrência de geadas e de veranicos durante o período das águas. As temperaturas médias anuais são mais elevadas nas regiões norte e nordeste

do Estado (22 a 23 °C), decrescem em direção ao sul e sudoeste, com os menores valores nas áreas serranas mais elevadas (15 a 17 °C). Na região litorânea as médias ficam entre 21 e 22 °C. A ocorrência de geadas, com maior probabilidade de ocorrência nas regiões sul e sudoeste e nas regiões serranas limitam o cultivo da cana-de-açúcar.

Segundo a classificação climática Köppen, o Estado de São Paulo apresenta seis tipos climáticos distintos, todos dentro da categoria de climas úmidos: Cwa, Cwb, Aw, Cfa, Cfb e Af (Camargo et al., 1977). A maior área do Estado possui clima Cwa, considerado clima tropical de altitude com verão quente e úmido e inverno seco. As áreas serranas, onde o verão é menos proeminente são classificadas como Cwb. As áreas de menor altitude, nas fronteiras dos rios Paraná e Grande são do tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso com inverno seco. A parte do Estado que margeia o rio Paranapanema e Vale do Rio Ribeira do Iguape é definida com Cfa (verão quente e sem estação seca). As áreas montanhosas (Serra do Mar, Mantiqueira) com temperaturas amenas o ano todo e bem chuvosas são definidas como Cfb. A parte litorânea do Estado é definida como Af (tropical chuvoso sem estação seca).

Para o Estado de São Paulo são apresentados: o balanço hídrico médio anual com referência ao excedente hídrico (Figura 1), as características térmicas representadas pela variabilidade média mensal da temperatura do ar (Figuras 2 e 3) e as características hídricas representadas pelo total mensal de precipitação de localidades representativas destes regimes climáticos (Figura 4).

As chuvas no Estado de São Paulo são concentradas no período de verão. O período das águas vai de outubro a março e o período da seca, de abril a setembro. Na região litorânea não ocorre estiagem, mas um semestre é nitidamente mais chuvoso que o outro. Os valores médios de totais anuais de chuva são de cerca de 1.200 a 1.300 mm. Na região nordeste, os totais são, em geral, maiores do que 1.300 mm, com uma estação seca mais acentuada e bem definida. Na região sudoeste, os totais ficam em torno de 1.300 mm, com melhor distribuição anual. Na região litorânea, as chuvas são de 1.800 a 2.000 mm e na serra da Mantiqueira, cerca de 1.600 mm.

A chuva é um dos fatores que determinam o grau de erosão dos solos. O volume e a velocidade do escoamento superficial (enxurrada) dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. O potencial erosivo da chuva, erosividade da chuva ou índice de erosão da chuva, é calculado pelo produto da energia cinética total e da intensidade máxima em 30 minutos de cada chuva (Figura 5). Esse índice, extraído da equação universal de perdas de solo (Wischmeier e Smith, 1978), representa o efeito conjunto do impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo e da turbulência da enxurrada no arraste das partículas desprendidas.

A ocorrência de chuvas pesadas em curto espaço de tempo ou a má distribuição das precipitações, na maior parte do Estado, constitui fator de risco elevado de erosão. O conhecimento da distribuição das chuvas ao longo do ano e dos valores extremos de quantidade e intensidade de chuvas é especialmente importante para a conservação dos solos. O dimensionamento de estruturas mecânicas de conservação do solo, como terraços, canais escoadouros, dissipadores de energia levam em conta a intensidade das chuvas. A chuva diária máxima provável (Figura 6) e a intensidade máxima de chuva em 15 minutos (Figura 7) são referências para o cálculo do volume de água a ser armazenado ou conduzido.

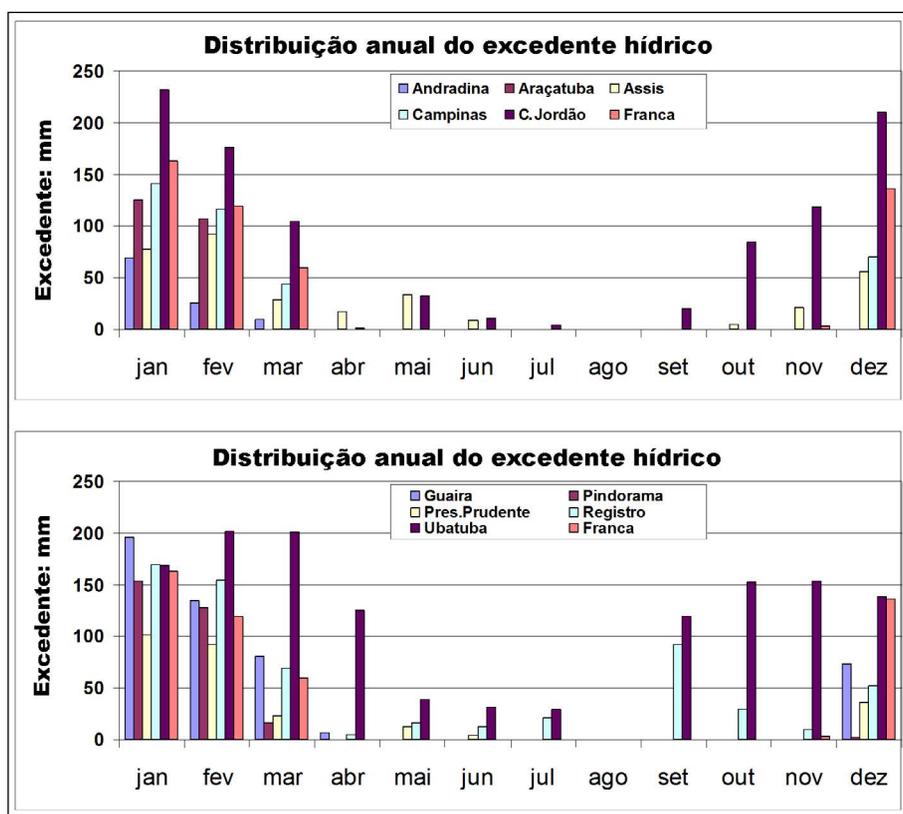


Figura 1. Distribuição anual do excedente hídrico em algumas localidades do Estado de São Paulo.

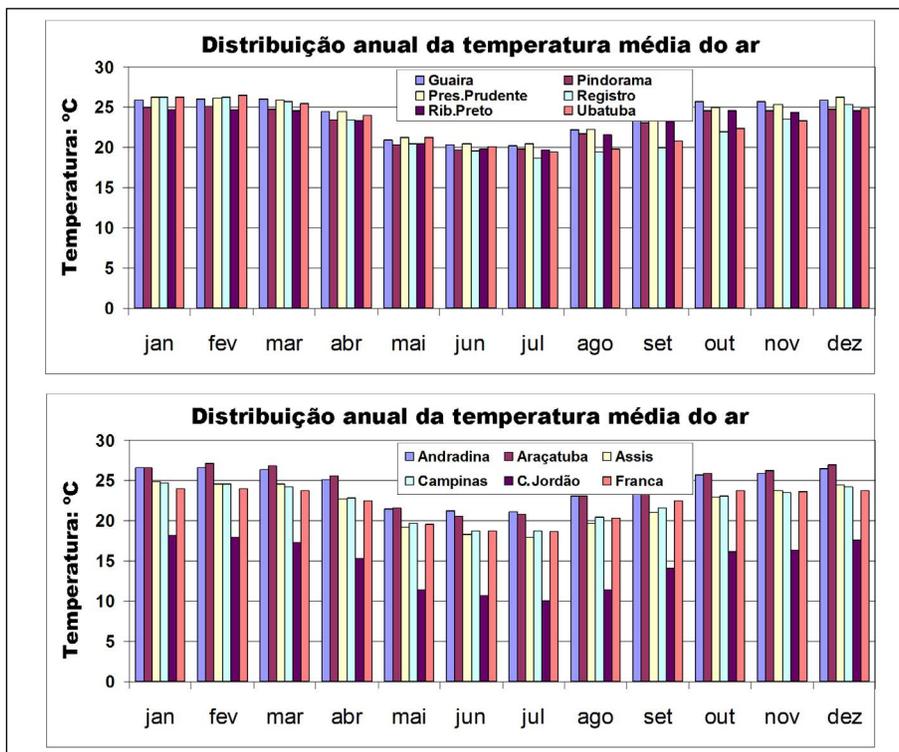


Figura 2. Distribuição da temperatura média anual do ar em algumas localidades do Estado de São Paulo.

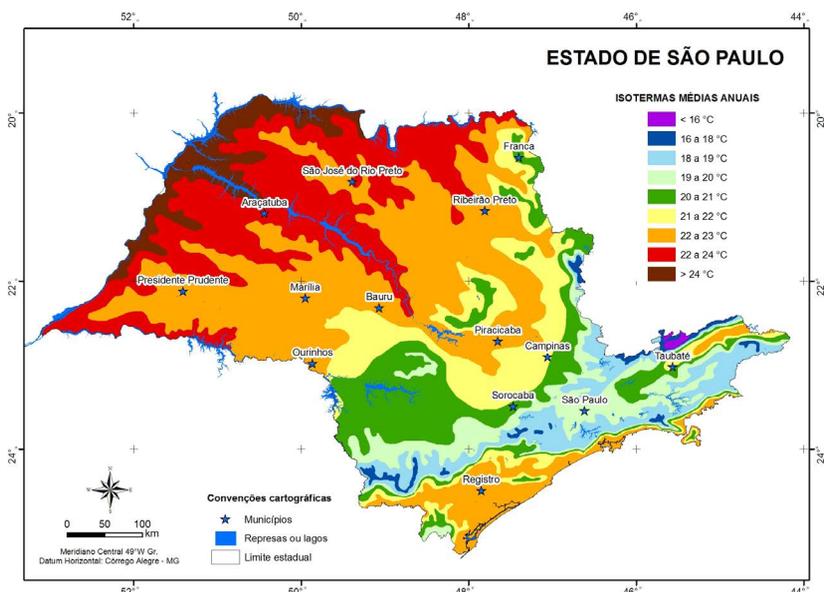


Figura 3. Temperatura média do ar no Estado São Paulo.

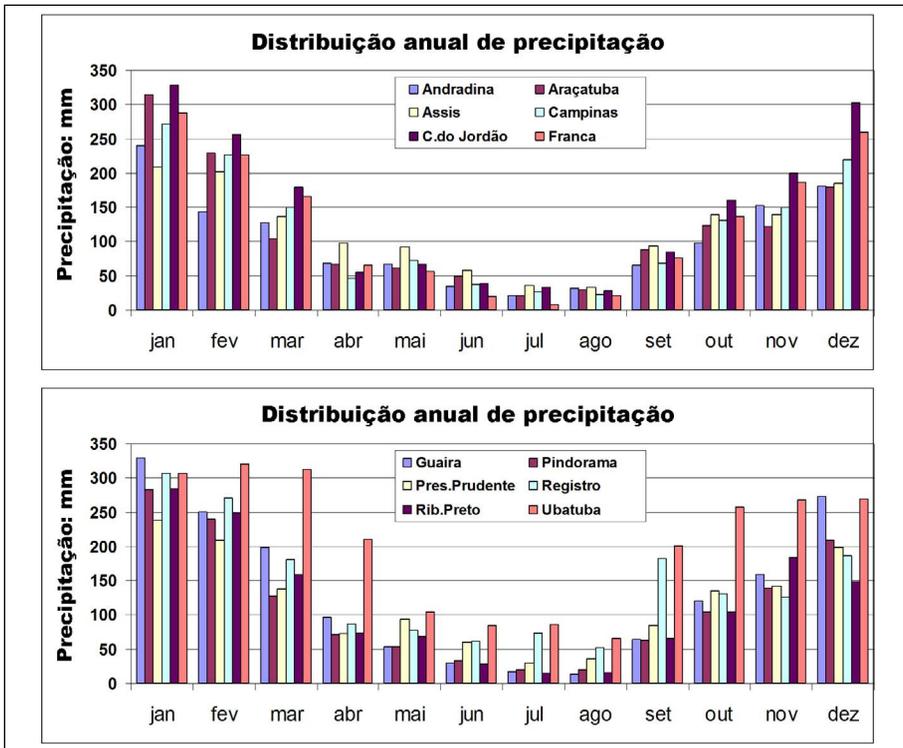


Figura 4. Distribuição anual da precipitação pluvial em algumas localidades do Estado de São Paulo.

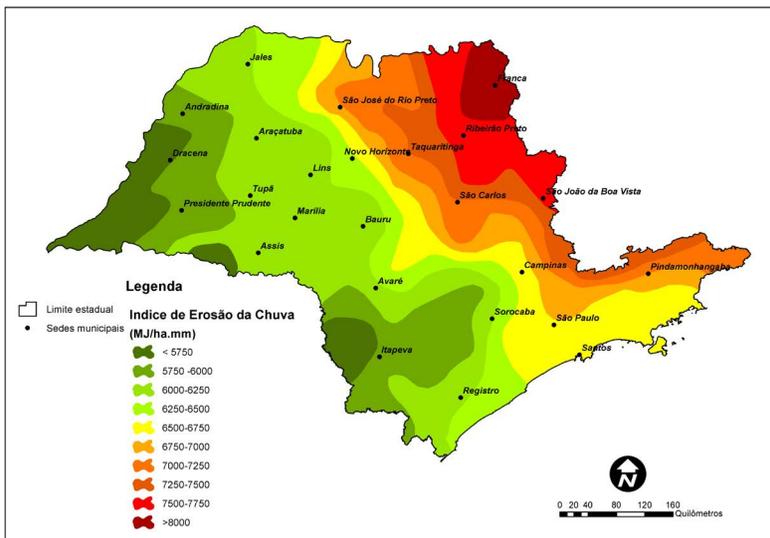


Figura 5. Valores médios anuais do índice de erosão da chuva do Estado de São Paulo. Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1990.

3.3. Zoneamento agroambiental para a cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar tem ampla distribuição territorial no Estado, devido às características térmicas anuais (Figura 2). Brunini (2008) determinou as faixas térmicas e hídricas adequadas ou não ao desenvolvimento dessa cultura. Assim, a partir das exigências térmicas da cultura e das características da distribuição da precipitação anual do Estado (Figura 4) foi determinada a aptidão edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar (Figura 8).

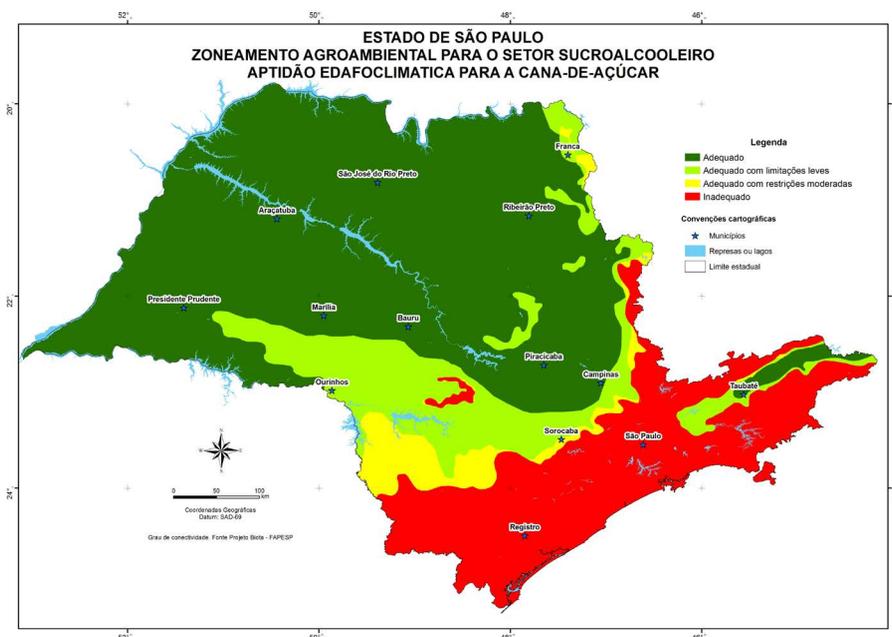


Figura 8. Aptidão edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Fonte: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/>.

O zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo define áreas adequadas ou restritas para a instalação de uma nova unidade industrial ou ampliação de área de cultivo. Para estabelecer o zoneamento foram realizados estudos de aptidão edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar e, em sequência, uma análise agroambiental, incluindo aspectos de preservação da biodiversidade, conectividade ambiental e manejo do solo, resultando no mapa apresentado na figura 9. (http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/index.htm).

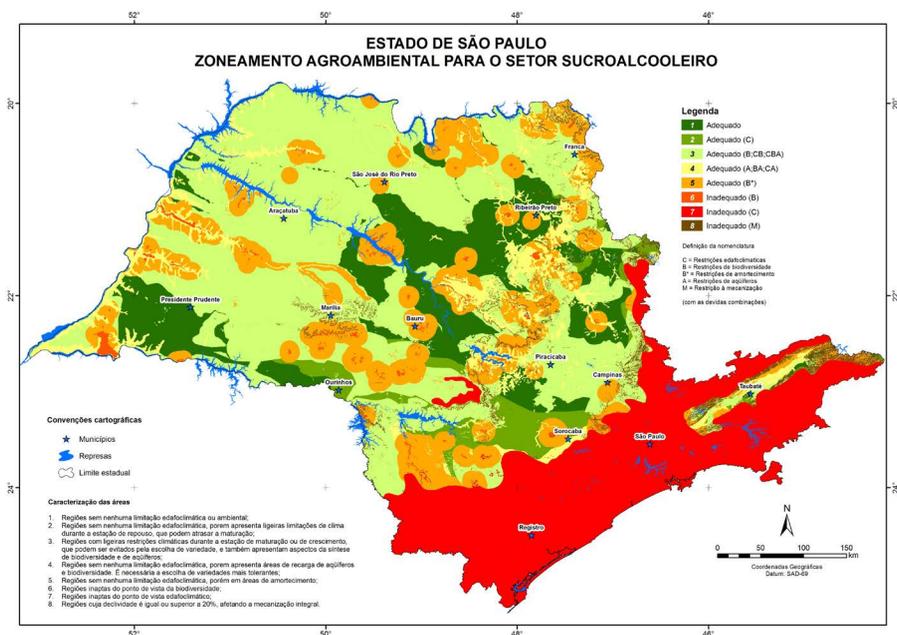


Figura 9. Zoneamento agroambiental para a cultura da cana-de-açúcar.

Fonte: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/>.

As características dos solos do Estado de São Paulo, visando conhecer a aptidão agrícola (boa, regular ou restrita), foram avaliadas considerando os seus aspectos de fertilidade natural (alta, média, ou baixa), profundidade (favorável, desfavorável) e pedregosidade (presente ou ausente). A fertilidade natural alta compreende os solos eutróficos, a fertilidade natural média, os solos distróficos e a fertilidade natural baixa inclui os solos ácidos, álicos, alumínicos e alíticos. Na condição favorável de profundidade do solo, sem restrição física a livre penetração radicular, considerou-se os Latossolos, Argissolos, Luvisolos, Nitossolos, Cambissolos e Neossolos Quartzarênicos. Na condição desfavorável, considerou-se aqueles solos com grande limitação física ao crescimento radicular em profundidade (Neossolos Litólicos e Plintossolos). Assim, a aptidão agrícola boa abrange os solos com fertilidade natural alta, profundidade favorável e ausência de pedregosidade, a aptidão agrícola média, os solos de caráter distrófico e/ou com profundidade desfavorável, e na aptidão restrita estão os solos com duas ou mais condições desfavoráveis.

Esse zoneamento não considerou os fatores de solo relacionados à suscetibilidade à erosão e também não considerou questões como declividade. Por isso, a esse mapa é preciso associar o risco de erosão para definições de escolha de sistemas de manejo e dimensionamento de práticas conservacionistas.

4. SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

4.1. Características dos sistemas de manejo e a conservação do solo

O sistema de produção da cana-de-açúcar abrange o conjunto das atividades e das operações realizadas desde a sistematização inicial do terreno até a última colheita que antecede a reforma. Quando feitas adequadamente, essas atividades e operações resultam em produtividades elevadas, compatíveis com o retorno econômico, com impactos ambientais minimizados, garantindo a sustentabilidade da produção.

As atividades, operações e componentes de um sistema de produção são estabelecidos em função de fatores do meio físico, de fatores sociais e econômicos, dos meios de produção disponíveis, da capacidade de investimento, do tamanho do empreendimento, de normatizações do mercado e de exigências da legislação. Existem diversos componentes no sistema de produção, cada um adaptado às condições locais, a saber: preparo do solo, espaçamento da cultura, época de plantio, tratamentos culturais, cultivo e colheita.

4.2. Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo tem como objetivo principal criar condições adequadas nos diversos aspectos dos sistemas físico, químico e biológico do solo, para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas, assim como realizar a sistematização do terreno e um adequado controle de pragas e plantas daninhas. Dessa forma, as condições para o crescimento do sistema radicular tornam-se favoráveis, resultando em plantas saudáveis e produtivas.

Sendo a cana-de-açúcar atualmente uma cultura totalmente mecanizada, desde o plantio até a colheita, passando pelas fases intermediárias de tratos culturais e demais operações, prevê-se que mais de 30 operações ocorrem num mesmo talhão ao longo de cinco cortes. Sendo assim, é muito provável que o solo apresente compactação crescente ao longo das safras, principalmente se não houver cuidado quanto à condição de umidade do solo no momento do tráfego de máquinas. A compactação pode limitar o crescimento das raízes, bem como reduzir a infiltração da água das chuvas, permitindo assim o aumento do processo erosivo. Quanto maior o volume de água infiltrado no solo, menor será o volume de enxurrada a ser escoado sobre a superfície. Portanto, o preparo do solo deve visar entre outras coisas, melhorar as condições de infiltração da água no solo e, como consequência, diminuir o escoamento da enxurrada.

Por ocasião da reforma do canavial, uma série de decisões são tomadas para o planejamento da implantação da cultura, como preparar ou não o solo, fazer ou não as correções químicas e físicas, o controle de pragas e plantas daninhas. É um momento de máxima relevância, pois se alguma prática for feita de forma inadequada, a cultura terá que conviver com o problema ao longo dos ciclos agrícolas consecutivos. As altas produtividades e longevidade estão relacionadas com o planejamento adequado dos aspectos anteriores.

Em relação aos sistemas de preparo do solo há necessidade de se levar em consideração a época de plantio da cana-de-açúcar, as culturas em rotação, como soja, amendoim, crotalárias, milheto, braquiária ou a própria soqueira da cana, e também as operações mecânicas e químicas envolvidas. Os sistemas mais comuns de preparo do solo são:

Convencional: implica em grande número de operações, sendo iniciado pela dessecação da soqueira e posterior revolvimento do solo usando operações de aração, subsolagem, gradagem, mobilizando o solo em área total com o objetivo de eliminar ou atenuar problemas físicos, químicos e/ou biológicos.

Cultivo mínimo: é feita apenas a operação de subsolagem em área total ou em faixas na linha de plantio, com objetivo de descompactação. Neste sistema é feita a dessecação química da soqueira e o controle de plantas daninhas em área total.

Plantio direto: envolve apenas a operação de sulcação com mobilização do solo na linha de plantio (Figura 10). O controle de plantas daninhas e a dessecação química da soqueira são realizados em área total. Recomenda-se o plantio direto onde não ocorrem impedimentos químicos,

físicos, e biológicos, sendo incluída nos impedimentos biológicos a ocorrência de pragas de solo e plantas daninhas de difícil controle.

Preparo do solo canteirizado: atualmente estão sendo utilizadas práticas que permitem realizar o preparo localizado na linha de plantio, ou seja, o preparo do solo em, praticamente, metade da área (Figura 11). Entre essas práticas tem-se o sistema de preparo profundo que utiliza equipamentos com hastes subsoladoras para preparo do solo de até 0,50 a 0,70 m, com incorporação de corretivos e gesso, assim como de restos vegetais e de torta de filtro, numa única operação. O preparo do solo localizado pode ser profundo ou não, em função dos implementos utilizados, e nos espaçamentos convencionais de 1,50 m ou de sulco duplo. Independentemente da profundidade da mobilização do solo, o uso de navegação por satélite é de fundamental importância para a execução dessa prática. Dependendo dos objetivos traçados e dos equipamentos, o sistema de preparo localizado pode deixar o canteiro erguido, auxiliando assim a colheita mecanizada posterior. A sulcação profunda e canteirizada tem que ser direcionada de maneira mais adequada possível, respeitando um planejamento realizado anteriormente, considerando as implicações relacionadas ao processo erosivo. Neste caso, o preparo e a sulcação em linha reta somente seria indicado em área plana, em solo argiloso de perfil latossólico, em que a infiltração de água é mais elevada e o solo mais resistente à erosão. O sistema de preparo de solo profundo em desnível, caso utilizado fora das especificações dadas neste Boletim, pode acarretar aumento da velocidade de escoamento da água, resultando em aumento de processos erosivos.

Com a mecanização do plantio da cana-de-açúcar e dos cortes subsequentes, o uso de equipamentos de navegação por satélite tem auxiliado a preservação da linha de plantio contra a compactação gerada pelo tráfego. Os tratos culturais das soqueiras tendem a ser feitos no canteiro, assim como as adubações químicas, as aplicações da torta de filtro, calcário e gesso, mantendo as entrelinhas como um local para o tráfego de máquinas.



Figura 10. Plantio da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto com sulcação sobre crotalaria. Foto: Tadeu Nascimento Cury.



Figura 11. Preparo do solo canteirizado. Foto: Luiz Carlos Dalben.

4.3. Fatores limitantes ao desenvolvimento radicular e época de plantio

Os principais pontos que devem ser levados em consideração na escolha do sistema de preparo do solo correspondem aos fatores limitantes ao desenvolvimento radicular, a saber:

- **Impedimento químico:** na superfície ou subsuperfície, diagnosticado por meio de análises de solos. Correção: aplicação de calcário para neutralização da acidez na profundidade de preparo do solo e aplicação de gesso (sulfato de cálcio) para melhoria da fertilidade em subsuperfície.
- **Impedimento físico:** diagnosticado por meio do histórico da área, número de colheitas mecanizadas e da verificação da presença de camadas compactadas. Correção: usar equipamentos mecânicos como arado, subsolador, entre outros, ou biológicos como culturas em rotação com presença de raízes pivotantes.
- **Impedimento biológico:** deve ser feito diagnóstico das plantas daninhas e das pragas de solos (*Migdolus*, *Sphenophorus*, nematoides) por meio de observações no campo, análise de solos e de raízes e rizomas. Controle: por meio do sistema de preparo do solo e destruição da soqueira, do uso de nematicidas e inseticidas por ocasião do plantio e soqueira e do uso de herbicidas.

4.4. Épocas de plantio

Tradicionalmente, existiam duas épocas de plantio para a região Centro-Sul: a cana-de-ano-e-meio (fevereiro a abril) e a cana-de-ano (setembro a novembro). Devido à expansão da lavoura canavieira e com alterações na mecanização e no manejo, a cana-de-açúcar pode ser plantada praticamente o ano todo, surgindo as épocas de cana-de-inverno (maio a agosto) e a cana-dois-verões (dezembro a janeiro).

Plantio de fevereiro a abril (cana-de-ano-e-meio): é a época mais recomendada para o plantio em função das condições ideais de pluviosidade e temperatura, considerando o ciclo de desenvolvimento. Em regiões onde há forte déficit hídrico, dar preferência para o plantio em março e início de

abril, porque ao chegar a estiagem, a cana-de-açúcar estará na fase inicial de perfilhamento. Nessa fase, o crescimento é pequeno, de tal forma que a planta ainda não apresenta muitas folhas e, por isso, a evapotranspiração é baixa e a planta tolera melhor o déficit hídrico. Recomenda-se iniciar o plantio nos solos com textura mais argilosa e de capacidade de água disponível (CAD) mais elevada como, por exemplo, os Latossolos e Nitossolos de textura mais argilosa, no período em que há risco de ocorrerem chuvas intensas. Os últimos plantios devem ser nos solos de textura mais arenosa e de menor CAD e nos de baixa infiltração como, por exemplo, os Neossolos Litólicos e os Argissolos, no período em que há diminuição das chuvas, reduzindo assim problemas com erosão. O plantio de cana-de-ano-e-meio permite que uma cultura em rotação seja cultivada anteriormente.

Plantio de maio a agosto (cana-de-inverno): é muito frequente que não haja tempo hábil para o plantio de todas as áreas no período ideal (fevereiro a abril). O plantio pode então ser feito no inverno, mas muitas vezes é necessário prever a irrigação ou a fertirrigação com vinhaça. O déficit hídrico pode interferir na brotação e causar grandes falhas no estande. Quando for feito o plantio de inverno, recomenda-se dar preferência para os solos mais suscetíveis à erosão e os de textura mais arenosa, bem como os de baixa infiltração. O solo deve estar adequadamente bem destorroado evitando os bolsões de ar que prejudicam a brotação, assim a escolha do sistema de preparo é importante. Solos mais argilosos necessitariam lâminas de irrigação maiores, em média, na proporção de 3 para o argiloso e 1 para arenoso. Para os plantios de inverno é indicado também o uso da torta de filtro *in natura* (não compostada), uma vez que a torta contém cerca de 70% de umidade. Além disso, a decomposição da torta gera calor, o que pode favorecer a brotação. Ainda no plantio de inverno, quando é feito o plantio de cana sobre cana, o período para a dissecação da soqueira e controle de pragas e plantas daninhas pode reduzir o tempo disponível para o preparo do solo e o novo plantio. Portanto, em áreas com elevado nível de infestação de plantas daninhas e de pragas de solos não é recomendado o plantio nessa época.

Plantio de setembro a novembro (cana-de-ano): o plantio de cana-de-ano é feito quando não é possível finalizar o plantio da cana-de-ano-e-meio em tempo hábil, sugerindo-se para esta situação os solos de boa fertilidade, com elevada CAD. A colheita é feita aos 12 meses do plantio ou, eventualmente, é bisada. Embora não seja a época mais recomendada, não deixa de ser opção válida no sistema de manejo empregado na maioria das usinas e, principalmente, dos fornecedores.

Plantio de dezembro e janeiro (cana-dois-verões): Deve estar restrito a áreas de topografia plana, solos de textura mais argilosa, férteis e de elevada CAD. Nas regiões com maior déficit hídrico esse período torna-se bastante interessante para a formação de mudas. Normalmente, essa modalidade de plantio apresenta maior risco de erosão devido às chuvas intensas no período para a região Centro-Sul e assim acaba sendo integrada ao sistema de cana-de-ano-e-meio.

Quadro 2. Épocas de plantio da cana-de-açúcar e principais recomendações do ponto de vista da brotação, desenvolvimento das plantas e do controle da erosão

SOLOS	Épocas de plantio											
	2V	CAM			CI				CA			2V
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Le-3; Le-4												
Ne-3; Ne-4												
L-3; L-4												
L-1; L-2												
P												
RQ; RL												

	Favorável
	Favorável, mas atenção com o plantio quanto à umidade do solo para brotação da cana-de-açúcar.
	Favorável, mas priorizar áreas mais planas e melhor fertilidade, muito utilizada para formação de mudas.
	Não favorável para o controle da erosão, principalmente nas áreas com relevo mais ondulado, por causa das chuvas intensas.
	Não favorável para o controle da erosão. Recomendada apenas em relevo propício, associado a pouco revolvimento do solo e operações manuais.
	Favorável, mas maior atenção pela dificuldade de brotação, principalmente nos solos de textura mais argilosa.

Épocas de Plantio: 2V = dois verões; CAM = cana-de-ano-e-meio; CI = cana-de-inverno; CA = cana-de-ano. Solos: L=Latossolo; N=Nitossolo; P=Argissolo; RQ e RL=Neossolo Quartzarênico e Litólico; e: eutrófico. Classes de textura do solo: 1 = 16% a 25%; 2 = 25% a 35%; 3 = 35% a 60% e 4 = > 60% de argila.

Tanto o plantio de cana-de-ano como o de cana-dois-verões não são recomendados para solos com impedimentos físicos ou com baixa infiltração, como os Neossolos Litólicos e os Argissolos, bem como solos pouco estruturados como os Latossolos de textura mais arenosa e os Neossolos Quartzarênicos, pois são facilmente erodíveis. Para essa época de plantio dar preferência para solos de textura mais argilosa, com condições químicas e físicas favoráveis como os Latossolos e Nitossolos eutróficos (elevada CAD). Evitar ainda áreas declivosas, principalmente no período das águas, onde esses solos não podem estar descobertos.

As principais épocas de plantio da cana-de-açúcar e as recomendações do ponto de vista da brotação, desenvolvimento das plantas e do controle da erosão em função de tipos de solo, propriedades físicas do solo e relevo estão representadas no quadro 2, baseado em condições edafoclimáticas médias para o Estado de São Paulo. Como mencionado, cada região tem sua particularidade e, em função de suas condições específicas, torna-se necessário um ajuste a partir de informações locais.

As épocas adequadas para o plantio podem ser estabelecidas levando em consideração os ambientes de produção, como apresentado no quadro 3, especialmente quando atributos relacionados à erosão, como relevo, textura e permeabilidade do perfil, estão associados.

Observa-se que há uma correspondência entre as classes de capacidade de uso das terras e os ambientes de produção.

Quadro 3. Épocas de plantio da cana-de-açúcar em função dos ambientes de produção, tipos de solos, drenagem, textura e relevo

Ambiente	solo, perfis	drenagem/ textura	relevo	ano e meio*		inverno		ano	
				jan/fev	mar/abr	mai/jun	jul/ago	set/out	nov/dez
A - B	Latossolos, eutróficos	boa/argilosa	plano a suave ondulado						
B - C	Latossolos distróficos, álicos	boa/argilosa	plano a suave ondulado						
A - B	Nitossolos	boa/argilosa	ondulado a forte ondulado						
C - D	Latossolos	boa/média ou arenosa	plano a suave ondulado				X		
F - G	Neossolo	boa/arenosa	plano a suave ondulado				X		
A - C	Argissolos	moderada/média/argilosa	ondulado a forte ondulado				X		
B - D	Argissolos	moderada/arenosa/argilosa	ondulado a forte ondulado				X		
B - D	Argissolos	moderada/arenosa/média	ondulado a forte ondulado				X		
D - F	Argissolos	moderada/arenosa/arenosa	plano a suave ondulado				X		
D - F	Argissolos	moderada/arenico/média	ondulado a forte ondulado				X		
D - G	Solos rasos	restrita/argilosa	plano				X		
D - G	Solos rasos	restrita/média ou arenosa	plano				X		
D - G	Solos rasos	restrita/argilosa	ondulado a forte ondulado				X		
D - G	Solos rasos	restrita/média ou arenosa	ondulado a forte ondulado				X		

	Adequado
X	Adequado (falta umidade, a não ser irrigado, bacia de vinhaça)
	Pouco adequado (erosão, assoreamento, encharcamento, baixa produtividade, falta umidade, dificuldade saída cana)
	Restrita (erosão, assoreamento, encharcamento, baixa produtividade, falta umidade, dificuldade saída cana)

Adaptado de comunicação pessoal de José Luiz Ioriatti Dematte (Esalq/USP). *Culturas alternativas: soja, amendoim, crotalária, braquiária, soqueira anterior.

4.5. Espaçamentos e sistema de plantio

Antes da total mecanização do cultivo da cana-de-açúcar, a definição do espaçamento entre as linhas da cultura tinha como objetivos a produtividade e a qualidade tecnológica, considerando variedade, estande, tipo de solo, entre outros fatores, e buscava a rapidez no fechamento do canal de cultivo evitando o desenvolvimento de plantas daninhas, contribuindo assim, também, para o controle da erosão pela cobertura do solo. Com a mecanização, tem-se dado mais atenção ao espaçamento, buscando reduzir a compactação do solo decorrente da operação de colheita e o pisoteamento das linhas de cana-de-açúcar pelas máquinas. O pisoteio é muito indesejado, por reduzir grandemente a produtividade e a longevidade dos canais.

4.5.1. Espaçamentos

Com a mecanização, o espaçamento é definido de forma que o rodado das máquinas permaneça na entrelinha da cultura, evitando o pisoteio da própria linha e de uma faixa lateral ao longo da linha. Quanto maior o tempo em que essa faixa for mantida descompactada, mais favorecidos serão o desenvolvimento da cultura e a infiltração de água no solo ao longo dos cortes sucessivos que antecedem a reforma.

Os espaçamentos podem ser classificados em:

Simples: a distância entre os sulcos de plantio é constante. Anteriormente à mecanização esses espaçamentos variavam de 1,0 a 1,8 m. Com a colheita mecânica o espaçamento mais usual tem sido de 1,5 m.

Alternados (espaçamento duplo, combinado ou plantio abacaxi): atualmente, com a finalidade de obter maior rapidez e economia na colheita e melhorar as condições para o crescimento do sistema radicular e a infiltração de água no solo, esse sistema apresenta dois espaçamentos. O espaçamento maior é a entrelinha, reservada para o rodado das máquinas, e varia de 1,4 a 1,6 m. O espaçamento menor, em que as linhas da cana-de-açúcar ficam mais próximas, reservado para o crescimento radicular e infiltração de água, varia de 0,4 a 0,9 m.

4.5.2. Plantio

Cerca de oito a dez meses antes do plantio deve-se proceder a produção de mudas em viveiro, adequadamente instalado e de localização próxima ao do plantio definitivo. O plantio deve ser realizado logo após o

corte das mudas, para não ocorrer comprometimento da brotação decorrente da estocagem longa. Se o plantio for manual e com a cana inteira, o tempo de estocagem pode ser maior. Em geral, até sete dias após o corte das mudas, ainda é possível fazer o plantio sem comprometimento da qualidade de brotação, desde que as mudas tenham sido armazenadas à sombra. De qualquer forma, recomenda-se fazer o plantio o quanto antes para, além de garantir a qualidade de brotação das mudas, evitar problemas de ataque de fungos e de atração e multiplicação de pragas de solo, como os *Sphenophorus*, quando o corte das mudas é realizado manualmente.

O sistema de produção de mudas de uma gema só ou rebolo, conhecido como sistema de mudas pré-brotadas (MPB), é preconizado pelo IAC e por outras empresas para o setor canavieiro (Figura 12). Neste, as mudas são feitas em viveiros a partir de origem conhecida e de boa sanidade. No caso de MPB a unidade pode produzir as mudas, ou adquiri-las no mercado, ou em instituições conhecidas e certificadas.

4.5.3. Formas de plantio

O plantio pode ser manual, semimecânico ou mecânico. O plantio mecânico ganhou destaque recentemente com a expansão da mecanização na lavoura canavieira.

Nos plantios manual ou semimecânico as operações manuais ocorrem no corte das mudas e na distribuição da cana inteira no sulco de plantio. O plantio mecanizado integra as operações com máquinas desde o corte das mudas até sua distribuição no sulco. Normalmente, no plantio manual os sulcos de plantio são mais profundos do que no plantio mecanizado.

No caso do MPB, as mudas após a aclimação e enraizamento vigoroso são transplantadas no campo manualmente ou com máquinas apropriadas, com espaçamento das mudas na linha normalmente a cada 50 cm. Existem produtores que adotam o espaçamento de três plantas por metro linear.

Não há informações se há efeito dessas formas de plantio nos processos de infiltração de água e de erosão, mas o sistema que promover o desenvolvimento mais rápido da cultura irá favorecer o controle da erosão.

O sistema de plantio da cana-de-açúcar pode ser feito com e sem rotação de cultura (Figura 13). Na modalidade sem rotação de cultura é feito o plantio da cana-de-açúcar sobre a cana anterior, ou seja, destrói-se a soqueira velha e, em seguida, planta-se a nova cana. Essa forma de plantio é bastante

utilizada para o plantio de inverno e cana-de-ano. No plantio com rotação de cultura existem várias opções de culturas para rotação, como a soja, amendoim e adubo verde (em especial as crotalárias). Normalmente, plantios com rotação são bastante utilizados para cana-de-ano-e-meio e altamente indicados por permitir maior proteção do solo, por melhorar suas propriedades físicas e por adicionar nitrogênio quando se utiliza uma leguminosa nessa rotação.

A meiosi, método inter-rotacional ocorrendo simultaneamente, é um sistema de plantio em que a produção de mudas é realizada no local onde se pretende implantar o canavial (Figura 14). O sistema prevê a rotação de culturas com a produção de mudas simultaneamente e permite intercalar culturas de interesse econômico e/ou agrônômico, como por exemplo soja, amendoim e crotalárias, com o canavial para reduzir custos de implantação, melhorar o sistema de logística e promover a melhora do local de cultivo (condições químicas, físicas, biota e microbiota do solo). Outra opção tem sido a utilização da braquiária ou do milheto na banqueta da meiosi. A meiosi consiste em plantar duas linhas de cana-de-açúcar deixando uma faixa (banqueta da meiosi) que futuramente comportará, em geral, seis linhas de cana. Durante o crescimento das duas linhas de cana-de-açúcar, a faixa reservada para o futuro canavial receberá outras espécies escolhidas para a rotação. A cana-de-açúcar plantada servirá como muda para a implantação do canavial completo, enquanto a espécie escolhida para a faixa será responsável pelos benefícios desejados, como produção de grãos ou simplesmente a rotação. A disposição das linhas e faixas são alocadas com emprego do GPS e técnicas de agricultura de precisão, de forma sistemática para que não ocorra problema com a sulcação na faixa para o plantio da cana-de-açúcar. A meiosi é considerada uma técnica vegetativa de controle da erosão.

A escolha da espécie a se utilizar para rotação de cultura ou meiosi deve atender critérios agrônômicos que favoreçam o canavial, sendo que os mais utilizados são a proteção contra erosões, produção de material vegetal (matéria orgânica) e disponibilidade de nutrientes no solo, melhoria das condições físicas do solo (melhorando a aeração e penetração de água no solo), controle de pragas de solo, redução do tráfego de veículos e implementos pesados nas áreas de canaviais, redução de custos com aquisição e transporte de mudas, além da redução dos custos com a adubação no canavial, principalmente dos fertilizantes nitrogenados.

Solos com ambientes mais favoráveis e planos podem ser utilizados na rotação com soja devido à elevada produtividade de grãos e facilidade da mecanização. Nos ambientes mais restritivos ou com topografia mais inclinada, adubos verdes são mais indicados para a rotação, cuja finalidade é de proteger e corrigir as propriedades do solo, em especial as químicas.

Independentemente da meiosi, durante a reforma do canavial, o uso de leguminosas é uma prática recomendada para aumentar a sustentabilidade do sistema de produção da cana. Além de adicionar nitrogênio ao sistema, por meio da fixação biológica de nitrogênio, também auxilia o controle de pragas de solo, dependendo da leguminosa escolhida.

Os sistemas de plantio direto (SPD) de culturas anuais na palha de cana-de-açúcar (Figura 15) e da cana-de-açúcar sobre a soqueira anterior ou plantas de cobertura promovem melhorias no solo e na produtividade do sistema como um todo. Uma das limitações desse sistema são as pragas de solos, como o *Sphenophorus leavis*, uma vez que seu controle é mais eficiente com a destruição física das soqueiras de cana e também a presença de impedimentos físicos e químicos em subsuperfície.

Os maiores riscos de erosão ocorrem por ocasião da implantação do canavial. A escolha da época e da técnica de plantio é essencial para alcançar um adequado controle da erosão. Essa escolha deve levar em consideração a suscetibilidade do solo e o histórico de cultivos anteriores e da erosão da área.



Figura 12. Sistema de plantio de mudas pré-brotadas. Foto: Raffaella Rossetto, APTA/SAA.



Figura 13. Rotação de cultura em cana-de-açúcar com o adubo verde *Crotalaria juncea*. Foto: Pedro Henrique de Cerqueira Luz, FZEA/USP.



Figura 14. Sistema de meiosi com crotalária. Foto: Mario Ivo Drugowich, CATI/SAA.



Figura 15. Sistema plantio direto da cultura do amendoim em palha de cana-de-açúcar.
Foto: Denizart Bolonhezi, APTA/SAA.

4.6. Cultivo

Após o corte da cana-de-açúcar, devido à intensa pressão sobre o solo promovida pela mecanização, ocorre aumento da compactação, que tem como principal consequência a redução da infiltração das águas, com sensível perda da retenção de água disponível para a cultura e aumento de processos erosivos. A opção de cultivar pode favorecer ou retomar a taxa de infiltração da água no solo.

Caso se opte por cultivar, essa operação deve ser realizada o quanto antes, pois quanto mais tempo demorar o cultivo mecânico, esse pode romper raízes, prejudicando o novo sistema radicular que se formou por ocasião da rebrota da soqueira.

Pode haver, também, necessidade de repor os nutrientes extraídos pela cultura, assim como a manutenção da fertilidade do solo. Neste caso, a recomendação é aplicar os insumos, como por exemplo calcário e gesso, em área total antes do cultivo, que em parte melhoraria a incorporação desses insumos.

A decisão do momento adequado de realizar o cultivo depende de diversos fatores: espaçamento adotado, condições climáticas, relevo, textura do solo, sistema de sulcação, quantidade de palha e equipamentos disponíveis. De maneira geral e em condições de clima úmido no período de safra e em relevo plano a ondulado, sugere-se o cultivo na entrelinha da cana. Nestas mesmas condições, porém em relevo forte ondulado sugere-se não cultivar, pois pode haver aumento do processo erosivo. Em condições de clima seco no período de safra, o cultivo fica comprometido, a não ser nas soqueiras de início e fim de safra, quando as condições de umidade são mais favoráveis. Solos secos, principalmente se a textura for argilosa, não permitem cultivo, pois deixa na entrelinha torrões coesos, que geram aumento de impurezas no corte mecanizado posterior. Em Argissolos, de relevo ondulado a forte ondulado, também não se recomenda o cultivo. Os benefícios do cultivo são: escarificação do solo, o que evita o escoamento superficial com a melhoria da infiltração de água, principalmente em áreas com certa declividade, e a incorporação adequada dos fertilizantes.

4.7. Colheita da cana-de-açúcar e manejo da palhada

A colheita mecanizada sem queima prévia preserva sobre o solo cerca de 4 a 15 t ha⁻¹ de palha (em base seca), dependendo da produtividade da cana. A camada de palha vai sendo decomposta ao longo do ciclo agrícola da cana, com importante papel na ciclagem de nutrientes e na proteção do solo.

A manutenção da palhada tem inúmeras vantagens agronômicas e ecológicas. A cobertura do solo pela palha durante o ano todo protege o solo do impacto das gotas de chuva, aumentando a infiltração da água, diminuindo a amplitude de variação de temperatura ao longo do dia, mantendo a umidade do solo. Devido à melhoria nas condições do solo na superfície, a camada de palha promove maior crescimento de raízes superficiais.

A palhada contribui para a conservação do solo também por aumentar, ao longo dos anos, o teor de carbono, a matéria orgânica e a CTC do solo, melhorando a estrutura do solo, principalmente nos primeiros 5 cm do solo. Para todos os solos, e em especial para solos arenosos e ácidos em regiões de maior deficiência hídrica, a palha tem importante efeito na conservação do solo e conservação da umidade.

Em regiões mais frias do Estado de São Paulo faz-se o aleiramento da palhada, afastando a palha de cima da linha e amontoando-a numa entrelinha para melhorar a brotação da soqueira assim como controlar a incidência de

cigarrinhas e facilitar o cultivo, aumentando a rugosidade do terreno com implicações positivas no controle da erosão.

Durante um ciclo do canavial, cerca de 60% da palhada é decomposta naturalmente numa taxa dependente das condições climáticas e da produtividade. Como as quantidades de palha produzidas são altas e ocorrerá a decomposição natural, é coerente se prever que boa parte dessa palhada possa ser retirada para a produção de energia, sendo queimada nas caldeiras juntamente com o bagaço, ou mesmo futuramente utilizada para produzir etanol de segunda geração. Entretanto, em regiões com alta evapotranspiração não se recomenda a retirada de palhada do campo. Dados iniciais indicam que, para o Estado de São Paulo, a permanência de 5 t ha⁻¹ de palhada (em base seca) é suficiente para a manutenção da produtividade, sendo que o excedente poderia ser retirado sem prejuízos à sustentabilidade. Do ponto de vista da conservação e da fertilidade do solo, indica-se que a palhada não seja retirada ao menos a curto e médio prazo, principalmente nos solos com textura arenosa, depauperados, para que se possa garantir redução do processo erosivo e melhoria na qualidade desses solos.

5. PLANEJAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO

Para auxiliar o planejamento da conservação do solo é importante fazer a qualificação de risco das áreas para receber as práticas conservacionistas. Em diversas recomendações, índices e modelos, os solos e o declive são tratados como fatores independentes no processo erosivo. Entretanto há uma forte correlação entre o tipo de solo e o relevo, e essa relação é um auxiliar na determinação da erodibilidade ou da suscetibilidade do solo à erosão.

Os principais atributos dos solos associados ao relevo e erodibilidade (Quadros 4 e 5) servem como base para orientação quanto ao planejamento da conservação do solo e o enquadramento das terras no sistema de classe de capacidade de uso. É importante lembrar que esses atributos referem-se a um solo original, com seus atributos preservados. Solos que já foram muito erodidos e perderam parte de seus horizontes, fato muito comum nos solos de alta erodibilidade que vêm sendo cultivados há longo tempo, terão suas características e propriedades alteradas e deverão ser enquadrados em classe de capacidade de uso mais restritiva.

Quadro 4. Atributos do perfil, relevo de ocorrência e classe de erodibilidade dos solos mais resistentes à erosão no Estado de São Paulo

Solo	Textura do solo		Taxa de infiltração da água		Relevo	Erodibilidade
	horizonte superficial	horizonte subsuperficial	horizonte superficial	horizonte subsuperficial		
RQ	Arenosa	Arenosa	Muito alta	Muito alta	Plano ou suave ondulado	Média
L-1	Arenosa ou Média arenosa	Média arenosa	Muito Alta	Muito Alta	Plano ou suave ondulado	Média
L-2	Média argilosa	Média argilosa	Alta	Alta	Plano ou suave ondulado	Baixa
L-3	Argilosa	Argilosa	Alta	Alta	Plano ou suave ondulado	Baixa
L-4	Argilosa ou Muito argilosa	Muito argilosa	Alta	Alta	Plano ou suave ondulado	Baixa
N-3	Argilosa	Argilosa	Alta	Moderada	Suave ondulado a ondulado	Média
N-4	Argilosa ou Muito argilosa	Muito argilosa	Alta	Moderada	Suave ondulado a ondulado	Média

Solos: L = Latossolo; N = Nitossolo; RQ = Neossolo Quartzarênico. 1 = 16% a 25%; 2 = 25% a 35%; 3 = 35% a 60% e 4 = > 60% de argila. Adaptado de Prado (2011).

Quadro 5. Atributos do perfil, relevo de ocorrência e classe de erodibilidade dos solos mais suscetíveis à erosão no Estado de São Paulo

Solo	Textura do solo		Taxa de infiltração da água		Relevo	Erodibilidade
	horizonte superficial	horizonte subsuperficial	horizonte superficial	horizonte subsuperficial		
P-1 P-3	Arenosa	Média	Alta	Moderada	Suave ondulado a ondulado	Média a alta
P-2 P-4	Arenosa	Média ou argilosa	Alta	Moderada a baixa	Ondulado	Alta
P-6 P-7	Média	Argilosa	Alta	Moderada	Ondulado	Média
RL	Arenosa a muito argilosa	-	Variável	-	Suave ondulado a escarpado	Muito Alta
C	Arenosa a muito argilosa	Média a muito argilosa	Variável	Variável	Suave ondulado a ondulado	Alta a muito alta

Solos: P = Argissolo; RL = Neossolo Litólico; C = Cambissolo. P-1 e P-3: Argissolos não abruptos. P-2 e P-4: Argissolos abruptos. P-6 e P-7: Argissolos argilosos. Adaptado de Prado (2011).

5.1. Classe de capacidade de uso

A classificação de qualquer objeto tem por finalidade ordenar os conhecimentos a seu respeito de maneira simples e precisa. Objetos iguais ou semelhantes em determinadas características ou propriedades, previamente definidas, são agrupados na mesma classe. Na classificação taxonômica, os solos são agrupados a partir de características e propriedades comuns, relacionadas aos processos de formação do solo (origem pedogenética). Nas classificações técnico-interpretativas, os solos são agrupados em função de um determinado comportamento de interesse prático e específico, especialmente para orientar indicações de uso e de sistemas de manejo. Por exemplo, os solos podem ser agrupados quanto ao risco de erosão, necessidade de calagem, aptidão para irrigação. Algumas classificações técnico-interpretativas, em função do seu objetivo, consideram não apenas o solo, mas também a paisagem, como é o caso da classificação de terras no Sistema de Classes de Capacidade de Uso.

O Sistema de Classes de Capacidade de Uso (CCU) tem o propósito de definir qual a combinação de uso mais intensivo da terra e de medidas de controle da erosão que permitam o cultivo sem risco de degradação do solo pelo processo de erosão hídrica.

O Sistema de Classes de Capacidade de Uso tem quatro níveis hierárquicos: Grupos, Classes, Subclasses e Unidades. Os Grupos A, B e C indicam o grau de intensidade do uso da terra:

A: Passíveis de qualquer utilização, respeitando as restrições das classes de I a IV.

B: Impróprias para cultivos intensivos, suportam cultivos extensivos, pastagens e reflorestamentos com restrições, de acordo com as limitações das classes V a VII.

C: Impróprias para qualquer tipo de cultivo, sendo próprias para proteção e abrigo de flora e fauna, recreação ou turismo, correspondendo à classe VIII. Outros tipos de terrenos, como rochas, praias e áreas urbanas, impróprios para cultivo estão no Grupo C, assim como as áreas definidas como APP pela legislação (Lei nº 12.651/2012).

As Classes de I a VIII indicam o grau de limitação de uso. Cada classe tem o mesmo grau de limitação, ou seja, tem a mesma limitação de uso ou o mesmo risco potencial de degradação. As Subclasses indicam o tipo de limitação, agrupados nas subclasses: Erosão, Solo, Água e Clima, e as Unidades especificam a natureza da limitação da subclasse, e são importantes para orientar a recomendação de uso e as práticas de manejo específicas.

Para o enquadramento de terras em Classes de Capacidade de Uso é necessário realizar um inventário dos aspectos, das condições e das características que condicionam as limitações e potencialidades de uso das terras. Esse inventário organiza as informações das condições encontradas em glebas homogêneas dentro da propriedade ou área de estudo em cinco itens principais: características e propriedades do perfil do solo, características da paisagem, erosão atual, fatores limitantes e uso atual. As principais informações necessárias dentro desses cinco itens são: profundidade efetiva (espessura do horizonte A + B); textura dos horizontes A e B; permeabilidade interna do solo; fertilidade aparente; pedregosidade; classes de declividade; risco de inundação; erosão anterior (laminar e sulcos). No levantamento do meio físico são obtidos também fatores limitantes, como caráter abrupto; risco de erosão; declive longo; presença de processos erosivos intensos; permeabilidade reduzida. Os parâmetros dos principais atributos obtidos no levantamento do meio físico são apresentados a seguir.

5.1.1. Características e propriedades do solo

A. Profundidade efetiva (espessura do horizonte A + B)

- 1: muito profundo – mais de 2 m
- 2: profundo – de 1 m a 2 m
- 3: moderadamente profundo – de 0,5 m a 1 m
- 4: raso – de 0,25 m a 0,5 m
- 5: muito raso – menos que 0,25 m

B. Textura

- 1: muito argilosa – mais que 60% de argila
- 2: argilosa – entre 35% e 60% de argila
- 3: média – menos que 35% de argila, teor de areia maior que 15%
- 4: siltosa – teor de silte maior que 50% e argila menor que 35%
- 5: arenosa – menos que 15% de argila e mais que 70% de areia

A textura deve ser avaliada nas camadas superficial e subsuperficial do solo.

C. Permeabilidade interna do solo (Drenagem)

1: Excessiva – em solos de textura grosseira em todo o perfil (Neossolos Quartzarênicos), em que a retenção de água é restrita.

2: Adequada – em solos de textura grosseira (arenosa) ou solos argilosos com estrutura forte, pequena, granular (Latossolos, principalmente aqueles em que predominam óxidos de ferro), com boa retenção de água.

3: Moderada – em solos de textura média a argilosa, com estrutura que permita adequada infiltração de água, sem impedimentos na camada subsuperficial.

4: Lenta – solos com camadas argilosas ou muito argilosas (exceto alguns Latossolos, em que predominam óxidos de ferro), com presença de argila de atividade alta ou alta saturação com sódio. Solos com altos teores de silte ou de argila dispersa, com tendência a formar selamento dos poros na superfície, também são classificados como de permeabilidade lenta (Cambissolos e Argissolos).

A drenagem interna do solo deve ser avaliada nas camadas superficial e subsuperficial. Considera-se permeabilidade adequada, aquela que permite uma boa velocidade de infiltração da água e uma boa capacidade de retenção da umidade no solo, contribuindo para a redução da enxurrada e para a máxima expressão do desenvolvimento radicular.

Medidas da taxa de permeabilidade do solo apresentam grande variação e há dificuldades na sua determinação, especialmente no horizonte subsuperficial. Sendo assim, a identificação da drenagem interna pode ser feita por avaliação visual de alguns atributos do solo, os quais indicam a dinâmica da água no perfil do solo, como a cor e a estrutura, associadas à textura do solo.

D. Fertilidade aparente

1: muito alta

2: alta

3: média

4: baixa

5: muito baixa

A identificação da fertilidade aparente pode ser feita por avaliação visual do desenvolvimento vegetal na área ou pelos resultados da análise do solo, observando-se a Matéria Orgânica (MO), a Capacidade de Troca de

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

Cátions (CTC), a Saturação em Base (V%) e o pH. Pode-se ainda inferir a fertilidade, a partir da feição fisiográfica original (cerrado, floresta, etc.).

E. Pedregosidade

1: sem pedra

2: menor que 1%

3: de 1% a 10%

4: de 10% a 30%

5: de 30% a 50%

6: maior que 50%

5.1.2. Características da paisagem

A. Classes de declividade

A: de 0% a 3%

B: de 3% a 6%

C: de 6% a 18%

D: de 18% a 45%

E: de 45% a 100%

F: maior que 100%

Essas classes de declividade foram atualizadas em relação às classes apresentadas no Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e da Água, de forma a contemplar limitações de práticas mecânicas para a conservação do solo e a atual legislação ambiental. Assim, na classe F estão Áreas de Preservação Permanente (APP) e, na classe E, as áreas de uso restrito.

B. Risco de inundação

1: Ocasional

2: Frequente

3: Muito frequente

5.1.3. Erosão anterior

A. Laminar

1: laminar ligeira – menor que 25% do horizonte A removido (horizonte Ap maior que 15 cm).

2: laminar moderada – de 25% a 75% do horizonte A removido (horizonte Ap de 5 cm a 15 cm).

3: laminar severa – maior que 75% do horizonte A removido (horizonte Ap menor que 5 cm).

4: laminar muito severa - todo o horizonte A removido e horizonte B erodido.

5: laminar extremamente severa - horizonte B erodido e horizonte C atingido.

6: Desbarrancamentos, abatimentos e escorregamentos são áreas degradadas por erosão que não serão, ou não conseguirão ser, recuperadas para cultivo ou utilização agropecuária ou florestal.

B. Sulcos

7: sulcos ocasionais - distância entre sulcos maior que 30 m.

8: sulcos frequentes - distância entre sulcos menor que 30 m, ocupando área inferior a 75%.

9: sulcos muito frequentes - distância entre sulcos menor que 30 m, ocupando área superior a 75%.

Também é feita a avaliação da profundidade dos sulcos, podendo ser superficiais, rasos e profundos. Os superficiais podem ser cruzados por máquinas agrícolas e se desfazem com o preparo do solo. Os rasos podem ser cruzados por máquinas agrícolas e não se desfazem com o preparo do solo, permanecem evidentes e, na notação, recebem um círculo em torno do número. Os profundos não podem ser cruzados por máquinas agrícolas, mas ainda não atingem o horizonte C e, na notação, recebem um quadrado em torno do número.

Os sulcos muito profundos, que já atingiram o horizonte C ou se caracterizam como voçorocas, recebem a notação V (referente à voçoroca) após o número.

5.1.4. Fatores limitantes

No levantamento do meio físico são obtidos também os fatores limitantes, para determinar, quando necessário, as subclasses e unidades. Os principais fatores limitantes são os listados a seguir.

A. Erosão

- Caráter abrupto (ab)
- Risco de erosão (e)
- Declive longo ou acentuado
- Presença de processos erosivos intensos
- Permeabilidade reduzida

B. Solo

- Profundidade efetiva do solo (p)
- Caráter vértico (ve)
- Caráter distrófico (di)
- Caráter álico (não tem sigla, pois não tem níveis e não é adequado para classificar)
- Retenção de cátions baixa (ct)
- Sodicidade (so)
- Salinidade (sl)

C. Clima

- Seca prolongada (se)
- Geadas (gd)
- Vento frio (vf)

D. Água

- Inundação (i)
- Hidromorfismo (hi)
- Tiomorfismo (ti)

O uso atual também é detalhado para avaliar se o solo está ou não adequado à classe de capacidade de uso determinada e, assim, definir as práticas conservacionistas necessárias ou definir uma eventual mudança de uso ou de manejo do solo.

Para a recomendação de uso e manejo e das práticas conservacionistas a serem adotadas em cada classe considera-se que:

Classe I: apta para quaisquer culturas, sem práticas de conservação e correção do solo.

Classe II: apta para quaisquer culturas, desde que adotadas práticas simples de conservação e correção do solo.

Classe III: apta para culturas, com práticas complexas de conservação e correção do solo.

Classe IV: apta para cultivos com mínimo revolvimento do solo e adotando práticas complexas de conservação do solo. Essa classe pode ser utilizada para manejos que mantêm a superfície sem cobertura apenas em cultivos ocasionais ou em extensão bastante limitada.

Classe V: culturas, pastagens e reflorestamento apenas em situações especiais, indicadas em função do tipo de limitação, em geral excesso de água, com práticas de conservação do solo e da água.

Classe VI: apta para culturas permanentes, protetoras do solo ou cultivos de pequena extensão com boa cobertura no solo, para pastagens bem manejadas e reflorestamentos com práticas complexas de conservação do solo.

Classe VII: apta apenas para pastagens bem manejadas, reflorestamentos e cultivos perenes de espécies arbóreas com práticas complexas de conservação do solo e manutenção constante de cobertura no solo.

Classe VIII: impróprias para culturas, pastagens ou reflorestamentos. Abrigo e proteção da fauna e flora silvestres, ambiente para recreação, armazenamento de água e proteção ambiental, áreas de preservação permanente.

As práticas simples de conservação do solo são aquelas que podem utilizar uma prática de forma isolada para a redução da erosão ou melhoria da qualidade do solo, sendo suficiente para evitar sua degradação. São práticas vegetativas, edáficas e mecânicas como o preparo e cultivo em nível, manutenção de palha na superfície, adubação adequada, que são utilizadas para aumentar a cobertura vegetal ou aumentar a infiltração de água no solo. As práticas complexas de conservação do solo exigem o planejamento integrado de diversas ações para controlar o processo erosivo e geralmente envolvem práticas mecânicas para controle do escoamento superficial, como

o terraceamento, bacias de retenção ou canais escoadouros, associadas com práticas vegetativas e edáficas.

A cana-de-açúcar destinada à indústria, em sistema totalmente mecanizado, pode ser cultivada nas classes I a IV. A restrição ao cultivo da cana-de-açúcar será definida pela limitação de cada classe e pelo nível de manejo que será adotado, que irão definir o manejo mais adequado para o seu cultivo. Em condições excepcionais, a cana-de-açúcar pode ser cultivada em classes VI e VII, desde que utilizadas práticas complexas de conservação do solo. Por exemplo, nas áreas de relevo ondulado do Vale do Paraíba, pequenos agricultores fazem cultivo para alimentação suplementar de inverno para o gado de leite. Esse cultivo é feito em pequenas quadras, de 2 a 3 ha, com baixa mobilização da superfície do solo, pouco tráfego de máquinas e com corte manual. Esse manejo atende a limitação dessa paisagem, que é a alta declividade, não deixando o solo exposto e compactado. A massa vegetal e de raízes da cana-de-açúcar oferece boa proteção ao solo.

O cultivo de cana-de-açúcar para álcool e açúcar, totalmente mecanizado, pela dificuldade do trânsito de máquinas e pela redução da infiltração de água pela compactação não deve ser adotado em classes VI e VII, onde a limitação é a declividade ou o gradiente textural. A CCU define o grau de limitação do solo ou risco para uso. O que vai definir o uso e o manejo a serem adotados são as subclasses e unidades, que explicitam a natureza da limitação daquela paisagem para estabelecer as práticas de conservação do solo específicas.

Nos projetos técnicos de conservação do solo, previstos no Decreto Estadual nº 41.719/1997, é solicitada a classificação das terras no sistema de classes de capacidade de uso. Para auxiliar a aplicação da Resolução SAA nº 11, de 15/04/2015, que trata da elaboração desses projetos, foi publicado um tutorial (Drugowich et al., 2015), que encontra-se eletronicamente disponível em: http://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/acervo-tecnico/recursos_naturais/ComunicadoTecnico146-CATI-SAA.pdf.

5.2. Ambientes de produção

Ambiente de produção é um conceito conhecido no cultivo da cana-de-açúcar, que leva em consideração os tipos de solo e fatores climáticos para alocar as variedades, definir locais e épocas de plantio e, principalmente, colheita. Embora não utilizado para planejamento de práticas conservacionistas, se correlaciona perfeitamente com a necessidade de práticas de correção de conservação do solo. Pode ser utilizado para orientar o estabelecimento das

áreas de maior risco de erosão quando associado a relevo e permeabilidade do perfil do solo (Quadros 2 e 3).

5.3. Risco de erosão

O risco de erosão é utilizado para priorização de áreas de maior atenção e para orientar a utilização das práticas conservacionistas necessárias para o controle dos processos erosivos.

No caso da estimativa das perdas por erosão, o modelo mais utilizado para esse fim é a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE-Wischmeier e Smith, 1978). A partir de informações de solo, clima, relevo, uso e manejo da área e de algumas práticas conservacionistas adotadas são determinadas as perdas médias de solo.

A utilização da EUPS requer informações de parâmetros de solo e clima, dados de comprimento de rampa e declividade locais e, ainda o cálculo do fator de uso e manejo (C) para cada condição específica de chuva e operações de manejo da cultura. Para cana-de-açúcar plantada em outubro, em espaçamento de 1,5 m, com preparo convencional e colheita manual, em solo sem compactação, os valores médios do fator C, para o ciclo da cultura, calculados para diferentes regiões do Estado de São Paulo variaram entre 0,104 a 0,113 (De Maria et al., 1994). Esses valores no ano da implantação, entretanto, são mais elevados. Andrade et al. (2011), para a região de Catanduva, obteve valores de 0,160 para o primeiro corte e 0,060 no quinto corte.

Maiores detalhes poderão ser obtidos no Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e da Água (a partir da página 121 do Volume II) - Manuais n^{os} 38, 39, 40, 41 e 42, publicado pela CATI em 1992 e disponível no endereço <http://www.cati.sp.gov.br/portal/produtos-e-servicos/publicacoes/documentos-tecnicos>.

As perdas estimadas pela EUPS podem orientar a escolha de práticas conservacionistas, comparando-se o valor estimado com um valor de tolerância de perda de solo para aquela área. Caso a perda de solo da área avaliada esteja mais elevada que a tolerância, o uso e manejo ou as práticas conservacionistas devem ser alterados. Pode-se, por exemplo, simular a alocação de terraços, reduzindo o comprimento do declive, alterando o fator de relevo, até que as perdas calculadas fiquem abaixo da tolerância. O comprimento do declive, que fez com que as perdas estimadas fossem menores que a tolerância de perdas, passa a ser utilizado como o espaçamento adequado para os terraços e é tomado como base para o dimensionamento do sistema de terraceamento.

6. PLANEJAMENTO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO

6.1. Componentes do planejamento da conservação do solo

No cultivo da cana-de-açúcar, especialmente quando são ocupadas grandes extensões contínuas com a cultura, o planejamento da conservação do solo e seus respectivos planos executivos e de intervenção precisam contemplar dois aspectos: controle da erosão e condução da enxurrada. O Projeto de Controle de Erosão (PCE) define as práticas que serão utilizadas para o controle da erosão de forma ampla, incluindo práticas conservacionistas específicas e aquelas relacionadas ao manejo do solo. Nesse projeto são definidos todos os elementos que irão interferir na redução do processo erosivo, como o preparo do solo, as culturas em rotação ou cobertura, os espaçamentos da cultura e épocas de plantio, a localização de estradas e carregadores, os tipos de terraços e locação no campo, as estruturas para condução da enxurrada. O Projeto de Controle de Enxurrada (PCX) define os critérios técnicos e o dimensionamento de estruturas construídas para controlar a enxurrada que já se formou e se concentrou, como os terraços de infiltração ou drenagem, caixas de retenção, canais escoadouros vegetados, entre outros. O PCX deve conter informações do tipo, formato, tamanho e técnica construtiva das estruturas recomendadas no PCE, para que essas tenham um funcionamento hidráulico adequado, ou seja, sejam capazes de armazenar ou drenar a enxurrada dos eventos recorrentes estabelecidos no projeto.

O PCE e o PCX compõem o Projeto Conservacionista de uma área e devem ser apresentados conjuntamente.

6.1.1. Projeto de Controle da Erosão (PCE)

O PCE está relacionado com o processo que resulta em erosão laminar e em sulcos superficiais e que decorre da interação das condições do meio físico (solos, clima, declividade, paisagem) com as decisões do produtor rural em relação ao manejo do solo no cultivo da cana-de-açúcar. O PCE envolve todas as atividades do ciclo produtivo, desde o preparo inicial do solo até o último corte ou colheita.

Do PCE fazem parte:

- A definição dos sistemas e épocas de preparo primário e secundário do solo (por exemplo: forma de erradicação da soqueira, necessidade de incorporação de corretivos, eliminação de compactação, tipo de implemento de preparo do solo, uso de preparo em faixas ou localizado);

- O planejamento da cobertura do solo entre a última colheita antes da reforma até o novo plantio da cana-de-açúcar (por exemplo: pousio com ou sem vegetação espontânea, rotação de culturas, adubo verde ou outra opção de cultura para cobertura morta);

- A definição das épocas de plantio da cana-de-açúcar;

- As formas de cultivo do canavial ao longo do ciclo;

- A definição do sistema para condução da enxurrada (por exemplo: necessidade de terraceamento de infiltração ou drenagem, utilização ou não de canais escoadouros vegetados e vias naturais para o deságue);

- A definição do espaçamento vertical entre as estruturas e a localização na paisagem do sistema conservacionista adotado;

- A definição de critérios para a identificação do risco de erosão das áreas e de sua adequação à proteção oferecida pelas opções de manejo da cultura estabelecida.

6.1.2. Projeto de Controle da Enxurrada (PCX)

O PCX contém o dimensionamento hidráulico das estruturas de interceptação ou condução da enxurrada definidos no PCE, definindo a altura e largura, formato do canal dos terraços e a área de armazenamento ou condução de enxurrada, o desnível interno dos terraços de infiltração, a altura e largura de lâmina dos canais escoadouros vegetados e as seções dos vertedouros de represas e açudes contidos na bacia hidrográfica envolvida no projeto. Esse projeto descreve também o conjunto de medidas adotadas especificamente para evitar os danos causados pela enxurrada que se forma e se concentra em talvegues, desaguadouros de estradas, vertedouros de represas, estradas ou caminhos. O PCX, por contemplar a enxurrada, não se restringe à propriedade rural em que é cultivada a cana-de-açúcar. A sua dimensão abrange toda a área de contribuição e drenagem (a montante e a jusante) da área inserida no projeto PCE.

A enxurrada pode se concentrar em grandes volumes se: a) for interceptada por estradas ou caminhos e drenada de forma inadequada para as áreas agrícolas; b) houver transbordamento e conseqüente seccionamento de terraços ou canais escoadouros; c) a conformação do relevo favoreça sua concentração, como nas posições de relevo côncavas com grandes áreas de contribuição a montante. Estes fatores não dependem das estratégias adotadas pelo PCE, que buscam o controle da erosão através do preparo do solo e o manejo da cobertura.

O PCX deve garantir que os sistemas conservacionistas projetados no PCE (por exemplo: terraços e canais escoadouros) tenham dimensões adequadas para o seu funcionamento e, além disso, apresentar uma análise da enxurrada na área de contribuição a montante e a jusante da área do PCE.

Do PCX fazem parte:

- Os mapas de localização espacial das estruturas projetadas e suas interferências com o entorno;
- As memórias ou planilhas de cálculo do dimensionamento dos terraços, canais escoadouros e de outras estruturas de interceptação ou condução de enxurrada;
- A seqüência operacional de construção e estabilização de terraços e canais escoadouros indicando técnicas construtivas e tempo de antecipação à implantação da cana-de-açúcar, especialmente no caso de estruturas de condução da enxurrada que são vegetadas;
- Estratégia de monitoramento e manutenção das estruturas de interceptação e condução da enxurrada;
- Projeto de construção, manutenção e drenagem de estradas.

6.2. Descrição do Projeto de Controle da Erosão (PCE)

O PCE define o conjunto de práticas conservacionistas a serem utilizadas e sua abrangência se restringe aos limites do imóvel rural ou a área de produção a que este se destina, embora ainda se reconheça que a microbacia é a unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais, principalmente o solo e recursos hídricos.

As práticas conservacionistas são classificadas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As práticas vegetativas são aquelas que utilizam o cultivo de determinadas espécies para o controle da erosão, como os adubos

verdes, culturas de cobertura do solo e as culturas em rotação com a cana-de-açúcar. As práticas edáficas são aquelas que atuam na melhoria da qualidade do solo, incluindo a fertilidade e as propriedades físicas, para um melhor desenvolvimento das plantas, mantendo uma elevada produção de material vegetal para a cobertura do solo e para garantir uma estruturação adequada da superfície, mantendo uma boa infiltração de água. Por fim, as práticas mecânicas são aquelas que utilizam estruturas de terra ou alvenaria com a finalidade de reter ou conduzir a água que escoar na superfície do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Para orientar o planejamento e escolha das práticas adequadas a cada situação, o PCE deve incluir práticas conservacionistas para: a) aumentar a cobertura vegetal sobre o solo; b) aumentar a infiltração de água no solo; c) controlar o escoamento superficial da enxurrada. Dessa maneira, a escolha das práticas é função das causas da erosão em cada situação de solo, relevo, clima, cultura e manejo (De Maria et al., 2014).

O PCE deve considerar que, embora a cana-de-açúcar seja semi-perene e mantenha uma massa vegetal bastante vigorosa em grande parte de seu ciclo, apresenta uma fase de reforma que expõe a superfície do solo aos efeitos das chuvas intensas. Experimentos de campo determinaram valores de 11 toneladas de perda de solo por hectare por ano e 3% da precipitação anual de perda de água, na média de 5 cortes. No entanto, as perdas no ano da implantação da cultura podem chegar a valores entre 60 e 100 toneladas de solo por hectare (Dechen et al., 1981; De Maria e Dechen, 1998). O PCE deve considerar como período crítico para a escolha das práticas conservacionistas, portanto, as fases da cana-planta e de renovação do canavial.

As práticas de manejo do solo e as de controle da erosão devem ser claramente definidas e dimensionadas para cada situação de risco de erosão ao longo da área de cultivo da cana-de-açúcar. A caracterização do meio físico deve agrupar as terras em classes de capacidade de uso, ou outro sistema de classificação técnica, de forma a identificar o risco de erosão - muito baixo (MB), baixo (B), médio (M), alto (A), muito alto (MA) e extremo (E). Podem ser utilizados, por exemplo, os valores de K (Quadro 6), u (Quadro 7), m (Quadro 8) e p (Quadro 9), das equações para cálculo de espaçamento entre terraços para auxiliar a classificação das terras em relação ao risco de erosão. Para cada situação de risco de erosão, o PCE deve ajustar os cultivos e manejos, sugerindo a melhor combinação para o controle da erosão, associando as situações de risco mais elevado de erosão com o conjunto de práticas que mais protege o solo. Além da proteção oferecida pelas diferentes estratégias de preparo do solo, épocas de plantio, manejo da cobertura, o PCE deve,

quando necessário, associar práticas mecânicas de interceptação ou condução de enxurrada, definindo suas características e localização espacial.

6.2.1. Técnicas para aumentar a cobertura vegetal

A maior parte das técnicas utilizadas para aumentar a cobertura vegetal no cultivo da cana-de-açúcar foram apresentadas e detalhadas no item 4 deste Boletim. A seguir são resumidos os efeitos dessas técnicas no controle da erosão:

Espaçamento: interfere pouco no aumento da cobertura e velocidade de cobrimento do solo pelo dossel;

Recolhimento ou manutenção da palha na superfície: os problemas de erosão em áreas de cultivo da cana-de-açúcar se concentram no período da reforma. Dessa forma, parte da palha acumulada ao longo do ciclo pode ser retirada, desde que isso seja feito em paisagens menos suscetíveis à erosão e que uma cobertura mínima seja mantida;

Enleiramento da palha: aumenta a velocidade do desenvolvimento das plantas e do recobrimento do solo, e promove aumento da rugosidade do solo, contribuindo assim para o controle da erosão (Figura 16);

Preparo mínimo e sistema plantio direto: mantém a superfície do solo coberta e com pouca mobilização, interferindo positivamente no controle da erosão. Aumentam a cobertura do solo e a infiltração de água. Indicados para áreas de maior risco de erosão;

Época de plantio: em função da concentração da erosividade das chuvas no verão, a época de plantio define maior ou menor cobertura do solo pelo dossel da cultura nas épocas críticas e de maior risco de erosão. A época de plantio é uma das decisões de manejo que tem maior efeito no risco de erosão;

Meiosi: esse sistema mantém o solo com vegetação durante todo o período de reforma e reduz a porcentagem da área preparada (Figura 17). Se estabelecida cortando o sentido das águas faz o efeito de barreira vegetal, retendo ou reduzindo a velocidade da enxurrada e por isso é indicada para áreas com elevado risco de erosão. Reforçando o conceito de que o conjunto de práticas, e não práticas isoladas, é que promovem o sinergismo almejado em termos de conservação do solo, a meiosi é a expressão exata disso, por que nesse sistema podem ser incorporadas as práticas de controle de tráfego, encanteiramento, adubação verde, rotação de culturas, cultura em faixa e plantio direto, possibilitando inclusive o trabalho em nível e associado a terraços passantes;

Adubação verde e plantas de cobertura: o uso de plantas que permitem a introdução e a reciclagem de nutrientes e promovem a cobertura do solo contribui para a proteção do solo e redução do risco de erosão;

Manejo de restos culturais e plantas daninhas: auxiliam principalmente na promoção do aumento da cobertura do solo pela manutenção dos resíduos em superfície e pela maior velocidade de desenvolvimento da cana-planta e das soqueiras;

Preparo e plantio em faixas: consiste na disposição da cultura de cana-de-açúcar em faixas de largura variável ao longo da paisagem, de forma que se alternam nas faixas épocas de plantio e/ou variedades. O objetivo principal é obter parcelamento dos lançantes, de forma que haja alternância da cobertura do solo entre as faixas ou da época em que o solo fica exposto, evitando a reforma ou mobilização do solo de toda a vertente ao mesmo tempo (Figura 18). É uma prática complexa, associada ou não ao plantio em nível, rotação de culturas, plantas de cobertura e terraços.



Figura 16. Enleiramento da palha e cultivo de soqueira contribuem para cobertura do solo e infiltração de água em cana-de-açúcar. Foto: Isabella C. De Maria, IAC/SAA.

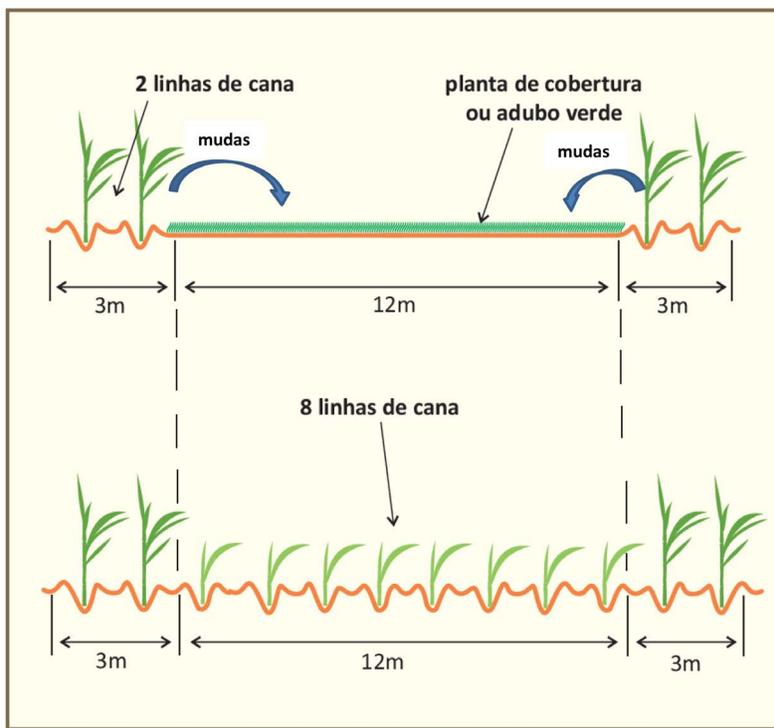


Figura 17. Esquema do sistema de meiosi. Diagrama CATI/SAA.



Figura 18. Cultivo em faixas em que se alternou a época de plantio da cultura da cana-de-açúcar em cada faixa. Foto: Mario Ivo Drugowich, CATI/SAA.

6.2.2. Técnicas para aumentar a infiltração de água

Para aumentar a infiltração de água no solo, ou para manter a infiltração elevada, é preciso cuidado com os implementos de preparo do solo e mobilização da superfície. Os implementos podem contribuir para o aumento da infiltração ou, se utilizados de forma inadequada, para o aumento da compactação. Diversos itens devem ser levados em consideração, como a escolha do implemento, adequação à potência dos tratores, regulagem da operação dos implementos, peso dos tratores e pressão dos pneus. Mas o principal fator para o controle da compactação é a umidade do solo no momento da passagem das máquinas e implementos. A faixa de umidade em que as operações devem ser evitadas é determinada por diferentes métodos de laboratório ou empiricamente, e deve ser respeitada para que a compactação não crie camadas de impedimento para a infiltração da água no solo. O controle do tráfego (Figura 19) e o estabelecimento de zonas de tráfego nas áreas de cultivo são também ferramentas para o controle da compactação.

O cultivo de soqueiras é uma técnica utilizada para melhorar os aspectos químicos, favorecendo o contato do corretivo com o solo, e físicos, contribuindo para aumentar a infiltração de água.



Figura 19. Controle de tráfego para reduzir a compactação. R = iodado, LP = linha de plantio. Foto: Antoniane Arantes de Oliveira Roque, CATI/SAA.

6.2.3. Técnicas para controlar o escoamento superficial

6.2.3.1. Direção da sulcação

O preparo do solo, plantio ou sulcação em nível é uma das técnicas mais antigas de controle do escoamento superficial, com efeitos significativos no controle da erosão em áreas com declives entre 3% e 12%, podendo chegar até a 18% em solos com maior resistência à erosão. O plantio no sentido do declive, morro-abaixo, por outro lado, aumenta a erosão por direcionar a enxurrada no sentido de maior velocidade, gerando erosão dentro dos sulcos de plantio.

Sistemas de plantio com tiros retos em declividades maiores podem apresentar o mesmo efeito que o plantio no sentido do declive, se os sulcos conduzirem a enxurrada de forma descontrolada, por isso devem ser restritos às terras mais planas, solos mais resistentes à desagregação pela enxurrada e com maior infiltração.

6.2.3.2. Sistema de terraceamento

O terraceamento agrícola é uma prática mecânica para o controle do escoamento superficial da enxurrada. Entre as práticas de controle da erosão, é a mais utilizada e conhecida pelos agricultores, embora não possa ser utilizada de forma isolada. Os terraços são estruturas de terra que interceptam a enxurrada, constituídos de um canal e um camalhão ou dique de terra. Sua função é parcelar o comprimento da encosta ou da rampa, reduzindo o volume e a velocidade da enxurrada. Com isso, o desprendimento e o transporte de solo nas vertentes seccionadas é menor, resultando em deposição de partículas na área entre os terraços e redução na quantidade de sedimentos na água que escoar. O terraço retém a água do escoamento superficial para infiltração ou para condução segura para um leito de drenagem estável. O sistema de terraceamento agrícola compreende o conjunto de terraços definidos para o controle da erosão e as práticas associadas complementares para controlar a enxurrada.

Tipos de terraços:

Desde o início de sua utilização, a forma dos terraços vem sendo alterada em função das condições locais (clima, solo, declive, sistema de manejo da cultura) e da disponibilidade de máquinas e implementos para sua construção e manutenção. Diversos tipos de terraços atendem às condições específicas de cada gleba, propriedade ou empreendimento agrícola. Embora

existam vários tipos de terraços, sua função é a mesma: parcelar o comprimento de rampa para evitar que o volume e a velocidade da enxurrada aumentem.

A função dos terraços, independentemente do tipo, técnica construtiva ou forma é de interceptar a enxurrada que se move ao longo da vertente. Após a interceptação da enxurrada, os terraços se dividem em dois tipos: a) aqueles construídos em nível e que têm as pontas fechadas, nos quais a enxurrada ficará armazenada no seu canal até infiltrar no solo – Terraços em Nível ou de Infiltração (TI); b) terraços construídos em declive com a ponta de menor cota aberta, ou terraços curtos em nível com uma ou duas pontas abertas, nos quais a enxurrada depois de interceptada imediatamente irá escoar para a rede de drenagem ou estrutura construída para tal (canal escoadouro), não havendo o armazenamento da enxurrada produzida nos eventos de precipitação intensos - Terraços de Drenagem ou em Desnível ou em Gradiente (TD).

Para os solos dos grupos 1 e 2 recomendam-se terraços de infiltração (TI) e para os solos dos grupos 3 e 4 terraços sempre em gradiente (TD) (Quadro 6). Nesse último caso, os terraços só devem ser construídos depois que os respectivos canais escoadouros estejam implantados e consolidados. A estabilização e um canal escoadouro demanda pelo menos um ano agrícola, podendo esse período ser maior em função do tipo de solo, condições climáticas e declive.

Os projetos com terraços em nível com pontas abertas têm que prever necessariamente estruturas para condução da água. Carreadores e estradas não podem ser utilizados indiscriminadamente como canal escoadouro. As estruturas de escoamento da enxurrada precisam ser dimensionadas adequadamente, construídas e estabilizadas com antecedência à construção dos terraços.

Terraços construídos e/ou locados de forma inadequada ou sem manutenção podem agravar a erosão.

O PCE define o tipo de terraço, o espaçamento a ser adotado e a sua localização na paisagem, assim como as demais estruturas de condução do escoamento superficial. Os critérios técnicos e o dimensionamento (formato, tamanho, técnica construtiva) das estruturas estabelecidas no PCE, para que as mesmas sejam capazes de armazenar ou drenar a enxurrada dos eventos extremos para os quais são projetados, são definidos no projeto de condução da enxurrada (PCX).

Construção dos terraços:

Os melhores equipamentos para a confecção dos terraços de infiltração são as motoniveladoras e as escavadeiras hidráulicas, pois conseguem

construí-los com mínima compactação no canal ou base do terraço. Também são utilizados os tratores de esteira ou de pneus com arado, os terraceadores e as pás carregadeiras, que podem requerer a descompactação da base dos terraços para que estes tenham a eficiência esperada, principalmente nos terraços de infiltração (TI).

Forma dos terraços utilizados na cana-de-açúcar:

Os tipos de terraços mais comumente utilizados atualmente nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar são os terraços de base larga e os terraços embutidos.

Os terraços de base larga (Figura 20b) permitem o plantio em sua totalidade, resultando em maior aproveitamento de área, sendo indicado para áreas com menor declive. Nesse modelo de terraço, a movimentação de terra para sua construção é feita em uma área mais extensa, utilizando o tipo construtivo Mangum (Figura 20a), tombando a terra de cima para baixo e de baixo para cima. São terraços com canais mais largos e mais rasos, com camalhão suavizado. Geralmente são usados terraceadores para a construção.

Os terraços embutidos (Figura 21b) movimentam terra de uma superfície menor, porém em maior profundidade, utilizando o tipo construtivo Nichols (Figura 21a), cortando a terra e movimentando-a sempre de cima para baixo. A terra para o camalhão é retirada da faixa superior ao terraço, onde se forma o canal. O talude anterior do camalhão é mais inclinado, praticamente na vertical. Esses terraços são estruturalmente mais resistentes, porém não permitem o plantio em 100% da área. Geralmente são construídos com motoniveladoras.

Nos terraços, principalmente os embutidos, deve ser feita a correção química do solo do canal do terraço, geralmente aumentando as doses de calcário, gesso e fosfato, e sempre que possível utilizando-se torta de filtro ou outro material orgânico.

Os terraços passantes são terraços de base larga (Figura 20b), assim chamados porque permitem que as máquinas transitem em qualquer direção passando por cima do camalhão. O terraço passante, da mesma forma que os demais terraços, deve ter uma seção mínima definida no projeto de condução da enxurrada (PCX). Esse tipo de terraço exige maior atenção após a construção, por que o tráfego passante pode compactar e orientar o fluxo da enxurrada em solos arenosos muito suscetíveis à desagregação e o fluxo concentrado pode iniciar processos erosivos. Por isso, além do monitoramento constante, a sulcação de plantio deve cortar as águas, respeitando o nível do terreno dentro do possível, para que a interceptação entre a sulcação e os terraços seja feita com o menor ângulo.

O terraço invertido (Figura 22) tem sua denominação vinculada ao fato de ser um terraço do tipo Nichols que, ao invés de movimentar a terra para baixo para a formação do talude, tomba-se a terra de baixo para cima, resultando em um talude posterior inclinado e abrupto. É utilizado em situações de declive intermediário (10%-18%) e propicia um bom aproveitamento da área para plantio da cultura, inclusive dentro do canal formado. Como fatores negativos estão o uso intensivo de mecanização para mobilizar uma grande faixa e a necessidade de correção desta, encarecendo sua implantação. Como o talude tem uma inclinação acentuada, principalmente nos solos de textura média e arenosa, existe um sério risco de turbilhonamento da água que eventualmente extravasa pelo camalhão, solapando o talude, colocando em risco o sistema de armazenamento e condução da enxurrada.

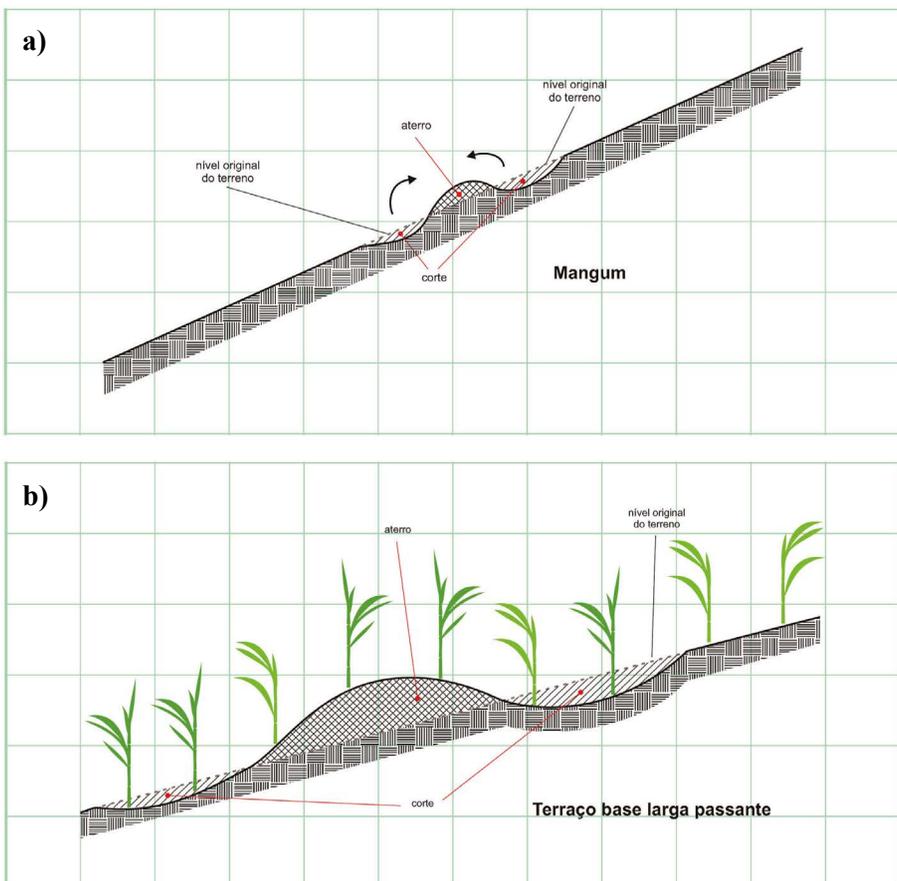


Figura 20. Esquema do terraço do tipo Mangum (a) utilizado para a construção de terraços de base larga (b). Diagrama CATI/SAA.

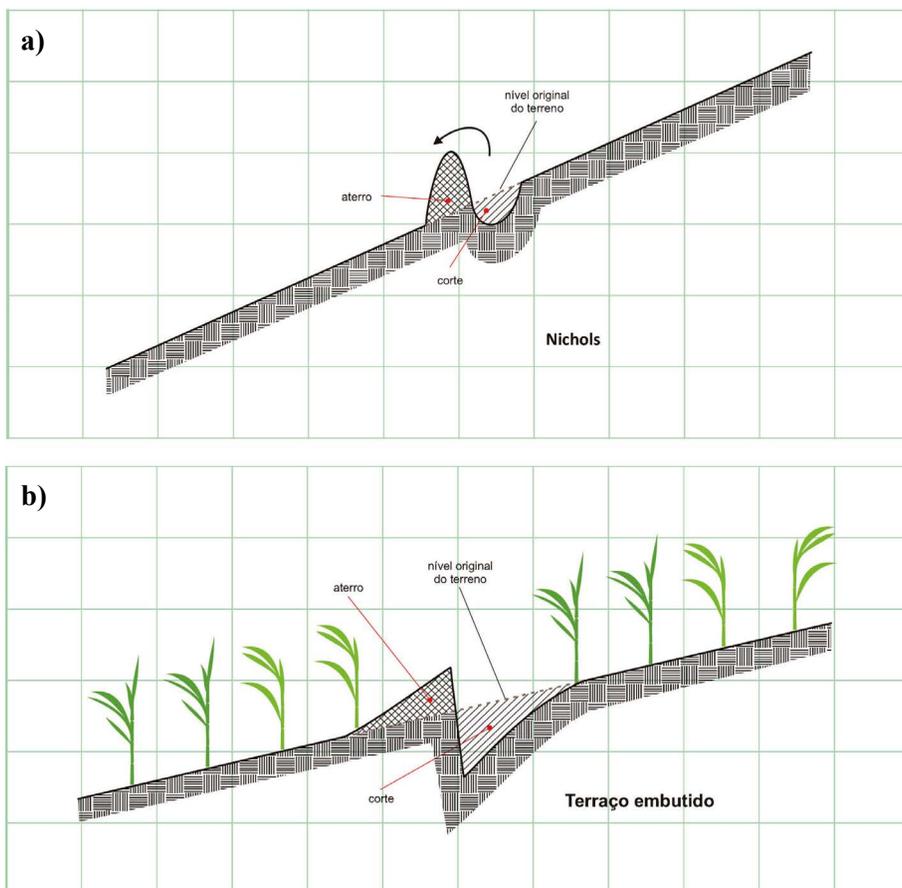


Figura 21. Esquema do terraço do tipo Nichols (a) utilizado para a construção de terraços de base estreita e terraços embutidos (b). Diagrama CATI/SAA.

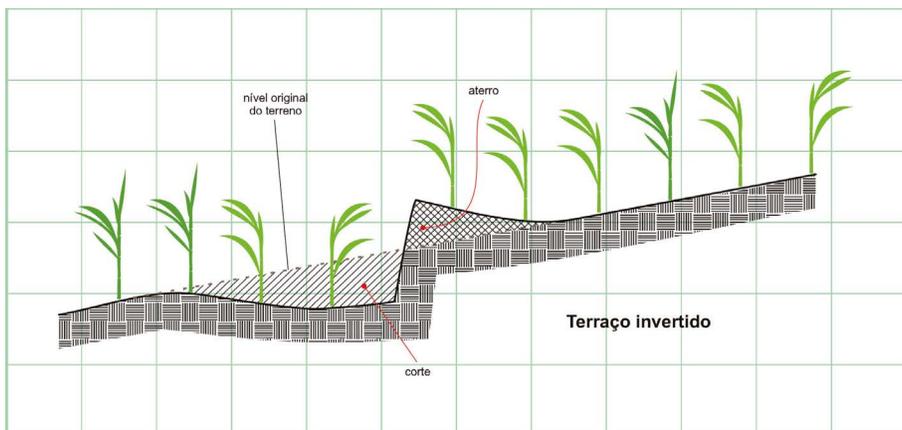


Figura 22. Esquema do terraço do tipo Nichols base estreita invertido. Diagrama CATI/SAA.

Espaçamento entre terraços:

O espaçamento entre terraços depende dos fatores que controlam o processo erosivo, principalmente a cobertura do solo, o tipo de solo e a declividade. São esses fatores que determinam a quantidade de enxurrada. As opções de preparo do solo e manejo da cultura, que determinam alterações nas propriedades físicas e nas características da superfície do solo, são também fatores que influenciam a quantidade de enxurrada.

A determinação do espaçamento vertical entre terraços pode seguir diferentes métodos, tabelas e equações. Inicialmente, recomendações para dimensionamento de terraços consideravam apenas o declive e a textura do solo, arenoso ou argiloso, para definir o espaçamento vertical. Evidentemente, declive e textura do solo são dois fatores importantes no controle da erosão, mas ao utilizar apenas essas duas variáveis para a recomendação e dimensionamento das práticas conservacionistas desconsideram-se outros atributos também importantes do solo, do relevo e do manejo. Apenas a textura não é suficiente para especificar o comportamento hidrológico do solo, que vai determinar a taxa de infiltração e permeabilidade do solo e, conseqüentemente, a formação da enxurrada. Solos arenosos têm taxa de permeabilidade elevada. Entretanto, alguns argissolos de textura arenosa apresentam gradiente textural abrupto e a infiltração de água é reduzida, formando maior volume de enxurrada. Assim, nesse caso, os terraços deveriam ficar mais próximos ou ter sua seção transversal aumentada para reter a água.

O espaçamento entre terraços é determinado utilizando a equação apresentada por Lombardi Neto et al. (1991), que calcula o espaçamento vertical em função do grupo hidrológico do solo, do declive e do uso e manejo. Essa equação foi revisada para incluir práticas conservacionistas e sistemas de manejo mais recentemente adotados no cultivo da cana-de-açúcar.

$$EV = 0,4518 * \mathbf{K} * (D^{0,58}) * \left(\frac{\mathbf{u} + \mathbf{m}}{2}\right) * \mathbf{p}$$

onde: **K** = tipo de solo; **D** = declive (%); **u** = uso de solo; **m** = manejo do solo, incluindo preparo do solo e manejo de resíduos; **p** = técnicas de conservação do solo para aumentar a cobertura vegetal e a infiltração de água no solo.

Os tipos de solo (**K**) são agrupados em função de propriedades hidrológicas e de resistência à erosão (Quadro 6). Os fatores importantes para definir o grupo hidrológico são a profundidade e a permeabilidade. Solos profundos, com permeabilidade rápida e textura argilosa têm maior resistência

à erosão e arraste de terra, e têm menor formação da enxurrada. Nesses solos pode-se espaçar mais os terraços. Para definir a resistência à erosão, considera-se também a agregação do solo, normalmente maior em solos de textura argilosa, com caráter fêrrico. Originalmente, os grupos de solos eram denominados por letras. Entretanto, para que os grupos de solos não sejam confundidos com os ambientes de produção, conceito largamente adotado pelo setor canavieiro, neste Boletim os grupos passaram a ser denominados por números.

O grupo hidrológico do solo também define o tipo de terraço a ser utilizado. Nos grupos 1 e 2, solos de permeabilidade mais elevada, podem ser recomendados terraços de infiltração (TI) e de drenagem (TD). Nos grupos 3 e 4, solos de permeabilidade mais baixa, são recomendados os terraços de drenagem (TD).

O fator de uso do solo (**u**) está relacionado principalmente à proteção da superfície do solo pelas culturas. Os cultivos que produzem maior massa vegetal e que mantêm o solo coberto por mais tempo, protegem a superfície do solo contra a ação das chuvas e da enxurrada (Quadro 7). Assim, também, cultivos com ruas mais espaçadas, deixam o solo mais descoberto e mais sujeito ao impacto das gotas de chuva. O sistema radicular das plantas e a arquitetura foliar também são fatores considerados na definição do valor de uso do solo.

Nas áreas de cultivo perene, em que o solo é mantido coberto e as raízes contribuem para a estabilização de uma estrutura do solo com maior porosidade nos horizontes superficiais, a formação de enxurrada é menor. A cultura de cana-de-açúcar, por apresentar grande massa vegetal, que promove a cobertura do solo por quase todo o período de cultivo, e por apresentar grande massa de raízes, é considerada como uma cultura que oferece proteção contra a erosão. A fase de reforma dos canaviais, entretanto, é muito crítica, com grandes áreas de solo descoberto e sujeito à ação de chuvas torrenciais dependendo da época do ano em que a reforma é realizada. Por isso, em média, o valor de **u** não é tão elevado. Valores mais elevados para o **u** indicam maior proteção ao solo e, portanto, terraços mais espaçados ou com seção transversal menor.



Figura 23. Seções de terraços em nível em solos com boa capacidade de infiltração de água: (a) maiores que 6 m² em Argissolo profundo, região de Dracena, SP e (b) menores que 1 m², em Latossolo, região de Andradina, SP. Foto: José Osmar Bortoletti.

Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar

Quadro 6. Valores de **K** para os grupos hidrológicos de solo para dimensionamento do espaçamento vertical entre terraços

Grupo de resistência à erosão ⁽¹⁾		Profundidade ⁽²⁾	Permeabilidade	Textura	Razão textural ⁽³⁾	Solos	Tipo de terraço	K
Anterior	Atual							
A	1	muito profundo a profundo	rápida/rápida moderada/rápida moderada/moderada	média/média argilosa/argilosa m.arg/m.arg	<1,2	Latossolos argilosos	TI e TD	1,25
B	2	profundo	rápida/rápida rápida/moderada moderada/lenta	arenosa/arenosa arenosa/média média/argilosa	1,2-1,5	Latossolos textura média; Argissolos não abruptos; Neossolos Quartzarênico; Nitossolos	TI e TD	1,10
C	3	profundo a moderadamente profundo	rápida/moderada moderada/lenta rápida/lenta	arenosa/média arenosa/argilosa média/argilosa	>1,5	Argissolos abruptos, Cambissolos	TD	0,90
D	4	moderadamente profundo a raso	rápida/lenta moderada/lenta lenta/lenta	variável	variável	Cambissolos rasos, Neossolos litólicos, Argissolos rasos	TD	0,75

Adaptado de Lombardi Neto et al. (1991). TI = Terraço de infiltração. TD = Terraço de drenagem. ⁽¹⁾Atualização da nomenclatura do Grupo de Solo para diferenciar de ambientes de produção, conceito que ainda não existia na época da publicação de Lombardi Neto et al. (1994). ⁽²⁾Profundidade do solo: Muito profundo: > 2,0 m; Profundo: 1,0 a 2,0 m; Moderadamente profundo: 0,5 a 1,0 m; Raso: 0,25 a 0,50 m. ⁽³⁾Razão entre os teores de argila dos horizontes B/A.

Com as mudanças de manejo da cana-de-açúcar, a época de plantio da cana foi ampliada para praticamente o ano todo. Entretanto, a distribuição de chuvas ao longo do ano não é regular e a época de plantio pode coincidir ou não com a época de chuvas mais intensas. Como a fase de implantação da cultura é muito importante pela exposição da superfície, principalmente nas glebas ou talhões de maiores dimensões, o fator **u** especificamente para a cultura de cana foi associado à época de plantio para que esses efeitos sejam considerados. Isso já foi ressaltado no item 4, no qual indica-se as épocas de plantio e respectivos riscos. Considerando-se as necessidades operacionais das usinas nos sistemas de produção adotados atualmente, a época de plantio mostrou-se de vital importância para segurança no planejamento. Dessa forma, o valor de **u**, valor da proteção que a cultura oferece ao solo, pode variar de acordo com a época em que o solo fica descoberto. No trabalho de Lombardi Neto et al. (1991) foi atribuído o valor de 1,25 ao fator **u** para cana-de-açúcar no mesmo grupo das culturas de milho, sorgo, aveia e abacaxi, determinado a partir de dados de cana-de-ano, com plantio em outubro-novembro. Esse valor condicionou a escala de valores do fator **u** em função das épocas de plantio, conforme apresentado no quadro 7. Assim, os valores de **u** para cana podem variar de 1,00 a 2,00.

Quadro 7. Valores do fator **u** para a cultura da cana-de-açúcar em função da época de plantio e da cultura antecessora ou uso anterior, conforme a proteção que oferecem ao solo, para determinar o dimensionamento do espaçamento vertical entre terraços

Grupo	Época	Início do preparo e plantio	u
1	Cana-dois-verões	dezembro e janeiro	1,00
2	Cana-de-ano	a partir de outubro	1,25
3	Cana-de-ano-e-meio	fevereiro a abril	1,50
4	Cana-de-ano-e-meio	a partir de abril	1,75
5	Cana-de-inverno	a partir de maio	2,00

A equação para determinar o espaçamento entre terraços apresenta, ainda, as operações mecânicas de mobilização do solo (Quadro 8), que alteram as condições da superfície do solo, como um fator a ser considerado (fator **m**). Dados obtidos em experimentação de campo sempre confirmam o senso comum de que o preparo do solo e a incorporação ou queima dos restos vegetais da superfície do solo por essas operações aumentam as perdas de terra e água por erosão.

Quadro 8. Valores do fator **m** para grupos de preparo e mobilização da superfície, conforme o efeito que provocam na proteção do solo, para determinar o espaçamento vertical entre terraços

Grupo	Preparo primário	Preparo do secundário	Mobilização da camada superficial	Restos culturais	m
1	GN, GI, ER	GN	intensa	incorporado ou queimado	0,50
2	GA	GN	intensa	incorporado ou queimado	0,75
3	AD, AA	GN	média	parcialmente incorporado	1,00
4	GA	SUB	média	parcialmente incorporado	1,25
5	ESC, SUB	GN, GI	média	parcialmente incorporado	1,50
6	GA, AD, AA	Localizado	baixa	parcialmente incorporado	1,75
7	Localizado	Localizado	mínima	parcialmente em superfície	2,00
8	Sem preparo	Plantio direto	mínima	em superfície	2,25

Adaptado de Lombardi Neto et al. (1991). GA = grade aradora; ER = enxada rotativa; GI = grade intermediária; GN = grade niveladora; ESC = escarificador; SUB = subsolador; AA = arado de aivecas; AD = arado de discos.

Quadro 9. Valores do fator **p** para grupos de práticas conservacionistas, conforme o efeito que ocasionam contra o impacto das chuvas, formação e velocidade de enxurradas, para determinar o espaçamento vertical entre terraços

Grupo	Cobertura do solo no período entre a dessecação da soqueira e o novo plantio	Preparo e plantio em área total	Preparo e plantio em faixas ⁽¹⁾	
			Sem controle de tráfego	Com controle de tráfego ⁽²⁾
1	Descoberto, com gradagens periódicas	0,90	0,95	1,00
2	Vegetação espontânea	1,00	1,05	1,10
3	Culturas de rotação (soja e amendoim)	1,10	1,15	1,20
4	Adubação verde (leguminosas e gramíneas)	1,20	1,25	1,30
5	Soqueira de cana com palha na superfície	1,30	1,35	1,40

⁽¹⁾ O preparo e plantio em faixas pressupõe a partição do declive em faixas alternadas que terão épocas de plantio e manejos distintos. ⁽²⁾ O controle de tráfego separa zonas de tráfego e de crescimento das plantas, concentrando a passagem dos pneus em linhas permanentes, com diminuição da área submetida ao tráfego agrícola.

As operações agrícolas, necessárias para a correção do solo e a criação de ambiente favorável para o crescimento inicial da cultura, também rompem a estrutura do solo, quebram agregados, liberam partículas menores que podem ser mais facilmente arrastadas pelas águas superficiais e, principalmente, incorporam o material vegetal que, na superfície, ofereciam proteção contra o impacto das gotas de chuva. Esses efeitos estão diretamente relacionados à perda de terra ou produção de sedimentos, e tem impacto menor na perda de água e formação de enxurrada. Muitas vezes, as operações de preparo do solo criam condições favoráveis para a infiltração de água reduzindo, portanto, a enxurrada e, conseqüentemente, possibilitando maior espaçamento entre os terraços.

Para a definição do espaçamento entre terraços é preciso levar em consideração as características de solo e relevo e, também, o sistema de produção como um todo, identificando os aspectos críticos para a formação da enxurrada, desde as operações de preparo do solo, cobertura do solo ao longo do ciclo, sobreposição das épocas de solo exposto e chuvas torrenciais.

O espaçamento entre terraços pode ser alterado, considerando o manejo da área nos cultivos seguintes, de forma a acomodar e facilitar o tráfego das máquinas que serão utilizadas, permitir uma locação mais adequada ou tornar os terraços mais paralelos e adequar o sistema para facilitar a condução da água. Essa adequação da área deve atender critérios rígidos para não comprometer os objetivos dos terraços de quebrar a velocidade da água e de condução da enxurrada.

É importante destacar que o espaçamento entre terraços, utilizando os parâmetros apresentados nos quadros anteriores, é calculado para o cultivo da cana-de-açúcar. A implantação de uma cultura de rotação deve estar prevista no planejamento para redimensionar o espaçamento de acordo com a proteção oferecida por essa cultura.

A mudança de um sistema de conservação do solo prevendo não utilização de terraços de infiltração ou alteração nos espaçamentos entre terraços anteriormente utilizados, apenas poderá ser elegida se o projeto de controle de erosão (PCE) e o projeto de controle de enxurrada (PCX) estiverem de acordo com as recomendações para classe de capacidade de uso ou classe de risco de erosão, especialmente em áreas antigas ou naquelas que já apresentaram processos erosivos. Os terraços podem ser rebaixados quando o manejo permitir maior cobertura e maior infiltração de água no solo, mas ainda assim devem estar de acordo com os cálculos do PCE e do PCX, garantindo que a seção do terraço esteja de acordo com as recomendações para os cálculos de dimensionamento do sistema de terraceamento.

6.2.3.3. Canais e prados escoadouros

Os canais e prados escoadouros são estruturas usadas para proporcionar a drenagem segura dos excessos de enxurrada utilizados principalmente como complemento ao sistema de terraços de drenagem e nas áreas vicinais de estradas. Devem ter dimensões apropriadas, ser vegetados ou revestidos, ser capazes de transportar com segurança a enxurrada de uma área ou de um sistema de terraceamento (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Os prados escoadouros são estruturas naturais, talvezues ou a rede de drenagem natural da paisagem, usadas para condução do excesso de enxurrada de uma determinada área, em geral depressões naturais da bacia de drenagem, com capacidade para receber o excesso de enxurrada, estabilizadas com vegetação ou revestidas especificamente para garantir a condução segura da enxurrada.

Os canais escoadouros são estruturas artificiais ou estruturas mecânicas construídas com dimensões adequadas para o transporte de enxurrada, estabilizadas com vegetação ou outros revestimentos permanentes (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Nas áreas de cana-de-açúcar, essas estruturas são revestidas por algum tipo de vegetação e utilizadas para diminuir a velocidade de enxurradas interceptadas por terraços de infiltração, terraços de drenagem ou oriundas de sistemas conservacionistas sem terraços, e são denominadas conjuntamente como canais escoadouros vegetados. Nos sistemas conservacionistas com terraços de drenagem ou sem terraços os canais escoadouros são obrigatórios, fazendo parte, necessariamente, dos projetos de controle da erosão e da enxurrada e devem ser adotados sempre que haja expectativa de excedentes de enxurrada que não podem ser infiltrados. Normalmente, são indicados para solos com deficiência na infiltração de água e ainda recomendados para área de terraços de infiltração com comprimentos de rampas longos em solos de textura média a arenosa, todas estas situações em que a formação de grandes volumes de enxurrada é esperada e pode haver dificuldade na interceptação e infiltração do seu volume total.

Especial atenção deve ser dada na execução dos canais escoadouros, uma vez que são estruturas alocadas nas baixadas ou em locais para onde é certo que a água excedente da área será naturalmente direcionada. Se a estrutura do solo ainda não estiver totalmente estabilizada, haverá risco de falha ou rompimento do canal e início de processos erosivos em sulcos ou voçorocas. A vegetação escolhida para revestir os canais deve ser estolonífera e perene, geralmente braquiárias ou gramas. As plantas de touceiras devem ser evitadas, pois criam caminhos preferenciais para a água, aumentando o

risco de erosão dentro do canal escoadouro. Tanto nos canais naturais, como nos artificiais, pode ser necessária a construção de estruturas ou paliçadas para interceptar e reduzir a velocidade das enxurradas.

6.2.3.4. Canais divergentes

Canais divergentes, também denominados terraços divergentes ou terraços interceptadores, são estruturas semelhantes a terraços de drenagem ou canais escoadouros, construídos com pequeno desnível, com a finalidade de transportar a enxurrada em baixa velocidade para um ponto de escoamento desejado. Estas estruturas devem ser construídas com a antecedência necessária, para que possam se apresentar estáveis nas épocas de maior volume de chuvas. São utilizados para interceptar enxurradas de montante, para evitar o deságue nas áreas de cultivo, conduzindo as águas para canais escoadouros, ou a jusante quando há necessidade de interromper a concentração de enxurrada em áreas em que o terraceamento não foi utilizado.

Os canais divergentes também são utilizados para desviar a enxurrada da cabeceira de voçorocas, como prática auxiliar de estabilização de grandes erosões, para proteger nascentes, desviar a enxurrada de construções rurais ou enxurrada provinda de áreas impermeabilizadas por construções. Os canais divergentes devem ser, preferencialmente, vegetados da mesma forma como os canais escoadouros ou cultivados e dimensionados de forma tal que a seção tenha capacidade para receber toda a enxurrada esperada, a velocidade da enxurrada no canal esteja dentro dos valores permissíveis (Lombardi Neto e Drugowich, 1994) e que a forma e dimensão sejam adaptadas aos equipamentos agrícolas que serão utilizados nas operações normais da lavoura e nas operações de manutenção.

6.2.3.5. Arcabouço de estradas e carreadores

A readequação de estradas e carreadores, assim como a localização de construções e benfeitorias rurais, podem contribuir, quando bem planejadas, de forma decisiva no controle do escoamento superficial.

As estradas rurais contribuem com uma grande quantidade de enxurrada para as áreas de produção quando não têm um sistema de drenagem eficiente. Provavelmente, a maior parte da enxurrada que causa erosão em áreas agrícolas tem a sua origem nas estradas, que com seu leito compactado torna-se uma área que não permite a infiltração da água e, por isso, forma um grande volume de enxurrada. Uma causa comum de rompimento de terraços

é o excesso de água carreado pelas estradas, alocadas inadequadamente por falha de planejamento, que deveria contemplar um arcabouço adequado (largura, comprimento, greide e locação) associado a estruturas como bigode, vírgula, bacia de captação, lombada, escada hidráulica, bueiros e travessias, drenos, sangras e dissipadores.

6.2.4. Elementos técnicos do PCE

Os elementos mínimos descritos no PCE são:

- Mapa de solos ou levantamento do meio físico, com trabalho de campo detalhado;
- Mapa planialtimétrico com contornos em nível espaçados em 1m ou mais detalhado;
- Classe de declividade segundo as seguintes classes: 0%-3%, 3%-6%, 6%-9%, 9%-12%, 12%-18% e >18%;
- Mapa de fluxo ou acúmulo de enxurrada;
- Cronograma descritivo detalhado das atividades de preparo e manejo da cobertura do solo;
- Classificação do risco de erosão das terras;
- Critérios de associação do risco de erosão com as opções de preparo e manejo do solo, priorizando os sistemas mais conservacionistas nas áreas de maior risco de erosão;
- Memorial de cálculo de espaçamento entre terraços de infiltração ou de drenagem, se houver;
- Memorial da técnica construtiva, com tipo de equipamento utilizado, seção transversal e altura do camalhão, se houver;
- Projeto de construção e cronograma de implantação para canal escoadouro vegetado, se houver;
- Projeto de alinhamento de plantio com as declividades de linhas indicadas, para projetos com ou sem terraços;
- Projeto de alinhamento e manutenção de estradas e carregadores.

6.3. Projeto de Controle da Enxurrada (PCX)

6.3.1. Conceitos

O Projeto de Controle do Escoamento Superficial da Enxurrada (PCX) é composto de: a) recomendações e dimensionamentos necessários para que as estruturas estabelecidas no PCE (terraços de infiltração, drenagem ou canais escoadouros vegetados) apresentem funcionamento hidráulico adequado; b) análise espacial (cartográfica) da área de contribuição da gleba considerada no PCE em relação às águas recebidas (área de captação a montante) e águas drenadas a jusante. Esta análise inclui outras estruturas de interceptação ou escoamento de enxurrada não consideradas no PCE como açudes, vertedouros, pontes, entre outras e visa garantir que as águas recebidas e drenadas sejam integradas às práticas mecânicas e demais opções conservacionistas do imóvel; c) recomendações e dimensionamentos para drenagem adequada das águas recebidas nas estradas e carreadores do imóvel, assim como àquelas geradas em suas próprias estradas e drenadas para áreas vizinhas à jusante.

Em resumo, o PCX visa analisar o fluxo hidráulico na paisagem, para dimensionar as práticas mecânicas de controle da erosão adotadas, e tem como objetivo evitar o acúmulo excessivo da enxurrada e os danos causados por essa. O PCX depende das definições e recomendações do PCE, que deve antecedê-lo. Em alguns casos, limitações nas técnicas construtivas das estruturas dimensionadas ou recomendadas pelo PCX podem exigir alterações no PCE. Como exemplo, caso o PCE indique um espaçamento determinado para terraços de infiltração, mas os equipamentos e máquinas disponíveis no imóvel não permitam a construção de uma seção de terraço ideal, definida no PCX, o espaçamento definido no PCE deverá ser alterado, visando garantir ambos, eficiência no controle da erosão (PCE) e o funcionamento hidráulico do terraço (PCX).

6.3.2. Estruturas de interceptação e condução da enxurrada

O destino a ser dado à enxurrada ou a maneira como a enxurrada será interceptada ou conduzida é definida no PCE: se será utilizado um terraço em nível com pontas fechadas (encabeçado), se o terraço será locado em gradiente, ou, se apesar de ser locado em nível, é mantido com pontas abertas, e se será construído um canal escoadouro vegetado. Essa definição é função dos tipos de solos, da conformação da paisagem e do manejo.

A recomendação do espaçamento entre terraços também é definida no PCE e tem como base conceitual a experimentação clássica de conservação do solo, dados de perdas por erosão em diferentes situações de chuva, solo, declive, rampa e manejo, e as sínteses dessas informações na forma de modelos, como a EUPS.

Para dimensionar as estruturas de interceptação e condução da enxurrada é necessário estimar a quantidade ou volume de água que escoar sobre a superfície do solo, e que será interceptado, armazenado e infiltrado ou conduzido. Essa estimativa é feita por equações empíricas, utilizando coeficientes de enxurrada. Em seguida determina-se a seção do terraço.

Determina-se também o período de retorno (recorrência) desejado para permitir calcular o tamanho mais econômico das estruturas. O período de retorno de 10 anos para estimativas da enxurrada é o suficiente para dimensionar a seção transversal dos terraços para suportar a enxurrada com certa segurança (Lombardi Neto et al., 1991).

6.3.2.1. Terraços de Infiltração (TI)

Nos terraços em nível, com as pontas fechadas, a seção transversal terá que suportar todo o volume de enxurrada esperado, para armazenamento e infiltração em um período relativamente rápido, ou seja, antes que uma nova precipitação que produza uma nova enxurrada ocorra. Por isso esse tipo de terraço é indicado para os solos dos grupos A e B (Quadro 6).

Uma dificuldade adicional no caso desse tipo de terraço é que não há conhecimento suficientemente consolidado sobre a dinâmica de infiltração da enxurrada interceptada no canal do terraço, a ponto de permitir um dimensionamento bastante seguro. Há variação na velocidade de infiltração nos canais de terraços e há diferenças importantes entre o solo agrícola natural e o mesmo solo na condição de canal de terraço, porque: a) o canal é escavado e o camalhão é um aterro; b) a compactação é maior no canal do terraço pelo tráfego agrícola se dar em condições geralmente mais úmidas; c) há menor desenvolvimento das plantas nos canais de terraço, assim como o desenvolvimento radicular; d) os sedimentos vindos com a enxurrada obstruem os poros ou provocam selamento superficial na área de infiltração de água; e) existe uma carga hidráulica exercida pela coluna de água armazenada no canal do terraço.

No entanto, por ser prática muito usual, o conhecimento prático de sua adoção permite uma recomendação relativamente segura para solos do grupo A e B, pois esses solos têm condições, desde que bem manejados, para infiltrar toda a água das chuvas intensas (Lombardi Neto et al., 1994).

O volume de enxurrada é dado pela equação:

$$V = A * h * c$$

onde:

V = volume de enxurrada, m³ m⁻¹

A = área a ser drenada, m²

h = chuva diária máxima (TR=10), m (Figura 6)

c = coeficiente de enxurrada (Quadro 10)

O coeficiente de enxurrada (**c**) é uma relação entre o volume de enxurrada esperado para um determinado volume de chuva, e depende de fatores como declividade do terreno, do solo, da cobertura vegetal, preparo do solo e manejo de restos culturais. Os valores das classes de uso e manejo (Quadro 10) foram estabelecidos pelos seguintes limites para a expressão $(u + m)/2$ (Quadros 7 e 8): Alta: valores superiores a 1,75; Média: valores entre 1,0 e 1,75 e Baixa para valores < 1,00.

A área a ser drenada (**A**) é dada por metro linear de terraço, por:

$$A = EH * 1m$$

onde **EH** é o espaçamento horizontal entre os terraços ou comprimento da área a montante em metros.

A área da seção transversal (**S_t**) para cada metro linear de terraço é dado por:

$$S_t = V$$

onde **S_t** é dado em m² m⁻¹, e **V** é dado em m³.

Quadro 10. Valores de coeficiente de enxurrada para solos cultivados utilizados para o dimensionamento dos terraços

Topografia (%)	Classe de uso e manejo *	Solos**			
		1	2	3	4
Plano a Suave Ondulado (0-6)	Alto	0,20	0,30	0,40	0,50
	Médio	0,30	0,40	0,50	0,60
	Baixo	0,40	0,50	0,60	0,70
Suave Ondulado a Ondulado (6-10)	Alto	0,30	0,40	0,50	0,60
	Médio	0,40	0,50	0,60	0,70
	Baixo	0,50	0,60	0,70	0,80
Ondulado a Forte Ondulado (10-30)	Alto	0,40	0,50	0,60	0,70
	Médio	0,50	0,60	0,70	0,80
	Baixo	0,60	0,70	0,80	0,90

Adaptado de Lombardi Neto et al. (1991). * Valores com base nos limites estabelecidos pelos valores de $(u+m)/2$. ** Grupos de solos conforme o quadro 6.

A altura do canal do terraço é determinada pela forma do triângulo que representa a seção do canal. Os terraços que têm a sua seção em formas não triangulares, o cálculo da seção será feito pela área da figura geométrica que mais se aproximar da seção construída no campo.

Quanto maior a capacidade de armazenamento de enxurrada no canal do terraço, menor será a probabilidade de seu transbordamento e eventual seccionamento. No entanto, não há uma garantia probabilística de que não vai haver transbordamento ou um risco de falha. Não há garantia também de que não vai ocorrer transbordamento quando ocorrer uma enxurrada menor do que a capacidade recomendada, uma vez que não é previsível a quantidade de seção ocupada com as enxurradas precedentes no momento de uma chuva. Os cálculos de espaçamento entre terraços devem levar em conta a viabilidade construtiva do terraço de infiltração (TI), uma vez que a seção construída deverá ser suficiente para armazenar a enxurrada produzida na área entre os terraços. Em função disso, terraços com grande capacidade de armazenamento de enxurrada também apresentam riscos, e devem ser evitados, em especial em solos com horizonte A com baixa agregação, como solos de textura média, ou grande quantidade de areia fina na camada superficial.

6.3.2.2. Terraços de Drenagem (TD)

Nos terraços de drenagem, indicados para os solos dos grupos 3 e 4 (Quadro 6), o dimensionamento deve considerar os princípios de hidráulica de fluxo em canais abertos. Nesse caso, a intensidade máxima de enxurrada que pode ocorrer é mais importante que o volume total de enxurrada. A equação mais utilizada para determinar a intensidade da enxurrada é a fórmula racional (Ramser, 1927):

$$Q = \frac{(c * I * A)}{360}$$

onde:

Q = enxurrada, m³ s⁻¹

A = área a ser drenada, ha

I = intensidade máxima de chuva, mm, no tempo de concentração (Figura 7)

c = coeficiente de enxurrada (Quadro 10)

A intensidade máxima da chuva que resulta na enxurrada máxima é aquela que ocorre em um tempo igual ao do tempo de concentração da água no ponto de deságue. Os terraços de drenagem apresentam comprimentos entre 500 e 600 m, e o gradiente poderá ir até 7/1.000, sendo mais comum 3/1.000. A velocidade da enxurrada no canal do terraço variando entre 0,6 a 0,75 m s⁻¹ para que não ocorra erosão no canal ou também para que não ocorra excessiva deposição de sedimentos no fundo do canal. Por tanto, levaria de 11 a 19 minutos para a água percorrer do início ao fim do terraço. O tempo médio de 15 minutos foi escolhido como o tempo de concentração para determinar a intensidade máxima da chuva que irá resultar na enxurrada máxima. As intensidades máximas em 15 minutos para o Estado de São Paulo por tempo de retorno de 10 anos são apresentadas na figura 7.

Os Terraços de Drenagem (TD) são dimensionados pressupondo que os terraços não tenham seção ocupada pelas enxurradas precedentes.

Determinada a enxurrada máxima, a seção do canal do terraço é dimensionada de modo que a forma da seção seja paraboloide e a velocidade baixa. Os quadros 11 e 12 apresentam uma solução para esse dimensionamento, adaptada para diferentes vazões, considerando as velocidades máximas de 0,60 e 0,75 m s⁻¹ para a enxurrada.

Quadro 11. Vazões dos canais dos terraços para velocidades da enxurrada de $0,60 \text{ m s}^{-1}$

Profundidade do canal	Largura do canal (m)						Limite do gradiente
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	
cm	Q, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$						%
5	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066	0,077	2,50
10	0,041	0,061	0,082	0,103	0,123	0,143	1,00
15	0,060	0,092	0,122	0,152	0,182	0,213	0,45
20	0,080	0,120	0,162	0,202	0,243	0,283	0,27
25	0,103	0,154	0,205	0,254	0,305	0,354	0,24
30	0,125	0,185	0,246	0,306	0,367	0,427	0,14

Fonte: Lombardi Neto et al. (1991).

Quadro 12. Vazões dos canais dos terraços para velocidades da enxurrada de $0,75 \text{ m s}^{-1}$

Profundidade do canal	Largura do canal (m)						Limite do gradiente
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	
cm	Q, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$						%
5	0,022	0,037	0,052	0,067	0,081	0,096	5,00
10	0,050	0,077	0,103	0,130	0,157	0,182	1,40
15	0,076	0,105	0,153	0,190	0,230	0,270	0,77
20	0,102	0,153	0,204	0,253	0,304	0,353	0,45
25	0,129	0,191	0,256	0,318	0,382	0,445	0,33
30	0,154	0,230	0,306	0,382	0,455	0,530	0,23

Fonte: Lombardi Neto et al. (1991).

Quadro 13. Dimensão dos canais do terraço de drenagem

Solo	$I_{15\text{min}}$	c	área	Q_{max}	seção do canal, m^2	
	mm				ha	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
C	120	0,6	1	0,20	$v = 0,6 \text{ m s}^{-1}$	$v = 0,75 \text{ m s}^{-1}$
D	120	0,7	1	0,23	0,33	0,27
					0,38	0,31

$I_{15\text{min}}$: intensidade máxima de chuva em 15 minutos; c = coeficiente de enxurrada; Q_{max} : enxurrada máxima de chuva calculada por $Q = cIA/360$.

Fonte: Lombardi Neto et al. (1991).

Quadro 14. Dimensão dos canais do terraço de drenagem para os valores de Q_{\max} conforme exemplo do quadro 13

Solo	Q_{\max}	$v=0,6 \text{ m s}^{-1}$		$v=0,75 \text{ m s}^{-1}$	
	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	prof., m	larg., m	prof., m	larg., m
C	0,20	0,25	2,00	0,20	2,00
D	0,23	0,25	2,26	0,15	3,00

Q_{\max} : enxurrada máxima de chuva calculada por $Q = cIA/360$; prof. = profundidade; larg. = largura.
Fonte: Lombardi Neto et al. (1991).

6.3.2.3. Canais Escoadouros Vegetados (CEV)

A Os canais escoadouros vegetados são projetados para evitar a erosão do solo enquanto drenam a água da enxurrada das áreas cultivadas em seu entorno. Os canais escoadouros são estruturas largas e rasas, com pequena declividade e leito estável, sendo sua melhor localização nas depressões naturais do terreno. A forma desses canais pode ser triangular, trapezoidal ou paraboloide, sendo essa última a mais comum.

O dimensionamento de um canal escoadouro segue a seguinte seqüência (Lombardi Neto e Drugowich, 1994):

- a. Locação do canal escoadouro na paisagem, dos pontos de dimensionamento e do ponto de descarga final;
- b. Determinação da área de contribuição e levantamento das características do solo no canal e na área de contribuição;
- c. Determinação da declividade do canal;
- d. Escolha da vegetação, que deve ser adaptada às condições locais;
- e. Cálculo da vazão (Q) que será conduzida pelo canal ou vazão de escoamento;
- f. Determinação da velocidade (V) máxima permitida no canal em função da vegetação, das características do solo e da declividade do canal;
- g. Determinação da área da seção do canal (S);
- h. Determinação da profundidade e largura do canal, avaliando a velocidade da enxurrada no canal projetado.

O cálculo da vazão (Q , $m^3 s^{-1}$) é feito pela fórmula racional (Ramser, 1927), também utilizado para dimensionar outras estruturas mecânicas, como terraços de drenagem e canais divergentes, já apresentado no item anterior, e que considera a área de captação da enxurrada (A , ha), a intensidade máxima de chuva no tempo de concentração da enxurrada (i , mm) e o coeficiente de enxurrada (c).

A área de captação de enxurrada (A) para os canais é obtida por meio de mapas altimétricos em escala compatível, que permita identificação das microbacias de contribuição para o ponto de dimensionamento desejado ou seção de controle. Para esse ponto é determinada a lâmina máxima de enxurrada esperada e desse ponto a montante toda a área da microbacia deve ser considerada. Havendo variação no declive ou variação no volume de enxurrada ao longo do canal é recomendado estabelecer novas seções de controle. O canal pode ser construído com a mesma largura em toda a sua extensão ou ter sua largura aumentada gradualmente.

O tempo de concentração da enxurrada (t_c) é o tempo que demora para que toda a bacia contribua para a formação de enxurrada no ponto da seção de controle. Esse tempo é a soma dos tempos de percurso que a enxurrada leva para percorrer os trechos sucessivos ao longo da superfície, determinados em função da distância entre os pontos e a velocidade da enxurrada, que é função das características da superfície do solo.

Definido o t_c , que corresponde ao tempo de duração da chuva, e o tempo de retorno desejado para segurança do projeto, adotando-se pelo menos 10 anos, determina-se a intensidade máxima de chuva esperada (i) por meio de equações que relacionam a intensidade, a duração e a frequência das chuvas (Pfafstetter, 1957).

O coeficiente de enxurrada (c) é dado em tabelas que apresentam seu valor em função de características do solo, declive e cobertura da superfície.

O valor da velocidade da enxurrada no canal (V) é obtido em tabelas que apresentam as velocidades máximas permissíveis para que não haja erosão no canal, em função da cobertura e o revestimento da superfície. A velocidade deve ser mantida baixa o bastante para que não ocorra erosão, porém alta o suficiente para que não ocorra transbordamento ou deposição excessiva em determinados pontos no canal.

A seguir, é determinada a seção do canal, dada por:

$$Sc = Q/V$$

em que: Sc é a seção do canal em m^2 , Q é a vazão de escoamento $m^3 s^{-1}$ e V a velocidade da enxurrada em $m s^{-1}$.

O dimensionamento da largura e da profundidade do canal, à qual será adicionado um bordo livre por segurança, é feito com base em tentativas, ábacos e nomogramas, de forma que a velocidade fique abaixo do valor máximo permitido (Lombardi Neto e Drugowich, 1994).

A velocidade da enxurrada no canal é calculada pela fórmula de Manning:

$$V = 1/\eta * R^{2/3} * S^{1/2}$$

em que: V é a velocidade média em $m s^{-1}$, η é o coeficiente de rugosidade, R é o raio hidráulico em m e S é o gradiente hidráulico em $m m^{-1}$.

O coeficiente de rugosidade (η) é função das características da superfície que determinam maior ou menor facilidade para o escoamento e é obtido em tabelas. Para canais vegetados, em geral utilizam-se valores próximos de 0,045. O raio hidráulico (R) é a razão entre a área da seção do canal pelo perímetro molhado, que é o comprimento do contato da água com as laterais e o fundo do canal. Esses valores variam com a dimensão e a forma do canal. O gradiente hidráulico (S) é o desnível ou a declividade do canal.

No caso de não se conseguir chegar a velocidades permissíveis com as condições locais de área para a construção do canal, declividade e volume de enxurrada, outras estruturas mecânicas devem ser utilizadas para reduzir a velocidade da água e evitar a erosão.

A construção do canal escoadouro deve ser anterior às demais estruturas de captação e condução da enxurrada. A construção de terraços de drenagem ou a condução de água para os canais escoadouros só pode ser feita quando o canal estiver estabilizado. Para o estabelecimento da vegetação deve-se recorrer às recomendações técnicas de fertilização, correção do solo, proteção da superfície sempre que possível, inclusive com palha ou outros materiais, e irrigação, se possível. A cobertura deve ser mantida ao longo do tempo e, por isso, operações constantes de manutenção devem ser realizadas, incluindo fertilização e cortes de vegetação. Também é necessário verificar periodicamente as entradas e saídas de água do canal e possíveis transbordamentos e assoreamentos, para que esses problemas sejam corrigidos. O trânsito de máquinas pelo canal vegetado deve ser evitado. Em locais em que há escoamento prolongado de água no leito do canal deve-se fazer a drenagem ou proteção do leito com materiais de pedras ou alvenaria.



Figura 24. Canal escoadouro vegetado em projeto de controle da erosão com terraços de drenagem. Foto: Mario Ivo Drugowich, CATI.

6.3.2.4. Sistemas conservacionistas sem terraços (ST)

O sistema conservacionista estabelecido no PCE pode prever a não utilização de terraços em áreas de muito baixo risco de erosão, caso as condições de cobertura do solo e de infiltração de águas sejam melhoradas por técnicas vegetativas e edáficas. Estes sistemas vêm sendo denominados de Sem Terraços (ST). Os sistemas sem terraços permitem o escoamento da enxurrada pela área de cultivo e utilizam estruturas de interceptação e drenagem localizadas em pontos de convergência de fluxos ou em áreas de captação de águas externas, sem que a área toda seja terraceada. Em áreas de rampas curtas ou condições em que o espaçamento entre terraços calculado é mais longo do que as rampas do terreno, o PCE pode também prescindir de terraços.

Para a implantação de projetos sem terraços, além do PCE, é imprescindível também um projeto de controle do escoamento da enxurrada (PCX). Nos ST, as práticas de controle de erosão do PCE devem prever que a ausência de terraceamento exige medidas adicionais de controle de enxurrada como canais escoadouros vegetados, desaguadouros de drenagem de estradas projetados conforme solo e relevo. Sem a utilização de sistema de terraceamento, o controle do escoamento tem que ser feito utilizando outras técnicas para reduzir a velocidade da enxurrada, como o plantio cortando

o sentido do escoamento, faixas de vegetação, técnicas que aumentem a rugosidade do terreno ou terraços divergentes.

Nesses sistemas é provável que nos eventos extremos a enxurrada seja conduzida pelo caminho preferencial que a rugosidade promovida pelas operações de cultivo (alinhamento das ruas, linhas de plantio e posição das estradas). Entretanto, para evitar o início de processos erosivos é imprescindível que os sulcos ou linhas de plantio não provoquem a concentração do fluxo da enxurrada e não tenham declividade elevada, principalmente em solos arenosos. O PCX dos projetos ST tem que necessariamente prever as estruturas de condução das enxurradas a jusante, evitando assim que haja sua concentração ou aumento de velocidade.

Entretanto, há ainda poucos dados sobre erosão, enxurrada, infiltração e produção de sedimentos em áreas em que a conservação do solo foi projetada sem utilização de terraceamento para controlar o escoamento superficial. Dessa forma, o PCE poderá prever a não utilização de terraços apenas quando os parâmetros e cálculos do PCX indicarem condução segura da enxurrada, respeitando a classe de capacidade de uso das terras e suas limitações, além dos parâmetros de erodibilidade e permeabilidade do perfil dos solos. Ainda assim, o PCE deverá especificar as práticas que serão adotadas para o melhoramento das condições de cobertura do solo e infiltração de água e, principalmente, a condução das enxurradas.

Projetos de conservação do solo, contendo os respectivos PCE e PCX, que envolvam sistemas ST e que não estejam de acordo com as recomendações e parâmetros presentes neste Boletim poderão ser tratados como inovação tecnológica conforme item 7, devendo atender aos requisitos da Resolução SAA nº 19, de 13 de abril de 2016 e Portaria APTA nº 224, de 20 de maio de 2016.

6.3.3. Elementos técnicos do PCX

O PCX deve conter, quando for o caso:

- Mapa de simulação do fluxo de enxurrada ou acúmulo de enxurrada;
- Memorial de cálculo do volume de enxurrada a ser armazenado ou conduzido;
- Memorial de cálculo de base e altura da seção dos terraços de infiltração ou de drenagem;

- Memorial de cálculo de dimensionamento hidrológico para canal escoadouro vegetado (CEV) com as seguintes variáveis: vazão de entrada, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e vazão de saída, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ dos terraços de drenagem separado por solos e seção do canal escoadouro vegetado, $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ com determinação da altura máxima de lâmina e largura mínima do canal.
- Descrição da estratégia de implantação, monitoramento e manutenção dos canais escoadouros vegetados e dos terraços de infiltração ou drenagem.

6.4. Manutenção e monitoramento dos projetos de conservação do solo

A construção dos terraços é uma prática que exige experiência e cuidados com acabamentos, principalmente na crista no que se refere às falhas construtivas em relação à linha de nível necessária para garantir o funcionamento hidráulico. Caso essa linha da crista não estiver nivelada, a água se acumulará nas depressões e haverá transbordamento, rompimento e agravamento da erosão. Procurar após eventos de chuvas intensas percorrer toda a área e corrigir eventuais fragilidades do sistema, corrigindo a crista ou realizando outras ações para evitar que ocorram rompimentos.

O rompimento de um terraço pode levar à destruição dos demais que estejam à jusante, com grandes prejuízos à área cultivada, tendo em vista a concentração do deflúvio superficial em estreita faixa no sentido do maior declive (Lombardi Neto e Drugowich, 1994).

Entre as formas de evitar grande volume de enxurrada em eventual rompimento de terraço, pode-se adotar a construção de travesseiros espaçados a cada 100 m e a adoção de comprimentos máximos de terraços de até 800 m.

Durante o ciclo da cana-de-açúcar, eventualmente, faz-se necessária a manutenção dos terraços, desassoreando ou corrigindo possíveis rompimentos que podem ocorrer após eventos extremos. O alagamento dos canais dos terraços de infiltração ocorre geralmente quando são executados em solos de baixa infiltração natural, solos compactados ou onde ocorreu o selamento por carreamento de argila. Nesses casos, deve ser feita a descompactação do mesmo e, eventualmente, a drenagem por sifão ou bombas, visando evitar que eles estejam cheios na próxima chuva. Se o problema persistir deve ser considerada a troca do sistema de terraceamento de infiltração pelo de condução para a retirada do excesso de água da área. O uso de sistemas de drenagem ou de sifões permanentes nos canais de terraços é pouco comum nas

nossas condições, mas utilizado com frequência em outros países (De Maria e Martins, 2015).

Os terraços são utilizados para reduzir a erosão laminar e em sulcos, prevenindo a formação de sulcos profundos e pequenas ravinas. Essa prática se aplica especialmente quando, ainda que a superfície do solo esteja protegida e práticas para melhorar a infiltração de água tenham sido adotadas, há produção de grande volume de enxurrada, por causa do grande comprimento das vertentes, da forma do relevo ou do tipo de solo.

Sempre, os terraços devem ser associados ao aumento de cobertura vegetal e melhoria na infiltração da água no solo, para ter a eficiência desejada. Quando utilizado isoladamente, apresenta-se ineficiente no controle da erosão, causando o seu rompimento e sérios problemas às áreas terraceadas, tendo em vista a concentração do escoamento superficial.

Além de reduzir a quantidade de água e de sedimentos transportados para fora da área agrícola, considera-se que o terraceamento colabore na redução da poluição de águas superficiais, lagos e riachos, por reter nutrientes, matéria orgânica e compostos químicos ligados às partículas de sedimento, principalmente o fósforo. Os terraços não cultivados podem, ainda, fornecer cobertura e ambiente para a vida selvagem, biodiversidade e inimigos naturais de pragas das lavouras.

Depois de escolhido o tipo de terraço e o espaçamento que será adotado é necessário alocar os terraços no campo. Nesse momento deve ser realizado um ajuste prático *in loco* respeitando possíveis interferências no sistema, como postes de energia, estradas municipais, árvores de grande porte, divisas. Se for possível, deve ser feita a integração com os terraços já existentes na área ou interligando os sistemas das propriedades vizinhas, buscando uma harmonia na paisagem, bem como uma integração das propriedades na conservação daquela microbacia.

7. PESQUISA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

As alterações de manejo nos sistemas de cultivo da cana-de-açúcar na última década, principalmente em função da mecanização de todas as operações, do plantio à colheita, geraram a necessidade de adequações nas tradicionais práticas utilizadas e produziram novos desafios.

Diversas adaptações de tecnologias tradicionais e inovações tecnológicas têm sido propostas e desenvolvidas para a solução de problemas, suas causas e consequências, geradas em uma nova realidade que inclui, como já descrito nos itens iniciais, o aumento da intensidade do tráfego, o aumento da extensão das áreas trabalhadas concomitantemente, a flexibilidade de épocas de plantio, a retirada da palha para cogeração de energia e, ainda, as exigências de proteção ambiental e o compromisso econômico e social de sustentabilidade.

Com isso, surgiram demandas de pesquisas, cujos resultados são fundamentais para avanço do conhecimento técnico e científico em algumas áreas e para o desenvolvimento de inovações em outras. Questões relacionadas à vinhaça e à palha têm sido intensamente estudadas nos últimos anos. Mas outros temas, menos estudados, se mostram bastante importantes, como o controle da compactação do solo e o controle da produção de sedimentos e enxurrada, que são processos relacionados e têm causas e consequências interligadas. Em relação à compactação do solo, não há dúvidas de que as pressões sobre o solo vêm aumentando e que isso pode resultar em restrição ao desenvolvimento radicular e em redução na infiltração de água. Por isso, é fundamental que ações de controle sejam adotadas, como vêm sendo feito por meio de subsolagem, controle de tráfego, canteirização e operações de cultivo. Falta, ainda, o estabelecimento de parâmetros para a recomendação de práticas de manejo visando a conservação do solo e a sustentabilidade da cultura em diferentes tipos de solos, relevos e grau de degradação dos solos, além da compatibilização dessas práticas como tipo de plantio, espaçamento entrelinhas da cultura, ambiente de produção. Há mais questões sobre esse tema, como: se a subsolagem pode ser feita em qualquer tipo de solo e profundidade e se pode ser utilizada em solos que perderam horizontes superficiais; se as práticas como rotação de culturas, plantas de cobertura, uso de corretivos e gesso podem reduzir a necessidade de práticas mecânicas para o controle da compactação; e ainda, em que medida os sistemas de preparo e manejo do solo favorecem o desenvolvimento radicular e a infiltração de água; que tipo de máquinas e implementos devem ser desenvolvidos para as atividades realizadas desde o plantio até o transporte da colheita para reduzir, não apenas o pisoteio, mas também a compactação.

Quanto à produção de sedimentos e enxurrada, é preciso ampliar a base de dados sobre magnitude dos processos erosivos para os novos sistemas de cultivo utilizados, de forma que seja possível atestar a necessidade de práticas conservacionistas, incluindo todo o ciclo da cultura e as alterações decorrentes da adoção dos sistemas, como a compactação ou a retirada da palha, por exemplo. Também são importantes as informações sobre o efeito das práticas adaptadas e das inovações, como direção de preparo e sulcação, vírgulas e bigodes, em função de tipo de solo e relevo, e da eficiência dessas práticas. Soluções e recomendações para tornar economicamente viáveis sistemas conservacionistas, como o preparo reduzido e o plantio direto, contribuiriam para aumentar a adoção desses sistemas, com impacto significativo no controle da erosão. São relevantes, ainda, o desenvolvimento de metodologia de estudo dos processos erosivos e das formas de controle, adaptadas para as condições locais e focadas nas peculiaridades da cultura da cana-de-açúcar.

Inovações tecnológicas são consideradas quaisquer técnicas contidas no Projeto de Controle da Erosão (PCE) ou estratégias de escoamento superficial da enxurrada do Projeto de Controle da Enxurrada (PCX) que não constam deste Boletim ou dos itens não revisados do Manual Técnico do Programa de Microbacias Hidrográficas na sua versão anterior (Lombardi Neto e Drugowich, 1994).

As inovações tecnológicas poderão ser avaliadas desde que sejam descritas e fundamentadas em um PCE e um PCX e sejam realizadas inicialmente em áreas experimentais ou teste com monitoramento de seus dados e resultados.

As áreas experimentais devem ser monitoradas pelo interessado e as eventuais falhas devem ser descritas, assim como as medidas para sua mitigação ou revisão dos conceitos usados no PCE e PCX.

A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo receberá e acompanhará projetos de inovação, incluindo detalhamentos da implantação, medidas de correção e dados de monitoramento, de acordo com a seguinte regulamentação: Resolução SAA nº 19, de 13-4-2016, Portaria APTA nº 164, de 15-4-2016, Portaria APTA nº 224, de 20-5-2016.

ATUALIZAÇÃO E REVISÃO DESTE BOLETIM

Esse documento deve passar por atualização e revisão periódica no prazo máximo de três anos, contados de sua publicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos aqueles que contribuíram com este Boletim por meio da consulta pública, apresentando críticas e sugestões que permitiram melhorar as informações de conteúdo e compreensão do texto.

Especialmente, agradecem também a oportunidade de troca de informações e de colaboração dos seguintes participantes das reuniões e visitas técnicas:

Adalberto Stivari, CATI; Adalberto Lanziani, CDA; Afonso Peche Filho, IAC; Alexandre Puglisi Barbosa Franco, Aginfo; Antoniane Arantes de Oliveira Roque, CATI; Aparecido Antônio da Silva Júnior, Agrícola Rio Claro; César Augusto Martins Moura, CDA; Equipe da Agropastoril Paschoal Campanelli S.A. - Fazenda Santa Rosa - Altair/SP; Equipe da Cofco Agri, Potirendaba/SP; Gabriel Constantino Blain, IAC; Gerd Sparovek, ESALQ/USP; Jairo Antonio Mazza, ESALQ/USP; Jardel Miranda de Oliveira, CDA; José Luiz Ioriatti Demattê, ESALQ/USP; Liatar Giorge Corsato, CDA; Luiz Antonio Pavão, CATI; Luiz Carlos Dalben, Agrícola Rio Claro; Luiz Cesar Demarchi, CATI; Luiz Fernando Zanetti Seixas, CATI, Claudio Giusti de Souza, CATI; Marcelo Agostini Zonta, CDA; Marcílio Vieira Martins Filho, UNESP/Jaboticabal; Marlon Peres da Silva, CDA; Morel de Passos e Carvalho, UNESP/Ilha Solteira; Murilo Olinto Machado, Agrícola Rio Claro; Orivaldo Brunini, IAC; Paulo Henrique Interlich, CATI; Ricardo Marques Coelho, IAC; Telma Ulhoa Cintra, CDA; Tiago Ramalho, Agrícola Ouro Verde; Varley Ioshida, Grupo Ioshida.

LITERATURA CONSULTADA

ANDRADE, N.S.F.; MARTINS FILHO, M.V.; TORRES, J.L.R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.3, p.539-550, 2011.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; DRUGOWICH, M.I.; ANDRADE, N.O.; GALETI, P.A.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, S.C.F. Tecnologias disponíveis para controlar o escoamento superficial do solo. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. (Manual técnico, 41)

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. p.355.

BOLONHEZI, D.; MUTTON, M.A.; MARTINS, A.L.M. Sistemas conservacionistas de manejo de solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)*, v.42, p.939-947, 2007.

BOLONHEZI, D.; BOLONHEZI, A.C.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 1.ed. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014, v.2, p.127-158.

BOLONHEZI, D.; GONÇALVES, N.H. Sucessão e rotação de culturas na produção de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. (Org.). Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar. 1.ed. Jaboticabal: SBEA - Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015, v.1, p.219-242.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agrônomicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas, Comissão de Solos, 1960. 634p. (SNPA, Boletim 12)

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). Cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2008. cap.5, p.205-218.

BRUNINI, O. Agroclimatic Zoning for Crop Planning In: International Workshop on Addressing the Livelihood Crisis of Farmers: Weather and Climate Services, 2010. Belo Horizonte. International Workshop on Addressing the Livelihood Crisis of Farmers: Weather and Climate Services. Genebra: WMO, 2010. v.1.

BRUNINI, O.; CARVALHO, J.P.; BRUNINI, P.C.; PADUA JUNIOR, A.L.; ADAMI, S.F.; ABRAMIDES, P.L.G. Agroclimatic zoning and climatic risks for sugar cane in Mexico-a preliminar study considering climate change scenarious In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGY, 27, 2010, Vera Cruz. Proceeding... Vera Cruz: ISSCT, 2010, v.27, p.1-13.

BRUNINI, O. Cenários de mudanças climáticas global – sua interação no microzoneamento ecológico e na estimativa das necessidades de irrigação e suporte ao manejo irrigacionista para preservação dos recursos hídricos no CBH-ALPA: Relatório do comitê da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema. Campinas: FUNDAG, 2013.

CAMARGO, A.P.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. Aptidão ecológica de culturas agrícolas. In: Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. 1977. v.2, p.7-131.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CIAGRO. Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro, 2008. Disponível em: http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/index.htm.

COELHO, R.M.; CAMARGO, M.B.P.; PRELA-PANTANO, A. Informações sobre clima e solo do Estado de São Paulo. In: AGUIAR, A.T.E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.A.; CASTRO, C.E.F. (Eds.). Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7.ed. rev. e atual. Campinas: IAC, 2014. p.412-420. (Boletim IAC, 200)

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Capítulo III - da Política Agrícola e Fundiária da Reforma Agrária, Artigos 184 e 186 - Incisos I a IV, 1988 disponível em: http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/download/pdf/Constituicoes_declaracao.pdf.

CURY, T.; DE MARIA, I.C.; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1929-1938, 2014.

DE MARIA, I.C.; LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S.C.F.; CASTRO, O.M. Fator da EUPS para cultura da cana-de-açúcar. X REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Florianópolis: SBCS, 1994.

DE MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão em cana-de-açúcar. *Stab*, Piracicaba, v.17, n.2, p.20-21, 1998.

DE MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F.; DRUGOWICH, M.I.; PECHE FILHO, A. Práticas de manejo e conservação do solo. In: AGUIAR, A.T.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.A.; CASTRO, C.E.F. (Eds.). *Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. 7.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p.438-447. (Boletim IAC, 200)

DE MARIA, I.C.; MARTINS, J.P.P. Uso do terraceamento na cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. *Processos agrícolas e mecanização da cultura de cana-de-açúcar*. 1.ed. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.117-127.

DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle de erosão em Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.5, p.133-137, 1981.

DODSN, J.; ALVERSON, K.; DAOXIAN, Y.; WIEGAND, J.; YIM, W.; NIELD, T. As Chaves para entender as mudanças climáticas. *Revista Planeta*. [S.l.], dezembro de 2008.

DRUGOWICH, M.I.; BORTOLETTI, J.O.; TCATCHENCO, J.; DE MARIA, I.C.; GRASSI, A.M. Tutorial para aplicação da Resolução SAA - 11 (15/4/2015). Campinas: CATI, 2015. 26p. il. (Comunicado Técnico 146)

ETANOL VERDE. Sistema Ambiental Paulista - Zoneamento agroambiental, 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/>>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

GOUVÊA, J.R.F. Mudanças climáticas e a expectativa dos seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em agronomia) Programa de pós-graduação em agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007; The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. WorkingGroup I. Disponível em: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/R4WG1_Pub_SPM-v2.pdf. Acesso em: 3 ago. 2014.

IVO, W.M.P.M.; ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D.; BARBOSA, G.V.; VASCONCELOS, J.N. Impulsionando a produção e a produtividade da cana-de-açúcar. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Org.). Agricultura Tropical. 1.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p.673-716.

LESPSCH, I.F.; BELLINAZZI JUNIOR.; R.; BERTOLLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras na sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.

LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento do canal do terraço. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (Coord.). Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas: Fundação Cargill. 1989. p.125-135.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P.A.; DRUGOWICH, M.I. Terraceamento agrícola. Campinas: Coordenadoria da Assistência Técnica Integral, 1991. 38p. (Boletim técnico, 206)

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. (Coords.). Manual técnico de manejo e conservação do solo e água. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. (Manual técnico, 38)

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T., MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v.29, n.1, p.8-18, 2009.

NOBRE, A.C.; REID, J.; VEIGA, S.P.A. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. Rede clima/INPE, São José dos Campos, v.1, n.1, p.7-8, 2012. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/fundamentos_cientificos_mc_web.pdf. Acesso em: 8 ago. 2014.

PAIVA NETTO, J.E.; CATANI, R.A.; KÜPPER, A.; MEDINA, H.P.; VERDADE, F.C.; GUTMANS, M.; NASCIMENTO, A.C. Observações sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, v.11, p.227-253, 1951.

PENATTI, C.P. Sistema de cana colhida sem a queima da palha – considerações gerais sobre nutrição e benefícios da palhada. In: PENATTI, C.P. Adubação da cana-de-açúcar. Centro de Tecnologia Canavieira. 2013. p.82-118.

PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas; DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. 426p.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Volumes I (Nota Explicativa) e II (Mapa, escala 1:1.000.000). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94p. (ilust.) e mapas. (Monografias, 5)

PRADO, H.; PÁDUA JUNIOR, A.L.; GARCIA, J.; MORAES, J.L.F.; CARVALHO, J.P.; DONZELI, P.L. Solos e ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). Cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2008. p.179-204.

PRADO, H. Pedologia fácil - aplicações na agricultura. 3.ed. rev. e ampl. Piracicaba: 2011. 180p. il.

PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraço. 1993. 97f. Tese (Doutorado em Conservação de Solo e Terraços). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

PRUSKI, F. F.; SILVA, J.M.A.; CALIJURI, M. L.; BHERING, E. M. Terraços for Windows. Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996.

PRUSKI, F.F.; FERREIRA, P.A.; RAMOS M.M.; CECON, P.R. A model to design level terraces. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.123, n.1, p.8-12, 1997.

RAMSER, C.E. Runoff from small agricultural areas. *Journal Agricultural Research*, v.34, p.797-923, 1927.

ROSIM, D.C.; DE MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. *Bragantia*, v.71, n.4, p.502-508, 2012.

ROSSETTO, R. A cana-de-açúcar e a questão ambiental. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). *Cana-de-açúcar*. 1.ed. Campinas: IAC, 2008, v.1, p.869-882.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar. Piracicaba: IPNI. *Informações agronômicas*, n.124, p.8-13, 2008.

ROSSETTO R., DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A.C.; PERECIN, D. N and K Fertilization Of Sugarcane Ratoons Harvested Without Burning. *Proceeding International Society Sugar Cane Technology*, v.27, p.1-8, 2010.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H. Manutenção da fertilidade dos solos na cultura da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L.A.B. (Org.). *Bioetanol de cana-de-açúcar P&D para produtividade e sustentabilidade*. 1.ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 2010. v.1, p.381-403.

SÃO PAULO. Diário Oficial v. 98, n. 123, 05/07/88. Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo, 1988. São Paulo, 1997.

SÃO PAULO (Estado). Resolução Conjunta SMA 088, de 19 de dezembro de 2008 corrigida pela Resolução Conjunta SMA/SAA 006, de 24 de setembro de 2009. Diário Oficial Estadual, São Paulo, 18 dez. 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zonamentoAgroambiental.php>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

SÃO PAULO. Diário Oficial fl. 08 seção I, 11/05/00. Decreto nº 44.884, de 11 de maio de 2000, com alterações do decreto n.º 45.273, de 6 de outubro de 2000. Introduz disposição de caráter transitório e dá nova redação a dispositivos do

Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997, que regulamenta a Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, a conservação e a preservação do solo agrícola.

SÃO PAULO. Diário Oficial v. 107, n. 73, 17/04/97. Decreto nº 41.719. Regulamenta a Lei nº 6.171, de 4 de julho de 88, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo, 2000.

SILVA, R.B.; IORI, P.; SOUZA, Z.M. de; PEREIRA, M.G.P.; VISCHI FILHO, O.J.; SILVA, F.A.M. Contact pressures and the impact of farm equipment on Latosol with the presence and absence of sugarcane straw. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, p.265-278, 2016.

SILVA, R.L.; DE MARIA, I.C. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.554-561, 2011.

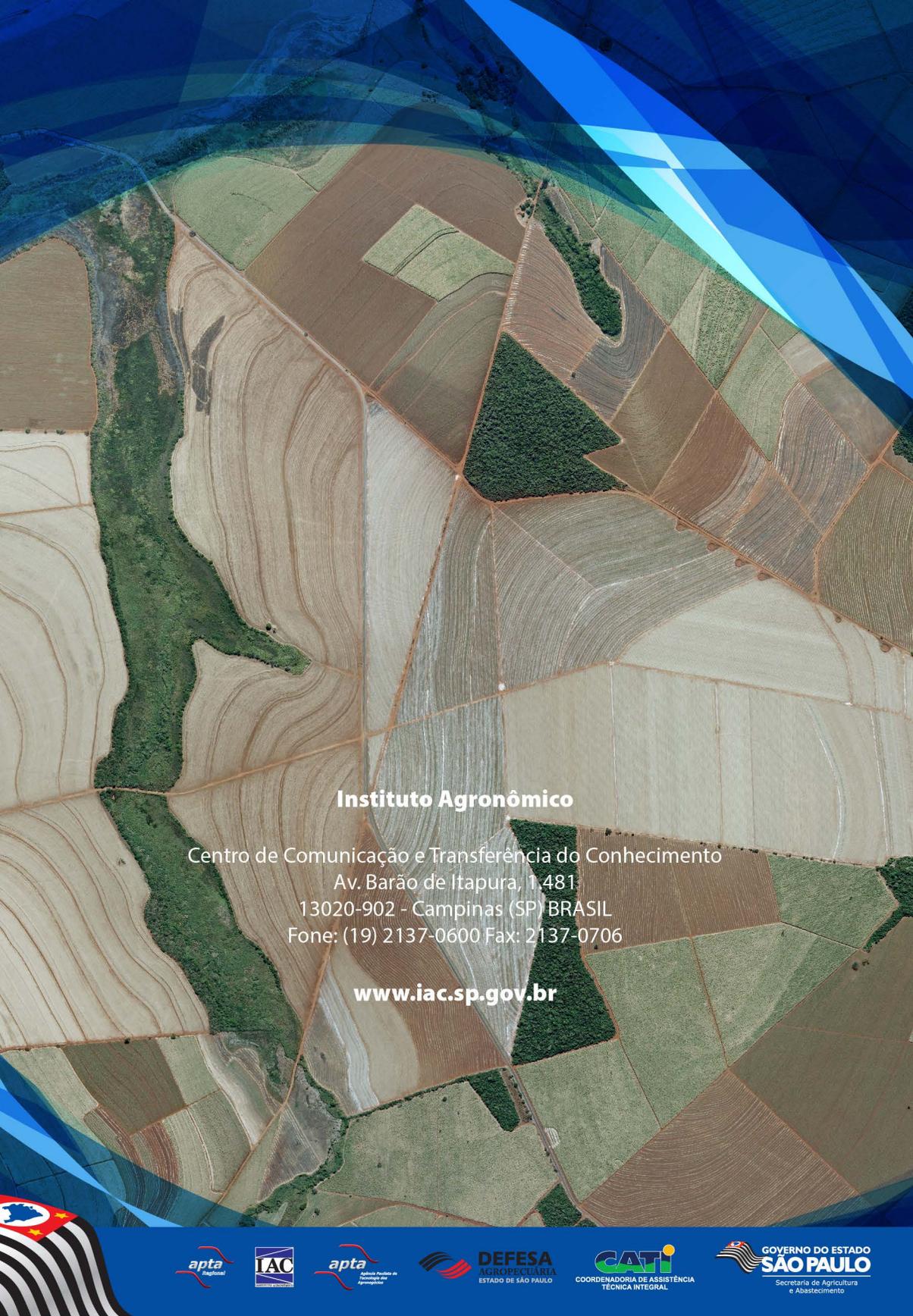
SPAROVEK, G.; SILVA, A.C. Dimensionamento hidrológico de terraços de drenagem e canais escoadouros. *Revista da Universidade de Alfenas, Alfenas*, v.3, p.137-143, 1997.

VISCHI FILHO, O.J.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; LIMA, C.C.; PEREIRA, D.M.G.; LIMA, M.E.; SOUSA, A.C.M.; SOUZA, G.S. Capacidade de suporte de carga de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, p.322-332, 2015.

WATSON, R.T.; ZINYOWERA, M.C.; MOSS, R.H. *Climate Change 1995: impacts adaptation and mitigation of climate change*. Cambridge University Press, University Cambridge, 1996. 878p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning*. Washington, USDA, 1978. (Agricultural Handbook, 537)

ZULLO JUNIOR, J. *Agricultura e mudanças climáticas*. São Paulo: Pré-Univesp, nov. 2012.



Instituto Agrônômico

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento

Av. Barão de Itapura, 1.481

13020-902 - Campinas (SP) BRASIL

Fone: (19) 2137-0600 Fax: 2137-0706

www.iac.sp.gov.br

