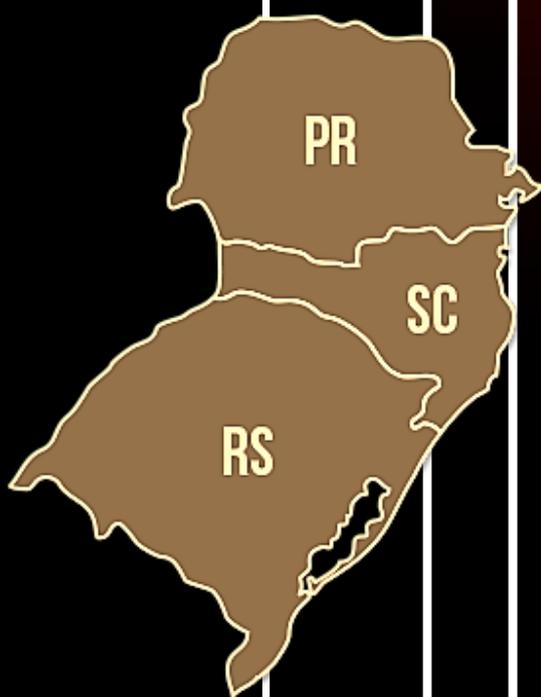


# MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NO SUL DO BRASIL:

---

*Contextualizando as atividades  
agropecuárias e os problemas  
erosivos*

Organizador:  
**Tales Tiecher**



**Manejo e conservação do solo e da água  
em pequenas propriedades rurais no sul  
do Brasil: contextualizando as atividades  
agropecuárias e os problemas erosivos**



Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Reitor

**Luiz Mario Silveira Spinelli**

Pró-Reitora de Ensino

**Rosane Vontobel Rodrigues**

Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós-Graduação

**Giovani Palma Bastos**

Pró-Reitor de Administração

**Nestor Henrique de Cesaro**

Câmpus de Frederico Westphalen

Diretora Geral

**Silvia Regina Canan**

Diretora Acadêmica

**Elisabete Cerutti**

Diretor Administrativo

**Clóvis Quadros Hempel**

Câmpus de Erechim

Diretor Geral

**Paulo José Sponchiado**

Diretora Acadêmica

**Elisabete Maria Zanin**

Diretor Administrativo

**Paulo Roberto Giollo**

Câmpus de Santo Ângelo

Diretor Geral

**Gilberto Pacheco**

Diretor Acadêmico

**Marcelo Paulo Stracke**

Diretora Administrativa

**Berenice Beatriz Rossner Wbatuba**

Câmpus de Santiago

Diretor Geral

**Francisco de Assis Górski**

Diretora Acadêmica

**Michele Noal Beltrão**

Diretor Administrativo

**Jorge Padilha Santos**

Câmpus de São Luiz Gonzaga

Diretora Geral

**Sonia Regina Bressan Vieira**

Câmpus de Cerro Largo

Diretor Geral

**Edson Bolzan**



## CONSELHO EDITORIAL DA URI

Presidente

**Denise Almeida Silva** (URI)

### CONSELHO EDITORIAL

**Acir Dias da Silva** (UNIOESTE)

**Adriana Rotoli** (URI/FW)

**Alessandro Augusto de Azevedo** (UFRN)

**Alexandre Marino da Costa** (UFSC)

**Angelita Maria Maders** (UNIJUÍ)

**Antonio Carlos Moreira** (UNOESC/URI)

**Attico Inacio Chassot** (URI/FW)

**Breno Antonio Sponchiado** (URI/FW)

**Carmen Lucia Barreto Matzenauer** (UCPel)

**Cláudia Ribeiro Bellochio** (UFSM)

**Claudir Miguel Zuchi** (URI/FW)

**Daniel Pulcherio Fensterseifer** (URI/FW)

**Dieter Rugard Siedenberg** (UNIJUÍ)

**Edite Maria Sudbrack** (URI/FW)

**Elisete Tomazetti** (UFSM)

**Elton Luiz Nardi** (UNOESC)

**Gelson Pelegrini** (URI/FW)

**João Ricardo Hauck Valle Machado** (AGES)

**José Alberto Correa** (Universidade do Porto, Portugal)

**Júlio Cesar Godoy Bertolin** (UPF)

**Lenir Basso Zanon** (UNIJUÍ)

**Leonel Piovezana** (Unochapeco)

**Leonor Scliar-Cabral** *Professor Emeritus* (UFSC)

**Liliana Locatelli** (URI/FW)

**Lisiane Ilha Librelotto** (UFSC)

**Lizandro Carlos Calegari** (UFSM)

**Lourdes Kaminski Alves** (UNIOESTE)

**Luis Pedro Hillesheim** (URI/FW)

**Luiz Fernando Framil Fernandes** (FEEVALE)

**Maria Cristina Gubiani Aita** (URI)

**Maria Simone Vione Schwengber** (UNIJUÍ)

**Marilia dos Santos Lima** (PUC/RS)

**Mauro José Gaglietti** (URI/Santo Ângelo)

**Miguel Ângelo Silva da Costa** (UNOCHAPECO)

**Nestor Henrique De César** (URI/FW)

**Noemi Boer** (URI/Santo Ângelo)

**Patrícia Rodrigues Fortes** (CESNORS/FW)

**Paulo Vanderlei Vargas Groff** (UERGS/FW)

**Rora Maria Locatelli Kalil** (UPF)

**Rosângela Angelin** (URI/Santo Ângelo)

**Sibila Luft** (URI/Santo Ângelo)

**Tania Maria Esperon Porto** (UFPEL)

**Vagner Felipe Kühn** (URI/FW)

**Vicente de Paula Almeida Junior** (UFFS)

**Walter Frantz** (UNIJUÍ)

**Ximena Antonia Diaz Merino** (UNIOESTE)

Tales Tiecher

**Manejo e conservação do solo e da água em  
pequenas propriedades rurais no sul do  
Brasil: contextualizando as atividades  
agropecuárias e os problemas erosivos**



Frederico Westphalen  
2015



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivados 3.0 Não Adaptada. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>.

**Editoração:** Denise Almeida Silva  
**Revisão Linguística:** Wilson Cadoná  
**Capa/Arte:** Tales Tiecher  
**Projeto gráfico:** Tani Gobbi dos Reis

**O conteúdo dos textos é de responsabilidade exclusiva dos(as) autores(as).  
Permitida a reprodução, desde que citada a fonte.**

Catálogo na Fonte elaborada pela  
Biblioteca Central URI/FW

M24 Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil [recurso eletrônico] : contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos / Organizador Tales Tiecher . – Frederico Westphalen : RS : URI – Frederico Westph, 2015.  
152 p.

Modo de acesso:

<<http://www.fw.uri.br/site/publicacoes/?area=aluno>>.  
ISBN 978-85-7796-169-6 (versão *on-line*)

1. Manejo do solo. 2. Conservação do solo. 3. Conservação da água. 4. Propriedades rurais – Rio Grande do Sul. I. Tiecher, Tales. II. Título.

CDU 631.4

Bibliotecária Gabriela de Oliveira Vieira



URI – Universidade Regional Integrada  
do Alto Uruguai e das Missões  
Prédio 9

Câmpus de Frederico Westphalen:  
Rua Assis Brasil, 709 – CEP 98400-000  
Tel.: 55 3744 9223 – Fax: 55 3744-9265  
E-mail: [editora@uri.edu.br](mailto:editora@uri.edu.br)

Impresso no Brasil  
Printed in Brazil

# PREFÁCIO

Esse livro é a primeira parte de uma obra que foi fruto do esforço de vários autores nas mais diversas instituições de ensino e pesquisa do Sul do Brasil visando suprir uma grande lacuna do conhecimento que é o manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais, como as que são encontradas majoritariamente no Norte do Rio Grande do Sul (RS), no Oeste de Santa Catarina (SC), e no Sudoeste do Paraná (PR) (Figura 1).



**Figura 1.** Mesoregiões do Norte Colonial do Rio Grande do Sul, no Oeste de Santa Catarina, e no Sudoeste do Paraná.

A versão eletrônica desse livro foi criada para facilitar a sua circulação e tem como objetivo servir de material didático de apoio para todas as instituições de ensino das Ciências Agrárias e Ambientais do Sul do Brasil.

Essa obra busca contextualizar as atividades agropecuárias e os principais problemas erosivos existentes no Sul do Brasil. É composta por cinco capítulos que tratam (i) do processo de colonização e a formação das unidades de produção familiares do Sul do Brasil, (ii) a aptidão agrícola dos principais solos encontrados em áreas típicas de agricultura familiar no Sul do Brasil, (iii) os conflitos entre a legislação ambiental, a aptidão agrícola e o uso dos solos em Unidades de Produção Familiar no Rio Grande do Sul, (iv) a dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica, com ênfase na experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul e, finalmente, (v) a erosão do solo como um problema mundial agravando-se num contexto de “agricultura conservacionista” no Sul do Brasil.

*Tales Tiecher*

Frederico Westphalen, Dezembro de 2015

# PARTICIPANTES

Essa obra é fruto do esforço de vários autores nas mais diversas instituições de ensino e pesquisa dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e do Paraná que são listados abaixo:

<b>Alexandre Schlesner</b>	Mestrando Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Ana L Londero</b>	Doutoranda Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>André C C Copetti</b>	Dr. Ciência do Solo	UNIPAMPA – São Gabriel, RS
<b>Celso S Gonçalves</b>	Dr. Ciência do Solo	IFFarroupilha – São Vicente do Sul, RS
<b>Claudia A P Barros</b>	Doutoranda Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Danilo S Rheinheimer</b>	Dr. Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Dinis Deuschler</b>	Mestrando Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Elizeu J Didoné</b>	Doutorando Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Fabio J A Schneider</b>	Mestrando Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Fabício A Pedron</b>	Dr. Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Gelson Pelegrini</b>	Doutorando Extensão Rural	URI – Frederico Westphalen, RS
<b>Gustavo H Merten</b>	Dr. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	Universidade de Minnesota Duluth, USA
<b>Jean P G Minella</b>	Dr. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Jessé R Fink</b>	Dr. Ciência do Solo	IFPR – Palmas, PR
<b>João B R Pellegrini</b>	Dr. Ciência do Solo	IFFarroupilha – Júlio de Castilhos, RS
<b>Luis Pedro Hillesheim</b>	Msc. Ciências Sociais Aplicadas	URI – Frederico Westphalen, RS
<b>Rafael Ramon</b>	Mestrando Ciência do Solo	UFSM – Santa Maria, RS
<b>Tales Tiecher</b>	Dr. Ciência do Solo	URI – Frederico Westphalen, RS
<b>Tiago Canale</b>	Acadêmico Agronomia	UFSM – Santa Maria, RS

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mesorregiões do Norte Colonial do Rio Grande do Sul, no Oeste de Santa Catarina, e no Sudoeste do Paraná.....	6
<b>Figura 2.</b> Distribuição dos tipos de vegetação na Região Sul do Brasil.....	19
<b>Figura 3.</b> Mapa hipsométrico da Região Sul do Brasil.....	20
<b>Figura 4.</b> Mapa de solos da Região Sul do Brasil.....	21
<b>Figura 5.</b> A ocupação do Território brasileiro no decorrer dos séculos XVI e XIX. Fonte: Théry e Mello (2005).....	22
<b>Figura 6.</b> Profundidade do perfil e mineralogia do solo em função dos elementos de um relevo.....	37
<b>Figura 7.</b> Classes de solo típicas da região noroeste do RS, oeste de SC e sudoeste do PR (perfis de solos e paisagens de ocorrência). A: Neossolo; B: Cambissolo; C: Chernossolo (fotos dos autores).....	40
<b>Figura 8.</b> Classes de solo típicas da região noroeste do RS, oeste de SC e sudoeste do PR (perfis de solos e paisagens de ocorrência). A: Latossolo; B: Nitossolo; C: Gleissolo (fotos dos autores).....	43
<b>Figura 9.</b> Vista parcial da paisagem da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, mostrando a distribuição das glebas de lavouras e as sedes das unidades de produção familiar, Agudo, 2011..	60
<b>Figura 10.</b> Situações de conflito de uso do solo em áreas de preservação permanente nas unidades de produção familiar, Agudo, 2011.....	60
<b>Figura 11.</b> Fatores controladores da erosão.....	73
<b>Figura 12.</b> A bacia hidrográfica como unidade de estudo dos processos erosivos condicionados pela hidrologia e pelos fatores controladores.....	75
<b>Figura 13.</b> Condicionantes dos processos erosivos e fluxograma para o manejo em bacias.....	76
<b>Figura 14.</b> Diferentes formas de curvaturas de rampas (MEDIONDO et al., 1998).....	80
<b>Figura 15.</b> Modelo simplificado da variabilidade da erosão em rampas com diferentes curvaturas no perfil (TOY et al., 2002).....	81
<b>Figura 16.</b> Esboço do conceito de área de contribuição específica (MATHIAS, 2007; MOORE; BURCH, 1986).....	81

<b>Figura 17.</b> Relações dos períodos pré e pós-tratamento entre as quantidades de sedimentos mobilizadas dos três grupos de fontes durante os eventos e a vazão máxima e a precipitação associada aos eventos (MINELLA et al., 2008). As barras na parte superior do gráfico indicam a faixa em que existe diferença entre os períodos. ....	87
<b>Figura 18.</b> Mapa de relevo (a) e regiões fisiográficas (b) do Rio Grande do Sul. Fonte: <a href="http://coralx.ufsm.br/ifcrs/">http://coralx.ufsm.br/ifcrs/</a> . ....	89
<b>Figura 19.</b> Encosta típica do Planalto Riograndense. Fonte: A. Schlesner. ....	89
<b>Figura 20.</b> Encosta típica cultivada com fumo (a) e efeito por erosão (b) na Região da Encosta do Planalto Riograndense. Fonte: A. Schlesner. ....	90
<b>Figura 21.</b> Estruturas para monitoramento hidrossedimentológico. (a) Calha Parshall no exutório da bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira, (b) Estação de monitoramento das variáveis climatológicas (disdrômetro, estação meteorológica e pluviômetros), (c) Coleta de amostras de sedimento em suspensão, durante evento pluviométrico, (d) Calha Parshall na sub-bacia do Arroio Lajeado Ferreira, (e) Determinação da curva-chave de vazão e concentração de sedimentos em suspensão no Rio Guaporé. ....	92
<b>Figura 22.</b> Médias mensais da produção de sedimentos (PS), vazão (Q) e da erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ) na bacia do rio Guaporé durante os quatro anos de monitoramento. ....	95
<b>Figura 23.</b> Hietograma, hidrograma e sedimentograma anual para 2012. ....	97
<b>Figura 24.</b> Mapa de uso e manejo do solo para três distintos períodos na bacia experimental de Arvorezinha, 2002, 2006, 2014, respectivamente. ....	98
<b>Figura 25.</b> Relação da precipitação total (P) versus infiltração total aparente ( $I_a$ ) durante eventos de chuva ocorridos entre setembro de 2009 a fevereiro de 2015, na bacia experimental de Arvorezinha. ....	99
<b>Figura 26.</b> Resultado para o hidrograma medido em um evento de alta magnitude, relação 1:1 dos dados medidos (Qobs) e simulados (Qcalc). ....	100
<b>Figura 27.</b> Balanço de sedimentos da bacia de Arvorezinha. ....	101
<b>Figura 28.</b> Lavoura agrícola mal manejada após evento pluviométrico. ....	104
<b>Figura 29.</b> Delimitação das bacias pareadas de ordem zero. ....	106
<b>Figura 30.</b> Terraço de base média após evento pluviométrico. ....	106
<b>Figura 31.</b> Calha Tipo H instalada nas bacias pareadas de ordem zero (a), durante um evento pluviométrico na bacia com (b) e sem terraços (c) em Júlio de Castilhos, RS. ....	107
<b>Figura 32.</b> Hidrogramas das bacias CT e ST num evento de 65 mm ocorrido em setembro de 2014. ....	109
<b>Figura 33.</b> Elevadas quantidades de escoamento e a alta conectividade entre fontes de sedimentos e os rios. ....	110

<b>Figura 34.</b> Representação da erosão em áreas com grande comprimento de rampa, com ausência de medidas de controle dos processos erosivos. (Fonte: DIDONÉ, 2012). .....	111
<b>Figura 35.</b> Médias mensais de precipitação (P), erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ) fluxo diário fluxo (Q), coeficiente de escoamento (C) e Produção de sedimentos (PS) para a bacia hidrográfica do rio Conceição. (Fonte: DIDONÉ et al., 2015).....	112
<b>Figura 36.</b> Representação da sementeira em desnível aliado a baixo teor de cobertura vegetal sobre o solo. (Fonte: DIDONÉ, 2012).....	113
<b>Figura 37.</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Conceição, RS. ....	114
<b>Figura 38.</b> Reflexo do manejo em duas condições distintas na bacia do Rio Conceição com ocorrência de seca (a) e uma condição de evento (b). ....	115
<b>Figura 39.</b> Evolução da área sob plantio direto (PD) no Brasil. Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e CONAB (2012).....	126
<b>Figura 40.</b> Área de lavoura com terraço em nível em Nova Candelária, Noroeste do RS (Fonte: Dr. Douglas R. Kaiser – UFFS Cerro Largo) (a), Erosão do solo em área sob PD em Mangueirinha, Sudoeste do PR (b), e erosão do solo no sulco de sementeira realizada no sentido do declive em lavoura de milho sob PD em Seberi, Norte do RS (c).....	130
<b>Figura 41.</b> Erosão do solo nas margens de uma estrada rural não pavimentada (a) e em uma divisa de propriedades (b) em Frederico Westphalen, Norte do RS. ....	131
<b>Figura 42.</b> Erosão laminar em lavoura sem terraços com relevo suave e boa cobertura de solo sob PD em Frederico Westphalen, Norte do RS (a), erosão em sulco entre as bacias de contenção construídas nas áreas convergentes de lavouras sob PD (b), e gradagem do solo em área de solo erodida (c) em Palmeira das Missões, Norte do RS. ....	133
<b>Figura 43.</b> Contribuição relativa das fontes de sedimento nos 14 estudos realizados em bacias hidrográficas rurais no estado do RS. ....	145

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras, nos diferentes tipos de utilização e níveis de manejo considerados (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).....	46
<b>Tabela 2.</b> Interpretação das classes de aptidão agrícola das terras de ocorrência comum no Norte do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR. ....	50
<b>Tabela 3.</b> Água e sedimentos exportados da bacia. ....	93
<b>Tabela 4.</b> Quantidade de sedimentos e elementos perdidos durante eventos pluviométricos no rio Guaporé, RS.....	93
<b>Tabela 5.</b> Produção de sedimentos anual para o período de 2002–2014 e precipitação anual total para a bacia experimental de Arvorezinha.....	98
<b>Tabela 6.</b> Vazão de pico e volume total escoado nas duas bacias pareadas (LONDERO, 2015). .....	108
<b>Tabela 7.</b> Dados monitorados na bacia do rio Conceição para quatro anos. ....	114
<b>Tabela 8.</b> Resumo dos resultados de estudos sobre a origem dos sedimentos em bacias hidrográficas Brasileiras utilizando a abordagem “fingerprinting”.....	140

## LISTA DE ABREVIATURAS

APP	Área de preservação permanente
$A_s$	Área de contribuição específica
C	Coefficiente de escoamento
CBF	Código Florestal Brasileiro
CSS	Concentração de sedimentos em suspensão
CT	Com terraço
CTC	Capacidade de troca de cátions
DSS	Descarga sólida em suspensão
$EI_{30}$	Erosividade das chuvas
Ia	Infiltração total aparente
LISEM	Limburg Soil Erosion Model
LS	Fator comprimento e declividade utilizado na USLE e RUSLE
MNE	Modelos numéricos de elevação
MO	Matéria orgânica
PD	Plantio direto
Ppt	Precipitação
PR	Paraná
PS	Produção de sedimentos
Q	Vazão
RL	Reserva Legal
RS	Rio Grande do Sul
RUSLE	Equação Universal de Perdas de Solo Revisada
SC	Santa Catarina
SCAAT	Sistema de Classificação da Aptidão Agrícola das Terras
SCC	Sistema de cultivo convencional
SDR	Sediment delivery ratio
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPD	Sistema plantio direto
ST	Sem terraço
UPF	Unidade de produção familiar
USLE	Equação Universal de Perdas de Solo
WEPP	Water Erosion Prediction Project

# SUMÁRIO

<b>PREFÁCIO</b> .....	6
Tales Tiecher	
<b>PARTICIPANTES</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	12
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	13
<b>CAPÍTULO I</b>	
<i>O processo de colonização e a formação das unidades de produção familiares do Sul do Brasil</i> .....	15
Gelson Pelegrini, João Batista Rossetto Pellegrini & Luis Pedro Hillesheim	
<b>CAPÍTULO II</b>	
<i>Aptidão agrícola dos principais solos das áreas de agricultura familiar do Sul do Brasil</i> .....	34
Jessé Rodrigo Fink & Fabrício de Araújo Pedron	
<b>CAPÍTULO III</b>	
<i>Conflitos entre a legislação ambiental, a aptidão agrícola e o uso dos solos em Unidades de Produção Familiar no Rio Grande do Sul</i> .....	53
João Batista Rossetto Pellegrini, Danilo Rheinheimer dos Santos, André Carlos Cruz Copetti & Celso Silva Gonçalves	
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<i>Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul</i> .....	69
Jean Paolo Gomes Minella, Claudia Alessandra Peixoto de Barros, Elizeu Jonas Didoné, Ana Lúcia Londero, Rafael Ramon, Alexandre Schlesner, Dinis Deuschler, Fabio José Andres Schneider, Tiago Canale & Gustavo Henrique Merten	
<b>CAPÍTULO V</b>	
<i>Erosão do solo: um problema mundial agravando-se num contexto de “agricultura conservacionista” no Sul do Brasil</i> .....	122
Tales Tiecher & Jean Paolo Gomes Minella	

# CAPÍTULO I

---

## O processo de colonização e a formação das unidades de produção familiares do Sul do Brasil

*Gelson Pelegrini<sup>1</sup>, João Batista Rossetto Pellegrini<sup>2</sup> & Luis Pedro Hillesheim<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Extensão Rural, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Extensão Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Professor do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Câmpus de Frederico Westphalen, Avenida Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, CEP 98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: gelsonpelegrini@uri.edu.br. Autor para correspondência

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal Farroupilha (IFF), Campus de Júlio de Castilhos, Rodovia RS-527, s/n - Distrito de São João do Barro Preto, CEP 98130-000, Júlio de Castilhos, RS, Brasil. E-mail: jbpellegrini@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Tecnólogo em Administração Rural, Mestre em Ciências Sociais Aplicadas, Professor do Departamento de Ciências Agrárias, URI, Câmpus de Frederico Westphalen. E-mail: luispedro@uri.edu.br

### Sumário

INTRODUÇÃO .....	16
1 A ABORDAGEM DOS SISTEMAS AGRÁRIOS.....	17
1.1 Teoria dos sistemas agrários.....	17
2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E O SEU MEIO NATURAL.....	18
2.1 Vegetação .....	18
2.2 Relevô .....	19
2.3 Solo.....	20
3 O PROCESSO HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO: A “COLONIZAÇÃO” .....	21
3.1 A ocupação das áreas florestadas – o processo de colonização .....	22
3.2 O sistema de produção nas Unidades de Produção Familiar .....	24
4 O SISTEMA DE PRODUÇÃO E A RELAÇÃO COM O SOLO NAS PEQUENAS UNIDADES DE PRODUÇÃO FAMILIAR.....	27
4.1 A retirada da floresta .....	27
4.2 O esgotamento da fertilidade natural dos solos .....	28
4.3 A pequena unidade de produção familiar e o empobrecimento do solo frente ao processo agroindustrial.....	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	30
REFERÊNCIAS .....	31

## INTRODUÇÃO

A ocupação das áreas de floresta da região sul do Brasil foi um processo iniciado no século XIX e concluído nas primeiras décadas do século XX. Apresentava o objetivo principal produzir gêneros alimentícios, ocupando as últimas áreas de florestas existentes na região Norte do estado do Rio Grande do Sul (RS), Oeste do estado de Santa Catarina (SC) e Sudoeste do estado do Paraná (PR). A forma de ocupação deste território coberto pela floresta densa construiu características de um sistema agrário formado por pequenas Unidades de Produção Familiares (UPF) que objetivava a produção de alimentos para a subsistência familiar e a geração de excedentes para comercialização.

O processo de colonização implantado baseava-se na demarcação de lotes de terras que eram distribuídos aos colonos migrantes e imigrantes que buscavam implantar um sistema de produção que permitisse a sustentação da família. No processo de colonização da região em estudo algumas questões são importantes de serem levantadas: (i) ausência governamental, pois se trata do final de um processo de colonização incentivado pelo Estado, onde os documentos históricos demonstram claramente um “cansaço” do processo com falta de recursos financeiros e inversões governamentais necessárias para garantir o acesso dos colonizadores a infraestrutura de transporte, comunicação, educação, saúde, etc.; (ii) foi um processo de colonização que objetivava integrar as mais diversas origens de imigrantes (açorianos, alemães, italianos, poloneses, russos, outras), numa região já ocupada por indígenas e caboclos<sup>1</sup>.

A abordagem teórica dos sistemas agrários e sua metodologia de análise são utilizadas para a construção deste trabalho. Estudar o processo histórico de formação das unidades de produção desta região é muito importante para a compreensão da atual situação da agricultura familiar. Buscou-se entender e descrever as questões fundamentais para a construção do sistema de produção da região, baseado em pequenas unidades de produção, com predomínio do trabalho familiar, formando um sistema agrário característico.

Primeiramente, apresenta-se de forma breve a teoria dos sistemas agrários como abordagem teórica e ferramenta de análise. Posteriormente faz-se uma caracterização do meio natural, o agroecossistema, que foi a base para a construção do sistema social produtivo. O processo de colonização é descrito com mais detalhes buscando evidenciar elementos que levaram ao “desenho” atual das unidades de produção da região. Por fim, busca-se apresentar

---

<sup>1</sup> Segundo Silva Neto & Basso (2005, p 52) o caboclo enquanto elemento humano não é fácil definir com clareza a sua origem. Mas pode-se buscar alguma ligação aos descendentes de bandeirantes e tropeiros paulistas que se ligaram a mulheres indígenas, de estancieiros que se relacionaram com escravas, colonos açorianos que perderam suas terras por razões diversas, de desempregados das estâncias e charqueadas e de colonos europeus empobrecidos.

alguns elementos que demonstram a preocupação histórica com as técnicas de utilização do solo, nesta região de pequenas unidades de produção, que é o objetivo central desta coletânea de textos.

## **1 A ABORDAGEM DOS SISTEMAS AGRÁRIOS**

### **1.1 Teoria dos sistemas agrários**

A abordagem teórica “análise e diagnóstico dos sistemas agrários” é um instrumento de análise da Evolução histórica e da diferenciação geográfica da agricultura. Serve para a realização de estudos acadêmicos como uma teoria científica. Por outro lado, é uma eficiente ferramenta de estudo e definições de intervenções para a promoção do desenvolvimento.

Neste trabalho lançamos mão desta abordagem teórica para reconstruir a ocupação do espaço e a construção social da agricultura familiar da região Norte do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR. Seguindo esta abordagem entende-se por sistema agrário o modo de exploração do meio historicamente constituído, que é composto por um sistema de forças de produção; um sistema técnico adaptado às condições bioclimáticas do espaço determinado, ou seja, o ambiente, que responde às condições e às necessidades sociais de um determinado momento (MAZOYER; ROUDART, 1998; SILVA NETO; BASSO, 2005).

Neste sentido, para Mazoyer e Roudart (1998) analisar a agricultura praticada num momento e espaço determinados consiste em decompô-la em dois subsistemas principais: o ecossistema cultivado - agroecossistema<sup>2</sup> e o sistema social produtivo. Para tanto, torna-se necessário estudar a organização e funcionamento de cada um destes subsistemas, analisando as suas inter-relações e sua evolução.

Poderíamos, então, entender um sistema agrário como uma combinação das seguintes variáveis essenciais: o agroecossistema sendo visto como o meio cultivado – o meio original e as suas transformações históricas, principalmente buscando entender a dinâmica de renovação da fertilidade do sistema. E o meio social produtivo composto pelas diferentes categorias sociais de agricultores e os diferentes sistemas de produção praticados.

A diferenciação entre as categorias de agricultores é o resultado de um processo de acumulação condicionado pelo acesso à terra e pela origem da mão de obra e do capital. Já o sistema de produção, que é a forma que os agricultores organizam as suas atividades no interior

---

<sup>2</sup> O agroecossistema é o ecossistema natural alterado pelo homem para a produção agropecuária. O agroecossistema diferencia-se de um ecossistema natural, por englobar, além dos fatores físicos, ecológicos e biológicos, que caracterizam uma determinada paisagem natural, os fatores econômicos, sociais, culturais e históricos (ALTERI, 1989).

das unidades de produção, obtêm a sua diversidade devido às muitas situações ecológicas e a experiência de cada agricultor, conferindo para cada situação características singulares.

Um sistema agrário não fica estático no decorrer do tempo. Como vimos ele sofre influência de vários fatores, ecológicos, sociais e econômicos. Contudo, segundo Mazoyer e Roudart (1998), dois são os fatores principais que determinam a dinâmica dos sistemas agrários: a reprodução da fertilidade do agroecossistema e a acumulação do capital. A reprodução da fertilidade do agroecossistema não é somente a fertilidade do solo, o que podemos pensar num primeiro momento, mas de todo o agroecossistema, inclusive a renovação da força de trabalho humana. A acumulação de capital está diretamente ligada às relações de produção que são intrínsecas ao modelo de desenvolvimento e produção vigente, que neste caso é o sistema capitalista.

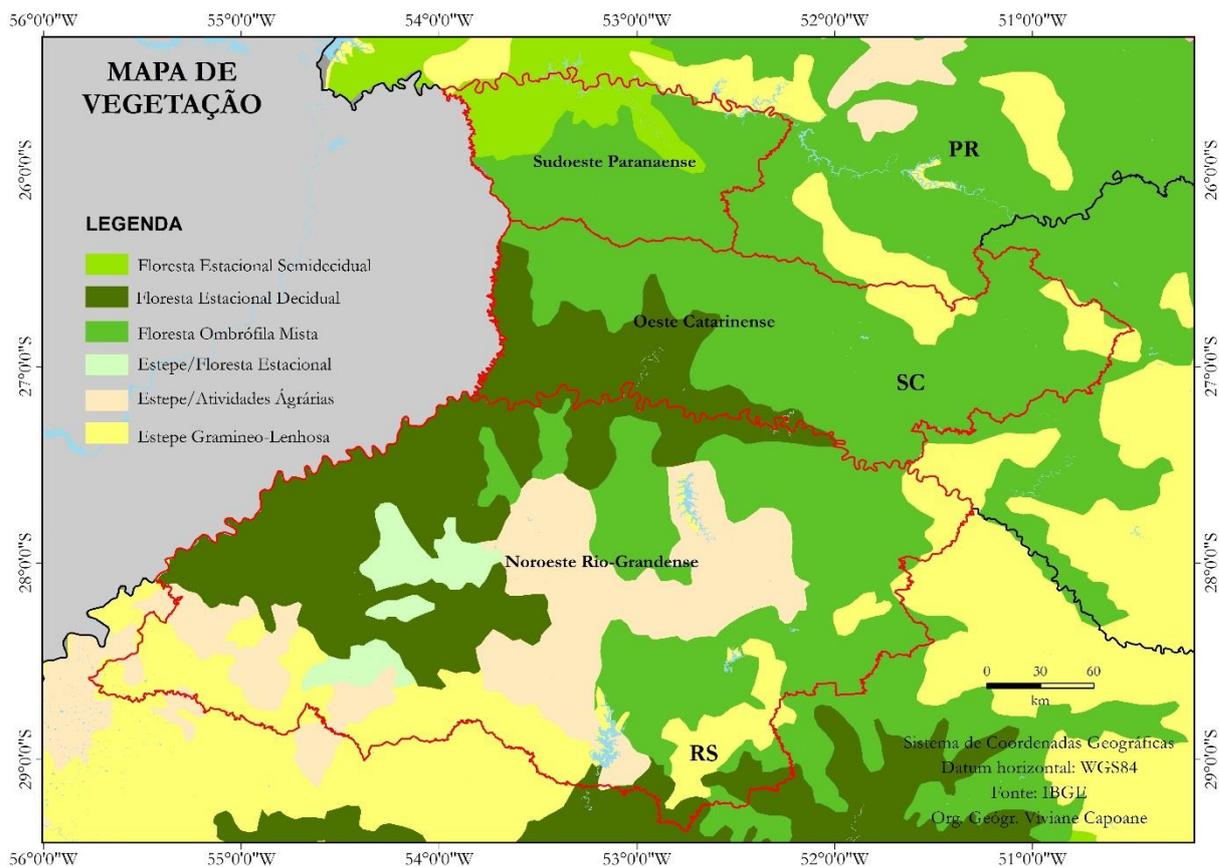
Com base nesta abordagem teórica, pretende-se estudar de forma mais detalhada estes fatores para apreender e caracterizar as mudanças ocorridas no modelo de agricultura que foi adotado e transformado no decorrer do tempo no espaço agrário que corresponde ao Norte do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR.

## **2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E DO SEU MEIO NATURAL**

As regiões do Norte do estado do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR apresentam características de vegetação, relevo e solos que as tornam praticamente uma grande região, com mais semelhanças entre si do que com as outras regiões dos seus respectivos estados. Para melhor compreensão do sistema agrário originado nesta região apresentam-se de forma resumida as características da vegetação, relevo e solos. Também se lança mão de mapas ilustrativos para facilitar a visualização.

### **2.1 Vegetação**

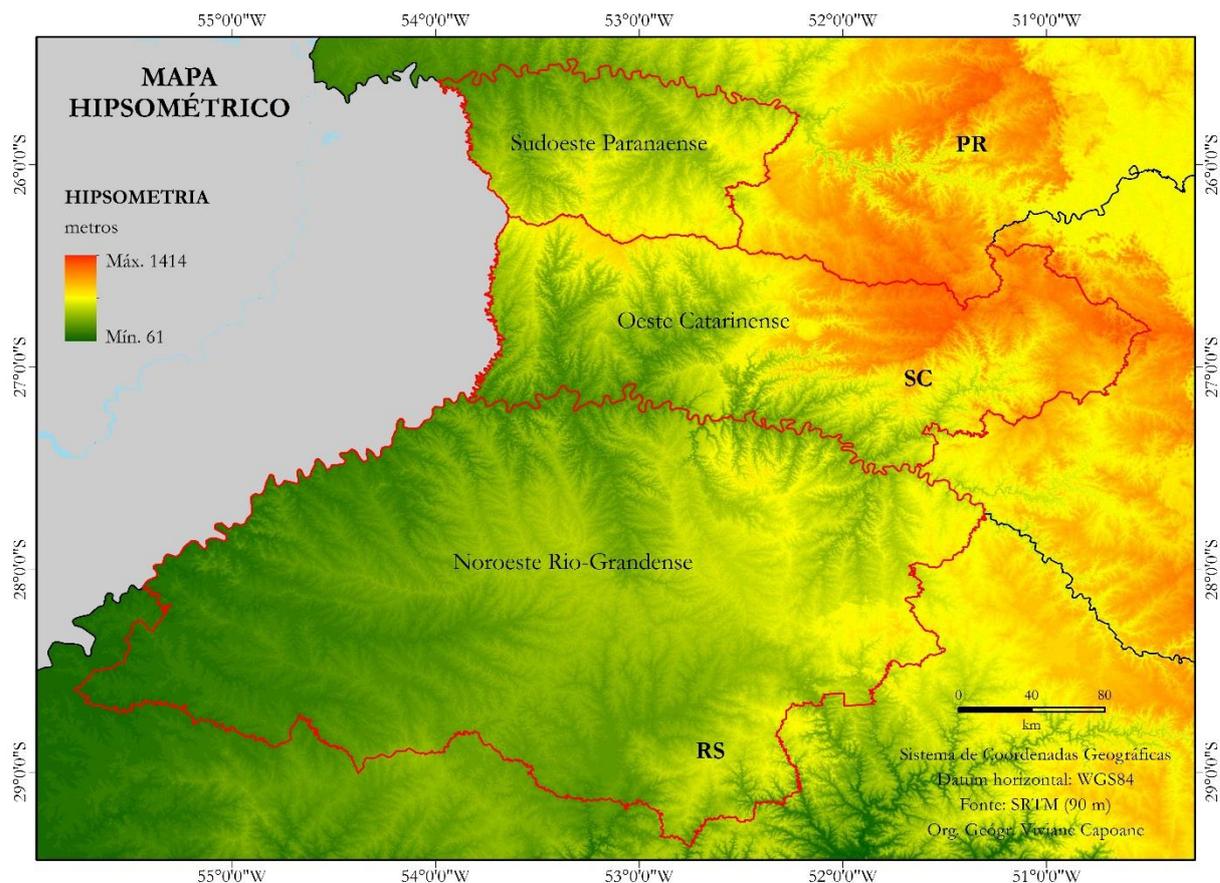
A vegetação predominante é a de formações florestais pertencentes ao Bioma Mata Atlântica. Uma floresta subtropical, composta por duas zonas de formação florestais distintas: Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária) e a Floresta Estacional Decidual (Figura 2). A Floresta Estacional Decidual ocorre ao longo dos rios Paraná e Uruguai, com altitudes de 200 a 800 metros. A Floresta Ombrófila Mista compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região sul do Brasil, encontrando-se entre 800 a 1200 metros de altitude, caracterizada pela ocorrência da *Araucaria angustifolia* (Pinheiro Brasileiro). (RODERJAN et. al, 2002; QUADROS; PILLAR, 2002).



**Figura 2.** Distribuição dos tipos de vegetação na Região Sul do Brasil.

## 2.2 Relevo

A região está dentro do Planalto da bacia do Rio Paraná, mais precisamente uma região de influência dos rios Uruguai e Iguçu, predominando altitudes entre 200 a 800 metros (Figura 3). Os vales dos rios Uruguai e Iguçu e seus afluentes conferem um relevo declivoso com solos com aparecimento de fragmentos de rocha.



**Figura 3.** Mapa hipsométrico da Região Sul do Brasil.

### 2.3 Solo

Os principais solos ocorrentes nas regiões de colonização relatadas neste estudo são normalmente pouco profundos, com baixo a moderado teor de argila e alguns com elevado índice de pedregosidade (STRECK, 2002). Estas são características comuns de solos jovens, pouco intemperizados. Estas são regiões com predomínio das classes dos solos Neossolos, Chernossolos, Cambissolos e de associações entre estes (Figura 4). Nas partes de relevo mais íngremes da paisagem ocorrem os Neossolos e nas partes planas (platôs) os Chernossolos e Cambissolos. Estes solos, especialmente os Neossolos, são classificados como de baixa aptidão para uso agrícola. Por suas características morfológicas e por estarem em relevo declivoso, quando submetidos a um sistema de preparo convencional apresentam elevada erodibilidade durante as chuvas. Os solos existentes nessa região são apresentados com maior detalhes no Capítulo II.

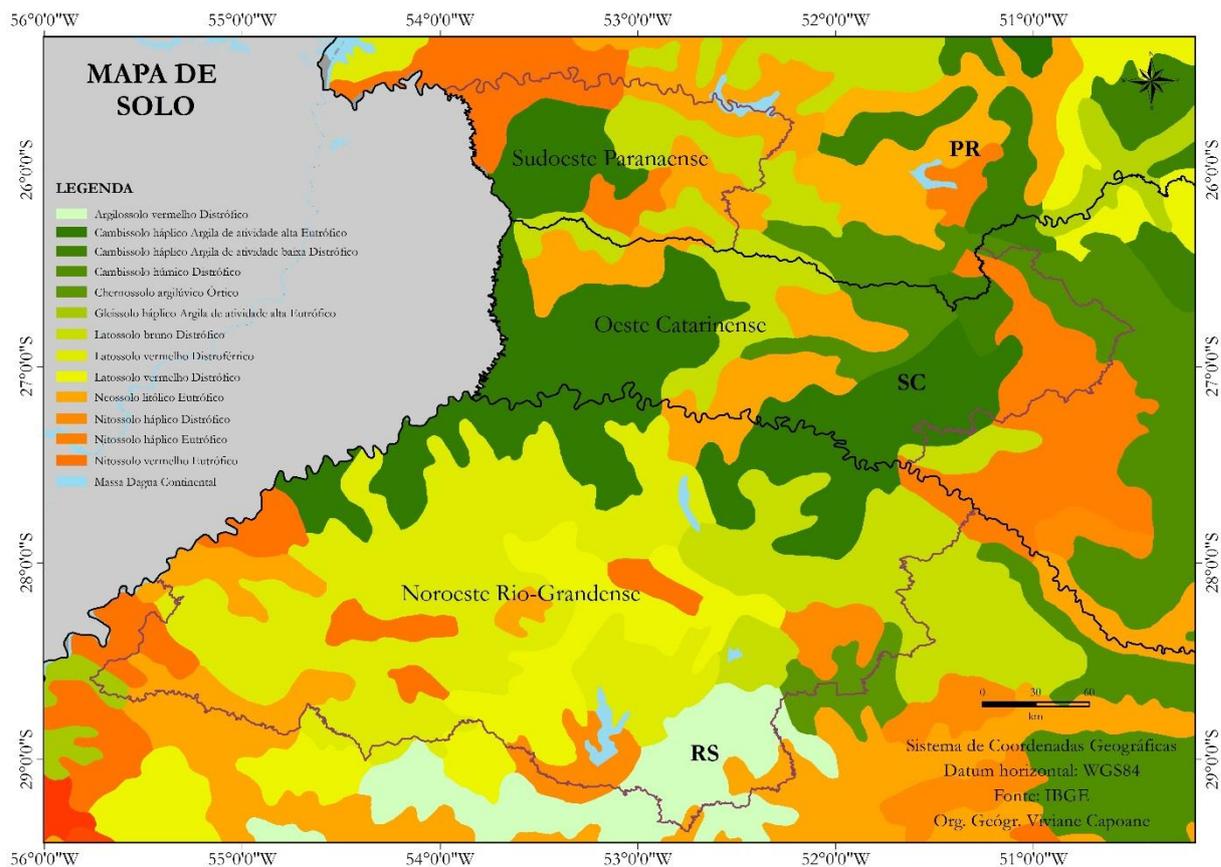
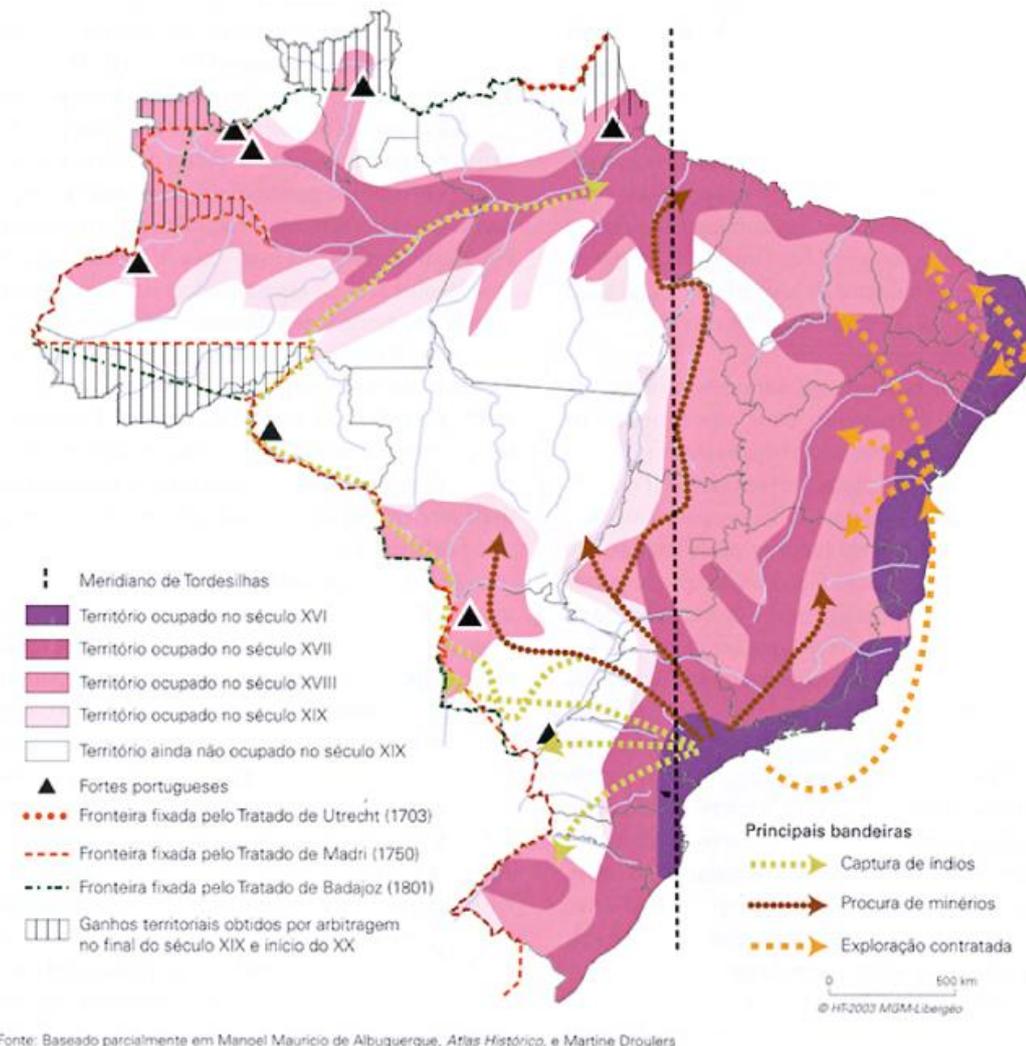


Figura 4. Mapa de solos da Região Sul do Brasil.

### 3 O PROCESSO HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO: A “COLONIZAÇÃO”

O território brasileiro foi ocupado seguindo um processo histórico de exploração dos recursos naturais e a doação de terras pela Coroa Portuguesa e pelo Império Brasileiro. Somente a partir da publicação da Lei de Terras de 1850 é que as terras passam a ser comercializadas, principalmente nas áreas que foram destinadas para a colonização. O mapa de Théry e Mello (2005) apresenta o processo de ocupação do território brasileiro do Século XVI até o século XIX, demonstrando que a região em questão passa a ser ocupada somente a partir do século XX (Figura 5).



**Figura 5.** A ocupação do território brasileiro no decorrer dos séculos XVI e XIX. Fonte: Théry e Mello (2005).

### 3.1 A ocupação das áreas florestadas – o processo de colonização

No início do século XIX praticamente todo o espaço coberto pela floresta estava “desocupado” no sul do Brasil. Segundo Silva Neto e Frantz (2001), a destinação de sesmarias<sup>3</sup> não foi suficiente para ocupar o território Sul-rio-grandense, uma vez que as vastas áreas de florestas não despertavam interesse dos estancieiros pecuaristas. Não havia razões para expandir as atividades pecuárias sobre os ecossistemas florestados, cuja adequação à pecuária implicava investimentos superiores aos necessários em regiões de campo natural. Permaneciam, assim, por mais de três séculos “desocupadas”, as quais eram chamadas “terra de ninguém”. Além de representar uma ameaça a ocupação dos espanhóis, era uma barreira difícil de ser transposta pelas

<sup>3</sup> As sesmarias eram grandes extensões de terras que mediam aproximadamente 13.000 hectares. Com isso, deu-se a origem dos latifúndios de criação de gado em sistema extensivo sobre campos naturais. Os “agraciados” pela Corroa Portuguesa eram parte dos bandeirantes paulistas e chefes militares, os quais recebiam estes dotes em recompensa por suas conquistas nas guerras.

tropas de gado e dos muares para o centro do país (PESAVENTO, 1983).

Diante deste cenário, foi desencadeado, na década de 1820, o projeto de colonização dos ecossistemas florestados do RS com imigrantes oriundos de países europeus como Alemanha e Itália. Os objetivos, além dos já expostos, eram de formar colônias para produzir gêneros alimentícios necessários para o consumo interno e formar uma nova classe social que pudesse fazer frente ao poderio da oligarquia regional assentada sobre as vastas sesmarias localizadas nas áreas de campos com criação extensiva de gado para fornecimento das charqueadas (SANTOS; SANTOS, 1989).

As primeiras famílias de imigrantes que chegaram ao RS foram de origem alemã e se estabeleceram no Vale do Rio dos Sinos, hoje município de São Leopoldo, por volta do ano de 1824 (SANTOS; SANTOS, 1989). Posteriormente, outras colônias alemãs foram sendo criadas, como é o caso de Santa Cruz do Sul e Candelária. Mais tarde, no final da década de 1870, começaram a chegar os imigrantes de origem italiana e foram estabelecidos na região da Encosta das Serras do Nordeste e Central do RS<sup>4</sup>, então totalmente coberta por florestas.

O ecossistema de florestas foi então aos poucos sendo subdividido em lotes os quais foram sendo inicialmente doados aos imigrantes. No início do processo de colonização os lotes coloniais mediam 77,6 hectares e eram demarcados a partir da abertura de “picadas”, então denominadas de “linhas”. Mais tarde, com a publicação da Lei de Terras de 1850, os lotes passaram a ser vendidos aos colonos, tendo sua área reduzida para em torno de 25 hectares. Aos poucos passaram a ser denominados de colônias (NEUMANN, 2003; SILVA NETO; BASSO, 2005).

Os lotes coloniais apresentavam formato retangular e na maioria das vezes estreitos e compridos. De maneira que, estas pequenas extensões de terras destinadas às famílias, que normalmente eram compostas por muitos filhos, já na origem se constituem em verdadeiros minifúndios. A alteração drástica da paisagem deste ecossistema de florestas passa ser a marca deste processo de colonização com a formação de uma agricultura essencialmente de pequenas unidades de produção familiar.

Um dos poucos critérios considerados para a localização dos lotes era a disponibilidade de água. Nas colônias de terra deveria haver pelo menos uma fonte de água, seja superficial ou subterrânea (ENDERLE, 1996). Deste modo, para facilitar o acesso à água as sedes das UPF, essas eram localizadas próximas das nascentes e dos cursos d'água.

---

<sup>4</sup> As duas primeiras colônias foram Conde d'Eu (Garibaldi e Carlos Barbosa) e Dona Isabel (Bento Gonçalves), fundadas no ano de 1870; a terceira foi Campo dos Bugres, atual Caxias do Sul, no ano de 1875 (Santos & Santos, 1989).

Até o início do Século XX praticamente todas as áreas de florestas do RS estavam “ocupadas” por colonos incentivados pelo sistema de colonização oficial (governamental).

Em 1920 quando o governo gaúcho suspende a sua política de colonização, ainda havia muitas florestas, principalmente no centro–norte do Alto Uruguai (Iraí). Por se tratar de terras onde a incidência de caboclos era elevada, muitos colonos passavam a se instalar nestas regiões pela simples compra do direito de “posse” e a regularização só ocorria na medida em que o colono conseguisse comprovar a exploração efetiva da área. O tamanho das posses não era uniforme e normalmente era menor do que os lotes das colônias regulares, públicas e privadas. (SILVA NETO; BASSO, 2005, p. 65).

Assim, a região Norte do RS foi a última área a ser “ocupada” pelo processo de colonização. Contudo, neste espaço estavam presentes várias tribos indígenas e famílias de caboclos que fugiam de guerras e/ou eram “excluídos” dos sistemas de produção que estavam sendo praticados nas outras regiões, sobretudo, nos dois sistemas agrários predominantes: o sistema agropastoril e o sistema agrícola de produção colonial.

Este processo de colonização com várias etnias de imigrantes, a existência de caboclos e indígenas vai ser a base para o sistema social produtivo e a formação das categorias de agricultores, levando a predominância de agricultores familiares.

### **3.2 O sistema de produção nas Unidades de Produção Familiar (UPF)**

Os primeiros anos da colonização foram marcados pela preocupação em garantir a produção de alimentos para o autoconsumo. A derrubada da mata para plantio era uma exigência não só de sobrevivência, mas também do Governo Provincial, o qual ao conceder os lotes determinava aos colonos que “até seis meses depois desta designação devia estar roçada e plantada uma área de pelo menos mil braças quadradas (o equivalente a meio hectare)” (SPONCHIADO, 1996). A visão que predominava era de que havia abundância de florestas e que precisavam ser removidas para o estabelecimento dos cultivos (MARCHIORI, 2002). A preocupação com a degradação dos recursos naturais por parte dos agricultores e pelo poder público era insignificante.

Os produtos cultivados, bem como a tecnologia desenvolvida no processo produtivo agrícola, não se diferenciavam muito em relação aos tipos de cultivos e as técnicas empregadas pelos povos indígenas. A derrubada da floresta com a queima subsequente foram às práticas de preparo das áreas de cultivo adotadas em todas as colônias em formação no RS e se estenderam para as áreas de floresta nas zonas de expansão nos estados de SC e PR.

Pelos altos teores de matéria orgânica, o estado estrutural do solo era bom, o que permitia que a semeadura fosse feita diretamente no primeiro cultivo, sem necessidade de revolver a terra.

Esse sistema de plantio e manejo segue as mesmas características dos sistemas de cultura nos terrenos de florestas abatidas e queimadas da antiguidade, que se estenderam até a maior parte dos terrenos arborizados e cultiváveis do planeta (MAZOYER; ROUDART, 1998).

Este tipo de sistema praticado pelos colonos imigrantes guardava semelhanças com a agricultura itinerante<sup>5</sup> desenvolvida na Europa, antes da primeira revolução agrícola. Embora a técnica da queimada já houvesse sido abandonada em grande parte da Europa; os imigrantes encontraram aqui um ambiente completamente distinto e acabaram tendo que utilizá-la para proceder aos primeiros cultivos (BARBOSA, 1975).

Brum (1987) aponta que este processo de ocupação da área de mata apresentou algumas características muito importantes que formam a base da agricultura praticada nestas regiões, quais sejam: (i) a pequena propriedade que, com as partilhas por herança, deu origem ao minifúndio; (ii) a prática da policultura, com o cultivo de relativa variedade de produtos e a criação de animais (suínos, bovinos, etc.) e aves, destinadas ao abastecimento da família e à produção de excedentes para a comercialização; (iii) a utilização dos recursos naturais, ou seja, da fertilidade natural do solo e o uso da mão-de-obra direta dos membros da família.

Estes fatores, apontados por Brum (1987), tornam-se a base da agricultura familiar<sup>6</sup> que se constituiu nas regiões coloniais do Sul do Brasil. Principalmente nas regiões norte do RS, oeste de SC e sudoeste do PR onde permaneceram por mais tempo categorias de agricultores e sistemas de produção considerados “tradicionais”, quando comparados com outras regiões do Brasil.

Nesta grande região a agricultura familiar se caracteriza por ser: (i) baseada na força de trabalho familiar; (ii) pela alta dependência e utilização dos recursos naturais; (iii) pelo desenvolvimento de diversas atividades (cultivos) nas unidades de produção; (iv) pelo processamento de grande parte dos produtos agrícolas na própria unidade de produção ou na comunidade local; (v) pelo estabelecimento de uma vasta rede de casas comerciais no âmbito local e regional; e, (vi) por possuir como principal objetivo a produção para atender as necessidades

---

<sup>5</sup> A agricultura itinerante é um tipo de agricultura temporária que se desloca espacialmente. O preparo do solo é feito através do fogo para limpar o terreno, eliminando uma série de parasitas e micro-organismos nocivos, além de tornar disponíveis para as culturas os elementos minerais contidos na matéria orgânica florestal, que voltam ao solo através das cinzas. Os solos assim preparados eram cultivados durante alguns anos até que as reservas de nutrientes permitiam. Uma vez esgotado, ele era abandonado durante um período de tempo suficiente para que a floresta se recuperasse. “Desde que o período de recuperação necessária seja respeitado, esse sistema de cultura é perfeitamente equilibrado do ponto de vista ecológico, podendo ser praticado durante séculos sem degradar a floresta” (Romeiro, 1998).

<sup>6</sup> A agricultura familiar é orientada por uma lógica familiar que, alimentada por um patrimônio sociocultural, define a especificidade da relação entre o trabalho, a família e a propriedade. De acordo com Lamarche, (1997): o estabelecimento familiar corresponde a uma unidade de produção agrícola onde propriedade e trabalho estão intimamente ligados à família. A interdependência destes três fatores no funcionamento do estabelecimento engendra necessariamente, noções mais abstratas e complexas, tais como a transmissão do patrimônio e a reprodução do trabalho. Neste trabalho o termo Agricultura Familiar se refere ao modelo de agricultura praticada em pequenas unidades de produção, conceito amparado pela Lei 11.326 de 24 de julho de 2006.

alimentares da família, sendo o excedente destinado à comercialização (BRUM, 1987).

As ferramentas e instrumentos utilizados no trabalho, nas primeiras décadas da colonização, eram muito simples e, às vezes, produzidos na UPF. Como instalações possuíam um galpão para armazenamento dos produtos e ferramentas; um chiqueiro com mangueirão; uma casa para moradia que no subsolo delimitava-se o “porão”, o qual servia para armazenamento do vinho, vinagre, salame, queijo e outros produtos para autoconsumo.

As técnicas de preparo do solo, cultivo, colheita, armazenamento, etc., eram fruto da experiência e se transmitiam de geração em geração, sendo aperfeiçoadas lentamente. Nesta cultura, a sabedoria da vida e do trabalho tinha grande valor. As fontes de energia que moviam este sistema eram oriundas da própria natureza. A força humana e animal, da água e do vento, e a luz solar eram as bases energéticas que sustentavam este modelo de agricultura tradicional (COSTABEBER, 1989).

A diversificação da produção, além de ter sido uma estratégia de autossuficiência alimentar, foi a estratégia adotada para diminuir os riscos frente às oscilações dos preços dos produtos agrícolas da época (NEUMANN, 2003). Nestas UPF se produzia uma grande variedade de produtos tais como: milho, feijão, mandioca, batata, trigo, aveia, alfafa, abóbora, batata-doce, uva, cana-de-açúcar, erva-mate, ervilha, arroz, amendoim, lentilha, fumo, entre outras. Junto à residência da família, normalmente se localizavam uma pequena horta e um pomar, onde se cultivava uma diversidade de hortaliças e frutas voltadas diretamente ao complemento da alimentação da família. Além destas atividades agrícolas, “criavam-se animais domésticos, quer para o consumo próprio (leite, carne, ovos, etc.), quer para o transporte e as lides da lavoura (principalmente bois e cavalos), e mesmo para a comercialização (suínos, em maior escala)” (BRUM, 1987).

O cultivo do feijão foi a primeira atividade a proporcionar renda aos colonos, sendo por muito tempo um produto que servia de mercadoria de troca nas pequenas casas comerciais da região. Por ser de ciclo mais curto que outras culturas, por não depender de sofisticados implementos para seu cultivo e beneficiamento e pelos preços muito compensadores, contribuiu de maneira decisiva para firmar os primeiros passos das famílias colonizadoras. Poucas décadas passadas a produção de feijão foi reduzida drasticamente devido às restrições impostas pelas legislações ambientais em relação aos desmatamentos e queimadas das áreas florestadas (NEUMANN, 2003).

A criação de porcos para extração da banha foi uma atividade que teve início ainda nos primeiros anos das colônias. Esta atividade se constituiu em uma importante estratégia de agregação de valor ao milho; um produto amplamente produzido nas lavouras recém

estabelecidas, mas que não era devidamente valorizado no comércio local (SPONCHIADO, 1996). A produção de banha com fins comerciais ganhou impulso, pois apresentava um maior valor agregado, com facilidade de conservação, tornando possível o transporte para regiões mais distantes. Isto engendrou o processo de agroindustrialização e a constituição de empresas e cooperativas agroindustriais nesta região (TAGLIETTI, 2006).

Pelo seu alto valor agregado por área plantada e a facilidade de transporte e conservação, o fumo se caracterizou por ser uma atividade complementar ao sistema de produção agroalimentar (NEUMANN, 2003). As tecnologias de sua produção eram desenvolvidas localmente e os recursos necessários provinham da natureza. A venda do produto era para comerciantes locais.

## **4 O SISTEMA DE PRODUÇÃO E A RELAÇÃO COM O SOLO NAS PEQUENAS UPF**

### **4.1 A retirada da floresta**

A derrubada da floresta tornava-se necessária para dar início ao cultivo das terras. O aproveitamento das vistosas árvores nativas como madeira comercial ganha *status* de ciclo econômico da região. A dificuldade de transporte terrestre, pela inexistência de ferrovias e as precárias estradas, leva a utilização dos rios como meio de transporte, tendo início o chamado ciclo das balsas<sup>7</sup> (SANTOS, 2005; TAGLIETTI, 2006; BATTISTELLA, 1969).

Este sistema de extração de madeira ficou restrito as áreas próximas ao rio Uruguai e seus afluentes maiores e às madeiras mais leves e flutuantes. O restante da vasta região foi desmatado para cultivo agrícola com o aproveitamento das árvores nativas seculares em serrarias locais e comercializadas por madeireiros, ou simplesmente eram consumidas pelo fogo para “limpar” a área de cultivo (BATTISTELLA, 1969).

A destruição das florestas pode ser visualizada pelos dados do Inventário Florestal do RS<sup>8</sup>, o qual mostrou a diminuição de 46% da cobertura florestal da década de 1940, para menos de 6,0% no final dos anos 1970 (RIO GRANDE DO SUL, 2002). Vale considerar que toda esta devastação da cobertura florestal ocorreu à revelia do Código Florestal Brasileiro, que já vigorava

---

<sup>7</sup> As balsas eram embarcações rudimentares formadas com madeiras nativas sendo transportadas até a cidade de São Tomé na Argentina. O transporte era feito na medida em que ocorressem chuvas, enchendo os rios até um nível que superasse os obstáculos naturais, permitindo o transporte das enormes balsas de madeira. Assim, surge o épico sujeito histórico da região que é o balseiro do Rio Uruguai, retratado na letra e música de Cenair Maicá (Santos, 2005).

<sup>8</sup> O Inventário Florestal do Rio Grande do Sul é um relatório que contém informações fitossociológicas e fitogeográficas dos remanescentes florestais do Estado, que foi realizado por uma equipe de pesquisadores do Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do de Santa Maria, RS.

a partir da metade da década de 1960 (BRASIL, 1965). Os desmatamentos foram registrados mais fortemente nas regiões de expansão da fronteira agrícola do Planalto, Missões e Alto-Uruguai. As perdas de solo por erosão hídrica foram muito altas em decorrência do método de preparo convencional, baseado em arações e gradagens (RHEINHEIMER et al., 2003).

## 4.2 O esgotamento da fertilidade natural dos solos

O processo de colonização descrito anteriormente condicionou a uma realidade onde os fatores, como a área de terra reduzida da unidade de produção e a família numerosa, obrigavam a uma intensa exploração do solo, provocando um rápido esgotamento da sua fertilidade natural, chegando, em muitos casos, à quase exaustão (BRUM, 1987).

O problema do esgotamento do solo ocasionado pelas técnicas “rudimentares” de cultivo, próprias ao sistema de produção é descrito na obra de Monsenhor Vitor Battistella.

A região é essencialmente agrícola, mas os agricultores haviam trazido consigo os métodos primitivos de trabalho aprendidos alhures, e ignoravam os progressos da moderna técnica. O solo já estava perdendo sua fertilidade, porque, desconhecidos os processos de conservação, tudo se fazia para o seu empobrecimento. Em consequência, a produção vinha diminuindo e o trabalho tronava-se sempre menos compensador, dando asas a ideia de emigrar para outras paragens de vizinhos Estados, onde, afinal haveriam de se repetir os mesmos processos destruidores que acabariam um dia com as terras do Brasil, reduzindo-as a um deserto (BATTISTELLA, 1969, p. 156).

Silva Neto e Basso (2005) no estudo dos principais sistemas de produção do estado do RS afirmam que nesta região o desgaste da fertilidade do solo foi o mais intenso e acelerado do Estado. Este desgaste do solo está na origem de muitas das dificuldades encontradas até hoje nestas regiões, que somadas ao predomínio de minifúndios dá origem aos movimentos com o objetivo da realização da reforma agrária.

O acelerado esgotamento do solo e a consequente diminuição da produção agrícola refletiram no empobrecimento da população das novas colônias, deixando poucas alternativas, dentre elas a migração para outras áreas ou adoção de um novo sistema de produção.

A incorporação de novas áreas ainda não desbravadas para a produção era uma possibilidade do agricultor familiar, chamado de colono nesta época, buscar a sua reprodução social. As terras da fronteira agrícola, que possuíam boa fertilidade natural do solo, e a força de trabalho familiar eram os “motores” do desenvolvimento destas regiões. Contudo, com o fechamento das fronteiras agrícolas próximas e a degradação da fertilidade natural do solo fazem os agricultores buscar novas estratégias de reprodução social (PELEGRINI; GAZOLLA, 2008).

Ferigollo (2004), com base em documento, do ano de 1953, produzido pelo Técnico Agrícola Flodoaldo da Cruz Neto, da 23ª Regional Agrícola do estado do RS, descreve que a maior dificuldade encontrada no desenvolvimento da agricultura está em fazer com que os produtores abandonem os processos rotineiros de cultivo, herdados de seus pais e avós, e adotem sistemas técnicos de conservação dos solos, combate a erosão e cultivo e defesa das plantações.

No decorrer deste período surgem organizações que desenvolvem ações buscando debater “os temas que serviram para alertar às modernas técnicas e suas consequências, os processos de conservação do solo, mantendo a fertilidade, evitando a diminuição da produção agrícola e animal.” (FERIGOLLO, 2004, p. 178).

Atualmente, sabe-se que com o processo de modernização da agricultura e a aplicação de pacotes tecnológicos, sem considerar a realidade vivida pela agricultura familiar local, muitas vezes, causaram a saída dos agricultores de suas terras. Contudo, o “descuido” com o solo no sistema de produção adotado nesta região é um problema central que deve ser atacado, com ampliação de estudo e viabilização de técnicas apropriadas. Tema que será abordado em outros capítulos deste livro.

#### **4.3 A pequena unidade de produção familiar e o empobrecimento do solo frente ao processo agroindustrial**

O modelo de desenvolvimento atual é baseado no aparato tecnológico fornecido pelo complexo agroindustrial, que se consolida a partir da década 1960. Tinha, e ainda diz ter, como pressuposto a viabilização da maioria das pequenas unidades de produção familiares da região. Contudo, o que se percebe é que não tem evoluído de maneira contínua e abrangente ao longo do tempo, provocando modificações profundas no sistema de produção da região, com a intensificação e concentração dos sistemas produtivos de suínos, aves, bovinocultura de leite, fumo e grãos.

O desenvolvimento das propriedades familiares integradas tem proporcionado uma maior ascensão social, através dos “binômios”: milho × suíno; milho × leite ou milho × aves, que permitem a combinação das lavouras com as criações, ao invés de produzir apenas grãos. Nos últimos anos, estes sistemas de produção tornaram-se mais concentrados, causando uma maior pressão ao meio ambiente, e principalmente ao uso do solo que passou a receber altas cargas de dejetos animais e de produtos químicos. Este processo tem proporcionado o distanciamento ainda maior das pequenas unidades familiares do sistema de produção agrícola que garanta a conservação, melhoria e sustentabilidade dos solos da região.

O fato da agricultura familiar estar apoiada no segmento agroindustrial está instintivamente relacionado à localização geográfica da região em relação ao mercado consumidor. Os maiores mercados consumidores estão distantes “forçando” a produção de alimentos industrializados dentro de cadeias de produção denominadas complexo agroindustrial.

Mas hoje, dentro das atuais circunstâncias, o surgimento de novos modelos, novos espaços, e, principalmente, a modificação da postura do mercado consumidor, os agricultores familiares não inseridos no sistema de produção verticalizado das agroindústrias, buscam resgatar suas vidas econômicas através do fortalecimento da produção de alimentos com alto valor agregado.

Por outro lado, de acordo com Altmann (1997), os agricultores inseridos no processo de transformação da agroindústria decidem cada vez menos sobre o que e como produzir.

O processo tecnológico de produção origina-se de fora da agricultura e, assim, a exploração agrícola tem seu equilíbrio interno desestruturado, na medida em que ela passa a depender de uma tecnologia que não é mais capaz de gerar. Esta tecnologia, em geral, altera-lhe profundamente as condições de produção e leva a exploração agrícola a uma maior interdependência com o mercado, tanto de insumos quanto de produtos (ALTMANN, 1997, p. 28).

O mercado exige das empresas agroindustriais redução de custos para manterem-se competitivas no império alimentar mundial, as quais intensificam cada vez mais o sistema de produção, gerando transformações que causam a desestruturação das explorações agrícolas, dos solos, bem como, a sua contaminação por dejetos e agroquímicos utilizados neste sistema de produção. Por sua vez, a pequena unidade de produção familiar ainda menos detentora dos valores existentes na “mãe terra”, que depois de poluída e empobrecida passa a depender ainda mais desse sistema distanciando-se da sustentabilidade e equidade social.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O processo histórico de ocupação e colonização baseado na comercialização de pequenas áreas de terra, as “colônias”, foi o fator determinante para a formação da atual estrutura fundiária desta região, com predomínio de pequenas unidades de produção familiares. O sistema de produção baseado na produção de alimentos parte, no primeiro momento, da necessidade de produzir a subsistência, e, em seguida, produzir excedentes para comercializar e gerar recursos para pagar a terra e melhorar a estrutura produtiva e a qualidade de vida da família. Este sistema de produção foi baseado na fertilidade natural do solo e na força de trabalho da família.

O fato de a região ser constituída de pequenas unidades de produção familiares diversificadas possibilitou, até o presente momento, o desenvolvimento de outros setores e segmentos da sociedade, bem como a consolidação de um grupo de agricultores que se apoiaram no uso intenso dos solos e demais recursos naturais das unidades. Porém, por outro lado, é notável a exclusão de uma expressiva parcela destes agricultores, haja vista os diferentes sistemas de produção que exploram, degradam e empobreceram os solos e os recursos naturais da região.

Se permanecer na região a utilização do modelo hegemônico que prioriza o uso intenso do solo como capital, determinando a aplicação de grandes quantidades de insumos químicos e a concentração da produção de animais, os danos ao meio ambiente, principalmente ao solo, serão irreversíveis. Dentro dessa ótica, a região perderá espaço para outras regiões brasileiras. Sendo assim, é fundamental aproveitar a organização familiar e não somente os ganhos de escala e produtividade.

Não se pode perder de vista que a agricultura de caráter familiar constituída no processo de colonização foi a base para o desenvolvimento desta região. Vale lembrar o que se a agricultura familiar deixar de ser diversificada e assumir outros modelos de organização, certamente perderá competitividade (TESTA et. al, 1996).

Desta forma, a diversificação, que é uma característica histórica destas pequenas unidades de produção familiares da região, deve ser considerada no momento que se pensa em projetos de desenvolvimento, com o pano de fundo a melhoria da infraestrutura produtiva, dando destaque para a utilização racional do solo.

## REFERÊNCIAS

ALTMANN, R. **A Agricultura Familiar e os Contratos:** Reflexões sobre os Contratos de Integração, a Concentração da Produção e a Seleção de Produtores. Florianópolis. 1997. 28 p.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia:** as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. 240 p.

BATTISTELLA, V. **Painéis do passado:** a história de Frederico Westphalen em sessenta quadros de literatura amena. Frederico Westphalen: Ed. Gráfica Marin, 1969.

BARBOSA, F. D. **Campo dos Bugres.** Porto Alegre: Livraria Sulina Ed., 1975. 99 p.

BRUM, A. J. **Modernização da agricultura:** trigo e soja. Petrópolis: Ed. Vozes. 1987.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro.** Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília, 1965.

COSTABEBER, J. A. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais - Agudo, RS.** 1989. 295 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

ENDERLE, A. T. **Palmitinho, origem e trajetória histórico-cultural**. Frederico Westphalen: URI Ed., 1996. 400 p.

FAO. **Desenvolvimento Agropecuário: Da Dependência ao Protagonismo do Agricultor**. (FAO), Santiago, Chile. 1995,1996. 42 p.

FERIGOLLO, W. A. **Rostos e rastros no Barril 1954-2004**. Frederico Westphalen: Ed. Pluma, 2004.

LAMARCHE, H. **Agricultura familiar: comparação internacional**. Tradução: Tijiwa, A. M. N. 2. ed. v.1. Campinas, SP: Ed. da UNICAMP, 1997. 336 p.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. Porto Alegre: EST Ed., 2002. 118 p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Ed. Instituto Piaget, 1998. 520 p.

NEUMANN, P. S. **O impacto da fragmentação e do formato das terras nos sistemas de familiares de produção**. 2003. 315 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PELEGRINI, G.; GAZOLLA, M. **A agroindústria familiar no Rio Grande do Sul: limites e potencialidades a sua reprodução social**. Frederico Westphalen: Ed. da URI, 2008.

PESAVENTO, S. J. **Agropecuária colonial & industrialização**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1983. 226 p.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 85-96, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. **Inventário florestal contínuo**. Disponível em <[www.aquaonline.com.br](http://www.aquaonline.com.br)>. Acesso em 10 set. 2002.

ROMEIRO, A. R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume/FAPESP, 1998. 272 p.

SANTOS, J. R. Q.; SANTOS, J. C. T. **Rio Grande do Sul: Aspectos da história**. Porto Alegre: Martins Livreiro Ed., 1989. 102 p.

SANTOS, N. **Balsas e balseiros do Uruguai: reflexos e impactos para a historiografia da Nonoai**. Chapecó: Ed. Estampa Editora Gráfica, 2005.

SILVA NETO, B.; FRANTZ, T. R. **Avaliação e Caracterização Sócio-Econômica dos Sistemas Agrários do Rio Grande do Sul**. Relatório de Pesquisa RS-Rural – Estudo especial. DEAG/UNUJUÍ, Ijuí, 2001. 188 p.

SILVA NETO, B; BASSO, D. **Sistemas Agrários do Rio Grande do Sul: análise e recomendações políticas**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2005. 312 p.

SPONCHIADO, B. A. **Imigração & 4ª Colônia:** Nova Palma & Pe. Luizinho. Santa Maria: Editora da UFSM, 1996. 351 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 107 p.

TAGLIETTI, D. B. **Leis de terras e a colonização do Médio Alto Uruguai-RS 1917-1960.** Frederico Westphalen: Ed. URI, 2006.

TESTA, V. M.; NADAL, R.; MIOR, L. C.; BALDISSERA, I. T.; CORTINA, N. **O Desenvolvimento Sustentável do Oeste Catarinense:** Uma Proposta para Discussão. Epagri, Florianópolis. 1996. 149 p.

THÉRY, H.; MELLO, N. A. **Atlas do Brasil:** Disparidades e dinâmicas do território. São Paulo: Editora da USP, 2005.

# CAPÍTULO II

---

## Aptidão agrícola dos principais solos das áreas de agricultura familiar do Sul do Brasil

*Jesse Rodrigo Fink<sup>1</sup> & Fabrício de Araújo Pedron<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal do Paraná (IFPR), Laboratório de Solos, Av. Bento Munhoz da Rocha Neto s/nº, PRT-280, Trevo da Codapar, CEP 85555-000, Palmas, PR, Brasil. E-mail: jesse.fink@ifpr.edu.br. Autor para correspondência

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: fapedron@ufsm.br

### Sumário

INTRODUÇÃO .....	35
1 OS SOLOS E SUA FORMAÇÃO .....	35
2 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS EM PEQUENAS PROPRIEDADES DO SUL DO BRASIL..	38
2.1 Neossolos .....	38
2.2 Cambissolos .....	39
2.3 Chernossolos.....	41
2.4 Latossolos.....	41
2.5 Nitossolos.....	42
2.6 Gleissolos .....	42
3 CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DAS TERRAS .....	43
3.1 Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras .....	44
4 LIMITAÇÕES AGRÍCOLAS DAS TERRAS.....	45
4.1 Deficiência de fertilidade .....	46
4.2 Deficiência de água .....	47
4.3 Deficiência de oxigênio .....	48
4.4 Suscetibilidade de erosão .....	48
4.5 Impedimentos à mecanização .....	48
5 CLASSES DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS.....	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
REFERÊNCIAS .....	51

## INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre os solos e suas principais características é fundamental para a adequação do uso e das práticas de manejo. A adequação do uso do solo e das práticas agrícolas é bastante complexa, pois abrange conhecimentos adquiridos nas diversas áreas da Ciência do Solo, como física, química, biologia, fertilidade, gênese, classificação e mineralogia.

O uso correto do solo, conjugado com práticas agrícolas conservacionistas, levam à conservação ou preservação do solo. É muito comum a sociedade entender que a *conservação do solo* é negativa porque limita a sua utilização. Enquanto que, em sua concepção, a conservação do solo visa o uso eficiente do solo, explorando-o ao máximo e aumentando a produtividade ao longo do tempo de forma a minimizar os prejuízos agrícolas ou ambientais para o solo ou à água. Isso acarreta em maior lucratividade para o produtor rural e maiores benefícios para o meio ambiente e a população rural e urbana.

A adequação do uso do solo pode ser realizada por meio do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. Visando o contexto brasileiro, esse sistema aborda níveis de manejos diferentes de acordo com a condição técnica, financeira e cultural do produtor rural. Como foi detalhada no Capítulo I desse livro, a maioria dos agricultores pratica a agricultura familiar, onde, normalmente, é empregado um nível de manejo com baixo investimento tecnológico.

Dessa forma, esse capítulo tem como objetivo (i) abordar assuntos relacionados à formação e as características básicas de cada classe de solo que ocorre na região foco deste documento, e (ii) destacar a importância da avaliação da aptidão agrícola dos solos, mostrando as principais limitações agrícolas que podem ser encontradas nas áreas aptas para as atividades agro-silvi-pastoris.

## 1 OS SOLOS E SUA FORMAÇÃO

Em meados do século XIX, um geógrafo russo chamado Vasily Dokuchaev iniciava um trabalho de separação de classes de solo afim de atribuir diferentes taxas tributárias para cada tipo de solo. Assim, o proprietário rural pagava os impostos de acordo com a capacidade produtiva da sua terra. Neste trabalho, Dokuchaev verificou que não era somente o material de origem que influenciava a formação do solo, mas sim fatores como o clima e topografia, além do tempo disponível para a sua formação. Este conceito foi utilizado e melhorado pelo suíço Hans Jenny que, em 1941, em sua obra intitulada “Factors of Soil Formation”, atribui a formação do solo à interação dos cinco fatores: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (JENNY,

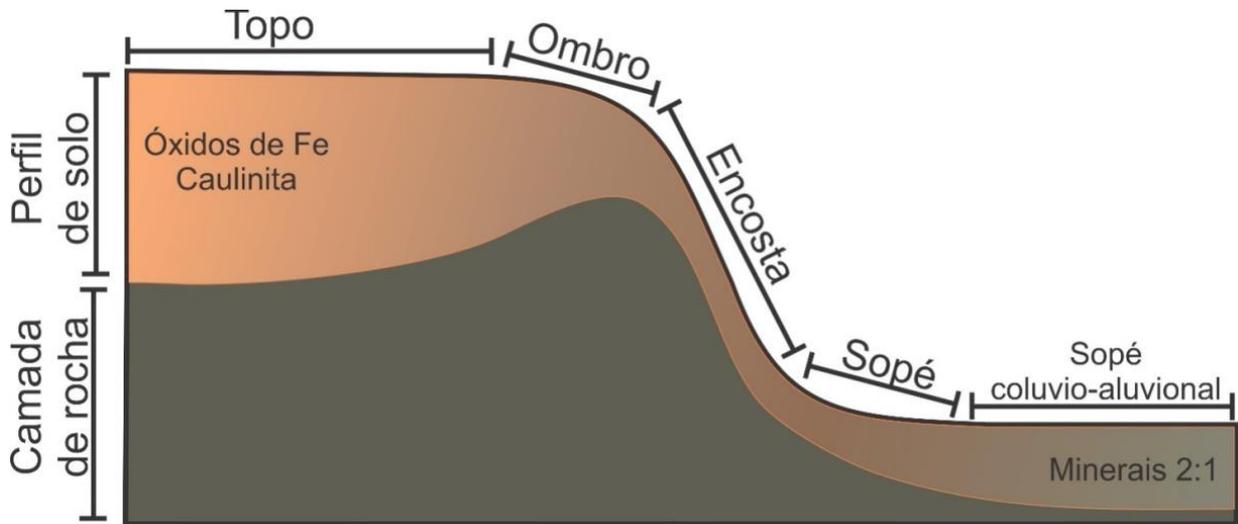
1941). Assim, o solo pode ser definido como o produto formado pela ação do clima e organismos em um material de origem, condicionado por um relevo, durante um certo período de tempo.

No Sul do Brasil, assim como em todo o território nacional, são verificados diversos materiais de origem de solos: rochas ígneas intrusivas (granito, diorito, granodiorito, gabro), rochas ígneas extrusivas (riólito, riodacito, basalto), rochas sedimentares clásticas (arenito, siltito e argilito), rochas sedimentares químicas (calcário, gesso) e rochas metamórficas (gnaisse, mármore, quartzito, micaxisto, itabiritos) (FONTES, 2012). Estas rochas apresentam diferentes composição química-mineralógica, texturas, acidez, fragmentação e susceptibilidade de intemperismo. No entanto, na região foco deste documento (Noroeste do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR – Capítulo I) há um considerável predomínio de solos derivados de rochas extrusivas de caráter básico, comumente generalizadas como basalto, embora outras rochas do mesmo grupo também possam estar presentes. O basalto é uma rocha de cor escura com considerável conteúdo de minerais que contém Fe e Mg (minerais ferromagnesianos), como os piroxênios, anfibólios, olivinas e magnetita (LEINZ; AMARAL, 1989). Estes minerais intemperizam rapidamente, originando solos argilosos com minerais 2:1 expansivos em zonas com drenagem restrita e com caulinita e óxidos de Fe em zonas com livre drenagem (KÄMPF; CURI, 2012). Como o basalto é o material de origem comum dos solos da região foco, as diferenças pedológicas entre as classes de solo são predominantemente influenciadas pelo relevo e pelo clima.

O relevo tem papel bastante dinâmico na formação do solo, tanto por efeitos diretos quanto indiretos nos processos de formação (adição, remoção, translocação e transformação). Os diferentes solos encontrados na paisagem tiveram sua formação dependente da sua posição nos diferentes compartimentos da paisagem (topo, ombro, encosta, sopé e sopé colúvio-aluvional – Figura 6). A posição na paisagem influencia diretamente na drenagem do solo, no transporte e deposição de sedimentos, lixiviação, translocação e redeposição de materiais solúveis (KÄMPF; CURI, 2012).

Solos desenvolvidos na posição de topo apresentam condições adequadas para a movimentação vertical da água, propiciando lixiviação de cátions, aprofundamento do perfil do solo e evolução mineralógica mais intensa, geralmente com presença de óxidos de Fe (aqui, predominam os processos pedogenéticos de transformação e remoção). Em contraponto, na posição ombro e encosta há considerável movimentação lateral de água, tanto superficial quanto subsuperficial, fazendo com que a superfície apresente alta susceptibilidade à erosão (aqui, predomina o processo pedogenético de remoção). Logicamente, nestas duas posições, a menor infiltração de água e o transporte de sedimentos fazem com que os solos formados tenham

menores profundidades efetivas. Os sedimentos carregados por processos erosivos tendem a se depositar nas zonas denominadas sopé e sopé colúvio-aluvional, onde o processo pedogenético de adição é predominante. Também, no sopé colúvio-aluvional ocorrem adições de materiais fluviais, oriundos de diferentes ambientes e de diferentes composições físico-química.



**Figura 6.** Profundidade do perfil e mineralogia do solo em função dos elementos de um relevo.

O efeito indireto do relevo na gênese dos solos ocorre pela sua influência nas condições de temperatura e umidade no ambiente de formação. A temperatura varia de acordo com a altitude (6° C diminuem a cada 1000 m de elevação do terreno) e da exposição solar. Ambiente com temperaturas mais baixas acumulam maiores teores de matéria orgânica (MO), como um resultado da diminuição da atividade biológica. Como consequência, a composição mineralógica destes solos é diferente daqueles presentes em zonas de maiores temperaturas médias. Da mesma forma, zonas de encosta e ombro expostas diretamente à radiação solar têm temperaturas médias diárias maiores daquelas onde a radiação solar é tangente.

Efeitos orográficos<sup>1</sup>, geralmente, causam um aumento pluviométrico com a altitude. Além disso, a menor temperatura diminui a evapotranspiração, aumentando a quantidade de água disponível durante maior período de tempo para as reações químicas do intemperismo e para a lixiviação dos cátions dissolvidos. Já nas zonas de encosta, a movimentação predominantemente lateral faz com que a frente de intemperismo avance em menor velocidade, devido à menor quantidade de água disponível. Nas zonas de sopé e sopé colúvio-aluvional o lençol freático se encontra mais próximo da superfície, diminuindo, por vezes, a lixiviação de cátions e retardando a evolução do intemperismo.

<sup>1</sup> Efeito orográfico é também chamado "chuvas de relevo". Quando uma massa de ar encontra uma encosta, ela se eleva, entrando em contato com o ar frio, provocando sua condensação e favorecendo a ocorrência das precipitações resultando no chamado efeito orográfico.

Nas regiões do noroeste gaúcho, oeste catarinense e sudoeste paranaense, predomina o relevo forte ondulado a montanhoso. Estas regiões apresentam diferenças de altitude, caracterizando serras entrecortadas por rios, onde a declividade do terreno está associada à formação de solos rasos a pouco profundos. Em parte da região também pode ser encontrada relevo de planalto, com declividades mais suaves e solos mais profundos.

## **2 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS EM PEQUENAS PROPRIEDADES DO SUL DO BRASIL**

A região foco deste documento tem como característica um relevo montanhoso, onde todos os compartimentos da paisagem estão presentes (Figura 6) e, como visto anteriormente, influenciaram os processos pedogenéticos. A interação das diferentes condições ambientais (relevo e clima) desencadeiam processos pedogenéticos que determinaram as características mineralógica, química e físicas de cada solo. Estas características são consideradas pelos diferentes elementos diagnósticos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), permitindo a separação dos solos em classes homogêneas.

Como apresentado brevemente no Capítulo I, as principais classes de solo presentes na região foco deste documento são os Neossolos, Cambissolos, Chernossolos, Latossolos, Nitossolos e Gleissolos. A seguir, será descrito em maiores detalhes o ambiente de ocorrência e as características químicas, físicas e mineralógicas destes solos baseadas em Streck et al. (2008) e Embrapa (2013).

### **2.1 Neossolos**

*Ocorrência:* Esta classe de solo é bastante representativa na região foco deste documento e encontram-se associados à outras classes. Os Neossolos são solos rasos e que ocorrem, geralmente, em áreas de declividade acentuada (encostas), sob relevo ondulado a montanhoso (8 a 75% de declividade) (Figura 7a).

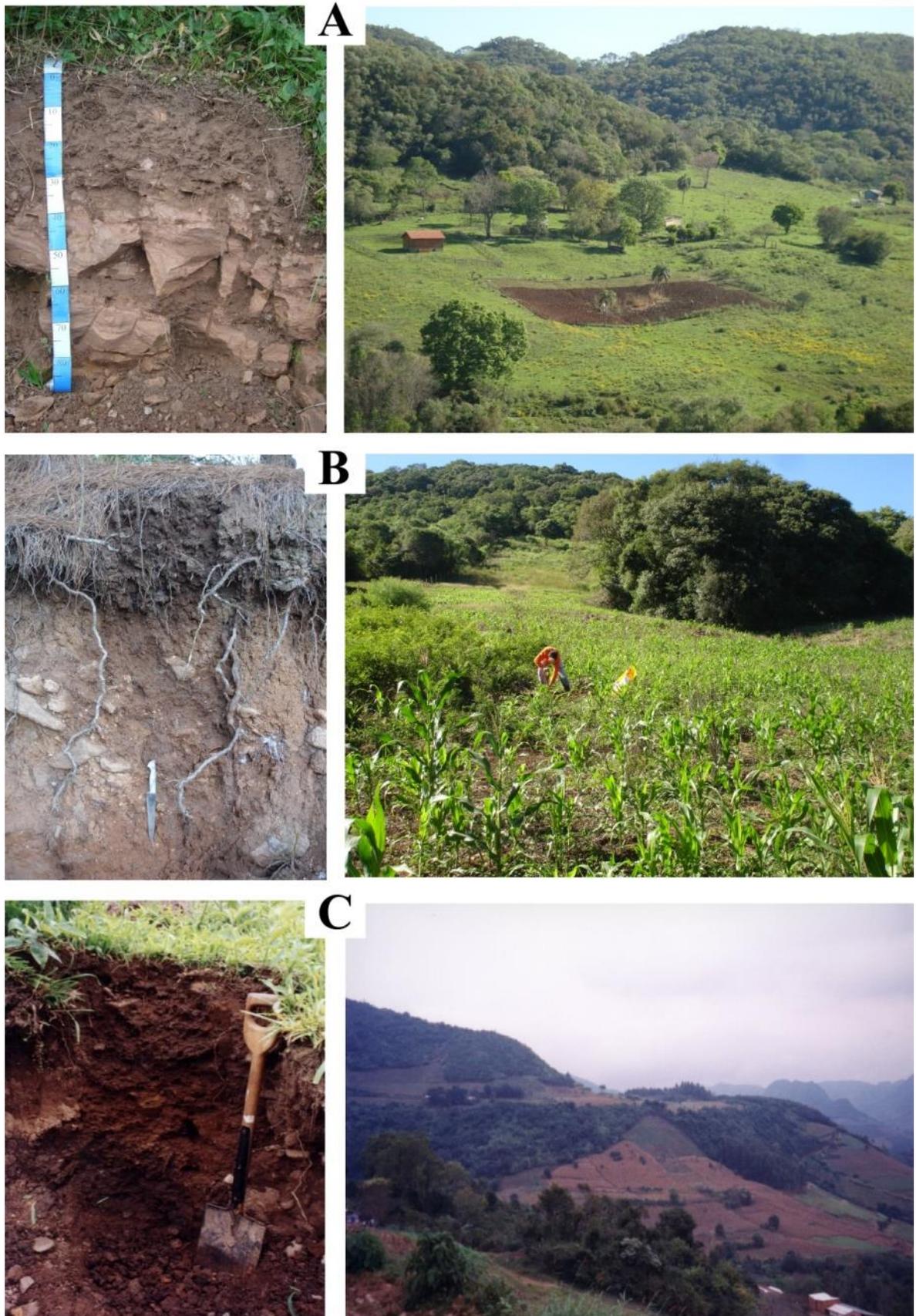
*Características:* estes solos apresentam um perfil pouco desenvolvido, ou seja, são muito rasos. A principal diferença entre as classes de Neossolos é a espessura da camada sobreposta à rocha dura (contato lítico). Enquanto os Neossolos Litólicos apresentam essa camada com até 50 cm de profundidade, os Neossolos Regolítico tendem a apresentar uma camada saprolítica com a rocha posicionada em profundidades variáveis, mas geralmente abaixo de 100 cm. Os Neossolos apresentam problemas com infiltração de água por se localizarem geralmente em terreno de declividade acentuada. Esta característica torna-se ponto chave para o manejo destes

solos. A principal dificuldade para cultivar os Neossolos, principalmente os da subordem Litólico, é o armazenamento de água no solo, devido sua baixa capacidade de retenção d'água e disponibilização às plantas em momentos de restrição hídrica. Por outro lado, a camada conhecida como saprolito (zona de transição entre o solo e a rocha) pode apresentar capacidade de retenção de água de mesma magnitude do que o próprio solo (PEDRON et al., 2011). As características químicas e a fertilidade destes solos apresentam grande variabilidade, sendo condicionadas pelo acúmulo de MO na superfície. No geral os Neossolos da região em questão apresentam alta capacidade de troca de cátions (CTC) e alta saturação por bases, sendo por isso, muito procurados para o cultivo agrícola. Entretanto, estes solos ocorrem nas porções mais declivosas da paisagem, fato que promove uma série de limitações ao seu cultivo e preservação.

## **2.2 Cambissolos**

*Ocorrência:* Os Cambissolos predominam em relevo ondulado a forte ondulado (8 a 45% de declividade), embora possam ocorrer em diversas posições da paisagem (Figura 7b).

*Características:* os Cambissolos são considerados solos em transformação. Estes solos apresentam características variadas quanto à profundidade e drenagem, além de comumente apresentarem fragmentos de rocha maiores que 2 mm no horizonte B, que podem estar próximo da superfície do solo. Normalmente, a textura do solo apresenta alto teor de argila + silte, mas quando o perfil é pouco desenvolvido, pode apresentar limitação na capacidade de armazenamento de água. Em cotas mais altas às condições de drenagem geralmente são melhores. Estes solos apresentam características químicas variáveis, mas são menos ácidos do que os Latossolos e Nitossolos, salvo condições específicas em zonas de alta altitude. Além disso, estes solos têm uma considerável reserva mineral, devido ao menor grau de intemperismo, o que pode ser visualizado pela presença abundante de fragmentos de rochas ou saprolitos no perfil.



**Figura 7.** Classes de solo típicas da região noroeste do RS, oeste de SC e sudoeste do PR (perfis de solos e paisagens de ocorrência). A: Neossolo; B: Cambissolo; C: Chernossolo (fotos dos autores).

## 2.3 Chernossolos

*Ocorrência:* os Chernossolos ocorrem em áreas onde o relevo é plano a suave ondulado (0 a 8% de declividade), ou até em encostas com pouca declividade (Figura 7c), podendo aparecer associados com Neossolos e Cambissolos.

*Características:* Os Chernossolos apresentam características físicas e químicas favoráveis ao desenvolvimento de culturas de sequeiro. De maneira geral são solos medianamente profundos, com perfil em torno de um metro de profundidade. Suas características físicas indicam uma razoável a boa condição de drenagem natural, porém as condições de drenagem estão relacionadas com a classe textural do solo. Também, esses solos apresentam boa capacidade de armazenamento de água. Os Chernossolos apresentam grande conteúdo de MO que, somados a sua origem basáltica, conferem boa condição de fertilidade natural. Além disso, estes solos apresentam baixo teor de alumínio extraível, fato que corrobora para o bom desenvolvimento das culturas instaladas.

## 2.4 Latossolos

*Ocorrência:* Latossolos são formados em áreas com relevo plano a suave ondulado (0 a 20% de declividade), com boa drenagem, geralmente, ocorrendo em topos de coxilhas (Figura 8a).

*Características:* os Latossolos são solos profundos, podendo alcançar vários metros de profundidade, e, geralmente, possuem altos teores de argila e baixo conteúdo de areia. A fração argila protege fisicamente a MO do ataque microbiano, sendo solos propícios a acumular carbono orgânico, desde que manejados corretamente. A mineralogia da fração argila destes solos é bem desenvolvida, apresentando predomínio de caulinita, óxidos e hidróxidos de Fe (hematita, goethita e maghemita) e Al (gibbsita). Em zonas de maior altitude a relação goethita/goethita+hematita é maior, resultando em solos de cores brunadas, enquanto que a menor relação atribui ao solo tons avermelhados. A gibbsita geralmente ocorre em zonas com maior intensidade pluviométrica, como um resultado da intensa lixiviação dos cátions resultantes do intemperismo e acúmulo relativo de Al. Devido à composição mineralógica, os Latossolos tem baixa capacidade de troca de cátions (CTC), a qual é dependente dos grupos funcionais da MO, e alta capacidade de adsorção de P (FINK et al., 2014, 2016). O grau de intemperismo avançado faz com que a acidez destes solos seja elevada e a reserva mineral seja praticamente nula. No entanto, o alto teor de argila associado com a MO favorece a agregação do solo

induzindo à uma boa taxa de infiltração e retenção de água, baixa susceptibilidade à erosão e grande capacidade de suporte de carga.

## **2.5 Nitossolos**

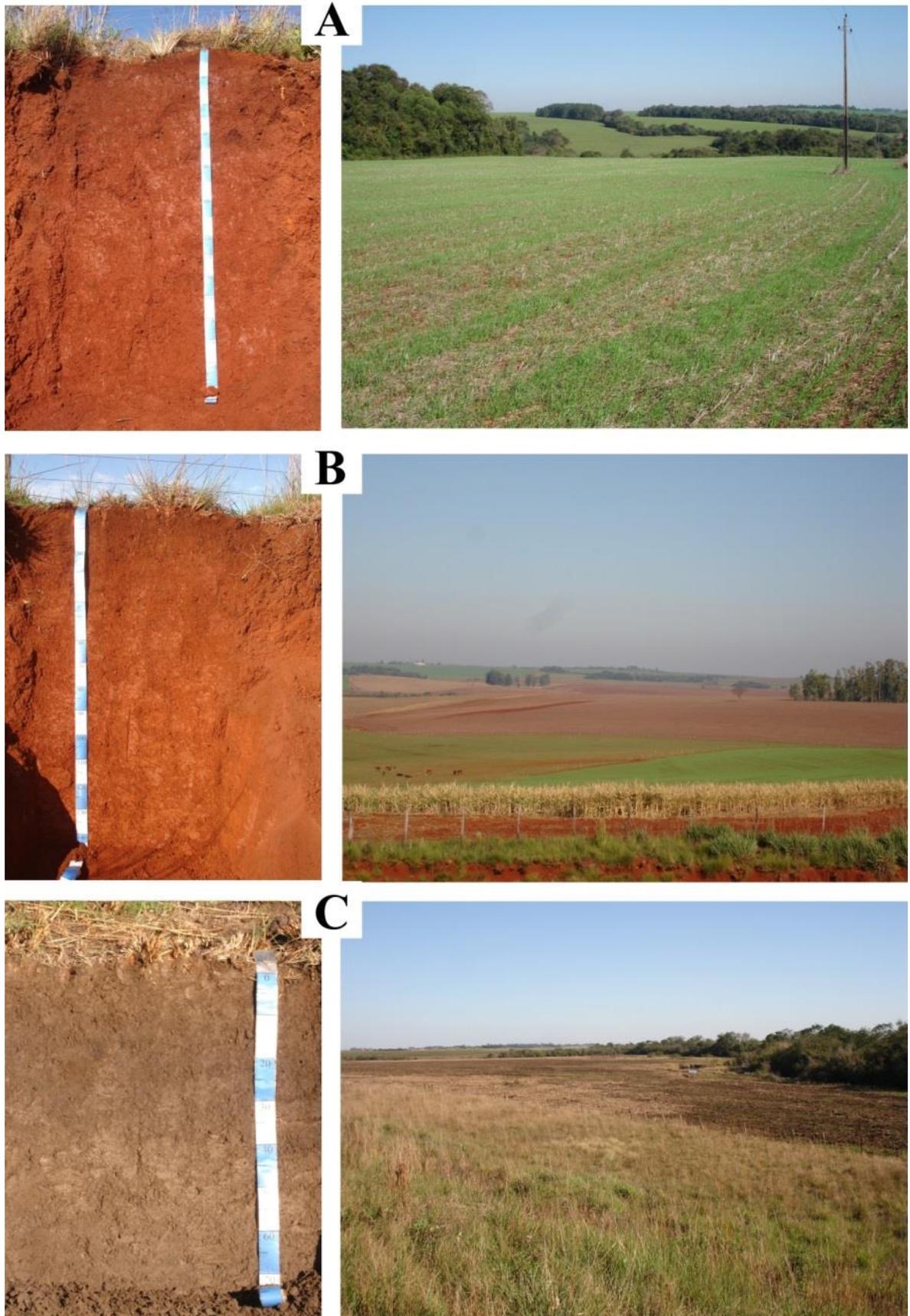
*Ocorrência:* Nitossolos ocorrem em áreas com relevo variando de plano a ondulado (0 a 20% de declividade) e com boa drenagem (Figura 8b).

*Características:* os Nitossolos tem características químicas e mineralógicas semelhante aos Latossolos. A diferença entre estas duas classes de solos é o acúmulo de argila em profundidade nos Nitossolos, porém em quantidade inferior àquela observada nos Argissolos. Este fato pode tornar o Nitossolo mais susceptível à erosão do que o Latossolo. O aumento do teor de argila em profundidade pode diminuir a taxa de infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial e início de processos erosivos. Em alguns casos os Nitossolos tendem a ser menos ácidos que os Latossolos, facilitando o manejo da sua fertilidade.

## **2.6 Gleissolos**

*Ocorrência:* os Gleissolos ocorrem em áreas de relevo plano a suave ondulado (0 a 8% de declividade). Estão associados a pequenas várzeas formadas entre as coxilhas ou a patamares em morros onde ocorrem surgências (vertentes) de água (Figura 8c).

*Características:* os Gleissolos são solos formados pelo processo de gleização, o qual demanda um ambiente de saturação hídrica em boa parte do ano, por isso, os Gleissolos tendem a serem solos hidromórficos. Esta classe de solo pode apresentar um perfil arenoso, quando formado por sedimentos, ou ainda, perfil com gradiente textural, com presença de horizonte B textural, neste caso, se assemelhando aos Planossolos, com os quais, frequentemente ocorrem associados. Os Gleissolos são solos que limitam os cultivos de sequeiro devido à saturação com água ou excesso de umidade. Em termos de fertilidade podem variar de solos com boa fertilidade natural a solos dessaturados de bases e baixa fertilidade natural.



**Figura 8.** Classes de solo típicas da região noroeste do RS, oeste de SC e sudoeste do PR (perfis de solos e paisagens de ocorrência). A: Latossolo; B: Nitossolo; C: Gleissolo (fotos dos autores).

### **3 CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DAS TERRAS**

No Brasil existem dois sistemas já consolidados para a classificação técnica das terras, o Sistema de Aptidão Agrícola das Terras de Ramalho Filho e Beek (1995) e o Sistema de Capacidade de Uso das Terras, recentemente atualizado por Lepsch et al. (2015). Inicialmente, vale ressaltar que estes sistemas trabalham como o conceito de “terra”, o qual é mais amplo que o conceito de “solo”. Quanto avaliamos o potencial de uso das terras, além dos solos, também consideramos as limitações impressas pelos demais elementos da paisagem, tais como a geologia, o relevo, o clima e a vegetação.

A diferença mais importante entre estes dois sistemas citados é que o Sistema de Aptidão Agrícola das Terras considera três níveis de manejo, permitindo perceber a aptidão das terras em situações naturais, onde não há melhoramento das terras pelo emprego de capital e tecnologia até a situação oposta, onde o emprego de capital e tecnologia permitiria resolver a maioria das limitações ao uso agrícola. Já o Sistema de Capacidade de Uso das Terras considera apenas um nível de manejo, caracterizado pela alta tecnologia e capital. Portanto, quando trabalhamos com agricultura familiar, precisamos considerar o baixo emprego de capital e tecnologia, sendo nestes casos, o Sistema de Aptidão Agrícola das Terras mais adequado.

#### **3.1 Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**

O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras é um sistema brasileiro de avaliação técnico-interpretativa dos levantamentos de solos, publicado pela primeira vez em 1978. A atual versão do sistema (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) visa identificar qual é a aptidão agrícola das terras de acordo com o levantamento de solos de uma área, considerando atributos como solo, clima, vegetação e geomorfologia, em função do nível de manejo utilizado e das limitações agrícolas.

O sistema identifica quatro tipos de usos da terra: 1 – lavoura; 2 – pastagem plantada; 3 – pastagem natural e/ou silvicultura; e 4 – preservação da flora e da fauna. O uso lavoura refere-se à utilização intensiva do solo, onde há cultivo de duas ou três culturas durante o ano associado à intervenção humana. No uso pastagem plantada, pressupõe-se que a intervenção humana no ambiente ocorra em menor intensidade do que na lavoura, limitando-se à uma ou duas vezes ao ano. Na pastagem natural, podendo ser melhorada, ou silvicultura não há ou há muito pouca intervenção no ambiente natural; no caso da silvicultura as intervenções drásticas ocorrem a cada 5–10 anos.

Os usos das terras podem receber três níveis de manejo: A – nenhuma tecnologia e pouco capital investido; B – modesta aplicação de capital e tecnologia; C – alta e intensa aplicação de tecnologias e capital. No nível A pode ser observado em regiões muito pobres, onde a força humana é a principal fonte de energia para o trabalho; não há utilização de máquinas ou insumos. No nível de manejo B, considera-se que o agricultor utiliza tração animal para realização dos trabalhos e eventualmente tração mecânica, com tratores e implementos adequados, além da utilização de insumos, porém eventualmente. Por último, o nível de manejo C considera a intensa utilização de tração mecânica para os trabalhos, insumos agrícolas e tecnologias associadas às máquinas, sementes e agroquímicos.

O uso da terra como lavoura permite a utilização dos três níveis de manejo. Na região foco do documento, os níveis predominantes são o B e o C. O nível B é comum em regiões muito declivosas e pequenas propriedades rurais, principalmente, sobre Neossolos e Cambissolos. O nível de manejo C é praticado em propriedades maiores, geralmente associados a áreas mais planas sobre Latossolos, Nitossolos ou Chernossolos.

Para o uso da terra com pastagem plantada ou silvicultura pressupõe-se que há pouca intervenção humana, sendo que somente o nível de manejo B é considerado para esta classe de uso. Ainda, para o uso da terra com pastagem natural e preservação da flora e fauna, o nível de intervenção humana é muito baixa, sendo utilizado o nível de manejo A.

Os níveis de manejo são adotados de acordo com o capital disponível, a cultura, o nível técnico do agricultor e do nível técnico da comunidade, visando contornar algumas limitações agrícolas, como fertilidade do solo, susceptibilidade à estiagens (ou secas), susceptibilidade à inundações, impedimentos à mecanização e susceptibilidade à erosão.

Considerando um mesmo nível de manejo, à medida que as limitações aumentam de intensidade, o potencial de uso da terra diminui. No entanto, se considerarmos duas terras (X e Y), sendo a X com limitações um pouco mais graves do que a terra Y e estando a terra X sob nível de manejo C e a Y sob nível de manejo A; pode-se imaginar que a terra X apresentará aptidão agrícola igual ou superior a Y, visto que o nível de manejo é capaz de contornar as limitações agrícolas presentes na área. Respeitando as questões étnico-culturais (Capítulo I), muitas vezes o nível de manejo limita a exploração adequada da capacidade produtiva de uma terra.

#### **4 LIMITAÇÕES AGRÍCOLAS DAS TERRAS**

O nível em que as limitações agrícolas se encontram em uma terra, por vezes, pode ser impeditivo de sua utilização, sendo então considerada inapta para o uso em questão. No entanto,

conforme diminui a intensidade das limitações, a terra passa a ser enquadrada nas classes de aptidão restrita, regular e boa (Tabela 1). Assim, uma terra pode ter aptidão boa ou regular ou restrita para silvicultura, por exemplo.

**Tabela 1.** Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras, nos diferentes tipos de utilização e níveis de manejo considerados (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

Classe de aptidão agrícola	Tipo de utilização					
	Lavouras			Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural
	Níveis de manejo			Nível de manejo	Nível de manejo	Nível de manejo
	A	B	C	B	B	A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

As limitações agrícolas podem apresentar diferentes graus de intensidade: 1 – nula, onde o carácter avaliado não apresenta impedimentos ao uso da terra; 2 – ligeira, onde práticas de baixa intensidade podem corrigir ou contornar a limitação; 3 – moderada, onde práticas mais intensas são necessárias para permitir o uso da terra; 4 – forte, onde técnicas intensas e sofisticadas são necessárias; 5 – muito forte, onde mesmo com a utilização de técnicas modernas e intensas, por vezes, não há como contornar a limitação agrícola e viabilizar o uso da terra.

Nesta metodologia, para a análise das condições agrícolas das terras, os seguintes fatores agrícolas são considerados: **deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.** Neste caso, os diferentes graus de limitações vistos acima são verificados para cada fator agrícola, por exemplo, em relação a deficiência de fertilidade a terra apresentará grau de limitação nulo, ligeiro, moderado, forte ou muito forte. E com estas informações poderemos determinar a classe de aptidão agrícola (boa, regular, restrita ou inapta). Para maiores detalhes sobre a classificação técnica pelo Sistema de Aptidão Agrícola das Terras veja Ramalho Filho e Beek (1995).

#### 4.1 Deficiência de fertilidade

A fertilidade do solo refere-se à capacidade que o solo tem de suprir adequadamente nutrientes às plantas para o desenvolvimento completo do seu ciclo, sem causar deficiências ou toxidez por algum elemento. O aporte de fertilizantes, no nível de manejo B e C, facilmente pode resolver algum problema de nível moderado ou até forte de deficiência de elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas. A utilização de calcário para o ajuste do pH do solo,

neutralização do Al tóxico às plantas ( $Al^{3+}$ ), disponibilização de Ca e Mg e diminuição da adsorção de P, é uma prática comum para ser implantada em qualquer área e permitir a correção desta limitação de fertilidade.

Dentre os solos que ocorrem na região foco deste documento, os Latossolos e os Nitossolos são os que apresentam as principais limitações de fertilidade. Os processos pedogenéticos predominantes em suas formações favoreceram a intensa lixiviação de bases trocáveis ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) e, como resultado é observado o acúmulo relativo de Fe, na forma de óxidos de Fe, e  $Al^{3+}$ . Óxidos de Fe e  $Al^{3+}$ , juntamente com a MO do solo, são importantes fontes de acidez potencial e, especificamente os óxidos de Fe, tem alto potencial de adsorção de fósforo. Em contrapartida, os Chernossolos, Neossolos e alguns Cambissolos são os que dificilmente apresentarão limitações quanto à fertilidade, pois são solos que apresentam altos teores de cátions trocáveis e valores de pH adequados para o cultivo de plantas.

A erosão laminar em áreas declivosas pode afetar a fertilidade dos Neossolos e Cambissolos. Sabe-se que a camada superficial do solo é a que mais contém matéria orgânica, a qual é fonte de nutrientes e de CTC para o solo. Normalmente, a posição da paisagem onde ocorrem estes solos propicia a perda de solo da camada superficial por escoamento superficial, degradando-o quimicamente. Logicamente, as práticas adequadas de conservação do solo evitam estas perdas, diminuindo as limitações da terra quanto à fertilidade do solo.

## **4.2 Deficiência de água**

A deficiência de água é dependente das condições climáticas da região e das condições físicas do solo que afetam a capacidade de armazenamento de água. A região foco deste estudo, principalmente o Noroeste do RS e o Oeste de SC têm tido anos de estiagens prolongadas. Nestes momentos o adequado uso e manejo do solo torna-se ainda mais importante, visando propiciar condições físicas, por exemplo a não compactação, que propiciam a retenção de água no solo.

Solos com altos teores de argila têm maior capacidade de armazenamento de água do que aqueles com baixos teores. Esse parâmetro também está associado à profundidade do perfil do solo. Assim, geralmente, os Latossolos e Nitossolos apresentam maior capacidade de armazenamento de água do que os Neossolos. No entanto, alguns estudos mostram que os Neossolos têm grande capacidade de armazenamento de água na camada de interface com a rocha, o saprolito, onde são observadas raízes de plantas explorando volume considerável deste material.

### **4.3 Deficiência de oxigênio**

A deficiência de oxigênio pode ocorrer de duas formas: saturação do solo com água ou por extrema compactação do solo. O oxigênio tem aproximadamente 10.000 vezes maior difusividade no ar do que na água. Assim, plantas crescidas em áreas sob risco de saturação do solo podem ter insuficiência de suprimento de oxigênio para as raízes e apresentar desenvolvimento alterado. O risco da deficiência de oxigênio por saturação do solo se dá em áreas planas com drenagem imperfeita e próximas a vias de drenagens (rios), como nos Gleissolos ou Neossolos Flúvicos.

Por outro lado, solos extremamente compactado também apresentam baixa difusividade do ar, principalmente devido à menor porosidade total do solo e à descontinuidade dos poros existentes. Este tipo de ocorrência é observado em solos sob mau uso, onde são desencadeados processos de adensamento, selamento superficial e diminuição da porosidade.

### **4.4 Suscetibilidade de erosão**

Solos com alta susceptibilidade à erosão, obviamente, tem aptidão agrícola limitada. Características ambientais, como declividade, e do solo, como textura, capacidade de suporte de carga, presença de gradiente textura e profundidade de perfil, são levadas em consideração para avaliar a susceptibilidade à erosão.

Neste caso, os Neossolos e Cambissolos, os quais apresentam menor profundidade efetiva e tendem a ocorrer em relevo com maior declividade, são as classes mais suscetíveis aos processos erosivos. De acordo com Streck et al. (2008) é muito comum verificar nas áreas de encostas do noroeste do RS a transformação de Chernossolos em Cambissolos ou Luvisolos devido a erosão do horizonte A chernozêmico.

As classes dos Latossolos, Nitossolos e Gleissolos, ocorrem em relevo mais suave, apresentando menor suscetibilidade à erosão, no entanto, demandam manejo conservacionista para que os processos erosivos sejam minimizados. Ressaltamos que a erosão é um dos principais processos de degradação dos solos, ocasionando perdas irreparáveis na sua qualidade. Os problemas ocasionados devido à erosão do solo serão detalhados nos Capítulos IV e V.

### **4.5 Impedimentos à mecanização**

Este fator refere-se às condições apresentadas pelas terras ao uso de máquinas e implementos agrícolas, sendo muito importante, principalmente, no nível de manejo C, onde há

previsão do uso intenso de máquinas agrícolas. Está relacionado com a extensão, forma e declividade das pendentes, com as condições de drenagem, com a espessura, textura e tipo de argila predominante no solo e com a pedregosidade e rochosidade superficial.

Os solos rasos e pedregosos, como os Neossolos Litólicos, são aqueles que mais impedem a utilização de equipamentos agrícolas. No entanto, solos mais desenvolvidos como os Chernossolos e Cambissolos, e até mesmo Latossolos e Nitossolos, podem ocorrer associados ou apresentar inclusões de Neossolos ou afloramentos rochosos, o que os torna também com alguma limitação à mecanização. Outra situação recorrente nestas áreas é a presença de pedregosidade e rochosidade coluvial, oriunda das áreas mais altas da paisagem, e depositadas em encostas e sopés mais suaves sobre solos mais desenvolvidos, conferindo a estes maiores limitações à mecanização.

Os Gleissolos Háplicos são geralmente hidromórficos, apresentando saturação hídrica frequente e, desta forma, limitando fortemente a mecanização. A saturação do solo com água o torna muito suscetível à deformação com o peso das máquinas agrícolas, o que facilmente acarreta em atolamento de tratores e implementos.

## **5 CLASSES DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS**

Considerando os três níveis de manejo, cinco fatores agrícolas e cinco níveis de limitações (excluindo os níveis intermediários, como nulo/ligeiro, por exemplo), há muitas classes de aptidão agrícola. Na Tabela 2, São apresentadas algumas classes de aptidão agrícola das terras, seus significados, as classes de solo onde geralmente ocorrem, as principais limitações agrícolas e possíveis técnicas de melhoramento das limitações agrícolas observadas.

**Tabela 2.** Interpretação das classes de aptidão agrícola das terras de ocorrência comum no Norte do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR.

Classe de aptidão	Significado	Classes de solo	Principais limitações	Técnicas de melhoramento para os níveis de manejo		
				A	B	C
1ABC	Terras com aptidão boa para lavoura nos níveis de manejo A, B e C	Chernossolos	Não possui limitação	--	-	-
1(a)bc	Terras com aptidão agrícola restrita para o nível de manejo A, regular para B e boa para o C	Latossolos e Nitossolos	Deficiência de fertilidade para os três níveis de manejo	Adubação verde	Fertilizantes orgânicos e minerais	Correção da acidez do solo e utilização de NPK
3(abc)	Terras com aptidão agrícola restrita para lavoura nos níveis de manejo A, B e C.	Cambissolos, Neossolos e Gleissolos	Susceptibilidade à erosão para os níveis de manejo A e B e impedimento à mecanização para o nível C	Cultivo em faixas, áreas de pousio em faixas	Cobertura vegetal, cultivo com práticas conservacionistas	Remoção de pedras, trabalho da máquina em nível
4p	Terras com aptidão agrícola regular para pastagem plantada.	Neossolos e Cambissolos	Deficiência de água moderada/forte e susceptibilidade à erosão forte para o nível e manejo B	-	Terraços, pastoreio controlado, manutenção de palhada	-
5(s)	Terras com aptidão agrícola restrita para silvicultura	Neossolos e Cambissolos	Deficiência de fertilidade muito forte para o nível de manejo B	Sem possibilidade de melhoramento		
5n	Terras com aptidão agrícola regular para pastagem natural	Neossolos e Cambissolos	Susceptibilidade à erosão forte para o nível de manejo A	Sem possibilidade de melhorando		
6	Terras sem aptidão agrícola	Neossolos e afloramentos rochosos	Terras previstas na legislação (APPs – Áreas de Preservação Permanentes)	Preservação da flora e fauna		

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo abordou detalhes importantes sobre a formação do solo, as principais classes de solos presentes na região no Norte do RS, Oeste de SC e Sudoeste do PR e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras atualmente utilizado no Brasil. Para a adequação do uso do solo, deve-se conhecer e considerar todas as áreas da ciência do solo (gênese, classificação, mapeamento, morfologia, biologia, física, química, mineralogia, fertilidade, manejo e conservação) na aplicação de estratégias eficientes para a produção sustentável de alimentos e matérias primas industriais. A utilização do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras no planejamento de uso das propriedades agrícolas é fundamental para que possamos atingir a sustentabilidade nas atividades rurais. Desta forma evitaremos danos ambientais e sociais irreparáveis resultantes da degradação dos solos e paisagens naturais e agrícolas.

## REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Ed. Embrapa, 2013. p. 353.
- FINK, J. R. et al. Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 379–387, jul. 2014.
- FINK, J. R. et al. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 62–68, jan. 2016.
- FONTES, M. P. F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J. C. et al. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012. p. 171–206.
- JENNY, H. **Factors of soil formation**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1941. p. 281.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C. et al. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012. p. 207–302.
- LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. 11ª ed. São Paulo: Editora Nacional, 1989. p. 399.
- LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 1ª ed. Viçosa: SBCS, 2015. p. 170.
- PEDRON, F. de A. et al. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de arenito. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1253–1262, 2011.
- RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. p. 65.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. p. 222.

# CAPÍTULO III

---

## Conflitos entre a legislação ambiental, a aptidão agrícola e o uso dos solos em Unidades de Produção Familiar no Rio Grande do Sul

*João Batista Rossetto Pellegrini<sup>1</sup>, Danilo Rheinheimer dos Santos<sup>2</sup>, André Carlos Cruz Copetti<sup>3</sup> & Celso Silva Gonçalves<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal Farroupilha (IFFarroupilha), Campus de Júlio de Castilhos, Rodovia RS-527, s/n - Distrito de São João do Barro Preto, CEP 98130-000, Júlio de Castilhos, RS, Brasil. E-mail: jbpellegrini@yahoo.com.br. Autor para correspondência

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Associado IV do Departamento de Ciência do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. Pesquisador I CNPq. E-mail: danilonesaf@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus São Gabriel, Av. Antônio Trilha, 1847, CEP 97300-000, São Gabriel, RS, Brasil. E-mail: copettiufsm@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal Farroupilha (IFFarroupilha), Campus São Vicente do Sul, Rua 20 de Setembro, s/n, CEP 97420-000, São Vicente do Sul, RS, Brasil. E-mail: celso.goncalves@iffarroupilha.edu.br

### Sumário

INTRODUÇÃO .....	54
1 ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO CONFORME A SUA APTIDÃO AGRÍCOLA .....	55
2 ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO DE ACORDO À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....	56
3 OBSERVAÇÕES E PONDERAÇÕES A CERCA DE UM ESTUDO DE CASO .....	59
4 SUGESTÕES PARA A SUPERAÇÃO DOS CONFLITOS AGROAMBIENTAIS EM UPF .....	62
REFERÊNCIAS .....	66

## INTRODUÇÃO

Como já foi abordado no Capítulo I, o processo histórico de ocupação dos solos nas regiões destinadas à agricultura familiar resultou em uma paisagem extremamente fragmentada, distribuída entre várias pequenas Unidades de Produção Familiar (UPF). Para o estabelecimento dos sistemas de produção houve a conversão de ecossistemas naturais de florestas em lavouras, deixando o solo vulnerável à ação dos processos erosivos. A falta de planejamento paisagístico e ambiental, o uso do solo fora de sua aptidão agrícola e o manejo inadequado do solo são componentes importantes que contribuem grandemente para a existência de conflitos agroambientais (RHEINHEIMER et al., 2003).

O estudo da ocupação das terras é requerido como parte fundamental ao planejamento paisagístico e ambiental dos agroecossistemas. Ele ajuda no entendimento da dinâmica do agroecossistema e das formas de degradação da paisagem<sup>1</sup>. O autor enfatiza a necessidade de um zoneamento ambiental e implantação de práticas mitigadoras de contaminação, dando racionalidade às atividades desenvolvidas nessas unidades da paisagem<sup>2</sup>. Segundo Bohrer (2000), o enfoque paisagístico fornece a possibilidade de extrapolação e interpolação de dados sobre o terreno com a vegetação e vice-versa. Dados sobre solos, relevo, hidrologia, entre outros, podem ser reunidos, correlacionando-se os dados de vegetação com os fatores ambientais.

Para Campanilli e Schäffer (2010), no planejamento e gestão de paisagens rurais deve ser seguidas duas escalas de trabalho: uma em nível de imóvel rural e outra em nível mais amplo, que pode ser uma região ou uma bacia hidrográfica. Segundo Attanasio et al. (2007) é preciso avaliar caso a caso; mas sempre tendo a dinâmica da bacia hidrográfica como o elemento orientador desta análise (ver item 2.2 do Capítulo IV). Para este tipo de planejamento é importante conhecer a distribuição fundiária, o que fundamenta análise mais realista das relações ambientais e legais com os agricultores.

A correção de problemas que resultam em conflitos agroambientais remete ao redesenho dos agroecossistemas de acordo com as reais capacidades e limitantes dos solos nas áreas agrícolas e não agrícolas (RESENDE et al., 2002). Faz-se necessário, igualmente, que seja seguida a legislação ambiental, em especial o Código Florestal, o qual define as áreas especialmente

---

<sup>1</sup> A paisagem pode ser definida como “uma porção espacial da superfície terrestre constituída por um complexo de sistemas, formados pela atividade de rochas, água, ar, solo, plantas, animais e o homem, reconhecível através de sua fisionomia como uma unidade (BOHRER, 2000). Para Milton Santos: “A paisagem é um conjunto heterogêneo de formas naturais e artificiais. Ela não é dada para todo o sempre, é objeto de mudança.” (SANTOS, 1988).

<sup>2</sup> Uma unidade de paisagem pode ser considerada como “uma porção da paisagem caracterizada por um tipo de combinação dinâmica de elementos geográficos diferenciados - físicos, biológicos e antrópicos. Estes elementos ao enfrentarem-se dialeticamente uns com os outros, fazem da paisagem um ‘conjunto geográfico’ indissociável que evolui em conjunto, tanto sob o efeito de interações entre os elementos que a constituem como da dinâmica própria de cada um dos elementos individuais” (BOHRER, 2000).

protegidas. Estas são importantes ferramentas para redesenhar agroecossistemas que promovam o mínimo de impactos ambientais negativos e contornando os principais pontos de conflitos entre a agricultura e o meio ambiente<sup>3</sup>.

## **1 ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO CONFORME A SUA APTIDÃO AGRÍCOLA**

A classificação da aptidão agrícola das terras é uma etapa básica e fundamental no planejamento agroambiental de UPF ou áreas maiores, como bacias hidrográficas<sup>4</sup>. Essa classificação é baseada na interpretação das características das terras e agrupa as diferentes glebas em classes de aptidão de uso agrícola.

Segundo Schneider et al. (2007), o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) é o que melhor se adapta às condições socioeconômicas e ambientais brasileiras, porque considera diferentes níveis tecnológicos, que vão desde a ausência de capital e tecnologia, até condições avançadas de manejo das terras. Detalhes maiores deste e de outros sistemas podem ser buscados nas publicações originais ou no Capítulo II deste livro.

Contudo, para estes autores, este sistema apresenta alguns limitantes, tais como: não indica práticas de manejo do solo para todos os diferentes tipos de utilização e não considera a delimitação das áreas de preservação permanente (APP) definidas pelo Código Florestal Brasileiro. Além disso, a maioria dos estudos ainda enfatiza e prioriza os atributos do ambiente físico, notadamente clima, solo e relevo. A maioria dos levantamentos e das respectivas avaliações das terras enfoca, principalmente, o seu potencial agrícola. A destinação de áreas com vocação para exploração florestal ou conservação baseia-se, quase que exclusivamente, no baixo potencial de utilização agrícola devido a limitações tais como: relevo, fertilidade natural e dificuldades de drenagem.

Além disso, Rheinheimer et al. (2004) destacam que os avanços nas pesquisas de adequação do uso do solo e das técnicas de manejo a serem adotadas para cada classe de aptidão agrícola não são acompanhados pela adoção dos agricultores, justamente, por se tratar de um conflito ambiental. Para os autores, grosso modo, no Rio Grande do Sul, há duas situações a serem consideradas nesse conflito de uso do solo. O primeiro deles refere-se à agricultura

---

<sup>3</sup> Vale salientar que estes não são os únicos instrumentos que podem ser usados no planejamento do uso dos solos em agroecossistemas. Além destes dois instrumentos podem ser utilizados o Zoneamento Ecológico, o Código de Uso dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, a Equação Universal de Perdas de Solo, entre outros.

<sup>4</sup> Para Lima et al. (2000), a bacia hidrográfica é a unidade básica da paisagem usada para caracterização, quantificação, análise e gerenciamento dos recursos e processos naturais. Elas são formadas por paisagens ou unidades paisagísticas, nas quais todos os elementos naturais ou humanos se relacionam de maneira efetiva e inseparável. Qualquer efeito ou atividade humana tende a dirigir-se para o sistema aquático, que é o espelho do que acontece na região. Assim, os rios são coletores naturais das paisagens, refletindo o uso e ocupação do solo de sua respectiva bacia de drenagem.

empresarial que, embora assentada sobre solos planos e de elevada aptidão agrícola, não respeita a necessidade de manutenção da biodiversidade nas faixas de APP ao longo dos cursos d'água. A simplificação do sistema de produção com base na monocultura da soja transgênica e do sistema plantio direto (SPD) com uso sistemático de agrotóxicos tem elevado os riscos de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais. Isso tem causado forte pressão nos recursos hídricos, especialmente, nos pequenos cursos d'água localizados em microbacias de cabeceira do Planalto Gaúcho. O segundo tem-se o caso das UPF que, geralmente, localizam-se em ambientes naturalmente frágeis e que cada vez mais vêm se fragmentando. Mas, que ao mesmo tempo, têm que prover destes solos a reprodução socioeconômica da família. A escassez de terra com aptidão para a agricultura faz com que os agricultores usem intensamente solos ocorrentes em relevos montanhosos ou com teores de argila muito baixos.

Este segundo caso enquadra-se na realidade da maioria das UPF que são o foco deste trabalho, onde a adequação agroambiental é de difícil execução e aceitação pelos agricultores. O tamanho reduzido dos lotes de muitas unidades de produção e o seu formato estreito e comprido (NEUMAMM, 2003); a localização das unidades de produção sobre solos inaptos para uso com culturas anuais (PEDRON et al., 2006); a localização das sedes das unidades de produção próximas dos cursos d'água e nascentes; a necessidade de uma vasta rede de estradas para dar acesso as suas sedes e as lavouras; são alguns limitantes que tornam o planejamento agroambiental destas UPF complexo e de difícil solução. Sendo comum serem encontradas situações que representam conflitos entre as atividades agropecuárias, a legislação ambiental e o potencial de uso dos solos.

## **2 ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO DE ACORDO A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL**

A legislação ambiental brasileira é ampla e composta por diversos institutos legais, os quais normatizam a ação humana sobre os recursos naturais. Neste capítulo será dada maior atenção para o Código Florestal Brasileiro (CFB), com destaque para o estabelecimento das APP e de reserva legal; considerando as limitações e possibilidade de sua utilização com atividades agropecuárias.

O CFB foi criado no ano de 1965 pela Lei N° 4.771/65, no qual entre outras regras, são instituídas as APP e Reserva Legal (RL). Contudo, a delimitação das APP permaneceu por vários anos sem regulamentação. Cabe considerar que foi neste período de intensa modernização da agricultura brasileira, em que ocorreram os maiores desmatamentos e destruição de outros biomas naturais.

Para regulamentar o art. 2º do CFB, entra em vigor no ano de 2002, a Resolução do CONAMA nº 303/02 (BRASIL, 2002). Ela traz a definição de Áreas de Preservação Permanente como sendo: “área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. E ainda, estabelece como APP aquelas situadas:

- a) em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de 30 metros para cursos d’água com menos de dez metros de largura;
- b) ao redor de nascentes ou olho d’água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros, de tal forma que, proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;
- c) no topo de morros e montanhas, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base;
- d) em encostas ou partes destas, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive (...) (BRASIL, 2002).

Esta resolução estabelece também a definição de RL como “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à manutenção da biodiversidade, protegendo a fauna e a flora nativas”. E estabelece também que, no caso das regiões abrangidas pelo Bioma da Mata Atlântica, a RL “deve compor uma área de vinte por cento da propriedade rural; onde não é permitido o corte raso, devendo ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóveis competente”. Nestas áreas as intervenções são restritas, não sendo permitido o corte raso da vegetação nativa.

Esta lei estabelece ainda que: “Para o cumprimento da manutenção ou compensação da área de reserva legal em pequena propriedade ou posse rural familiar, podem ser computados os plantios de árvores frutíferas ornamentais ou industriais, composto por espécies exóticas, cultivadas em sistema intercalar ou em consórcio com espécies nativas”.

O Novo CFB passou por modificações recentemente e foi promulgado na LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012). O que a nova lei tem de novidade é o estabelecimento da chamada área rural consolidada, definida como: “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio”. O novo código estabelece como obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais de vegetação nativa contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d’água: em 5 (cinco) metros, para os imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal; 8 (oito) metros para imóveis de 1 (um) a 2 (dois) módulos; 15 (quinze) metros para imóveis de 2 (dois) a 4 (quatro) módulos fiscais. Acima de 4 (quatro) módulos é obrigatória a recomposição de pelo menos 20 (vinte) metros de APP.

Estas mudanças merecem diversas ponderações como, por exemplo: um imóvel que possua 2 (dois) módulos fiscais, e a faixa exigida a ser recuperada é de 8 (oito) metros, for desmembrada por herança passando a compor dois imóveis de 1 (um) módulo cada, a exigência passará ser de 5 (cinco) metros. A pergunta a ser feita é se os herdeiros poderão voltar a cultivar na faixa correspondente aos 3 (três) metros? Do contrário: se um agricultor adquirir uma área lindeira e exceder a uma determinada faixa, terá que expandir a largura da APP a ser recuperada? Os agricultores poderão entender que devem proteger apenas 5 (cinco) metros e procederem ao desmatamento da faixa restante que completavam os 20 metros exigidos.

O que se observa atualmente, diante de todo este vasto arcabouço legal, que ainda existe entre os agricultores, técnicos e gestores públicos uma confusão sobre o que é e o que não é permitido à luz da legislação. O que predomina entre os agricultores e suas representações é uma visão de que a legislação serve apenas para restringir as atividades produtivas, pondo em risco a reprodução socioeconômica das UPF. Logo, a legislação ambiental não é reconhecida como algo relacionado à produção agrícola, a não ser quando é encarada como uma questão punitiva ao agricultor.

Embora existam vários dispositivos que flexibilizam algumas ações, excepcionalmente para os pequenos agricultores familiares; na prática a implementação desta ampla e complexa legislação ambiental tem se mostrado uma tarefa difícil e questionável (LOCH; NEUMANN, 2002). Segundo estes autores, as restrições legais, bem como as penalidades impostas pelos órgãos ambientais, têm reforçado a cultura entre os agricultores familiares de que as áreas ocupadas por florestas representam, mais do que um “recurso”, um “estorvo” à sua reprodução socioeconômica.

Nas últimas décadas, ocorreu uma expansão considerável da área de cobertura florestal do Estado, atingindo 17,5% no último Inventário Florestal (RIO GRANDE DO SUL, 2002). Segundo este estudo, o aumento se deu dentre outros fatores, pela ameaça da aplicação da legislação ambiental. Outro fator que determinou o abandono de alguns cultivos em áreas de relevo acidentado foi a impossibilidade de aplicar os pacotes tecnológicos preconizados pelo modelo de modernização da agricultura, devido à baixa aptidão dos solos para o cultivo mecanizado.

Por conta destas mudanças, ocorre que em muitas UPF a cobertura florestal é superior aos 20% exigidos pelo CFB. Contudo, caso os agricultores necessitem ampliar seus cultivos estes são impedidos pela Lei da Mata Atlântica ou pelo Código Florestal Estadual, que proíbe o corte raso da vegetação florestal secundária em estágio médio e avançado da regeneração natural. E

quando decidem ampliar, normalmente, o fazem sem autorização dos órgãos ambientais, correndo o risco de autuação e penalização.

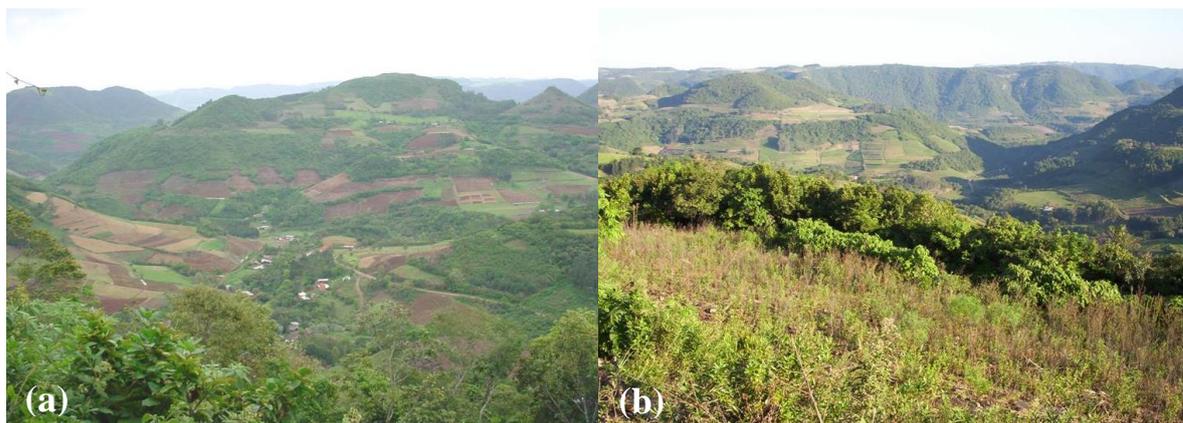
Contudo, o estabelecimento dos espaços territoriais especialmente protegidos tem importante papel como medida preventiva dos agravos provocados pela atuação antrópica aos recursos florestais, e conseqüentemente, aos recursos edáficos e hídricos. Eles se constituem em importantes ferramentas para o planejamento ambiental das paisagens rurais (ATTANASIO et al., 2007). A manutenção ou recuperação da vegetação natural nestes espaços mais sensíveis da paisagem é importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Nos casos em que as matas ciliares foram removidas das APP de beira de cursos d'água e de nascentes para o estabelecimento de lavouras se constituem nos principais pontos de conflito e que merecem maior atenção por parte dos agricultores, gestores públicos, extensionistas, pesquisadores, entre outros. Deve ser considerada a sua importância para o equilíbrio dos ecossistemas e para tanto a vegetação natural deverá ser mantida ou recuperada. Contudo, o novo CFB permite a manutenção das atividades consideradas consolidadas em áreas de APP para Agricultores Familiares. Mesmo que o agricultor cultive até o barranco do curso de água, pela nova versão da Lei, não será obrigado a recuperar a mata ciliar.

Porém, nos casos em que as UPF apresentam limitada área útil para cultivos, o seu redesenho implicará em apontar outras glebas para a sua compensação e que sejam aptas para o uso agrícola. Ou, o sistema de produção proposto deverá exigir uma menor necessidade de área para sua viabilização. No entanto, deve-se considerar a possibilidade de desenvolver sistemas que não descaracterizem o ecossistema natural. Este é o enredo que caracteriza situações complexas que demandarão muito esforço para que os agricultores executem a adequação ambiental de suas unidades de produção.

### **3 OBSERVAÇÕES E PONDERAÇÕES A CERCA DE UM ESTUDO DE CASO**

A paisagem da Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino (localizada no Município de Agudo, RS) é marcada pela descontinuidade de pequenas glebas de cultivo de fumo, entremeadas por fragmentos de florestas pertencentes ao Bioma da Mata Atlântica (Figura 9). Ela é recortada por inúmeros pequenos cursos de água e suas nascentes. É marcada também, por um relevo montanhoso, com solos jovens e de baixa aptidão de uso agrícola. E por uma extensa e imbricada malha de estradas rurais.



**Figura 9.** Vista parcial da paisagem da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, mostrando a distribuição das glebas de lavouras e as sedes das unidades de produção familiar, Agudo, 2011.

As florestas nativas constituem o uso predominante do solo ocupando 60% de sua superfície e as lavouras somam aproximadamente 25% de toda a microbacia. O desmatamento é prática frequente como forma de aumentar as áreas de cultivo e para a obtenção de lenha para a secagem do fumo e outros usos domésticos.

As APP abrangem 45% da superfície da microbacia hidrográfica, das quais as mais representativas são as de topo de morro (67%) e as de matas ciliares de cursos de água com (25%). Aproximadamente 60% das sedes das UPF estão localizadas dentro das APP de cursos d'água e nascentes. Três UPF apresentam 100% de sua área sobre algum tipo de APP. Em torno de 50% das APP estão protegidas por florestas nativas e o restante com pastagens perenes ou lavouras em cultivo convencional (Figura 10).

De acordo com o Sistema de Classificação da Aptidão Agrícola das Terras (SCAAT) aproximadamente 85% dos solos são considerados inaptos para uso com agricultura. De maneira que, várias UPF estão integralmente localizadas sobre solos enquadrados nestas condições.



**Figura 10.** Situações de conflito de uso do solo em áreas de preservação permanente nas unidades de produção familiar, Agudo, 2011.

Com base no CFB e no SCAAT a microbacia hidrográfica apresenta 44% da sua superfície com algum tipo de conflito agroambiental em decorrência do uso inadequado do solo. Os principais conflitos são o uso dos solos com cultivos agrícolas, especialmente com fumo, sobre classes de solos inaptas para este fim e localizadas sobre APP (Figura 10b). Estas situações correspondem em torno de 7% da superfície da microbacia hidrográfica. Segundo Rheinheimer (2004) o fato tende a se agravar, considerando que a erosão dos solos nas áreas de cultivo de fumo continua sendo um problema mal resolvido. Isto porque, além de refletir no agravamento da poluição das águas, tem reflexos na diminuição da capacidade produtiva dos solos.

A distribuição das UPF na paisagem, bem como de suas sedes, tem sido condicionada, principalmente, pela disponibilidade de água em nascentes e cursos d'água. Esta proximidade traz vantagens por facilitar o acesso à água para outros usos; para outros, possibilita que os resíduos domiciliares e da criação de animais sejam aportados a estes recursos hídricos durante as chuvas, provocando a sua poluição.

Embora mais da metade da área da microbacia hidrográfica esteja coberta com florestas nativas, a ausência de cobertura florestal nas APP, principalmente nas margens de cursos d'água e nascentes, tem promovido que grandes quantidades de sedimentos e de nutrientes continuem sendo transferidas aos cursos d'água por erosão durante as chuvas (PELLEGRINI, 2011). Deste modo, mesmo que as áreas de cultivo estejam restritas a apenas um quarto da superfície da microbacia hidrográfica, a má disposição das glebas na paisagem, contribui para o aumento de até dez vezes na poluição da água com sedimentos e fósforo. Segundo o autor, a distribuição do uso dos solos na paisagem é tão ou mais importante do que o percentual ocupado por cada um destes usos. O que aponta a necessidade de planejamento destas UPF a fim de garantir a permanência dos cultivos agrícolas nestes ambientes, minimizando os impactos nos recursos hídricos.

A preservação e/ou recuperação das matas ciliares ao longo das nascentes e cursos d'água, embora sejam eficientes em diminuir a poluição das águas, atuarão apenas como medidas complementares. Isto porque, elas não serão suficientes para conter o deflúvio superficial se as áreas adjacentes e mais elevadas da paisagem, como as APP de encostas e topo de morro e com solos de baixa aptidão, estiverem sendo usadas intensivamente.

Desta forma, as áreas de cultivo quando localizadas sobre solos não aptos para este fim deverão receber atendimento especial. As lavouras, quando existentes nestes locais da paisagem, devem ser contornadas em sua parte mais baixa por cinturão com florestas nativas ou plantadas. As estradas, principalmente as localizadas no interior das lavouras, deverão ser realocadas de maneira que não possibilitem o aumento da velocidade do deflúvio superficial. Além disso, o manejo do solo nas áreas de cultivo deverá propiciar que o solo permaneça coberto com palhada

o maior tempo possível. A implantação de cordões vegetados e curvas de níveis são igualmente importantes. No entanto, é fundamental a manutenção de cobertura florestal nativa nas APP de topo dos morros e encostas evitará que grandes quantidades de sedimentos sejam transportadas por erosão aos recursos hídricos.

Nada obstante, as mudanças propostas pelo Novo CFB não solucionarão os conflitos agroambientais para a realidade em estudo. Fato que deve ocorrer na maioria das UPF do sul do Brasil. Primeiro porque a expansão das áreas agrícolas normalmente seria possível sobre as áreas ocupadas com florestas, e muitas delas em solos de baixa aptidão agrícola. Isto porque o corte raso das formações florestais em estágio secundário médio e avançado de sucessão é limitado pela Lei da Mata Atlântica e do Código Florestal do RS. E segundo, ele permite a manutenção em APP as atividades consolidadas, e neste caso os cultivos de fumo.

Nos debates promovidos para as mudanças do Novo CFB passou ao largo a discussão, por exemplo, do que é possível ser feito com as áreas florestadas; que em muitas destas UPF, excede aos 20% exigidos para reserva legal. Além desta questão, não se discutiu como e o que pode ser produzido nas áreas fora dos marcos legais.

Para isso, o planejamento no âmbito da bacia hidrográfica, com o conhecimento das suas características ecológicas e o seu acoplamento às diferentes características e interesses econômicos, sociais e ambientais de cada UPF, pode auxiliar no redesenho de formas sustentáveis de uso e manejo dos solos. Porém, neste caso, em que há fortes restrições ambientais e limitada área agricultável, a aplicação irrestrita da legislação poderá resultar em inviabilidade de muitas das UPF.

#### **4 SUGESTÕES PARA A SUPERAÇÃO DOS CONFLITOS AGROAMBIENTAIS EM UPF**

As possibilidades para superação dos conflitos agroambientais passa pelo redesenho destas UPF para o desenvolvimento de agroecossistemas que permitam o convívio com as áreas de florestas. A transição agroecológica pautada na diversificação de atividades e na biodiversidade local, a exemplo dos sistemas agroflorestais, poderá constituir-se em importante forma de harmonizar a relação conflituosa entre os agricultores e o ambiente (GLIESSMAN, 2000).

É preciso evoluir no sentido de superar o discurso do antagonismo entre o desenvolvimento da agricultura e a preservação ambiental. Se por um lado, os agricultores precisam produzir para se manterem na agricultura; por outro, eles dependem da

sustentabilidade destes agroecossistemas. Que, por sua vez, está condicionada à preservação das áreas ecologicamente mais frágeis da paisagem.

O agricultor tem sua parcela de responsabilidade neste processo de degradação ambiental e para tanto precisa fazer sua parte na recuperação dos recursos naturais. Contudo, a sociedade não pode exigir que os agricultores transformem suas unidades de produção em unidades de preservação ambiental sem compensá-los por isto. Eles não poderão e nem deverão arcar com todos os custos necessários a melhoria e a manutenção do ambiente. Nestes casos, o Estado terá que apoiar com recursos financeiros e técnicos, subsidiando as ações de adequação e recuperação agroambiental. Assim, é de fundamental importância políticas públicas direcionadas a este público.

Para que mudanças substanciais possam ocorrer será necessário realizar grandes esforços em educação ambiental no sentido de construir uma consciência agroecológica. Não são apenas os agricultores que carecem desta nova consciência, mas também muitos técnicos, gestores públicos, pesquisadores, consumidores, sindicalistas e políticos. Isto porque, no processo de modernização da agricultura vários valores culturais de uma agricultura familiar tradicional foram perdidos ou substituídos, o que Balem e Silveira (2005) atribuíram de erosão cultural.

Por conta disto, apesar das ações definidas no planejamento dos trabalhos do Programa RS-Rural<sup>5</sup>, muitos agricultores não se sensibilizaram para a questão ambiental. Fato que tem dificultado a mobilização dos agricultores para realização de determinadas práticas de preservação que aparentemente não lhe ofereça nenhum benefício econômico de curto prazo, tais como: recuperar APP de matas ciliares, nascentes, encostas e topo de morros; implantar faixas de controle de erosão; usar cobertura do solo; entre outros. Muito mais difícil é atingir a percepção da importância de realizar ações conjuntas que promovam resultados no longo prazo. Ações que extrapolem os marcos de sua propriedade e que seja comum a toda a microbacia, tais como: a realocação de estradas e a conexão entre curvas de nível de uma UPF a outra.

A busca do desenvolvimento de uma agricultura que possibilite contemplar as dimensões da sustentabilidade pode ser o caminho para amenizar os conflitos inerentes à ação antrópica no ambiente. Antes de tudo é preciso considerar que a maior parte das UPF enfrenta sérias limitações que impõe dificuldades para garantir sua reprodução com a preservação ambiental. São limitações como: tamanho reduzido das áreas e seu formato estreito comprido;

---

<sup>5</sup> O Programa RS-RURAL foi um programa desenvolvido pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do RS e decorre de empréstimo do Banco Mundial (BIRD) e contrapartida do Estado do RS entre os anos de 1997 e 2000. Esse programa visava o desenvolvimento rural sustentável direcionando-se aos agricultores familiares e agricultores assentados, pecuaristas familiares, pescadores profissionais artesanais, povos indígenas e comunidades remanescentes de quilombos. Concentrou suas ações na conservação e manejo dos recursos naturais, na melhoria da infraestrutura social básica e renda familiar, buscando diminuir os níveis de pobreza e degradação ambiental (SCHNEIDER et al., 2005).

baixa disponibilidade de solos aptos para uso agrícola, que é agravada pela adequação à legislação ambiental; falta de assistência técnica de qualidade e em quantidade; pouco conhecimento técnico de outros sistemas de produção; predomínio de uma cultura individualista, que dificulta iniciativas associativas ou cooperativas; baixa disponibilidade de mão-de-obra, entre outras.

Dentre estas, a baixa superfície de área útil determina que os agricultores tenham que optar por uma cultura que forneça uma renda que garanta a rentabilidade econômica. Desta forma, a rotação de culturas, reconhecidamente importante para o manejo sustentável dos agroecossistemas, é limitada pela concorrência com a cultura considerada como mais importante. De maneira que, a diversificação das atividades e culturas acaba se restringindo a pequenas culturas para consumo próprio e produzidas próximo as sedes, as quais não implicam em receita direta para estas unidades de produção.

Tendo por base a racionalidade econômica dos agricultores, a sugestão de alternativas que possam dar respostas econômicas concretas é fundamental, pois os agricultores anseiam ampliar o acesso aos bens de consumo e melhorar sua qualidade de vida. Fato que não pode ser desmerecido tendo em vista a possibilidade de retorno ao passado, quando a inexistência de serviços essenciais como energia elétrica imprimiam outras rotinas e necessidades. Portanto, alternativas que desconsiderem a dimensão da sustentabilidade econômica das famílias tenderão a ter efeito reduzido ou até mesmo nulo. Do contrário, os agricultores não adotarão a proposta e tenderão a regredir às estratégias produtivas anteriores.

Em função disto, a transição a uma agricultura de base ecológica terá que ser impulsionada e financiada pelo poder público, mediante a execução de programas que levem em consideração as peculiaridades inerentes às regiões e seus ecossistemas. Os programas de desenvolvimento territorial, como os trabalhos das microbacias, podem ser importantes neste contexto, mas precisam ser expandidos e apropriados pelos gestores públicos locais, pelo serviço de assistência técnica e pelos agricultores familiares.

Neste processo de transição para uma agricultura de base ecológica é preciso evoluir no sentido de desenhar agroecossistemas o mais semelhante possível aos ecossistemas de florestas (GLIESSMAN, 2000) ou de outros biomas naturais, como o Pampa e o Cerrado. Para tanto, o planejamento das UPF com base nos instrumentos legais e técnicos deve ser valorizado como meio, não só para se garantir a preservação dos recursos naturais, mas, para se atingir uma agricultura sustentável em todas as suas dimensões. Nesta linha, as florestas devem deixar de ser vistas como estorvo ao desenvolvimento da agricultura, passando a serem valorizadas como bens renováveis, ambientalmente importantes e economicamente fundamentais para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Deste modo, é preciso desenvolver sistemas de produção integrados às áreas de florestas tanto dentro, quanto fora, das APP ou de reservas legais. Uma alternativa que pode dar a estas UPF uma forma de conviver harmoniosamente com as florestas, obtendo delas outras fontes de renda, pode ser o seu enriquecimento com espécies de valor madeireiro e moveleiro como o louro preto (*Cordia tricotoma*), cedro (*Cedrella fissilis*), grápia (*Apuleia leiocarpa*), cabreúva (*Myrocarpus frondosus*), caroba (*Jacaranda micrata*), canafístula (*Peltophorum dubium*), angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*), pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) e não madeireiro como a erva-mate (*Ilex paraguayensis*), palmito juçara (*Eutrepe edulis*), frutíferas nativas e plantas medicinais. Outra atividade que deve ser valorizada é a apicultura, especialmente de abelhas sem ferrão.

O desenvolvimento de sistemas agroflorestais pode ser uma alternativa importante para o redesenho destes agroecossistemas. Os sistemas agroflorestais sucessionais e análogos aos ecossistemas florestados vêm sendo estudados e reconhecidos como sendo eficientes meios de se alcançar altos níveis de sustentabilidade (PENEIREIRO, 1999; FRANCO, 2000). Estes sistemas agroflorestais podem ser desenvolvidos nas APP como uma forma de recuperar a cobertura florestal, o que é permitido pela legislação ambiental (BRASIL, 2001). Esta proposta já é uma realidade para algumas regiões do estado e do país, como experiências bem sucedidas dos agricultores associados à Cooperafloresta do Município de Barra do Turvo, estado de São Paulo ou do Centro Ecológico de Dom Pedro Alcântara, na encosta da Serra do Nordeste do RS. Para tanto, é importante também, que os agricultores tenham o acompanhamento e auxílio técnico de profissionais comprometidos e capacitados com o assunto.

O uso de culturas perenes consorciadas com culturas agrícolas ou plantas de cobertura do solo também são alternativas que podem contribuir no redesenho destes agroecossistemas. O cultivo de plantas frutíferas em sistema de produção de base ecológica<sup>6</sup> pode ser viabilizado mesmo nas APP consideradas consolidadas ou naquelas porções da paisagem em que os solos são considerados inaptos para o uso com culturas anuais. Como estes cultivos possibilitam que o solo seja mantido permanentemente coberto por resíduos vegetais os processos erosivos serão atenuados. O estabelecimento de outros cultivos perenes como a cana-de-açúcar, tanto para a alimentação dos animais, quanto para a produção de subprodutos como rapaduras, melado e açúcar mascavo, poderão propiciar maior renda e muito menos impactos ambientais do que os cultivos agrícolas a exemplo do fumo.

Entretanto, para redesenhar agroecossistemas tornando-os sustentáveis não bastam apenas mudanças nas tecnologias de produção, é necessário universalizar o acesso à terra, tornar as relações sociais mais horizontais, resgatar valores culturais e promover um fortalecimento das

---

<sup>6</sup> Para este assunto uma referência são as experiências dos agricultores ecológicos associados a Ecocitrus, localizadas nos municípios de Taquarí e Montenegro no estado do RS.

organizações e associações comunitárias (SCARIOT, 2011). Segundo este autor, para que isto ocorra é fundamental a elevação do nível de consciência e o protagonismo dos agricultores.

Diante da realidade analisada, acredita-se que, a continuidade da agricultura nestes ambientes considerados ecologicamente frágeis, será possível com o estabelecimento de uma agricultura de base ecológica. Um modelo de agricultura que valorize a biodiversidade local e as feições ecológicas do ecossistema de florestas (ALTIERI, 1989). O redesenho destes agroecossistemas no âmbito da microbacia hidrográfica, mesmo sendo uma tarefa difícil e complexa, poderá minimizar os conflitos entre as necessidades de preservação ambiental e de reprodução sócio-econômica destas unidades de produção familiar.

## REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. p. 240.

ATTANASIO, C. et al. A zona ripária, a estrutura fundiária e o manejo agrícola na microbacia. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Sociedade Brasileira de Ecologia, 2007. SOBER.

BALEM, T.; SILVEIRA, P. R. C. A Erosão Cultural Alimentar: processo de insegurança alimentar na agricultura familiar. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE SOCIOLOGIA RURAL, **Anais...** 2005. Disponível em: <[www.ufsm.br/desenvolvimentorural](http://www.ufsm.br/desenvolvimentorural)>. Acesso em: 10 de out. 2008.

BOHRER, C. B. A. Vegetação, paisagem e o planejamento do uso da terra. **GEOgraphia**, v. 2, n. 4, p. 103–120, 2000.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro**. Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília, 1965.

BRASIL. **Novo Código Florestal Brasileiro. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. **Lei da Mata Atlântica**. Lei n.º 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Brasília, 2006.

\_\_\_\_\_. Medida Provisória n.º 2.166/67, de 24 de agosto de 2001. Altera os arts. 1º, 4º, 14º, 16º e 44º, e acresce dispositivos à Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. Resolução do CONAMA n.º 303, de 20 de março de 2002. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002.

CAMPANILLI, M.; SCHÄFFER, W. B. A importância da paisagem no planejamento. In: (Ed.) **Mata Atlântica**: manual de adequação ambiental, p 54-69. Brasília: MMA/SAF, 2010. p. 96.

FRANCO, F. S. **Sistemas agroflorestais**: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de minas gerais. 2000. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

GARCIA, M. A. Ecologia aplicada a agroecossistemas como base para a sustentabilidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 213, p. 30–38, 2001.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. p. 653.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Fapesp, 2000. p. 33–44.

LOCH, C.; NEUMANN, P. S. Legislação ambiental, desenvolvimento rural e práticas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 243–249, 2002.

NEUMANN, P. S. **O impacto da fragmentação e do formato das terras nos sistemas de familiares de produção**. 2003. 315 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PEDRON, F. A. et al. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 5, n. 34, p. 105–112, jan. 2006.

PELLEGRINI, J. B. R. **Planejamento do uso do solo em unidades de produção familiar produtoras de fumo: limites e possibilidades para a superação de conflitos agroambientais**. 2011. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural**: um estudo de caso. 1999. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

RAMALHO FILHO, A., BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1995. p. 65.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: UFLA, 2002. p. 322.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 85–96, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Solos e contaminação da água. In: AZEVEDO, A. C. et al. (Ed) **Solos & Ambiente**, Santa Maria: Ed. Pallotti. 2004. 167 p.

RIO GRANDE DO SUL. **Código Florestal Estadual**. Lei n.º 9.519, de 21 de janeiro de 1992. Porto Alegre, 1992.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teórico e metodológico da geografia**. Hucitec. São Paulo, 1988. p. 28.

SCARIOT, E. **Caminhos para a construção de estilos de agricultura de base ecológica no assentamento Alvorada**. 2011, 51 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em

Espaços Rurais) – Instituto Federal Farroupilha/Campus Júlio de Castilhos, Júlio de Castilhos, 2011.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras: um sistema alternativo**. Guaíba: Agrolivros Ed., 2007. p. 72.

SCHNEIDER, S. et al. Microcrédito e capacidade de pagamento dos agricultores familiares: a experiência do Programa RS-Rural no Rio Grande do Sul. **Revista Ensaios (FEE)**, Porto Alegre, v. 26, n. 2, p. 789–828, 2005.

# CAPÍTULO IV

## Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul

*Jean Paolo Gomes Minella<sup>1</sup>, Claudia Alessandra Peixoto de Barros<sup>2</sup>, Elizeu Jonas Didone<sup>3</sup>, Ana Lúcia Londero<sup>4</sup>, Rafael Ramon<sup>5</sup>, Alexandre Schlesner<sup>6</sup>, Dinis Deuschle<sup>7</sup>, Fabio José Andres Schneider<sup>8</sup>, Tiago Canale<sup>9</sup> & Gustavo Henrique Merten<sup>10</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: [jminella@gmail.com](mailto:jminella@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da UFSM. E-mail: [dinhaufsm@gmail.com](mailto:dinhaufsm@gmail.com)

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando do PPGCS da UFSM. E-mail: [didoneagroufsm@gmail.com](mailto:didoneagroufsm@gmail.com)

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, Doutoranda do PPGCS da UFSM. E-mail: [londeroanalucia@gmail.com](mailto:londeroanalucia@gmail.com)

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do PPGCS da UFSM. E-mail: [rafaramon11@gmail.com](mailto:rafaramon11@gmail.com)

<sup>6</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do PPGCS da UFSM. E-mail: [deutschdinis@gmail.com](mailto:deutschdinis@gmail.com)

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do PPGCS da UFSM. E-mail: [deutschdinis@gmail.com](mailto:deutschdinis@gmail.com)

<sup>8</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do PPGCS da UFSM. E-mail: [fjas.schneider@gmail.com](mailto:fjas.schneider@gmail.com)

<sup>9</sup> Aluno do curso de Agronomia da UFSM. E-mail: [tiagocanale94@gmail.com](mailto:tiagocanale94@gmail.com)

<sup>10</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor Assistente da Universidade de Minnesota Duluth, 1405 University Drive, Duluth, Minnesota, MN 55812, USA. E-mail: [ghmerten@d.umn.edu](mailto:ghmerten@d.umn.edu)

### Sumário

INTRODUÇÃO .....	70
1 ENFOQUE DAS ABORDAGENS NA ESCALA DE BACIAS .....	72
1.1 O processo erosivo e seus fatores controladores.....	72
1.2 A bacia como unidade de estudo da erosão hídrica .....	74
1.3 A produção de sedimentos como variável integradora dos processos erosivos.....	77
1.4 A importância da geomorfologia na dinâmica do processo erosivo.....	78
1.5 O monitoramento em estudos de erosão .....	82
1.6 A conservação do solo na escala de bacia .....	84
2 A DINÂMICA DO PROCESSOS EROSIVOS NA ENCOSTA DO PLANALTO RIOGRANDENSE.....	88
2.1 Aspectos gerais da geomorfologia e principais processos operantes .....	88
2.2 Erosão e produção de sedimentos em duas escalas distintas de bacia.....	91
3 A DINÂMICA DOS PROCESSOS EROSIVOS NO PLANALTO RIOGRANDENSE.....	101
3.1 A dinâmica hidrológica e perdas de água em encostas sob plantio direto.....	103
3.2 Erosão e a produção de sedimentos em bacia hidrográfica no planalto Riograndense .....	110
3.3 Monitoramento das perdas de água e de solo em bacias hidrográfica .....	113
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
REFERÊNCIAS.....	117

## INTRODUÇÃO

Como foi abordado nos capítulos anteriores, a degradação dos solos no Sul do Brasil pode ser vista como uma consequência do seu histórico de ocupação (Capítulo I) e do seu uso e manejo fora da sua aptidão agrícola (Capítulo II), muitas vezes em áreas que atualmente são consideradas pela legislação brasileira como Reservas Legais ou Áreas de Preservação Permanente (Capítulo III). Dentre as formas de degradação do solo possíveis, a mais relevante em todo o Brasil é a erosão hídrica, responsável por uma perda de, aproximadamente, 847 milhões de toneladas por ano, gerando um impacto econômico estimado em 4 bilhões de dólares (MERTEN; MINELLA, 2012). Segundo FAO (2000), a erosão hídrica é a principal causa da degradação dos solos e dos recursos hídricos, e é um dos principais problemas que a humanidade enfrenta atualmente. Sua causa está relacionada, principalmente, com a ocupação inadequada das terras e o manejo inadequado dos solos e têm efeitos negativos diretos como a degradação dos solos e o aumento na pobreza rural.

Além dos problemas relacionados à perda de produtividade agrícola, aumento nos custos de produção e degradação das terras produtivas, os problemas decorrentes da erosão são transferidos para os recursos hídricos por meio da mobilização dos sedimentos via escoamento superficial. Isso porque os sedimentos erodidos trazem adsorvidos na sua estrutura elementos químicos presentes nas áreas fontes. Consequentemente, o impacto das atividades agrícolas nos recursos hídricos tem assumido uma importância cada vez maior devido aos problemas associados ao assoreamento de reservatórios, depauperamento da qualidade da água e formação de enxurradas. Considera-se que a principal forma de poluição de rios, lagos e estuários são os sedimentos erodidos, outra constatação importante é a redução das taxas de infiltração com forte impacto na disponibilidade de água às plantas, aumento das enxurradas e redução das vazões mínimas.

A solução dos problemas econômicos e ambientais associados à erosão depende do entendimento da dinâmica dos sedimentos em várias escalas de análise. É necessário integrar o conhecimento desde os processos de desagregação e fluxo de água no solo na microescala até o transporte dos sedimentos na rede de drenagem que pode envolver escalas de centenas de quilômetros quadrados, considerando também as relações entre as escalas. Isso porque, os impactos da erosão não estão relacionados apenas às lavouras, mas sim em todos os ambientes que tem potencial para serem fontes de sedimentos ou que servem como caminhos de transferência dos sedimentos ou mesmo ambientes que retêm os sedimentos erodidos. Sendo assim, a abordagem da erosão hídrica deve envolver os processos de destacamento na fonte até a sua presença nos rios, passando pelos mecanismos de transferência e retenção que ocorrem nas

encostas e áreas planas. Essa análise integrada da dinâmica do processo contribuirá para o entendimento da variabilidade espacial dos solos em termos químicos e físicos bem como para a variabilidade espacial e temporal da qualidade de água nos rios.

O planejamento das atividades agrícolas, para que esteja em equilíbrio com a preservação e manejo dos recursos naturais (solo, água e biodiversidade), deve estar baseado em estudos detalhados que envolvam as componentes da paisagem e a análise da capacidade produtiva das terras.

No intuito de compreender e solucionar os problemas da dinâmica de ocupação e exploração do solo houve, nas últimas décadas, uma demanda crescente de informações sobre a variabilidade espacial dos fatores controladores e dos efeitos da erosão sobre os recursos naturais. Agências de proteção e gestão ambiental necessitam de ferramentas de identificação das áreas suscetíveis a vários tipos de perigos e de degradação ambiental. Da mesma forma, órgãos responsáveis pelo planejamento agrícola necessitam de ferramentas para direcionar o uso e o manejo adequado de extensas áreas com base no conceito de aptidão das terras, bem como avaliar a capacidade produtiva das mesmas. Todas estas demandas passam necessariamente pela capacidade de predição espacial dos processos hidrológicos e erosivos na paisagem tal como ela é.

A erosão hídrica é o reflexo dos processos hidrológicos condicionados pelas características fisiográficas da bacia (solos e relevo) e pela ação antrópica. Este é fenômeno natural que atua na modelagem das feições da superfície terrestre e na redistribuição e transferência dos sedimentos das bacias vertentes para os rios e oceanos. Sendo assim, a taxa e a magnitude do processo dependem de uma interação complexa entre relevo, uso do solo, clima e solos presentes na paisagem. Em geral, as atividades humanas de ocupação e exploração de determinada área aumentam as taxas de erosão em comparação com a situação natural. Entretanto, são comuns grandes mobilizações de sedimentos de origem natural, como nos fluxos de massa e na erosão fluvial.

A mobilização e o transporte de sedimentos na paisagem é um processo de dissipação de energia, onde a chuva e o escoamento concentrado condicionam a remoção das partículas, o seu transporte e finalmente a deposição. Diferentes áreas da ciência contribuem para o desenvolvimento do estado da arte dos processos erosivos e da hidrossedimentologia. A primeira fase do processo erosivo, que é caracterizada basicamente pela remoção das partículas e é profundamente explorada pela Ciência do Solo enquanto que os processos de transporte e deposição são muito bem descritos pelos campos da engenharia e da geografia física. Entretanto, uma das principais dificuldades de integração do conhecimento são as interações entre os processos de transporte e deposição que ocorre nas encostas, que condicionam a redistribuição

de sedimentos nas encostas e a conectividade entre as vertentes e a calha fluvial. Essas questões envolvem basicamente o entendimento da mobilização dos sedimentos erodidos dentro da própria encosta, a importância das áreas de deposição e as rotas de transferência.

Compreender as relações entre os processos observados nas encostas e aqueles que ocorrem na calha fluvial é o meio pelo qual faremos convergir os interesses agrícolas, urbanos e ambientais da erosão hídrica e, conseqüentemente, teremos justificativas mais fortes para implementação de programas de manejo e conservação dos solos. Considerando o fato de que a erosão do solo e a mobilização de sedimentos afeta tanto as funções do solo como e da água é imprescindível que as estratégias de monitoramento, modelagem e manejo dos recursos naturais seja realizada no contexto das bacias hidrográficas. Esse capítulo de livro tem como objetivo apresentar conceitos que envolvem a erosão hídrica no contexto das bacias hidrográficas. Esse trabalho foi organizado pelo grupo de monitoramento e modelagem de bacias hidrográficas rurais do Departamento de Solos da UFSM para demonstrar alguns conceitos, processos e fatores associados ao tema erosão em bacias e, também, apresentando resultados dos estudos em duas regiões distintas do RS: na encosta do planalto e no planalto Riograndense.

## 1 ENFOQUE DAS ABORDAGENS NA ESCALA DE BACIAS

### 1.1 O processo erosivo e seus fatores controladores

A erosão acontece de forma gradual e natural pela intensidade dos agentes erosivos. No entanto, a ocupação humana através de seus cultivos agrícolas e suas obras de infraestrutura tem ocupado importante papel no desequilíbrio do sistema, promovendo a aceleração ou desaceleração da erosão, com impactos ao meio ambiente e ao próprio homem. Os recursos naturais (hidrosfera, geosfera, pedosfera, biosfera) procuram um equilíbrio energético e de massa dentro de limites fisiográficos formados pelos biomas e as bacias hidrográficas. A dissipação dos agentes erosivos na paisagem pode ser interpretada segundo os conceitos clássicos da erosão em que o processo é dividido em três fases: desagregação, transporte e deposição.

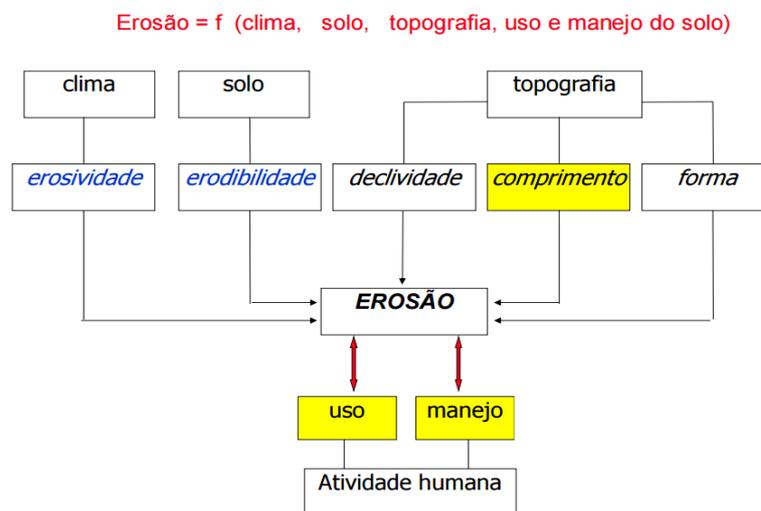
A **desagregação** possui basicamente duas fontes de entrada de energia. A primeira delas é a entrada natural de energia pela precipitação, a qual varia de acordo com a energia cinética da gota de chuva que é dissipada sobre a superfície terrestre. A gota da chuva atuando sobre o solo desprovido de proteção de cobertura vegetal, se choca com velocidade, transferindo sua energia aos agregados e partículas de solo, destruindo-os e movimentando-os com transporte de massa a curtas distâncias, fracionando os agregados em agregados menores ou partículas simples, que passam a se tornar novamente candidatos a serem desagregados e transportados agora com mais

facilidade após sucessivos e repetidos impactos sofridos e perdas de massa. Além da gota o escoamento superficial tem papel importante na desagregação causada pela turbulência do fluxo concentrado sobre os solos.

O **transporte** ocorre após a desagregação do solo. Estando essas partículas fragmentadas em partes menores e mais leves, passam a atuar os processos de transporte das mesmas, pela força cinética da água de escoamento superficial e concentrado, dependendo de características das partículas, do escoamento, da superfície do fluxo e da topografia do terreno; é um processo complexo e seletivo, variando no tempo e no espaço.

A **deposição** ocorre quando a capacidade de transportar as partículas pelo fluxo se torna impossibilitada, devido à falta de suporte do meio líquido em termos de energia cinética ou atingir um limite da capacidade de concentração de sólidos em suspensão. Assim, os materiais são depositados ao longo do trajeto do fluxo, também de forma complexa e seletiva no tempo e no espaço.

A magnitude da erosão está diretamente ligada à habilidade dos agentes erosivos em causar erosão (erosividade) e da susceptibilidade do solo em ser erodido (erodibilidade). A magnitude do processo dependerá, também, da topografia (declividade, comprimento e forma) bem como do uso e manejo dos solos (Figura 11).



**Figura 11.** Fatores controladores da erosão.

Após o processo de desagregação das partículas sólidas pelo impacto da gota da chuva ou pelo escoamento, denominadas de sedimentos, são carregadas no fluxo desde que haja energia suficiente para realizar o seu deslocamento. Quando a capacidade de transporte do escoamento diminui por condições da topografia, ou a concentração de sedimentos se torna muito alta para determinada capacidade de transporte cinemática, ocorre a deposição de parte dos sedimentos.

Este processo acontece ao longo da superfície e dos canais, com áreas de perdas de sedimento, normalmente as áreas mais declivosas, e áreas de aporte de sedimentos por deposição, em geral de relevo mais suave junto aos estuários das encostas. Nem todas as partículas mobilizadas pela erosão irão chegar na saída da bacia (exutório), devido a este processo dinâmico e complexo de desagregação, transporte e deposição dos materiais ao longo das encostas e da rede de drenagem em seu percurso até a saída da bacia.

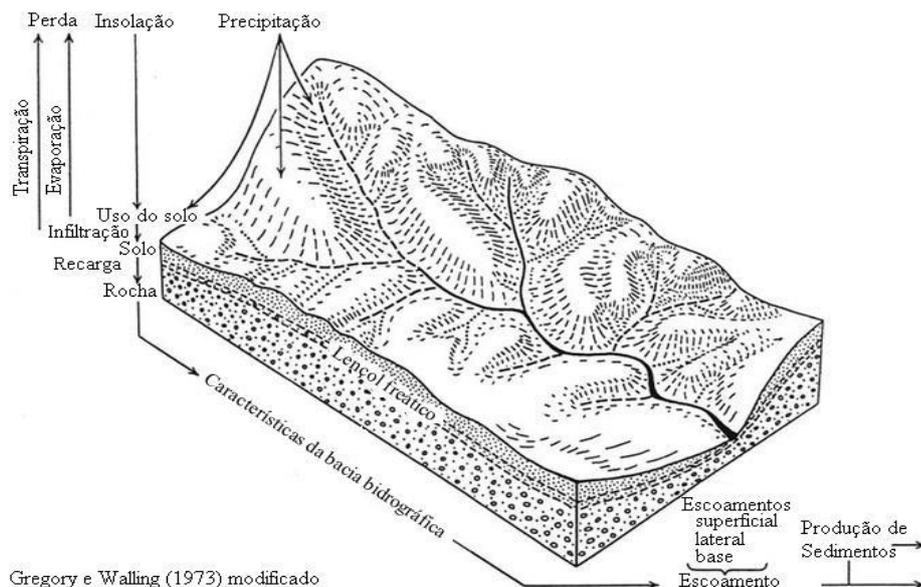
A erosão bruta compreende, então, todo o material mobilizado pelos agentes erosivos, sendo que esta mobilização representa alguns centímetros, vários metros ou quilômetros. A erosão bruta pode não se fazer sentir através da exportação para fora da bacia, mas pode provocar fortes impactos nela mesma, em termos qualitativos nas glebas para os cultivos como perda de fertilidade e substrato, e causar impactos ambientais como a transformação, contaminação e deposição de solos nas partes inferiores da paisagem. A erosão bruta é difícil de ser avaliada, pois necessita de um diagnóstico completo em toda a área para quantificar estas mobilizações. A mesma está relacionada com a força cisalhante da água e pelo transporte de sedimentos e contaminantes, este possui uma capacidade finita de transportar sedimentos, mas que pode não ocorrer dependendo da severidade do processo erosivo. A deposição ocorre nas áreas mais planas e nas depressões do relevo. Este processo é complexo e a quantificação do que é desagregado, transportado e/ou depositado envolve pesquisas em parcelas experimentais e técnicas específicas, especialmente com o uso de radioisótopos.

Dessa forma, a produção de sedimentos é a diferença entre tudo o que erodiu (erosão bruta) e o material que depositou ao longo da bacia. Sua estimativa é realizada pelo monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e pela vazão. A CSS medida numa seção de interesse do rio, que pode ser o exutório da bacia, reflete, portanto, o comportamento dos processos de desagregação, transporte e deposição na bacia. Esse comportamento pode ser melhor descrito com técnicas de traçagem da origem dos sedimentos (ver a abordagem *fingerprinting* no Capítulo V) e com inventários das taxas de erosão e deposição (uso de radioisótopos).

## **1.2 A bacia como unidade de estudo da erosão hídrica**

Os escoamentos subterrâneos, subsuperficiais e superficiais, a erosão hídrica, a transferência de sedimentos e a qualidade de água nos rios são controladas por processos geomorfológicos e hidrológicos que operam dentro do sistema denotado de bacia hidrográfica. Na hidrologia, a bacia hidrográfica é considerada o ambiente (sistema) onde as precipitações são convertidas em escoamentos, por meio da propagação dos fluxos de massa e energia

condicionados por diferentes fatores capazes de retardar ou acelerar tais fluxos (Figura 12). Nesse contexto, as características do solo assumem papel fundamental no controle desses fluxos, basicamente em função das taxas de infiltração e redistribuição de água no solo. Esses dois processos controlam (i) na superfície a formação do escoamento superficial, a erosão e o transporte de solutos e (ii) em subsuperfície a disponibilidade de água às plantas, a vazão de base nos rios e a recarga de aquíferos. Sendo assim é conveniente usar a escala de bacia, pois os fluxos de água, sedimentos e solutos são controlados pelas características das vertentes (relevo, uso e solos) e o que se monitora-se no exutório da bacia é o reflexo e a integração dos processos correntes. O sistema de produção adotado pelos agricultores e o manejo do solo nas condições fisiográficas particulares de cada paisagem controlará as taxas de infiltração e redistribuição de água e, conseqüentemente, o processo de transformação “chuva-vazão”, que por sua vez controlam a erosão, a produção de sedimentos e o transporte de soluto que serão mobilizados das vertentes para a calha fluvial.

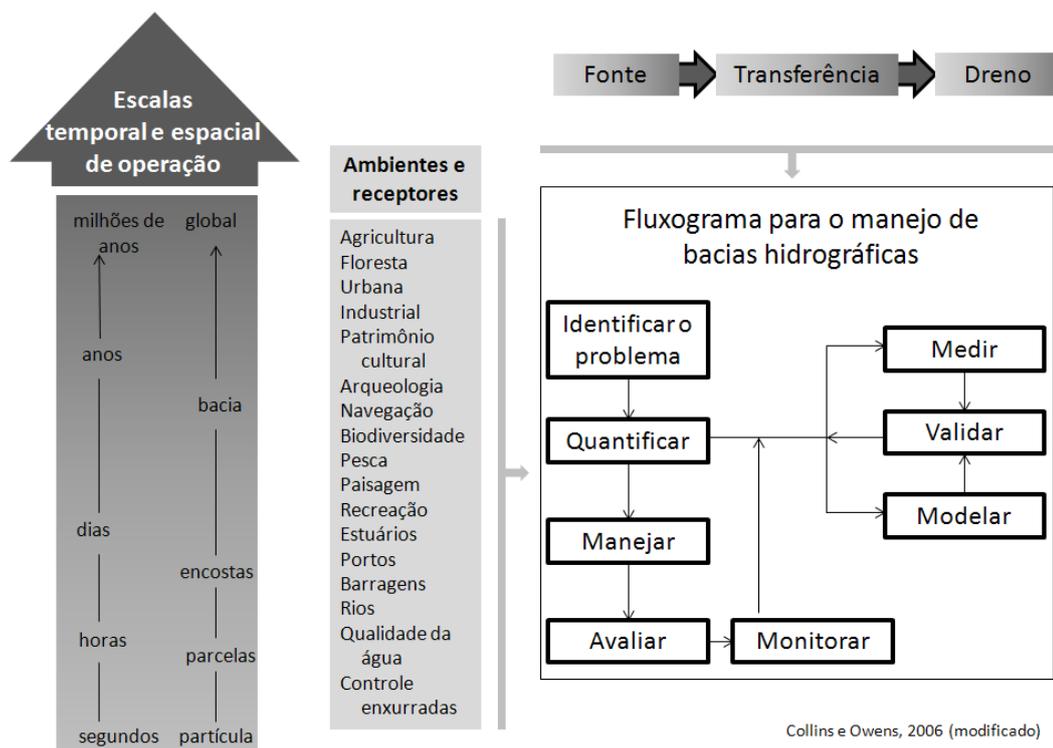


**Figura 12.** A bacia hidrográfica como unidade de estudo dos processos erosivos condicionados pela hidrologia e pelos fatores controladores.

Portanto, naquelas bacias hidrográficas em que o solo encontra-se em fase adiantada de degradação, as taxas de infiltração da água no solo serão extremamente baixas e, com isso, o volume escoado superficialmente, durante um evento de precipitação, poderá provocar erosão e desta forma transferir tanto os sedimentos como os poluentes a eles adsorvidos diretamente para os cursos de água. A transferência desses sedimentos será ainda mais facilitada no caso desse curso de água não apresentar um mínimo de vegetação ripária capaz de interceptar e diminuir a

velocidade do escoamento superficial proveniente das encostas e, com isso, aumentar a deposição dos sedimentos em suspensão e a infiltração do escoamento.

A análise dos processos erosivos na escala de bacia insere o controle dos fatores geomorfológicos nos padrões espaciais e temporais dos fluxos de água e na geração e mobilização dos sedimentos. Nesses casos, além da declividade e do comprimento de rampa a forma das vertentes e as características das áreas planas passam a ter uma importância muito grande para explicar as perdas de solos observadas dentro dos rios. Sendo que o nome da variável muda de perda de solo para produção de sedimentos, já que os processos que estão por detrás desse conceito são outros além daqueles associados à perda de solo. Na Figura 13 é apresentado um esquema da estratégia de abordagem da erosão hídrica considerando as conexões entre as escalas espaciais e temporais e da importância das atividades de monitoramento, modelagem e manejo no entendimento e descrição dos processos ocorrentes.



**Figura 13.** Condicionantes dos processos erosivos e fluxograma para o manejo em bacias.

Uma estratégia baseada na avaliação integrada de bacias para a compreensão dos processos erosivos (WALLING; COLLINS, 2000) fornece uma valiosa ferramenta para reunir informações valiosas sobre os processos de mobilização e redistribuição dentro da bacia e ligar isso com a produção de sedimentos medida no exutório da bacia. Esse tipo de estratégia ou abordagem envolve a integração de várias técnicas/metodologias que juntas, fornecem informação sobre a mobilização, redistribuição, transporte e armazenamento dentro de uma

bacia. Estas técnicas incluem o monitoramento do fluxo de água e sedimentos na saída da bacia, a identificação das fontes primárias de sedimentos em suspensão, o uso de traçadores para documentar as taxas de redistribuição e deposição dentro da bacia e o monitoramento das perdas de solo em parcelas experimentais. Reunindo e integrando esses três conjuntos de informações permite uma análise integrada que estabelece o balanço de sedimentos para a área de estudo, como aquele apresentados por Minella et al. (2014) numa pequena bacia rural no interior do RS.

### **1.3 A produção de sedimentos como variável integradora dos processos erosivos**

Os resultados obtidos em parcelas experimentais de erosão providenciam uma clara evidência dos efeitos do uso e manejo dos solos sobre as taxas de erosão. Entretanto, quando alteramos a escala de análise, saindo das parcelas experimentais para a escala de bacia, as evidências do impacto do uso e do manejo do solo na produção de sedimentos são menos claras. A complexidade do relevo, os fragmentos de vegetação e as construções humanas (estradas, drenos, barreiras, etc.) afetam a conectividade entre as vertentes e a rede de drenagem. O efeito do uso e manejo dos solos sobre a produção dos sedimentos tem a propriedade de atenuar ou agravar o controle da geomorfologia e do clima (KIMOTO et al., 2002; DUNJÓ et al., 2003; VANACKER et al., 2003; VERSTRAETEN et al., 2006). A alteração da cobertura vegetal natural para o uso agrícola, por exemplo, pode modificar a produção de sedimentos em várias ordens de magnitude em comparação com uma área não perturbada (MORGAN, 2005).

Considerando diferentes escalas espaciais ( $10^{-6}$  –  $10^2$  km<sup>2</sup>) existem diferentes fatores e os processos controladores da produção de sedimentos. Por isso é que os estudos em erosão precisam de enfoques desde a escala do perfil do solo até a escala de bacia. Existem fatores comuns e específicos entre as escalas no controle da produção de sedimentos (LANE et al., 1997). Por exemplo, o clima é um fator comum a todas as escalas, e a erosão em entressulcos é um fator específico para as áreas menores. Sendo assim, é necessário estabelecer um método correto de monitoramento e análise baseado na escala de interesse e nos seus fatores controladores mais relevantes. Nas bacias de cabeceira, com vertentes de alta declividade, a contribuição da erosão superficial para a calha fluvial tende a ser maior devido às características fisiográficas que favorecem o processo de transferência de sedimentos da bacia vertente para a calha fluvial. A jusante, onde as vertentes apresentam relevo mais suave e largas planícies, aumenta o potencial de deposição e a contribuição da erosão na calha fluvial. Dessa maneira, a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica é função dos processos erosivos que ocorrem nessa bacia, ou seja, das taxas de desagregação do solo por ação da precipitação e do escoamento concentrado, dos processos de transferência dos sedimentos da bacia vertente para a

calha fluvial e pelos processos de transporte e deposição que ocorrem na calha fluvial. Os processos envolvidos na transferência dos sedimentos das áreas fontes para a calha fluvial é muito pouco conhecidos, mesmo que isso seja de fundamental importância para estimar a produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

As iniciativas em compreender as mudanças de produção de sedimentos devem considerar os processos que envolvem a mobilização e a transferência de sedimentos das vertentes para a calha, ou seja, os mecanismos intrínsecos no SDR (*Sediment Delivery Ratio* – Taxa de Emissão de Sedimentos). Em função das características das encostas e planícies, parte dos sedimentos erodidos ficará depositada no fundo de vales e dentro do canal. Reciprocamente, a redução na perda de solo pela implementação de medidas conservacionistas e melhorias das práticas de cultivo podem não refletir na redução da produção de sedimentos porque os sedimentos armazenados nos antigos depósitos podem ser remobilizados (TRIMBLE, 1983; HADLEY et al., 1985). Por isso, a escala temporal de análise deve ser considerada na compreensão dos efeitos do uso e do manejo do solo, pois é possível que o impacto de determinada atividade humana possa ser relativamente antiga, mas os processos na rede de drenagem podem perdurar por décadas. Os resultados científicos que abordam o tema da conservação do solo no contexto de bacias são unânimes da influência uso e manejo do solo do solo sobre a erosão hídrica e a produção de sedimentos nesta escala, mas da mesma forma salientam que existem incertezas no estabelecimento do grau de influência deste controle sobre a variabilidade da produção de sedimentos.

#### **1.4 A importância da geomorfologia na dinâmica do processo erosivo**

A geomorfologia assume uma função essencial na erosão hídrica e na dinâmica dos sedimentos na escala de bacia (MOORE et al., 1991), já que as características do relevo condicionam os fluxos de água e conseqüentemente dos sedimentos e solutos na paisagem. Sendo assim, a geomorfologia afeta diretamente a magnitude relativa de processos hidrológicos, sendo que em algumas condições esse é o principal mecanismo gerador do escoamento. Para quantificar esses efeitos e utilizá-los como fatores controladores dos processos erosivos são utilizados índices topográficos, que de maneira simples são acoplados nos modelos matemáticos para caracterizar o efeito topográfico no processo.

O uso de índices topográficos permite identificar a susceptibilidade ao processo erosivo na paisagem de forma eficiente (MINELLA; MERTEN, 2012). Esses índices são extraídos dos Modelos Numéricos de Elevação (MNE) que é a representação digital do relevo (MOORE et al., 1993) que caracterizam atributos simples e complexos do terreno, os quais podem ser utilizados

como preditores do fluxo da água na superfície do solo que, obviamente, é o condicionante dos processos erosivos (MINELLA; MERTEN, 2012). Os índices com maior aplicação nas análises ambientais são: (i) a declividade, (ii) o aspecto, (iii) a curvatura no perfil, (iv) a curvatura no plano, (v) área acumulada específica, e (vi) comprimento da rampa. Uma descrição detalha sobre eles é apresentado em Moore et al. (1991) e Morre e Gallant (1991).

Os índices são requeridos por modelos matemáticos que simulam os processos hidrológicos e erosivos como informação necessária para a realização de algum cálculo, por exemplo, o modelo TOPMODEL que utiliza a declividade e área acumulada para determinar as áreas úmidas na paisagem com maior susceptibilidade à erosão (SANTOS; KOBAYAMA, 2008). Sendo assim, os índices são utilizados para representar variáveis associadas à variabilidade espacial dos solos, à formação do escoamento superficial e ao processo erosivo.

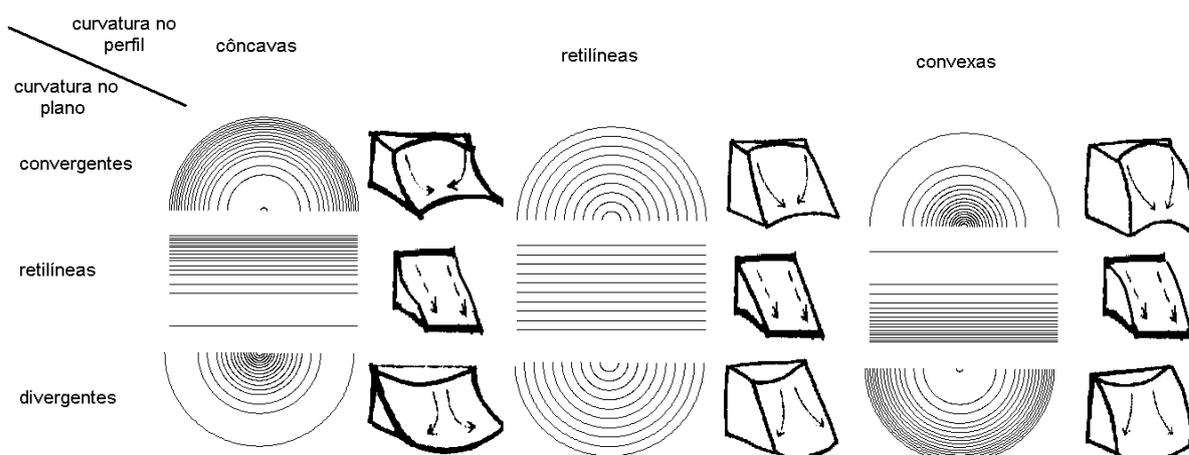
O procedimento de determinação dos índices e utilização nos modelos matemáticos dependeu fundamentalmente dos sistemas de informação geográfica aliada à disponibilidade de dados digitais de relevo. Os programas de geoprocessamento permitem a manipulação e análise de grandes quantidades de dados (LONGLEY et al., 2005). Isso é especialmente importante quando abordamos o processo erosivo na escala de bacia, primeiramente por que a bacia é a unidade clássica da paisagem que representa a realidade numa conformação conveniente para os estudos hidrológicos. O segundo aspecto é pelo fato que a representação digital do relevo de uma bacia com alguns quilômetros quadrados numa resolução média gera uma enorme quantidade de dados que dependerá de um procedimento eficiente e preciso de análise, tal como aqueles disponíveis nos sistemas de informação geográfica.

Na maioria dos lugares e situações existe uma falta generalizada de dados para projetos de análise e planejamento rural e ambiental. Sendo que, a medição direta de muitas de variáveis ambientais e parâmetros necessários, como vazão, umidade do solo, radiação, propriedades hidráulicas do escoamento e propagação de sedimentos são inviáveis por causa de sua complexidade e por restrições econômicas. Entretanto, uma informação relativamente fácil de se obter é o mapa topográfico. A partir dos dados de elevação e através dos métodos de análise do terreno, os índices topográficos podem ser utilizados para indicar o padrão espacial destas variáveis contribuindo para os projetos de monitoramento e modelagem. Importante salientar que as estimativas dessas variáveis por meio dos índices topográficos dependem fundamentalmente de levantamentos e verificação a campo para a validação dos resultados.

As variações do gradiente e do aspecto em uma determinada vertente definem a forma da vertente. Existem duas classificações de forma da vertente: a curvatura no plano e a curvatura no perfil (BEVEN; KIRBY, 1979). A curvatura no plano é a taxa de variação da declividade na

direção ortogonal a do aspecto. A curvatura no plano é decisiva na acumulação da umidade e do fluxo da água sobre o terreno. Sob o ponto de vista da curvatura no plano um terreno pode ser convergente, divergente ou reto. Terrenos convergentes são aqueles em que as direções de maior declividade em diferentes pontos do terreno tendem a convergir, terrenos divergentes são aqueles em que as direções de maior declividade em diferentes pontos tendem a divergir.

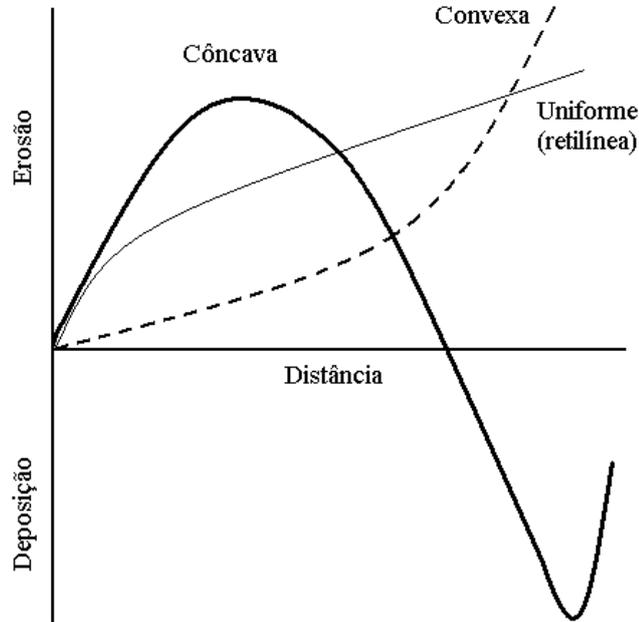
A curvatura no perfil é a taxa de variação da declividade na direção do aspecto. A curvatura no perfil é decisiva na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o terreno e, portanto influencia a velocidade do escoamento, a erosão do solo e a propagação de sedimentos. Sob o ponto de vista da curvatura no perfil um terreno pode ser côncavo, convexo ou reto. Terrenos côncavos são aqueles em que a declividade diminui na direção do aspecto, terrenos convexos são aqueles em que a declividade aumenta na direção do aspecto e terrenos retos são aqueles em que a declividade não se altera. A combinação das curvaturas do plano com as curvaturas no perfil fornecem nove possibilidades de curvaturas (Figura 14) (MEDIONDO et al., 1998).



**Figura 14.** Diferentes formas de curvaturas de rampas (MEDIONDO et al., 1998).

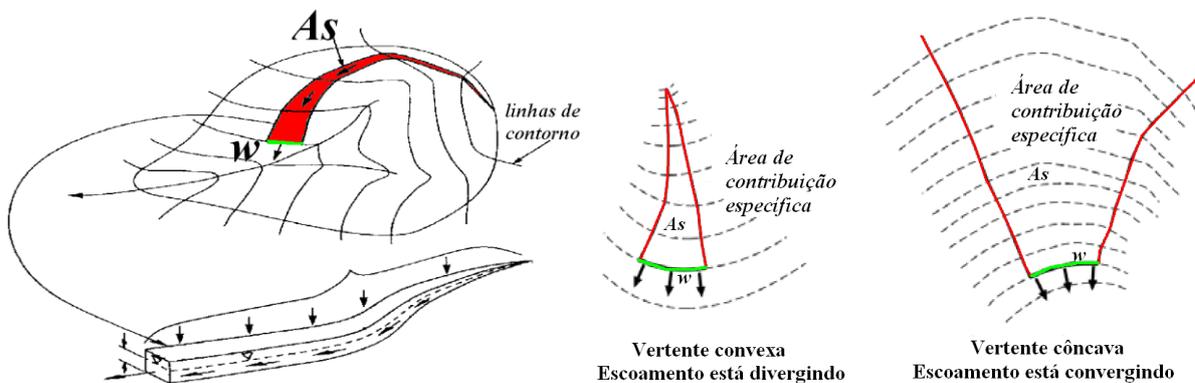
As curvaturas no plano e no perfil têm sido muito importantes para representar aspectos chave na modelagem matemática da hidrologia, erosão e transporte de solutos em bacias hidrográficas. As formas das vertentes influenciam a umidade do solo, a origem do escoamento superficial e do processo erosivo, e os caminhos preferenciais do escoamento. Na Figura 15 temos um exemplo de como a curvatura no perfil influencia o processo erosivo e deposicional. A taxa máxima de erosão nas rampas convexas é muito maior que a taxa máxima de erosão nas vertentes uniformes. A máxima taxa de erosão é levemente menor numa rampa côncava do que numa rampa uniforme, e a produção de sedimentos de uma rampa côncava é menor do que

numa rampa uniforme para o caso onde a declividade da rampa côncava não diminua o suficiente para causar a deposição (TOY et al., 2002).



**Figura 15.** Modelo simplificado da variabilidade da erosão em rampas com diferentes curvaturas no perfil (TOY et al., 2002).

Outro parâmetro fundamental na modelagem hidrológica e da erosão em bacias é a área de contribuição específica ( $A_s$ ), que é uma medida da intensidade do escoamento superficial em dado ponto da vertente. Este parâmetro integra os efeitos da área de contribuição a montante e os efeitos da convergência ou divergência sobre o escoamento. A Figura 16 mostra a forma de cálculo da área de contribuição específica. O fator que mais afeta o valor da área de contribuição específica é a curvatura no plano (WILSON; GALLANT, 1996). Na Figura 16 são mostradas as diferenças encontradas para uma vertente convexa e uma vertente convergente na área de contribuição específica.



**Figura 16.** Esboço do conceito de área de contribuição específica (MATHIAS, 2007; MOORE; BURCH, 1986).

Estes índices representam, então, uma ferramenta para estudos científicos e gestão dos recursos naturais, por exemplo, no planejamento ambiental e agrícola. Por exemplo, a susceptibilidade do terreno para a erosão entressulco e em sulco pode ser inicialmente estimada usando índices primários e secundários. O potencial erosivo é transformado em estimativa de perda real do solo quando as outras informações necessárias (tipo de solo, vegetação e clima) são agregadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), e pode-se aplicar um modelo tal como a USLE (*Universal Soil Loss Equation* – Equação Universal de Perdas de Solo) (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Além disso, modelos de erosão de base física mais complexos, LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*) (DE ROO, 1996), WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) (FOSTER; LANE, 1987), TOPMODEL (BEVEN et al., 1995) utilizam índices topográficos para calcular os processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos em encostas de relevo complexo e em bacias hidrográficas.

Na escolha de um modelo baseado na RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation* – Equação Universal de Perdas de Solo Revisada) para bacias hidrográficas, por exemplo, os fatores LS (comprimento e declividade) podem ser substituídos por índices topográficos que incorpora a forma das vertentes (MINELLA et al., 2012). Além dos aspectos voltados à modelagem dos processos hidrológicos e erosivos, as informações provenientes dos índices topográficos podem ser usadas para planejar uma estratégia de coleta de dados e mapeamento. Isso contribui para determinar previamente a localização mais adequada de realizar a amostragem considerando a complexidade do relevo. Exemplos de aplicação são: (i) os levantamentos de solos, (ii) levantamentos para o planejamento de desenvolvimento agrícola e florestal, (iii) levantamentos biológicos, (iv) instalação de seções de monitoramento hidrológico, meteorológico e de qualidade da água.

## **1.5 O monitoramento em estudos de erosão**

O estudo dos impactos positivos ou negativos do uso e manejo do solo na escala de bacias hidrográficas parte do princípio que os processos observados na rede de drenagem refletem parte da dinâmica que ocorre nas encostas. Considerando esse ponto de partida, usam-se variáveis ambientais de seção do rio e, a partir de seu comportamento temporal, interpreta-se o comportamento da região que drena para aquela seção rio. Entretanto, as relações entre os fatores interferentes (clima, relevo, solo, uso) geram uma complexidade de difícil interpretação, dependendo então de diferentes técnicas de monitoramento e modelagem que possam ser integradas e utilizadas para separar o efeito de cada fator para a interpretação dos efeitos isolados do manejo de solos na escala de bacia.

Como colocado anteriormente, a produção de sedimentos é a informação mais importante para representar os processos erosivos na escala de bacia hidrográfica, porque ela integra as perdas de solo nas encostas, o transporte de sedimentos no rio e o escoamento superficial que ocorre nas bacias. Essas três variáveis estão estreitamente relacionadas com o uso do solo e com o manejo do solo. A “produção de sedimentos” é definida como a quantidade de sedimentos que é removida para fora de uma bacia hidrográfica ou de uma área considerada, entretanto ela representa uma parcela do total de solo que foi erodido e mobilizado em uma bacia em decorrência de todos os processos erosivos atuantes. Por isso refere-se à diferença entre a erosão bruta e a deposição dentro da bacia hidrográfica (Equação 1):

$$PS = EB - DS \quad (1)$$

onde  $PS$  é a produção de sedimentos ( $t \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ );  $EB$  é a erosão bruta ( $t \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ); e  $DS$  é a quantidade de material depositado, retido e em trânsito na bacia ( $t \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ).

No estudo dos processos erosivos de uma bacia hidrográfica buscamos variáveis que respondam aos efeitos do uso e manejo do solo. Para isso, necessitamos estabelecer um programa de monitoramento adequado e selecionar variáveis que estão envolvidas no processo. As medições se concentram no exutório da bacia, onde os processos são integrados e expressos em termos de alterações nos fluxos de matéria e energia. Neste caso, é estabelecida uma seção de monitoramento e são obtidas as descargas líquidas e sólidas por meio do monitoramento da vazão, da concentração de sedimentos em suspensão e do transporte de fundo, além evidentemente do monitoramento da precipitação e da evapotranspiração. A técnica é baseada na obtenção de uma série temporal de dados de precipitação, vazão e concentração de sedimentos que possibilita o cálculo da descarga sólida, que é dado em massa por unidade de tempo ( $\text{kg s}^{-1}$ ) e a da produção de sedimentos que é a integração da descarga sólida para determinado intervalo para a área de captação da bacia ( $t \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ).

Segundo Merten et al. (2006), a veracidade dos resultados depende da correta definição dos intervalos de amostragem. Um número maior de amostragem em um menor intervalo de tempo aumenta a probabilidade de coincidir o momento da coleta com os eventos de cheia, os quais são responsáveis pela maior parte da produção de sedimentos. A frequência de amostragem afeta sensivelmente a estimativa do fluxo de sedimentos em suspensão. Uma estimativa baseada em amostragem trimestral não corresponde à estimativa de amostragem semanal, diária ou horária, podendo haver uma subestimativa da produção de sedimentos quanto maior for o intervalo entre as medidas. Entretanto, a obtenção de dados de vazão e, principalmente, de

concentração de sedimentos em suspensão implicam em alto custo de coleta e análises de laboratório.

As técnicas de monitoramento do fluxo de sedimentos são baseadas na necessidade de coletar uma amostra representativa considerando a variabilidade espacial e temporal na seção de monitoramento, as quais dependem basicamente do tamanho da seção de monitoramento e das características hidráulicas do escoamento. A partir das características da seção é definido o número de verticais necessárias para cobrir a variabilidade longitudinal da seção, o número de pontos de amostragem em cada vertical, o tipo de amostrador de sedimentos e a frequência de amostragem (HUDSON, 1997; PORTERFIELD, 1977; MERTEN et al., 2014). Importante salientar a importância do monitoramento intensivo da concentração de sedimentos durante os eventos de chuva de média e alta intensidade. Grande parcela do material transferido para fora das bacias ocorre durante esses momentos, sendo assim a estratégia de monitoramento deve priorizar a coleta de amostras durante os eventos.

As amostras coletadas a campo são enviadas a laboratórios especializados e a concentração de sedimentos em suspensão é determinada pela relação entre a quantidade de sedimentos presente na amostra, em massa, dividido pelo volume de amostra coletado (WMO, 2003), utilizando os métodos de filtração ou evaporação conforme a magnitude da concentração presentes nas amostras. A produção de sedimentos é obtida então pela multiplicação entre a concentração de sedimentos e vazão para cada intervalo de medida, sendo que o somatório no tempo fornecerá a estimativa da produção de sedimentos.

Uma alternativa complementar às técnicas de monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão é o uso de equipamentos automáticos capazes de estimar a concentração de sedimentos em suspensão com relativa precisão. Neste caso, usa-se a turbidez do escoamento que apresenta uma boa correlação com a concentração dos sedimentos em suspensão (LAWLER; BROWN, 1992, FINLAYSON, 1985; LAWLER, 2005; LAWLER et al., 2006, MINELLA et al., 2007). O equipamento é instalado na seção de monitoramento e coleta dados contínuos em curtos intervalos de tempo. Entretanto, o uso desta tecnologia exige um protocolo de calibração conforme descrito em Merten et al. (2014).

## **1.6 A conservação do solo na escala de bacia**

O impacto da conservação do solo nos processos erosivos utilizando a produção de sedimentos como variável explicativa pode ser interpretada por meio de diferentes enfoques. Para grandes bacias (>1000 km<sup>2</sup>), com longas séries de dados, as análises são realizadas verificando a alteração das descargas líquidas e sólidas, da conformação da rede de drenagem ou o

assoreamento dos rios (DUNJÓ et al., 2003; ERSKINE et al., 2002; PIÉGAY et al., 2004). Os resultados mostram as mudanças que ocorreram em décadas devido à ocupação humana, permitindo inferir a respeito do histórico das taxas de erosão na bacia. Knox (2001) avaliou como o uso do solo influenciou o processo erosivo e a sedimentação, e, conseqüentemente, a ocorrência de enchentes no vale superior do rio Mississipi. Na primeira metade do século vinte, o desenvolvimento acelerado da atividade agrícola gerou grandes perdas de solo, assoreamento dos rios e frequentes enchentes. No meio do século vinte, os programas de conservação do solo atuaram na bacia reduzindo a emissão de sedimentos para dentro do canal e, conseqüentemente, naquele período houve uma redução significativa na ocorrência de enchentes. Posteriormente, na segunda metade do século vinte, houve novamente o aumento na frequência de grandes enchentes, entretanto isto foi relacionado com os eventos de degelo, possivelmente associado aos processos de aquecimento global. O estudo foi baseado na metodologia de análise das camadas de depósitos de sedimentos que ocorreram nas planícies de inundação durante todo o século.

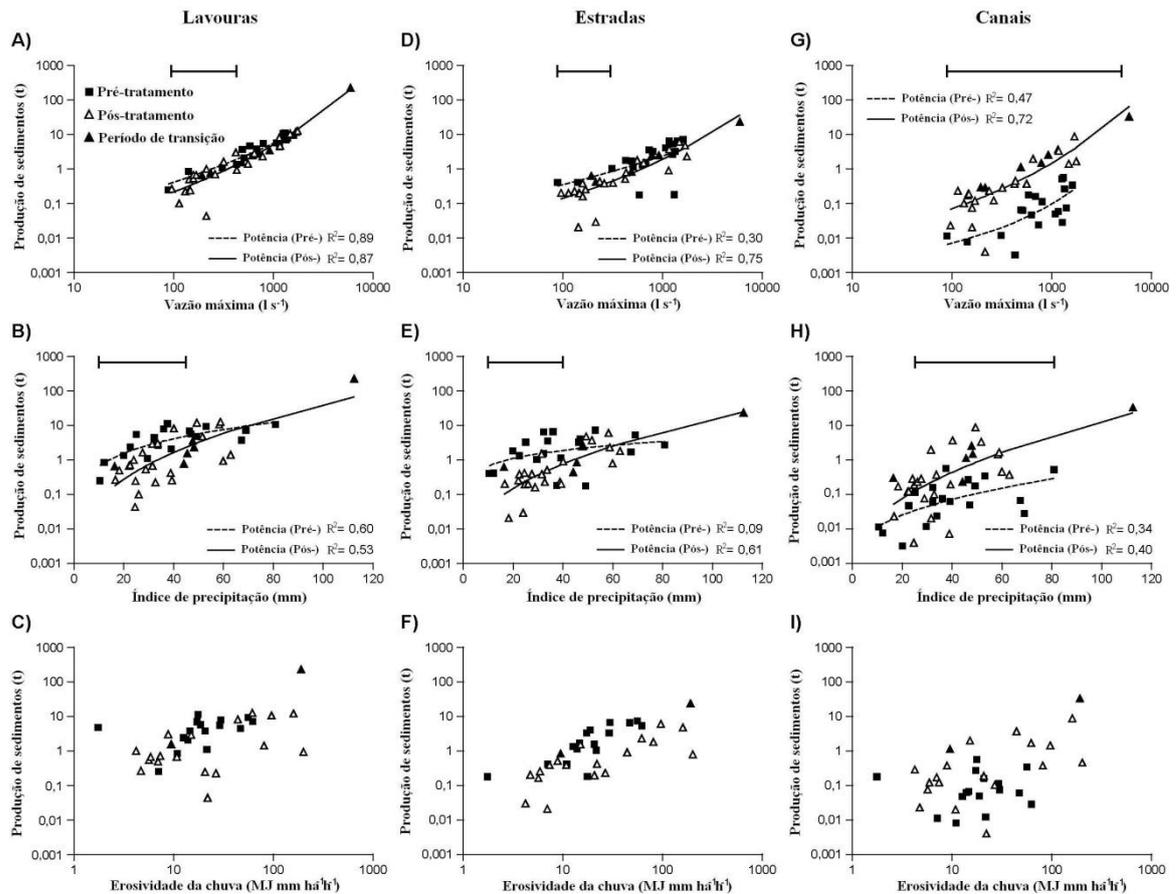
Outra abordagem frequente é a determinação da influência da conservação do solo segundo o conceito de sensibilidade da paisagem aos processos hidrológicos (REID, 1993). Neste caso a bacia hidrográfica é interpretada como um sistema composto de uma coleção de componentes (vertentes, canais de drenagem, estradas, etc.), onde as características e a interação entre eles determinam um mecanismo de resposta (produção de sedimentos) frente a um impulso energético (precipitação).

O trabalho de Dunne (1979) é uma referência inicial importante que demonstra trabalhos de monitoramento de bacias com diferentes condições de uso do solo para determinar o efeito direto do uso do solo como causa das mudanças na erosão do solo. No estudo foram analisadas 61 bacias no Quênia com o objetivo de estabelecer correlações entre o uso do solo e a produção de sedimentos. Os resultados exploram várias equações de regressões entre a produção de sedimentos e o uso do solo, além de diferentes condições fisiográficas e climáticas. Entretanto, não foi possível a obtenção de um padrão único que relacione as variáveis dependentes e independentes.

Outra maneira de avaliar o efeito do uso e ocupação do solo é através do monitoramento de uma bacia antes e depois da intervenção. Burt et al. (1984) monitoraram uma pequena bacia de cabeceira seis meses antes e um ano e meio após uma interferência antrópica, e descreveram as alterações hidrológicas e sedimentológicas ocorrentes. A bacia foi desmatada e foram construídos drenos para a implementação de cultivos anuais. A influência da alteração do uso e ocupação do solo foi determinada pela análise das variáveis hidrológicas (vazão máxima e coeficiente de escoamento), variáveis sedimentológicas (concentração máxima de sedimentos em suspensão e

produção de sedimentos) e as características da relação entre vazão e a concentração de sedimentos (histerese) durante os eventos nos dois períodos de uso distinto. Ainda que o período de monitoramento tenha sido curto, foi possível demonstrar que o desmatamento e a construção de drenos alteraram, significativamente, os valores das variáveis sedimentológicas. Mesmo não utilizando a identificação das áreas geradoras do escoamento superficial, os autores salientam a sua importância por ser um aspecto chave no entendimento das mudanças ocorridas na variabilidade da concentração de sedimentos.

Nesse sentido, Minella et al. (2008) utilizaram o monitoramento de uma bacia hidrográfica e a identificação das fontes de sedimentos para quantificar o efeito do cultivo mínimo na escala de bacia. Para isso foram utilizados 50 eventos de precipitação com significativa produção de sedimentos. Para cada evento foi determinada a proporção proveniente das três fontes principais de sedimentos presentes na bacia: lavouras, estradas e canal de drenagem. Destes 50 eventos 19 foram obtidos antes da implementação do cultivo mínimo, onde o revolvimento do solo era a prática comum. Os outros 31 eventos foram monitorados após a implementação do cultivo mínimo. A partir desse conjunto de dados foram realizadas as comparações dos períodos pré e pós-tratamento utilizando as relações entre esses valores e as variáveis que representam o escoamento superficial e a precipitação desses eventos. Com isto, foi possível identificar mudanças nas quantidades de sedimentos mobilizadas de cada fonte e relacioná-las com as mudanças no manejo do solo que ocorreu dentro da bacia (Figura 17). Os pontos associados com a fase de transição pertencentes ao período pós-tratamento foram distinguidos.



**Figura 17.** Relações dos períodos pré e pós-tratamento entre as quantidades de sedimentos mobilizadas dos três grupos de fontes durante os eventos e a vazão máxima e a precipitação associada aos eventos (MINELLA et al., 2008). As barras na parte superior do gráfico indicam a faixa em que existe diferença entre os períodos.

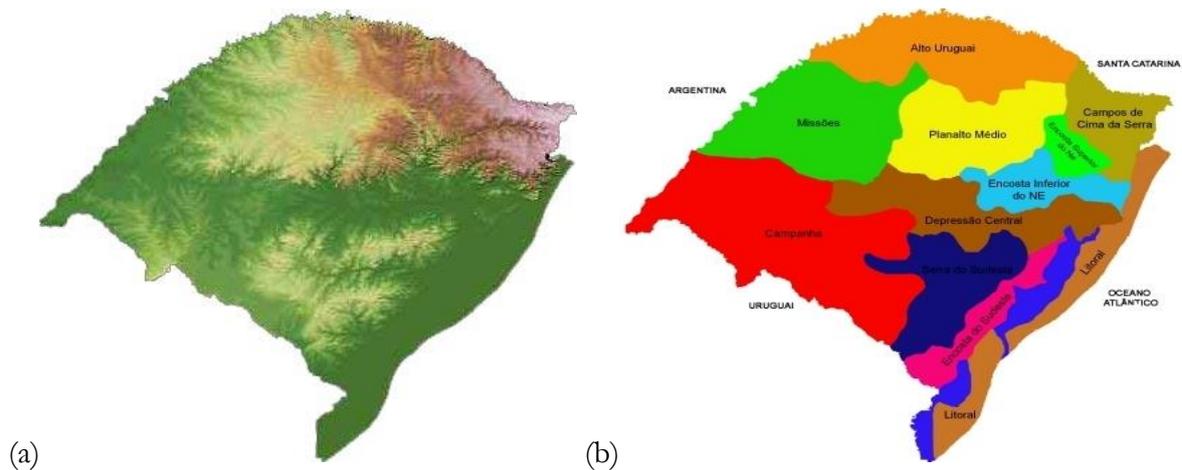
A Figura 17 mostra uma evidência que a mobilização de sedimentos dos canais de drenagem durante os eventos tem aumentado substancialmente depois da introdução das práticas de manejo conservacionista na bacia de estudo. A relação entre a quantidade de sedimento mobilizada da fonte “canal de drenagem” e vazão máxima indica que a mobilização de sedimentos das margens e do fundo do canal para uma dada vazão máxima foi, aproximadamente, uma ordem de magnitude maior no período de pós-tratamento. O gráfico para esta relação proporciona uma clara evidência que a quantidade de sedimento mobilizada das fontes de canal aumentou significativamente para o período pós-tratamento devido, segundo os autores, pelo menor aporte de sedimentos no escoamento superficial o que aumentou a capacidade erosiva do escoamento no canal. O efeito do manejo do solo para os eventos de grande magnitude é menos evidente. Isso foi explicado pelo fato da prática de conservação do solo não ser eficiente por si só na retenção do escoamento superficial em grandes magnitudes e como não houve práticas mecânicas de controle do escoamento não houve impactos positivos nos grandes eventos.

A partir de uma perspectiva integradora de processos e de metodologias é preciso reforçar a necessidade de aprimorar as técnicas de monitoramento e modelagem da produção de sedimentos que incluam as características e processos internos da bacia hidrográfica, além dos processos monitorados no exutório. Basicamente, isso significa conhecer a origem dos sedimentos, os processos de redistribuição na encosta e compreender a ligação entre a erosão nas encostas e a produção de sedimentos. Esses desafios científicos importantes no contexto de bacia hidrográfica para que ações de conservação do solo tenham eficiência comprovada nas estratégias de controle dos sedimentos erodidos. É necessário aperfeiçoar os métodos de obtenção de informações dos vários processos que afetam a emissão de sedimentos por uma bacia, desde a escala de microparcela até a propagação dentro do canal fluvial.

## **2 A DINÂMICA DO PROCESSOS EROSIVOS NA ENCOSTA DO PLANALTO RIOGRANDENSE**

### **2.1 Aspectos gerais da geomorfologia e principais processos operantes**

As formações rochosas presentes no Rio Grande do Sul são: *(i)* o Escudo Rio Grandense no centro sul do estado, *(ii)* a Depressão Central e Planície Costeira e *(iii)* o Planalto (Figura 18). Este último é pertencente a grande formação da Serra Geral formado a partir do afloramento do magma vulcânico. Os solos da região do Planalto são compostos por minerais de rochas do tipo basalto e riodacito, ricos em ferro e minerais secundários, e que no processo de intemperismo geram solos ricos em argilas, que conferem boas qualidades químicas e físicas aos solos. Na parte superior do planalto o relevo é suave a suave ondulado, que aliado à qualidade física dos solos propicia a produção de milho, trigo e soja em larga escala e com alta tecnologia. Na transição entre o planalto e a depressão central temos o rebordo do planalto que são as Encosta Superior e Inferior do Nordeste, se estendendo também de leste a oeste no estado, compondo a transição entre a depressão central e o Planalto Meridional. Essa região foi formada pelo esculpimento de rochas ígneas extrusivas pelos agentes erosivos ao longo de milhares de anos. Suas características marcantes são a transição abrupta do relevo, conferindo potencial energético para o escoamento na forma de vales pronunciados, presença de diferentes tipos de solo ao longo da encosta desde Argissolos e Latossolos no topo, passando por Neossolos e Cambissolos em meia encosta.



**Figura 18.** Mapa de relevo (a) e regiões fisiográficas (b) do Rio Grande do Sul. Fonte: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/>.

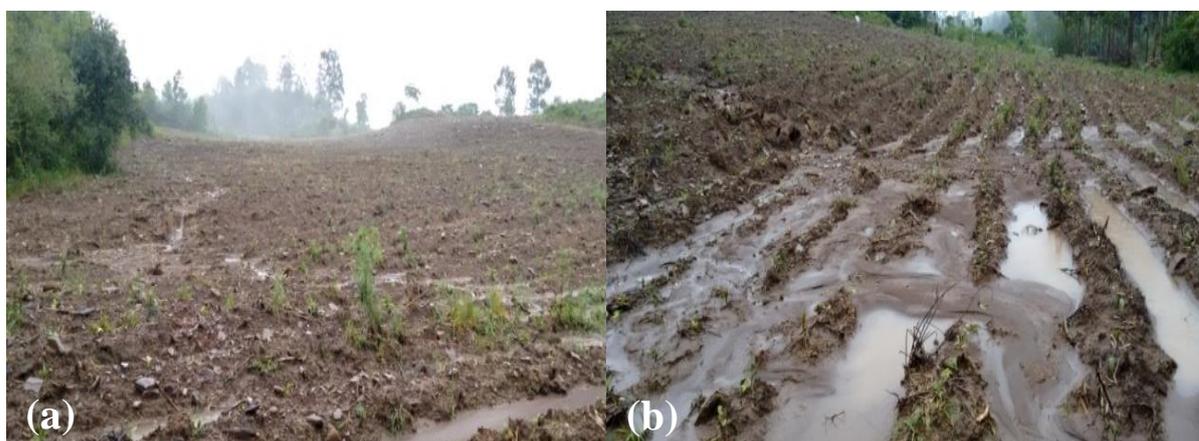
Na Encosta do Planalto as condições de relevo limitantes propiciaram o surgimento de pequenas propriedades rurais com atividades agropecuárias intensivas e diversificadas principalmente com a ocupação de imigrantes europeus, com culturas de subsistência e energéticas básicas (milho), exploração silvícola e cultivo de fumo, atividades potencialmente poluentes e geradoras de condições propícias para a erosão dos solos. No Planalto, os solos profundos originados de basalto, são geralmente bem estruturados e com boa capacidade de infiltração conduzindo a uma boa adsorção da água das precipitações (Figura 9).



**Figura 19.** Encosta típica do Planalto Riograndense. Fonte: A. Schlesner.

Na região da Encosta, a partir do Planalto os solos são gradualmente mais rasos e pela ação da alta declividade das encostas imposta pelo gradiente topográfico, a geração do escoamento é muito mais pronunciado e em maior velocidade e concentração. Esta característica, associado ao uso intensivo com propósitos agrícolas em pequenas propriedades por sistema convencional de cultivo, confere alta vulnerabilidade a esses solos quanto à erosão, uma vez que as práticas culturais e de conservação são tão ou mais necessárias, e proporcionalmente menos

adotadas em larga escala nas pequenas propriedades, do que no próprio Planalto. Nesses ambientes, os processos hidrológicos são condicionados fortemente pela topografia e características erosivas das chuvas, suscetibilidade dos solos e sistemas de plantio e manejo convencional das culturas e falta de adoção de práticas conservacionistas, onde o resultado é a elevada proporção de escoamento superficial com alta capacidade de desagregação e transporte de sedimentos com alta energia. A infiltração de água nas encostas é reduzida pela presença de camadas impeditivas sobre o solo como pedras e altos teores de argila, solos rasos e declividade que favorece o escoamento e baixa retenção sobre a rugosidade do solo, e a presença de talwegues pronunciados pela topografia recortada promove a concentração rápida dos fluxos, gerando energia de escoamento com desagregação em sulcos e maior capacidade de transporte de sedimentos associada com poucas áreas disponíveis para deposição (Figura 20).



**Figura 20.** Encosta típica cultivada com fumo (a) e efeito por erosão (b) na Região da Encosta do Planalto Riograndense. Fonte: A. Schlesner.

A ocupação humana muito intensificada nas últimas décadas, promovendo alterações sobre o uso do solo em áreas de alto risco e suscetibilidade para a erosão, ocupação de área de florestas e pastagens em encostas por culturas anuais de intenso revolvimento do solo em épocas críticas de alta intensidade pluviométrica, desmatamento das encostas e destruição de matas ciliares e constante incremento de expansão do uso sobre estas áreas sensíveis fora da aptidão agrícola, determinam altos impactos sobre o equilíbrio hidrológico dos sistemas de bacias dessa região, e que se propagam ao longo de todo o estuário dos principais rios que se abastecem dessas bacias na região da depressão central, com enchentes mais frequentes carregadas de sedimentos ricos em nutrientes e água perdidos dos solos (Figura 20).

## 2.2 Erosão e produção de sedimentos em duas escalas distintas de bacia

Estudos realizados em uma seção da bacia hidrográfica do rio Guaporé, avaliaram os efeitos dos processos erosivos sobre as perdas de solo, água e nutrientes para os recursos hídricos. Esta bacia representa os processos hidrológicos e erosivos que ocorrem na Encosta do Planalto e para avaliar os impactos da ação antrópica sobre os recursos naturais foi realizado o monitoramento de variáveis que integram a complexidade dos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Para isso foi realizado o monitoramento da vazão e concentração de sedimentos em suspensão no exutório da bacia, da precipitação em diferentes pontos da bacia e também foi quantificada a concentração de elementos químicos na água e sedimentos em alguns pontos da bacia durante eventos de precipitação.

Para isso, sensores automáticos devidamente calibrados, permitem o acompanhamento das variáveis hidrossedimentológicas principais em intervalos de minutos. Basicamente, as variáveis monitoradas constantemente são: (i) precipitação – monitoramento automático do volume de chuva acumulada através de pluviógrafos distribuídos em pontos estratégicos da bacia, (ii) vazão – quantificada indiretamente através do monitoramento do nível, com linígrafos automáticos, (iii) concentração de sedimentos em suspensão (CSS), (iv) parâmetros de qualidade da água como turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH e a concentração de elementos de interesse (Figura 21).

A porção da bacia do rio Guaporé, com área de aproximadamente 2030 km<sup>2</sup>, tem sido monitorada para tentar compreender o efeito da agricultura nos recursos hídricos numa escala que afeta a sociedade (rural e urbana). O monitoramento mostrou que grandes volumes de água e sedimentos são perdidos das encostas e transferidos para as redes de drenagem. Durante os quatro anos de monitoramento verificou-se que a ocorrência de precipitações intensas e em grandes volumes, como no ano de 2014 (Tabela 3), mostra que os solos da região são bastante susceptíveis a erosão visto que uma grande produção de sedimentos foi quantificada no exutório da bacia em estudo. A elevada quantidade de sedimentos em suspensão medidos nos rios é resultado das perdas de solo em lavouras, estradas, construções civis, entre outros, e a alta capacidade de transferência e conectividade das fontes até a rede de drenagem.



**Figura 21.** Estruturas para monitoramento hidrossedimentológico. (a) Calha Parshall no exutório da bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira, (b) Estação de monitoramento das variáveis climatológicas (disdrômetro, estação meteorológica e pluviômetros), (c) Coleta de amostras de sedimento em suspensão, durante evento pluviométrico, (d) Calha Parshall na sub-bacia do Arroio Lajeado Ferreira, (e) Determinação da curva-chave de vazão e concentração de sedimentos em suspensão no Rio Guaporé.

**Tabela 3.** Água e sedimentos exportados da bacia.

Ano	Produção de sedimentos	Precipitação
	Mg km <sup>-2</sup>	mm
2011	136	1621
2012	57	1541
2013	127	1742
2014	221	2253

Do ponto de vista agrícola, a perda de solo em lavouras significa uma redução da camada de solo disponível para a nutrição das plantas. Somado a isto, uma grande quantidade de nutrientes é mobilizada associada aos sedimentos, reduzindo a disponibilidade de nutrientes às plantas e aumentando os custos de produção. De acordo com os dados obtidos por Kochem (2014) na mesma bacia, grande quantidade de P, N, C e sedimentos foram perdidos durante alguns eventos pluviométricos monitorados (Tabela 4).

**Tabela 4.** Quantidade de sedimentos e elementos perdidos durante eventos pluviométricos no rio Guaporé, RS.

Evento	Hora	PS	P <sub>total</sub>	C <sub>total</sub>	N <sub>total</sub>
		Mg	Mg	Mg	Mg
Evento 1					
06/07/2012	13:11	355	0,83	29,41	4,78
06/07/2012	17:02	1561	0,00	111,37	26,26
07/07/2012	01:30	1633	3,45	120,53	24,63
07/07/2012	08:29	1056	2,42	71,11	22,19
07/07/2012	13:11	479	1,10	32,57	10,84
Total		5083	7,80	364,99	88,70
Evento 2					
18/09/2012	01:55	109	0,23	9,34	2,50
19/09/2012	14:20	20422	42,56	1908,04	264,44
Total		20531	42,78	1917,38	266,94
Evento 3					
12/03/2013	13:07	36	0,05	3,51	0,60
12/03/2013	17:10	63	0,05	6,93	1,33
12/03/2013	18:53	657	1,21	54,98	9,63
13/03/2013	05:25	954	1,86	68,75	12,29
13/03/2013	08:50	588	1,09	36,76	7,79
13/03/2013	13:23	918	1,81	60,26	12,15
Total		3216	6,07	231,20	43,80
Evento 4					
21/09/2013	22:51	294	0,60	17,78	3,20
21/09/2013	08:38	620	1,23	40,07	5,61
21/09/2013	10:58	1400	3,27	103,07	13,28
21/09/2013	23:19	3050	7,69	191,34	26,87
Total		5363	12,80	352,26	48,96

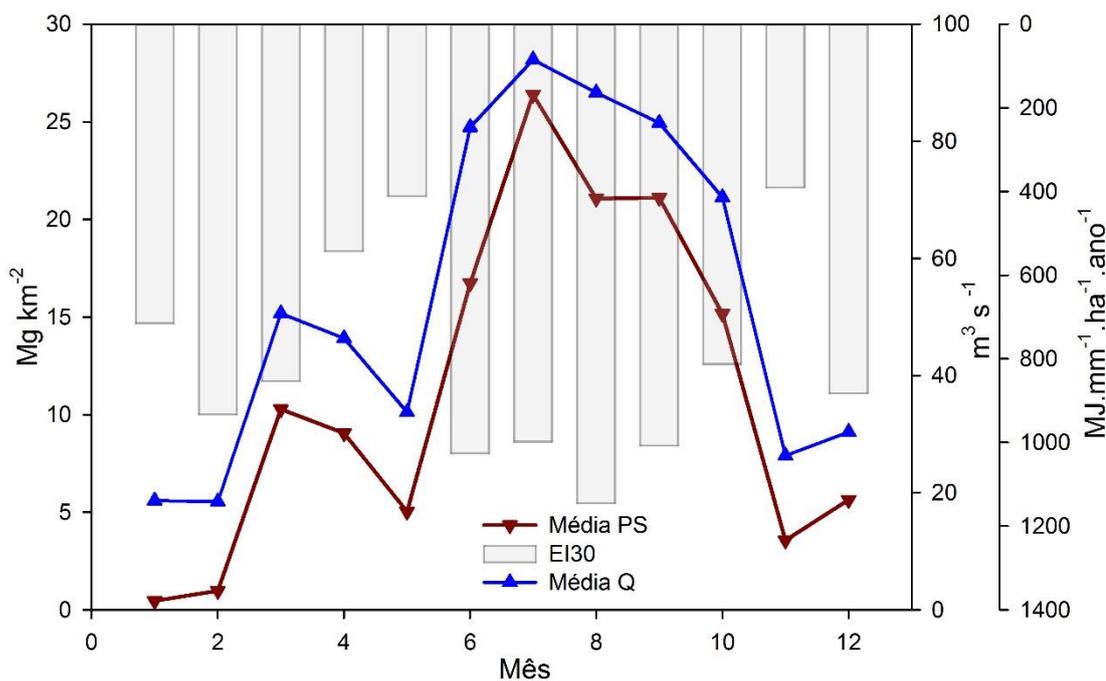
T: horário da coleta e duração total do evento em horas; PS: produção de sedimentos, P<sub>total</sub>: fósforo total, C<sub>total</sub>: carbono total e N<sub>total</sub>: nitrogênio total (KOCHER, 2014).

Além da produção de sedimentos e nutrientes, um grande volume de água é perdido na forma de escoamento superficial durante eventos de precipitação. Os grandes volumes de água

nos rios registrados durante os eventos de precipitação é resultado de uma capacidade reduzida do solo em adsorver o volume precipitado e armazenar no perfil do solo e/ou em maiores profundezas recarregar os aquíferos e rios. O manejo de áreas agrícolas sem práticas de conservação do solo faz com que ocorra uma redução nas taxas de infiltração de água no solo e consequentemente aumento do escoamento superficial, que condiciona ao aumento dos processos erosivos. A água perdida por escoamento superficial causa impactos sociais e econômicos, não somente nas áreas rurais mas também em áreas urbanas.

A enorme quantidade de escoamento superficial que ocorre nas áreas da encosta do planalto gaúcho é uma das responsáveis pelas grandes enchentes no vale do rio Taquari e baixo Jacuí. Junto a este escoamento um grande aporte de sedimentos, carbono, nitrogênio e, principalmente, fósforo, como apresentado na Tabela 4, causa assoreamento e eutrofização dos rios citados. Devido a isso, constantemente é gasto uma grande quantidade de recursos públicos para o tratamento destas águas para o consumo, para repor os danos causados pelas enchentes, além de um vasto impacto social causado às populações ribeirinhas.

Analisando o histórico de monitoramento desta bacia, verifica-se que a erosividade das chuvas na região é significativa. As chuvas mais erosivas coincidem com o período de preparo do solo para a implantação das culturas de verão (Figura 22). Uma grande parte da bacia do rio Guaporé é composta por pequenas propriedades de agricultura familiar, as quais fazem uso intensivo do solo para a produção de tabaco, pastagens, cereais para a produção de forragens, geralmente sob cultivo convencional, onde é feito o revolvimento do solo, favorecendo a perda de solo e água por erosão. De acordo com os dados apresentados na Figura 22 verifica-se também que durante os meses de dezembro a março a erosividade das chuvas é alta, porém a produção de sedimentos (PS) e a vazão (Q) são atenuados, isso pode ser explicado pelo fato da grande maioria dos solos estar coberta por culturas anuais de verão, que amortecem o impacto das gotas de chuva, reduzem o escoamento e utilizam grandes quantidades de água durante seu ciclo. Além disso, a porção de relevo mais acentuada é caracterizada pela atividade agropecuária com produção de suínos e aves em confinamento e pecuária leiteira a pasto em pequenas áreas de terra, que acabam se tornando fontes pontuais de poluição e degradação dos solos.



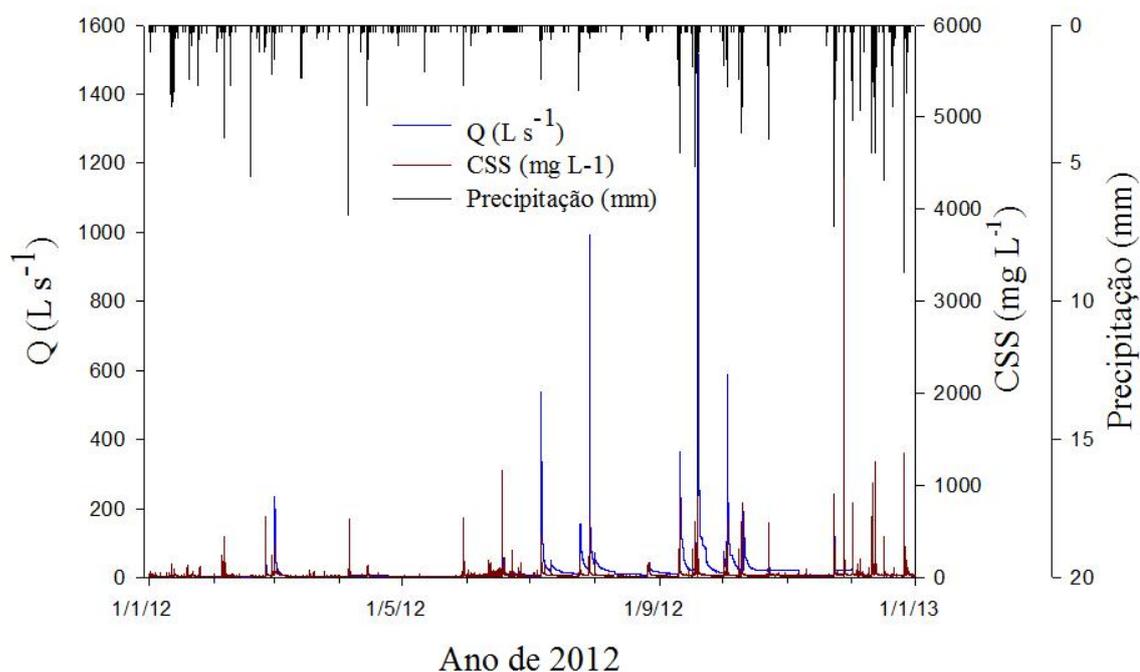
**Figura 22.** Médias mensais da produção de sedimentos (PS), vazão (Q) e da erosividade das chuvas (EI<sub>30</sub>) na bacia do rio Guaporé durante os quatro anos de monitoramento.

O monitoramento contínuo e por longo período das variáveis mencionadas anteriormente é essencial para compreender e quantificar o efeito da ação antrópica e das mudanças climáticas sobre os recursos naturais. A partir do monitoramento destas variáveis, é necessário realizar a aplicação de modelos matemáticos que representem os processos que ocorrem na bacia gerando cenários que permitam a avaliação de práticas que possam ser eficientes no controle dos processos erosivos e capazes de reduzir a transmissão de poluentes para os recursos hídricos. Porém, para que seja possível a aplicação de modelos é necessário técnicas de monitoramento de baixo custo e que descrevam os processos no tempo e no espaço com qualidade.

Quanto menor o tamanho da bacia hidrográfica, mais rápido a resposta na vazão e na CSS em função de uma chuva. Portanto, o nível de detalhamento da variabilidade dos processos deve ser maior quanto menor a escala. Portanto, o estudo de bacias hidrográficas de diferentes escalas é essencial para compreender como as diferentes unidades da paisagem atuam sobre os processos hidrológicos e erosivos. Os estudos na bacia do Guaporé, por exemplo, não são suficientes em captar os processos básicos e iniciais da formação dos escoamentos, erosão hídrica e produção de sedimentos, assim como o efeito dos diferentes usos e manejos do solo. Por isso, é extremamente importante o monitoramento de pequenas bacias hidrográficas, onde se tem um controle maior dos fatores e processos, bem como nas variáveis de resposta.

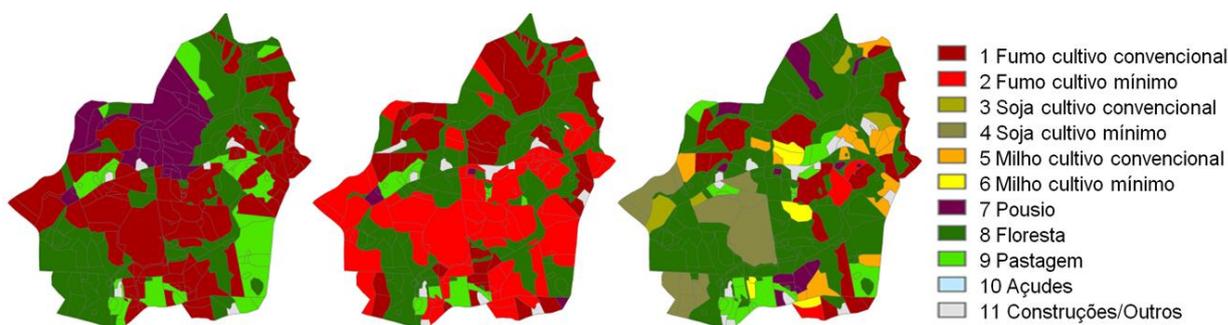
Um exemplo de estudo em pequena bacia hidrográfica é a bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira (bacia experimental de Arvorezinha) na comunidade Cândido Brum no município de Arvorezinha. Em 2001 foi criado um programa de monitoramento e análise de dados de bacias rurais com elevado índice de pobreza rural para a promoção do desenvolvimento social dessas áreas e a quantificação dos problemas ambientais. Assim, a bacia do Cândido Brum foi um dos locais escolhidos e continua em operação. Esta bacia possui uma área de 1,23 km<sup>2</sup>, sendo uma típica bacia de cabeceira, e dentro desta também é monitorado uma sub-bacia com 0,16 km<sup>2</sup>. A região de Arvorezinha se destaca pela produção de erva-mate e fumo, mas nos últimos anos tem havido mudanças significativas de uso como a expansão do reflorestamento com eucalipto e mais recentemente das culturas da soja e milho. A partir deste programa de monitoramento, os estudos têm demonstrado os efeitos da ação antrópica e do clima, principalmente, pelo aumento de fenômenos climáticos como os eventos extremos, sob o impacto direto na produção de sedimentos e na perda de qualidade do solo.

A Figura 23 apresenta o que ocorre com a descarga líquida e sedimentos a partir da ocorrência de precipitação ao longo do ano, nesse exemplo mostra-se o comportamento do ano de 2012. Observando a Figura 23 é claro o predomínio de eventos entre os meses de julho a novembro, sendo que no mês de setembro houve os eventos de maior magnitude. A vazão máxima foi monitorada no evento do mês de setembro chegando a valor próximo a 1500 L s<sup>-1</sup> e para concentração de sedimentos em suspensão máxima também ocorrida nesse evento com valor de pico de CSS próximo a 6 g L<sup>-1</sup>. A ocorrência de eventos de média magnitude anteriormente ao evento de alta magnitude no mês de setembro indica a influência da umidade inicial do solo antes do evento. Esse evento em setembro culminou com 56,14% da produção de sedimentos para todo o ano de 2012 nessa bacia. Isso indica que mesmo ocorrendo poucas vezes ao ano, são os eventos extremos, são os responsáveis em grande parte pela degradação do solo devido a erosão, e que é necessário investir em medidas que controlem sua ocorrência no meio ambiente, evitando assim danos não somente no local de sua ocorrência, mas também para fora, como ocorre quando a transporte do sedimento até os canais, interferindo em problemas de navegação, e em reservatórios através do processo de assoreamento.



**Figura 23.** Hietograma, hidrograma e sedimentograma anual para 2012.

A ocorrência mais frequente de eventos extremos, faz com que as precipitações de grande volume que ocorrem em um tempo curto e sobre as áreas declivosas e/ou com manejo inadequado do solo, potencializam a ocorrência de erosão do solo. O acompanhamento do uso e manejo do solo na bacia de Arvorezinha vem sendo realizado anualmente desde 2002 através do mapeamento das glebas. Como demonstrado pela produção de sedimentos na tabela 3, e visto no mapa de uso e manejo do solo anual da bacia experimental (Figura 24), existem períodos bem distintos em relação a esse fator que atua sob o processo erosivo. Na Figura 24 é possível observar o mapa de uso e manejo do solo para o ano 2002, o primeiro ano do monitoramento e que não apresentava nenhuma prática conservacionista. Os anos de 2004 - 2005 foi um período de incentivo as práticas conservacionistas aos produtores, através do manejo do solo utilizando o cultivo mínimo, plantio direto, e, além disso, medidas para minimizar o transporte de contaminantes aos corpos hídricos, através da reposição de mata ciliar etc. Já em 2014 temos a inserção de novas culturas, e verifica-se que há um regresso quanto as práticas conservacionistas.



**Figura 24.** Mapa de uso e manejo do solo para três distintos períodos na bacia experimental de Arvorezinha, 2002, 2006, 2014, respectivamente.

Os resultados desses três momentos puderam ser quantificados pelo monitoramento que mostra claramente que houve a redução da produção de sedimentos no exutório da bacia experimental no controle da erosão do solo quando inseridas as práticas de conservação do solo e da água (Tabela 5). Todavia, nos últimos anos, a partir de 2010 vem sendo observado um incremento na PS, a qual é o reflexo do abandono das práticas de cultivo mínimo ou plantio direto nas lavouras como apresentado na Figura 24.

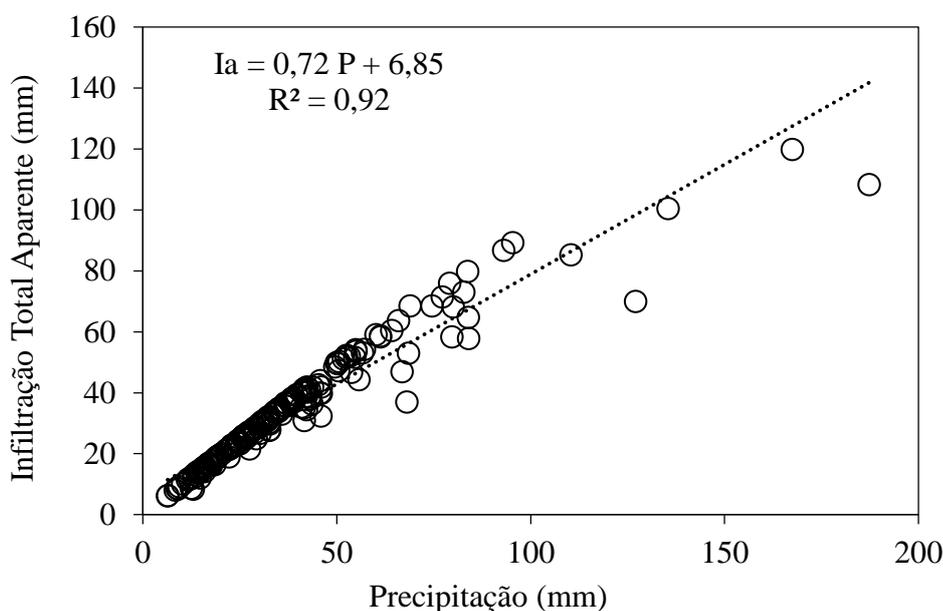
**Tabela 5.** Produção de sedimentos anual para o período de 2002–2014 e precipitação anual total para a bacia experimental de Arvorezinha.

Ano	PS (t ano <sup>-1</sup> )	P (mm)
2002	252	2220
2003	259	1835
2004	131	1324
2005	195	1935
2006	47	1409
2007	95	2026
2008	70	1508
2009	95	2002
2010	293	1937
2011	128	2016
2012*	48	1693
2013	203	1942
2014	188	2529
Média	131	1937

\*Ano de 2012 não está contabilizado a PS para o mês de Dezembro, devido falha no sensor de vazão; PS: produção de sedimentos anual, P: precipitação total anual.

Com a utilização de práticas conservacionistas, o escoamento superficial também é atenuado, devido ao aumento da taxa de infiltração e aumento da rugosidade do terreno. A evolução do uso e manejo do solo e os consequentes efeitos na produção de sedimentos alteram a erosão e a produção de sedimentos, tendo em vista que esta variável integra os efeitos das atividades antrópicas de uso e manejo do solo em conjunto com as características da precipitação. Um ponto chave na descrição do processo erosivo é a formação do escoamento superficial, o qual está diretamente ligado ao processo de infiltração de água no solo. Vários fatores

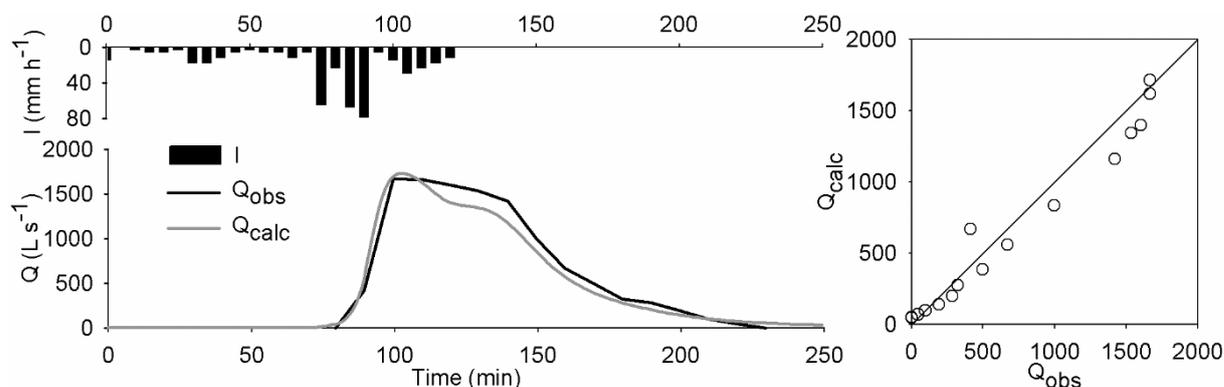
influenciam na capacidade de infiltração de um solo, e na bacia de Arvorezinha, um dos fatores que mais impactam na infiltração e continuidade do fluxo para maiores profundidades do solo são os três tipos de solo, Argissolo, Cambissolo e Neossolo. Dalbianco (2013) apontou que a caracterização física e hídrica dos solos da bacia de Arvorezinha apresenta alta complexidade espacial, sendo que os levantamentos de solos tradicionais não captam a real variabilidade existente dentro da bacia. Sua determinação, portanto, é muito importante e necessário para estudos mais robustos com o uso de modelos matemáticos. Barros et al. (2014) testou dois diferentes modelos de infiltração para 77 eventos de chuva, entre 2009–2011, a qual verificou que os métodos tradicionais de análise da infiltração (condutividade hidráulica saturada e ensaios de infiltração com anéis concêntricos) há uma superestimativa do volume infiltrado em relação ao observado pelo monitoramento hidrológico. A Figura 25, apresenta uma metodologia aplicada, para obter a infiltração de água na escala de bacia hidrográfica e escala de evento, a partir do monitoramento contínuo. É possível visualizar que os solos das bacias são capazes de armazenar água pela infiltração até precipitações acumuladas de, aproximadamente, 50 mm, a partir desse momento inicia o escoamento superficial segundo o modelo proposto.



**Figura 25.** Relação da precipitação total (P) versus infiltração total aparente (Ia) durante eventos de chuva ocorridos entre setembro de 2009 a fevereiro de 2015, na bacia experimental de Arvorezinha.

A utilização de ferramentas que nos auxiliem na escolha das melhores e mais eficazes práticas conservacionistas para uma região, otimizando os gastos e sendo mais pontuais no controle da erosão, são indispensáveis, porém exigem muito trabalho de pesquisa e de campo. Este é o caso do modelo LISEM (DE ROO, 1996; JETTEN; DE ROO, 2001), que permite a inserção das características fisiográficas da bacia hidrográfica de forma espacializada, assim como

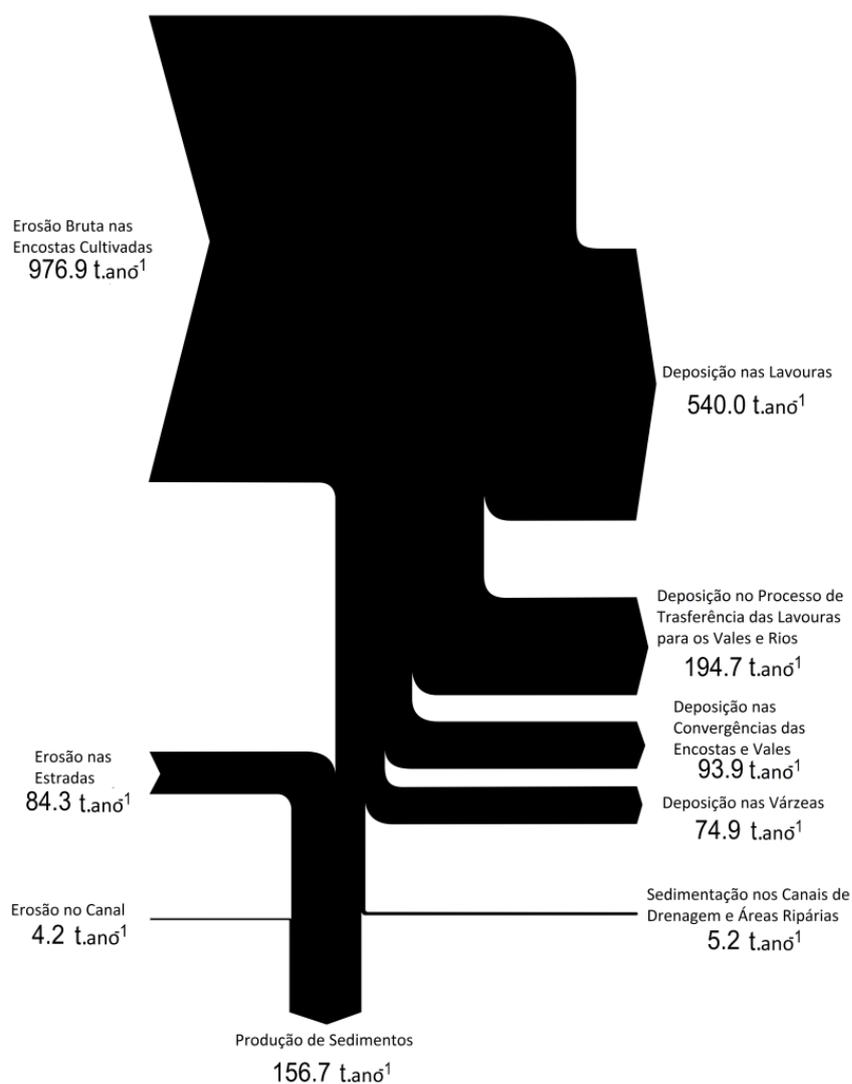
as mudanças de estrutura do solo pelo fato de podermos promover diferentes condições de uso e manejo do solo simulando diferentes cenários. A Figura 16 representa um exemplo da utilização da ferramenta de modelagem, utilizando o modelo LISEM para a bacia experimental de Arvorezinha. O evento caracterizado de alta magnitude mostra a desempenho do modelo em simular, nesse caso, o escoamento superficial. O modelo apresenta, estatisticamente, bom resultado para a representação do escoamento superficial para a bacia experimental de Arvorezinha, todavia outras pesquisas estão sendo realizadas em busca de melhorias para a modelagem do processo erosivo. Dessa maneira, o modelo pode ser usado como uma ferramenta de gestão, além de ser possível compreender como o processo erosivo é descrito, deste modo é possível escolher práticas de conservação do solo e da água eficazes para cada local (BARROS et al., 2014).



**Figura 26.** Resultado para o hidrograma medido em um evento de alta magnitude, relação 1:1 dos dados medidos (Q<sub>obs</sub>) e simulados (Q<sub>calc</sub>).

O sedimento que chega aos cursos d'águas e/ou locais de deposição pode trazer grandes danos, por carregarem além de partículas do solo elementos químicos. Embora modelos matemáticos, como o LISEM, possibilitem estimar a produção de sedimentos no exutório esses são incapazes de descrever com alto grau de confiança os processos de mobilização e redistribuição dentro da bacia. Essas técnicas necessitam de técnicas mais sofisticadas como a abordagem *fingerprinting* e o uso de radioisótopos que permitem a identificação da origem dos sedimentos e a quantificação e distribuição espacial das taxas de erosão/deposição. Estas técnicas, quando agregadas ao monitoramento da produção de sedimentos, permitem a compreensão da dinâmica do processo erosivo Minella (2014). Isso significa compreender as taxas de erosão e de deposição em cada fonte e o processo de transferência e mobilização do material erodido em cada componente da paisagem. Na Figura 27, é apresentado um exemplo do balanço de sedimentos na bacia de Arvorezinha. Nesse caso, são demonstradas as quantidades erodidas em cada fonte (setas do lado esquerdo), as quantidades depositadas nos diferentes

ambientes da bacia (setas do lado direito) e a quantidade realmente transferida para fora da bacia (seta para baixo). Os resultados obtidos mostram que de toda a quantidade de sedimento erodido na bacia apenas 15% se converte em produção de sedimento no seu exutório. Nota-se, portanto, que a dinâmica da erosão na escala da bacia é responsável por mecanismos de redistribuição de elementos na paisagem, como nutrientes, carbono e poluentes, os quais necessitam ser endereçados por estudos complementares.



**Figura 27.** Balanço de sedimentos da bacia de Arvorezinha.

### 3 A DINAMICA DOS PROCESSOS EROSIVOS NO PLANALTO RIOGRANDENSE

A agricultura causa forte impacto aos recursos naturais (solo e água), devido ao aumento do escoamento superficial, produção de sedimento e transferência de agroquímicos para recursos hídricos, sendo esses processos comuns em áreas agrícolas do RS, resultando em problemas de contaminação da água dos rios, causando desequilíbrio hidrológico, com períodos de estiagem e

enchentes, o assoreamento de reservatórios, entre outros danos. As ações voltadas para o uso racional e manejo dos recursos naturais, principalmente do solo, da água e da biodiversidade visam promover a agricultura sustentável, com aumento da oferta de alimentos e melhorias nos níveis de emprego e renda no meio rural. A adoção de estudos de erosão em encostas e de bacias hidrográficas com a geração de dados e informações através de um programa de monitoramento hidrológico e erosivo é o primeiro passo para a tomada de decisão em projetos de conservação do solo e da água ainda incipientes no Brasil, apesar dos impactos evidentes ao solo e aos recursos hídricos devido à atividade agrícola.

A necessidade de gerar informações concretas para contribuir para uma agricultura conservacionista no Brasil o Departamento de Solos da UFSM realizou uma investigação dos processos erosivos e hidrológicos em solos do planalto do RS com objetivo de determinar os fluxos de água e de sedimentos devido à erosão agrícola na escala de encostas e de bacia hidrográfica. Os estudos foram iniciados no ano de 2011 para caracterizar a magnitude dos processos erosivos e hidrológicos em condições distintas, bem como o seu comportamento em função das precipitações ao longo ano considerando a variabilidade temporal do uso e manejo dos solos.

Para compreender a dinâmica hidrológica em solos profundos, topografia suave ondulada e declividade média, sob plantio direto, foi selecionado duas escalas distintas. A primeira área corresponde a duas bacias pareadas uma com e outra sem a presença de terraços. A segunda área corresponde a uma grande bacia hidrográfica. As escalas da investigação apresentam características semelhantes (clima, uso, relevo e solo) representando às condições fisiográficas e antrópicas que controlam os processos erosivos no planalto Riograndense. Sendo assim, os estudos abrangem a encosta e a bacia hidrográfica. As encostas levam em consideração como unidades funcionais de planejamento a nível local (nível de propriedade). O estudo na escala de encostas tem como objetivo investigar as variáveis de perda de solo e água em nível de lavoura, a qual é de interesse do produtor rural. A conexão de estudos nessa escala com a escala de bacia hidrográfica é importante para determinar o mecanismo de formação do escoamento superficial e da erosão do solo, sendo que os mesmos estão interligados. Os estudos na escala de encosta os resultados estão mais próximos à realidade dos agricultores, naturalmente, as soluções para melhorar o planejamento de uso e manejo do solo são facilitadas. Na escala de encosta, o padrão espacial da erosão é melhor descrito, considerando os mecanismos de formação do escoamento superficial em função do detalhamento do relevo.

Atualmente pouco se sabe sobre o impacto do atual sistema produtivo (semeadura direta sem revolvimento do solo) em relação ao regime hidrológico e da perda de solo em encostas

agrícolas. Podemos ressaltar que na semeadura direta o escoamento superficial não ocorre devido, a crosta superficial como no sistema convencional, mas sim pela maior quantidade de escoamento superficial que tem elevada habilidade de desagregar o solo e transportar os sedimentos, especialmente nos talwegues e parte inferior das encostas onde há o acúmulo de escoamento.

Muito pouco se conhece sobre a dinâmica hidrológica e erosiva na escala de encosta ou bacias de ordem zero. A conexão entre o conhecimento entre o que observa-se na escala de grandes bacias e aquilo que já se tem muito bem documentado na escala de parcelas ( $<100 \text{ m}^2$ ) é muito importante, já que os mecanismos de formação do escoamento superficial e da erosão são fortemente afetados pela escala. É necessário então, avaliar o comportamento hidrológico observado num sistema de produção agrícola intensivo com adoção parcial dos princípios conservacionistas, especialmente, pela ausência de práticas mecânicas de controle de escoamento.

No Brasil, os trabalhos que abordam esse contexto são escassos, apesar da enorme importância dessa atividade para a economia, sociedade e meio ambiente. Pouco pouco se sabe sobre o comportamento hidrológico de uma encosta e o efeito das práticas mecânicas complementares no controle do escoamento superficial nesta escala. Os estudos tem sido direcionados para pequenas parcelas ( $<77 \text{ m}^2$ ) (ELTZ et al., 1984; COGO et al., 2003; BERTOL et al. 2007) e bacias hidrográficas agrícolas e florestais de pequeno e médio porte, (FAYOS et al., 2006; THOMAZ; VESTENA, 2012; MINELLA et al., 2014). Para a compreensão dos processos de forma mais eficiente, desde a parcela até a bacia hidrográfica, falta estudo na escala intermediária, envolvendo comprimentos de rampa maiores com a inclusão da forma das encostas, que gera um comportamento distinto daqueles observados nas parcelas ou nas bacias maiores.

A abordagem de estudos na escala de encosta representa os processos hidrológicos e erosivos existentes na situação próxima ao interesse do produtor rural e, fundamental, para a compreensão do fenômeno como um todo, já que nas encostas ou bacias de ordem zero é onde ocorre o processo inicial e intermediário da formação do escoamento e dos processos erosivos.

### **3.1 A dinâmica hidrológica e perdas de água em encostas sob plantio direto**

Um estudo de monitoramento tem sido conduzido na escala de encosta (bacias de ordem zero) pelo Departamento de Solos no município de Júlio de Castilhos, região central do Estado do Rio Grande do Sul (área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO). Nesse projeto de pesquisa as perdas de água e de solo são monitoradas em áreas

agrícolas sob sistema de plantio direto em duas bacias pareadas de ordem zero. Uma delas sem práticas mecânicas de controle de escoamento superficial e a outra com uma prática de controle do escoamento. Essa abordagem tem como propósito gerar informações para um melhor planejamento de uso e manejo do solo no contexto do atual sistema plantio direto e, principalmente, compreender os processos de geração do escoamento superficial e dos processos associados (erosão, perda de nutrientes, etc) (Figura 28).



**Figura 28.** Lavoura agrícola mal manejada após evento pluviométrico.

Os problemas atuais de degradação dos solos decorrentes da negligência à adoção de práticas conservacionistas tem sido motivo de embates técnicos, especialmente nos anos com regime pluviométrico anormal, seja em anos muito chuvosos ou em anos com estiagens mais longas. Isso porque, muitas glebas agrícolas são incapazes de amortizar o excesso de chuva nos anos mais úmidos ou, então, armazenar água no perfil do solo em períodos de estiagem. Os reflexos negativos das variações climáticas são claros, especialmente, em períodos do ano que o solo se encontra com baixa cobertura, entre uma cultura e outra, ou então em períodos de maior demanda de água para a produção da cultura principal que coincide com os períodos de estiagem. Essa condição tem motivado a retomada das discussões da importância das práticas mecânicas de controle das perdas de água e solo.

A desestruturação física do solo, aliada à redução da macro e microrugosidade, condiciona uma reduzida taxa de infiltração, causando um desequilíbrio hidrológico com o aumento no escoamento superficial. Isso representa um forte impacto na hidrologia e desencadeia processos de degradação do solo e da água (BEYENE et al., 2010; WANG et al.,

2011). O cultivo em nível ou perpendicular ao declive do terreno não é utilizado pela maioria dos produtores rurais que priorizam a eficiência na operação de preparo e tratamentos culturais, otimizando o uso das máquinas e da mão de obra ao invés das limitações impostas pelo relevo. Isso significa, em muitos casos, a semeadura no sentido do maior comprimento da área da gleba, que invariavelmente ocorrerá morro abaixo para facilitar a utilização de equipamentos maiores e, supostamente, economizar combustível. Entretanto, Levien et al. (2011) demonstrou que a semeadura morro acima e morro abaixo e o uso de sulcadores implica num maior consumo de combustível.

O plantio no maior sentido do declive reduz a retenção de água na rugosidade aumentando o volume escoado, acelera a velocidade do escoamento e criando as condições perfeitas para o processo erosivo condicionado pelo escoamento. O sistema plantio direto trouxe grande benefício para o aumento da produtividade e redução das perdas de solo, mas concomitantemente desenvolveu-se uma agricultura baseada no monocultivo, com ausência de rotação de cultura e de práticas mecânicas com semeadura no sentido do declive resultando em perdas de água, solos e nutrientes.

O estudo em bacias de ordem zero inclui os efeitos da geomorfologia, mas mantém o controle experimental referente ao uso e manejo do solo homogêneo. A hidrologia comparativa através de bacias pareadas é uma estratégia eficiente para isolar o efeito das práticas mecânicas na dinâmica da água e da erosão. Bacias de ordem zero e pareadas, é assim definido, por representar duas áreas com características semelhantes que estão dispostas lado a lado e não possuem fluxo contínuo de água, isso ocorre apenas quando a precipitação pluviométrica excede a capacidade de infiltração de água no solo.

Desta forma, estudos como o estudo apresentado por Londero (2015) explorou o monitoramento de duas bacias pareadas de ordem zero (Figura 29), conduzidas sob plantio direto com e sem práticas mecânicas de controle do escoamento superficial (terraços) (Figura 30). Nessas bacias foram monitoradas a precipitação, a vazão e a concentração de sedimentos durante os principais eventos pluviométricos que ocorreram no período de um ano. O estudo foi conduzido no município de Júlio de Castilhos, região central do Estado do Rio Grande do Sul na área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, sendo caracterizado por relevo suave ondulado, formado por coxilhas, com uma declividade de, aproximadamente, 10 % na área. O solo é classificado como Latossolo Vermelho, bem drenado e com baixa fertilidade natural. Na Figura 29 é apresentado o mapa do limite das bacias pareadas, com a delimitação dos terraços na bacia com terraço (CT) e área total na sem terraço (ST). Na bacia CT foram construídos cinco terraços de infiltração.

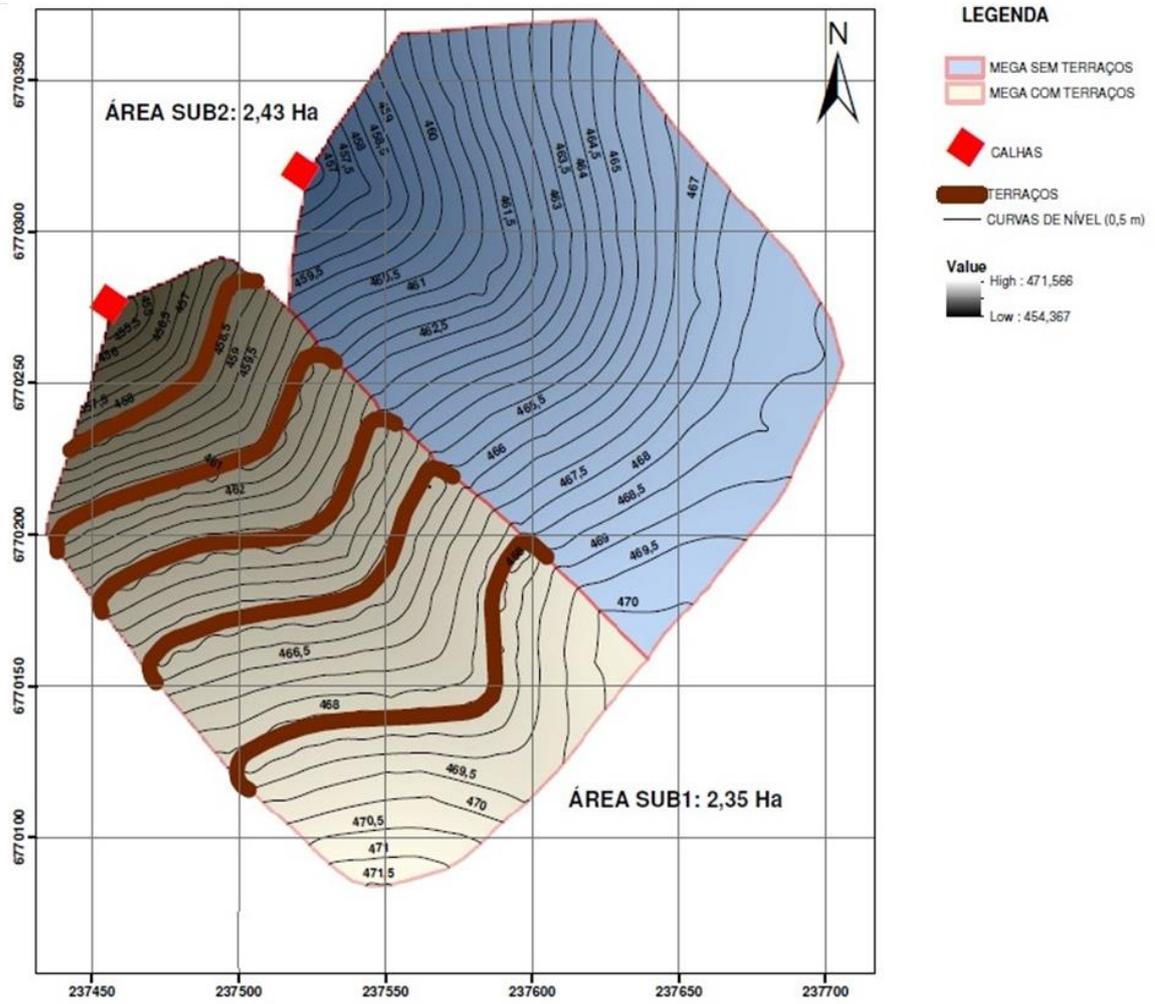
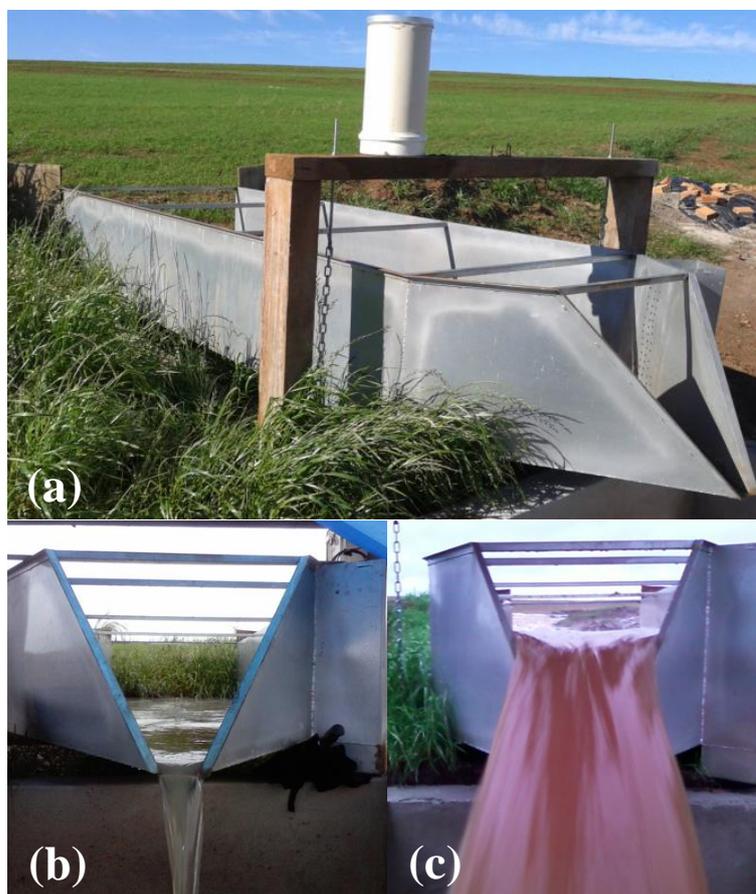


Figura 29. Delimitação das bacias pareadas de ordem zero.



Figura 30. Terraço de base média após evento pluviométrico.

Para monitorar as perdas de água e solo utilizou-se uma calha acoplada a um vertedor tipo H de dois pés, alocadas nos talvegues de cada bacia para receber o fluxo de água escoado durante os eventos (Figura 31).



**Figura 31.** Calha Tipo H instalada nas bacias pareadas de ordem zero (a), durante um evento pluviométrico na bacia com (b) e sem terraços (c) em Júlio de Castilhos, RS.

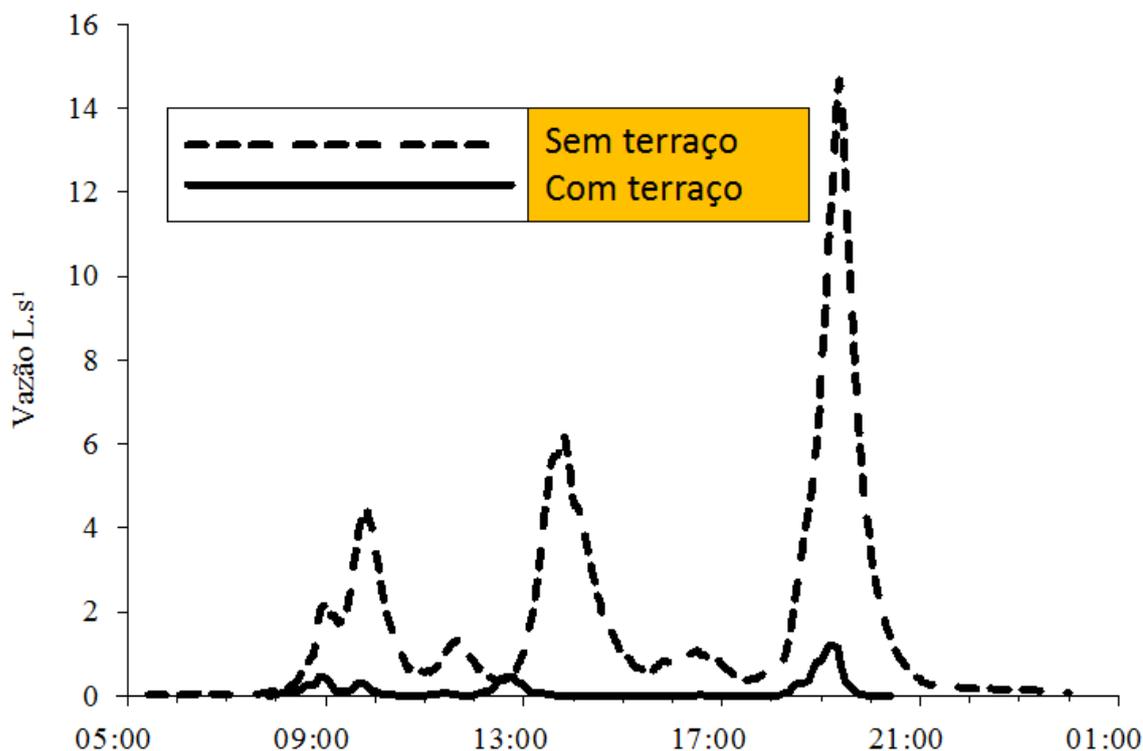
Os resultados apresentados na Tabela 6 resumem o impacto das práticas mecânicas de controle do escoamento superficial nas perdas de água em bacias hidrográficas na região do planalto. Londero (2015) demonstra que (i) a magnitude das perdas de água no sistema de produção sem terraço é elevado e significativo; (ii) a diferença para com o sistema com terraço variou de 2 a 30 vezes em relação ao sistema sem terraço dependendo da precipitação, umidade e cobertura do solo; e (iii) considerando os valores de vazão máxima, que tem forte relação com a habilidade do escoamento em erodir, também vemos diferenças significativas, indicando que na condição sem terraço, além de perder água essa se propaga com alta velocidade e, conseqüentemente, com alta capacidade de desagregar e transportar.

**Tabela 6.** Vazão de pico e volume total escoado nas duas bacias pareadas (LONDERO, 2015).

Data	Precipitação		Bacia	Volume escoado m <sup>3</sup>	Q pico L s <sup>-1</sup>
	mm	5 dias			
23/07/2014	65	23	ST	300,0	117,0
			CT	78,0	34,3
02/09/2014	65	10	ST	17,0	3,4
			CT	0,9	0,6
10/09/2014	31	60	ST	1,5	1,0
			CT	0,8	1,1
14/09/2014	41	37	ST	101,0	39,4
			CT	3,3	3,0
30/09/2014	45	74	ST	107,0	14,7
			CT	6,0	1,2
17/10/2014	26	13	ST	1,1	0,3
			CT	0,4	0,1
18/10/2014	14	34	ST	2,1	0,2
			CT	0,5	0,1
19/10/2014	19	47	ST	62,2	8,2
			CT	2,1	0,7
30/10/2014	69	0	ST	3,2	0,6
			CT	0,4	0,0
03 e 04/11/14	51	59	ST	144,0	110,0
			CT	14,0	18,4
01/01/2015	25	0	ST	98,0	36
			CT	6,6	11,5
27/01/2015	24	15	ST	8,0	4
			CT	0,5	0,8
29/03/2015	31	21	ST	0,4	0,2
			CT	0,1	0,1

ST – sem prática mecânica, CT – com prática mecânica, PPT – precipitação (mm), Qpico – vazão de pico (L s<sup>-1</sup>), 5 dias – precipitação antecedente nos últimos cinco dias.

Além das diferenças representadas pelo volume total e vazão de pico, Londero (2015) também realizou a análise dos hidrogramas e dos sedimentogramas das bacias durante os eventos, o que contribui para o entendimento do processo de transferência de água e sedimentos em função da precipitação e da cobertura no momento, já que as descargas líquidas e sólidas são um reflexo da dissipação da energia da precipitação e do escoamento. Na Figura 32 é apresentado um evento que representa bem o que aconteceu durante um evento de chuva nas duas bacias.



**Figura 32.** Hidrogramas das bacias CT e ST num evento de 65 mm ocorrido em setembro de 2014.

A perda de água na bacia ST representa um significativo impacto do ambiente agrícola ao ambiente fluvial. Podemos considerar que devido à baixa capacidade de infiltração, mesmo em eventos de baixa magnitude, há escoamento superficial. O escoamento superficial monitorado indicou a faixa de magnitude para as condições de estudo com coeficientes de escoamento atingindo facilmente valores maiores de 10%, mesmo para eventos de baixa e média magnitude, com o máximo observado de 19%.

A bacia ST representa o sistema de manejo comumente entre os agricultores no sul do Brasil. As elevadas perdas de água e dos processos associados, quantificados nessa condição, geram prejuízos ao agricultor e à sociedade como um todo devido ao mal planejamento das glebas e o desinteresse aos princípios conservacionistas. O controle do escoamento é uma prática conservacionista complementar que deve ser adotada, trazendo benefícios para o agricultor, pois a água pode ser armazenada no solo (zona de raízes e em profundidade), bem como evitar a perda de nutrientes, matéria orgânica e sedimentos pelo escoamento e erosão aumentando a lucratividade dos agricultores e melhorando a capacidade produtiva dos solos. Além desses aspectos, as práticas conservacionistas também trazem benefícios para a sociedade, pois reduz as enxurradas/enchentes, reduz o assoreamento de rios e reservatórios com impactos positivos para as hidrelétricas, navegação e controle de cheias, e a melhoria da qualidade da água com impactos positivos para o custo de tratamento de água e para a saúde da população. Esses aspectos são de

importância fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura altamente produtiva, moderna, conservacionista, parcimoniosa quanto aos gastos com insumos e integrada com os anseios da população e outros setores produtivos (disponibilidade de água para a energia) e de prestação de serviço (oferta de água para consumo humano e irrigação).

### **3.2 Erosão e a produção de sedimentos em bacia hidrográfica no planalto Riograndense**

A erosão na região do planalto Riograndense tem gerado prejuízos importantes para as áreas agrícolas, estradas e, também, para os recursos hídricos (poluição nos rios, soterramento da vegetação ciliar, assoreamento de rios e reservatórios). A aceleração do processo erosivo devido, principalmente, a intensificação de uma atividade agrícola tecnificada que se distancia a cada ano mais dos princípios conservacionistas.

Além disso, existem poucos trabalhos de monitoramento contínuo de variáveis associadas ao processo erosivo em bacias hidrográficas rurais. Isso impede que os técnicos os agricultores e a sociedade conheçam claramente os impactos de uma atividade agrícola com alto impacto aos recursos naturais (solo e água) e que não respeita as limitações e fragilidades dos solos colocando em risco a capacidade produtiva dos nossos solos e degradando o ambiente. A atividade agropecuária deve maximizar a produção, mas respeitar a capacidade produtiva dos solos, bem como manter a qualidade e a quantidade de água nos rios e aquíferos pelo bem maior que é o interesse de toda a sociedade. Atualmente, vemos elevados coeficientes de escoamento superficial, intensa transferência de agroquímicos e sedimentos para os rios (Figura 33). Esses são sinais claros que uma atividade agrícola que não respeita os princípios conservacionistas enfraquece a sociedade, pois degrada os recursos naturais que são a base da sustentação da vida. Lembrando que o agricultor não é apenas um produtor de alimento, mas também um produtor de água. Suas ações na maneira como cultiva o solo e ocupa a terra afeta a todos por meio dos fluxos hidrológicos e seus processos associados dentro da bacia hidrográfica. Por isso, ele deve ser valorizado, assistido e orientado por tamanha responsabilidade.



**Figura 33.** Elevadas quantidades de escoamento e a alta conectividade entre fontes de sedimentos e os rios.

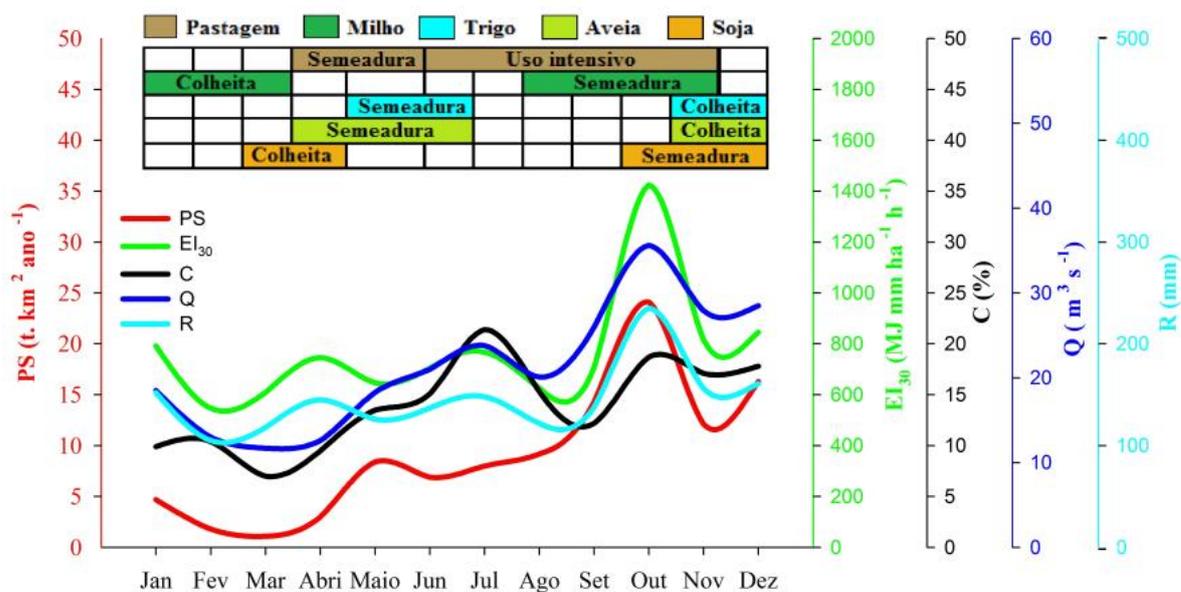
Os processos erosivos atuais na região do planalto do RS, caracterizado pelo plantio direto ou sistema de semeadura direta é o resultado do desequilíbrio hidrológico, condicionado pela desestruturação física dos solos, reduzida adição de biomassa e ausência de controle do escoamento. Essa região apresenta um dos maiores potenciais produtivos do Brasil, caracterizadas por solos profundos e fisicamente excelentes, entretanto não tem recebido a merecida atenção para a preservação e manutenção desse potencial. O atual modelo de apoio à atividade agrícola não inclui nenhuma política pública de orientação nem fiscalização para que os agricultores pratiquem uma agricultura conservacionista focada na maximização da produtividade potencial dos solos (HILLEL, 1992) e respeitando a manutenção das funções ambientais dos mesmos.

O relevo (declividade, comprimento das encostas e forma) exerce acentuada influência sobre a erosão no planalto. Nos grandes comprimentos de rampa, em encostas convergentes (curvatura no plano) e convexas (curvatura no perfil) determinam uma elevada capacidade do escoamento em causar erosão, mesmo em encostas com baixa declividade média. Essa associação de fatores determina que o maior volume de escoamento coincida ocorra o local com maior velocidade gerando obviamente, maior capacidade erosiva, especialmente nos locais com ausência de medidas de conservação do solo (Figura 34).



**Figura 34.** Representação da erosão em áreas com grande comprimento de rampa, com ausência de medidas de controle dos processos erosivos. (Fonte: DIDONÉ, 2012).

Áreas com baixa cobertura vegetal e baixa taxa de infiltração condicionam a um grande volume de escoamento superficial, principalmente na primavera, onde a precipitação é caracterizada por maiores volumes e erosividade (Figura 35).



**Figura 35.** Médias mensais de precipitação (P), erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ), fluxo diário (Q), coeficiente de escoamento (C) e Produção de sedimentos (PS) para a bacia hidrográfica do rio Conceição. (Fonte: DIDONÉ et al., 2015).

Um dos principais responsáveis pela intensificação do volume de enxurrada gerado nos eventos de média e alta magnitude é o tipo de manejo do solo. O manejo inadequado (Figura 36) em termos de adição de fitomassa, degradação de propriedades físicas e ausência de controle de escoamento (planalto possui monocultura de soja em mais de 90% da área sem prática de rotação de culturas) tem gerado a um aumento dos volumes de escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão. A quantidade de cobertura necessária para manter ou construir a estrutura do solo nessa região está na ordem de  $8$  a  $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (DENARDIN et al., 2008). Porém a sucessão soja/pousio vegetado com aveia preta e/ou azevém espontâneos dificilmente produz  $3,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Nesse modelo de produção, a degradação biológica, física e química do solo é evidente e progressiva.



**Figura 36.** Representação da sementeira em desnível aliado a baixo teor de cobertura vegetal sobre o solo. (Fonte: DIDONÉ, 2012).

A cobertura vegetal protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, e reduz a evaporação da água no solo. Esta proteção minimiza a velocidade de escoamento superficial, reduzindo, conseqüentemente, a concentração do fluxo do escoamento superficial e a cobertura vegetal reduzida, aliada ao uso intensivo de pastagens e monocultivo de soja, potencializa os processos erosivos. Assim, os processos erosivos acelerados são conseqüência do uso e ocupação do solo com ausência de adequada rotação de culturas, cobertura vegetal e/ou barreiras mecânicas de controle do escoamento superficial. O manejo adequado, especialmente em áreas com restrições de uso, requer práticas conservacionistas que visam prevenir o desenvolvimento do processo erosivo.

### **3.3 Monitoramento das perdas de água e de solo em bacias hidrográficas**

Com o interesse de compreender melhor o impacto da atividade produtiva sobre a erosão e a produção de sedimentos, o grupo de pesquisas em monitoramento e modelagem em bacias rurais explorou através do monitoramento da bacia do rio Conceição (área de 800 km<sup>2</sup>) (Figura 37) o comportamento hidrológico, erosivo e sedimentológicos dessa bacia. Quantificando os valores do coeficiente de escoamento e a produção de sedimentos durante cinco anos conclui-se claramente que o escoamento superficial assume valores elevados, bem como a produção de sedimentos provenientes da erosão agrícola (Tabela 5) (Didoné, 2013; Didoné et al. 2015).



**Figura 37.** Localização da bacia hidrográfica do rio Conceição, RS.

A produção de sedimento é o reflexo das características do sistema de produção que, apesar de utilizar o sistema de semeadura direta, não utiliza rotação de culturas, não adota práticas mecânicas para controle do escoamento superficial além de haver compactação animal e tráfego intenso de máquinas sob condições de solo úmido como também observado por Denardin et al. (2008). Essas condições, associadas à reduzida rugosidade superficial, consequência do não revolvimento do solo pela semeadura direta e a compactação do solo, restringem à infiltração de água (CAMARA; KLEIN, 2005).

Nesses casos, não apenas devem ser considerados os impactos negativos ao solo, causados pela erosão e perda da capacidade produtiva dos solos, gerado pela remoção das camadas superficiais do solo rica em matéria orgânica e fósforo, mas também pelos impactos negativos aos recursos hídricos causados pela transferência de sedimentos e poluentes que se encontram tanto na fase particulada como na fase dissolvida do escoamento superficial.

**Tabela 7.** Dados monitorados na bacia do rio Conceição para quatro anos.

Ano	Ppt (mm)	DSS ( $\text{kg s}^{-1}$ )		Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )		PS ( $\text{t km}^{-2}$ )
		Méd	Máx	Méd	Máx	
2011	2135	31	424	291	998	102
2012	1632	18	265	162	541	61
2013	1458	10	58	218	488	27
2014	2251	20	365	379	1443	62

Ppt: Precipitação; DSS: Descarga sólida em suspensão; PS: Produção de sedimentos.

Embora os solos do planalto Riograndense sejam predominantemente constituídos de argila, e, portanto pouco suscetível à erosão, a ausência de resíduo de proteção da superfície,

especialmente após a colheita da soja e o estabelecimento da cultura de inverno torna a erosão um problema frequente (DIDONÉ et al., 2015). O entendimento equivocado de que o plantio direto é o capaz de reduzir o escoamento superficial estimulou os agricultores a eliminarem o uso de terraços, e demais práticas conservacionistas complementares, como a semeadura em contorno (COGO et al., 2003; DENARDIN et al., 2008).

Os aspectos hidrossedimentológicos observados na bacia hidrográfica do rio Conceição têm ajudado a compreender a estreita relação entre as condições de manejo do solo e a dinâmica observada nos rios. A quantidade de água e sedimentos propagados durante os eventos de chuva (Figura 38) demonstram um ambiente em desequilíbrio com importante perda de água e solo, indicando a degradação dos solos e dos recursos hídricos, que precisa atenção dos agricultores e da sociedade.



**Figura 38.** Reflexo do manejo em duas condições distintas na bacia do Rio Conceição com ocorrência de seca (a) e uma condição de evento (b).

O monitoramento desta bacia hidrográfica também tem possibilitado a calibração e a validação de modelos matemáticos que são capazes de descrever o processo de erosão de forma espacialmente distribuída. Essa ferramenta permite analisar a maneira como os fatores tem controlado a erosão, pois permite isolar fatores e analisar o impacto da variação de outros. A ferramenta também permite formular planos de manejo e uso do solo (cenários) em toda a bacia e analisar o impacto na hidrologia e no escoamento. Esse conjunto de ferramentas (monitoramento e modelagem) pode ser utilizado como instrumento de convencimento da importância da manutenção da qualidade do ambiente e da aplicação de tecnologias para a gestão adequada dos solos e dos recursos hídricos, visando atender as demandas econômicas, sociais e ambientais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prevenção da erosão e a redução da transferência de poluentes dependem, fundamentalmente, da compreensão dos fatores e dos processos que governam a infiltração e a disponibilidade de água no solo, a geração do escoamento superficial, a erosão, e a transferência e remobilização de sedimentos e de poluentes em diferentes escalas desde encostas até bacia hidrográfica, que é ainda pouco compreendido.

Esses estudos possibilitarão a calibração e a validação de modelos matemáticos que poderão ser empregados para avaliar o impacto positivo ou negativo de um grande número de situações (cenários) de uso e manejo do solo e de clima. Os resultados destas investigações poderão ser utilizados como instrumento de convencimento, tanto da sociedade como do poder público, da importância da manutenção da qualidade do ambiente e da aplicação de tecnologias para a gestão adequada dos recursos hídricos, visando benefícios socioeconômicos, especialmente no meio rural, com reflexos na atividade e na vida urbana.

A prevenção da erosão e a redução da transferência de poluentes dependem, fundamentalmente, da compreensão dos fatores e dos processos que governam a infiltração e a disponibilidade de água no solo, a geração do escoamento superficial, a erosão, e a transferência e remobilização de sedimentos e de poluentes em diferentes escalas, ainda pouco compreendidos na atualidade.

A solução dos problemas dependente de informações, mas especialmente de ações para a elaboração de planos de conservação do solo que atendam às especificidades de cada propriedade em função de cada região. A adoção de práticas conservacionistas complementares para o controle do escoamento, aqui definidas como manejo de gleba, é uma estratégia de controlar o escoamento superficial pelo aumento da fricção do escoamento considerando a geomorfologia e as unidades da paisagem, como os diferentes talhões de terra para os usos agrícola, florestal ou de produção animal, as estradas, e as áreas de preservação (ecologicamente ou hidrologicamente frágeis). Além de conduzir o excesso de escoamento até as regiões baixas do terreno de forma controlada evitando a erosão e a transferência de sedimentos, nutrientes e biocidas para os corpos hídricos.

A obtenção de informações em diferentes escalas contribui para o estabelecimento de estratégias mais eficientes para a melhoria do manejo dos solos no nível de propriedade e de bacia hidrográfica. Essa estratégia vai possibilitar implicações positivas no meio rural e urbano, pela diminuição dos custos das atividades agropecuárias, na fixação do homem no meio rural e, sobretudo, na quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

O desenvolvimento de pesquisas, baseadas no monitoramento de encosta e de bacias hidrográficas, contribui para a compreensão e descrição dos principais fenômenos que governam a relação entre o uso e manejo do solo e os processos dinâmicos associados com o movimento e disponibilidade de água, erosão e qualidade da água. Os resultados devem ser utilizados como instrumento de convencimento, tanto da sociedade como do poder público, da importância da manutenção das funções do solo e da qualidade e quantidade de água e para a aplicação de tecnologias para a gestão adequada dos recursos naturais, visando benefícios socioeconômicos, especialmente no meio rural, com reflexos positivos à sociedade urbana.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, C. A. P. et al. Description of hydrological and erosion processes determined by applying the LISEM model in a rural catchment in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1298–1310, jul. 2014.
- BERTOL, O. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781–792, jul. 2007.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Bulletin of Hydrological Sciences**, v. 24, n. 1, p.43-69, 1979.
- BEVEN, K. J. et al. Topmodel. In: SINGH, V.P. (Ed.) **Computer models of watershed hydrology**. Highlands Ranch, Colorado: Water Resource Publication, 1995. p. 627–668.
- BEYENE, T.; LETTENMAIER, D. P.; KABAT, P. Hydrologic impacts of climate change on the Nile River Basin: implications of the 2007 IPCC scenarios. **Climatic Change**, v. 100, n. 3, p. 433–461, jun. 2010.
- BOIX-FAYOS, C. et al. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Sciences Reviews**, v. 78, n. 3–4, p. 267–285, out. 2006.
- BURT, T. P.; DONAHOE, M. A.; VANN, A. R. A comparison of suspended sediment yield from two small upland catchments following open ditching for forestry drainage. **Zeitschrift fur Geomorphologie N.F. Supplementband**, v. 51, p. 51–62, 1984.
- CAMARA, R. C.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789–796, 2005.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; Schwarz, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciada por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 743–753, jul. 2003.
- DALBIANCO, L. **Simulação hidrossedimentológica com o modelo lisem em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2013. 92 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 18, n. 108, p. 33–34, 2008.

DE ROO, A. P. J. Soil erosion assessment using GIS. In: SINGH, V. P.; FIORENTINO, M. (Eds.). **Geographical information systems in hydrology**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht; Boston, 1996. p. 339-356.

DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimentos em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do rio grande do sul**. 2013. 228 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DIDONÉ, E. J. et al. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1287–1297, 23 jan. 2014.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, 12 jun. 2015.

DUNNE, T. Sediment yield and landuse in tropical catchments. **Journal of Hydrology**, v. 42, n. 3–4, p. 281–300, jul. 1979.

DUNJÓ, G.; PARDINI, G.; GISPERT, M. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. **Catena**, v. 52, n. 6, p. 23–37, mai. 2003.

ELTZ, F. L. F. et al. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 245–249, 1984.

ERSKINE, W. D.; MAHMOUDZADEH, A.; MYERS, C. Land use effects on sediments yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia. **Catena**, v. 49, n. 4, p. 217–287, nov. 2002.

FINLAYSON, B. L. Field calibration of a recording turbidity meter. **Catena**, v. 12, n. 2–3, p. 141–147, jun. 1985.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Land degradation: severity of human-induced degradation**. FAO/AGL, Rome, 2000. p. 122.

FOSTER, G. R.; LANE, L. J. **User requirements, USDA-water erosion prediction project (WEPP)**. National Soil Erosion Research Laboratory Report No. I. West Lafayette, Indiana: National Soil Erosion Research Laboratory, 1987. p. 51.

HADLEY, R. F. et al. **Recent developments in erosion and sediment yield studies**. UNESCO (IHP), Paris, 1985. p. 127.

HILLEL, D. **Out of the Earth: civilization and the life of the soil**. Aurum Press: London, 1992. p. 352.

HUDSON, N. W. **Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía**. Boletín FAO 68. Roma, Italia, 1997. p. 147.

JETTEN, V.; DE ROO, A. P. J. Spatial analysis of erosion conservation measures with LISEM. In: HARMON, R.; DOE, W.W. (Eds.). **Landscape erosion and evolution modeling**. New York, USA: Kluwer Academic/Plenum, 2001. p. 429–445.

KIMOTO, A. et al. Influences of human activities on sediment discharge from devastated weathered granite hills of southern China: effects of 4- year elimination of human activities. **Catena**, v. 48, p. 217–233, 2002.

KNOX, J. C. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. **Catena**, v. 42, n. 2–4, p. 193–224, jan. 2001.

KOCHEM, M. L. **Características granulométricas, carbono, nitrogênio e frações de fósforo em sedimentos durante eventos chuva-vazão em bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul, Brasil**. 2014. 120 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

LANE, L. J.; HERNANDEZ, M.; NICHOLS, M. Processes controlling sediment yield from watersheds as function of spatial scale. **Environmental Modelling and Software**, v. 12, n. 4, p. 355–369, 1997.

LAWLER, D. M.; BROWN, R.M. A simple and inexpensive turbidity meter for estimation of suspended sediment concentration. **Hydrological Processes**, v. 6, n. 2, p. 159–168, abr. 1992.

LAWLER, J. J. et al. Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1568–1584, 2006.

LAWLER, D. M. The importance of high-resolution monitoring in erosion and deposition dynamics studies: examples from estuarine and fluvial systems. **Geomorphology**, v. 64, n. 1, p. 1–23, 2005.

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1003–1010, jun. 2011.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. 2015. 151 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LONGLEY, P. A. et al. **Geographic information systems and science**. Chichester, UK: Wiley, 2005. p. 497.

MATHIAS, D. T. **Análise Geomorfológica Aplicada ao Planejamento Urbano**. UNESP/IGCE, Trabalho de Conclusão do Curso de Geografia, Rio Claro, 2007.

MERTEN, G. H., et al. Considerações sobre a utilização da curva chave de sedimentos para determinação de fluxo de sedimentos. In: MERTEN, G. H. et al. (Eds.). **Sedimentos: o desafio da multidisciplinaridade**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 83–94.

MERTEN, G.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, p. 37–48, 2013.

MERTEN, G. H.; CAPEL, P.D.; MINELLA, J. P. G. Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1235–1241, jul. 2014.

MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1637–1646, 2007.

MINELLA, J. P. G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 3–4, p. 546–563, jan. 2008.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1575–1582, set. 2012.

MINELLA, J. P.G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 2189–2201, nov. 2014.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. New York, USA: Wiley, 2005. p. 198.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Modelling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 29, n. 6, p. 1624–1630, 1986.

MOORE, I. D. et al. GIS and land surface-subsurface process modeling. In: GOODCHILD M. F. et al. (Eds.). **Geographic Information Systems and Environmental Modeling**. Oxford Univ. Press, New York, 1993. p. 196–230.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 3–30, jan. 1991.

MOORE, I.; GALLANT, J. Overview of hydrologic and water quality modeling. In: MOORE, I. (Ed.). **Modelling the Fate of Chemicals in the Environment**. Camberra, Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, 1991. p. 1–8.

PIEGAY, H. et al. Valley landscape, morphology and sedimentation as indicators of recent changes in sediment yield in an Alpine montane basin (The Upper Drome in France). **Catena**, v. 55, p. 183–212, 2004.

REID, L. **Research and cumulative watershed effects**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, General Technical Report PSW-GTR-141, 1993. p. 118.

SANTOS, I.; KOBİYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, p. 77–89, 2008.

TOY, J. T., FOSTER, R. G, RENARD, K. G. **Soil Erosion – Processes, Prediction, Measurement and Control**. Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc., 2002. p. 352.

TRIMBLE, S. W. A sediment budget for Coon Creek basin in the Driftless Area, Wisconsin, 1853-1977. **American Journal of Science**, v. 283, p. 454–464, 1983.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n. 4, p. 363–373, mar. 2012.

VANACKER, V., et al. Linking hydrological infinites lope stability and land use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on landslide susceptibility in High Andean watersheds. **Geomorphology**, v. 52, p. 299–315, 2003.

VERSTRAETEN, G. et al. The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure? **Hydrological Processes**, v. 20, n. 20, p. 4259–4267, dez. 2006.

WANG, J. X. et al. Investigate research of soil erosion base on Ikonos and Landsat image in Jinnig. **Procedia Engineering**, v. 15, p. 1345–1349, 2011.

WALLING, D. E.; COLLINS, A. L. **Integrated assessment of catchment sediment budgets: A technical manual**. Exeter: Department for International Development, 2000. 168p.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. EROS: a grid-based program for estimating spatially distributed erosion indices. **Computers and Geoscience**, v. 22, n. 4, p. 707–712, 1996.

WISHMEYER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA, Agricultural Handbook, 1978.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on sediment management and measurement**. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization, 2003. p. 158.

# CAPÍTULO V

---

## **Erosão do solo: um problema mundial agravando-se num contexto de “agricultura conservacionista” no Sul do Brasil**

*Tales Tiecher<sup>1</sup> & Jean Paolo Gomes Minella<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Câmpus de Frederico Westphalen, Avenida Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen, CEP 98400-000, RS, Brasil. E-mail: tales.t@hotmail.com, tales@uri.edu.br. Autor para correspondência

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, Santa Maria, CEP: 97105-900, RS, Brasil. E-mail: jminella@gmail.com

### **Sumário**

INTRODUÇÃO .....	123
1 O SURGIMENTO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO CONSERVACIONISTAS: SISTEMA PLANTIO DIRETO VS. PLANTIO DIRETO.....	124
2 O PROBLEMA-CHAVE: DE ONDE VEM O SEDIMENTO? .....	134
3 A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA EM ESTUDOS SOBRE A ORIGEM DOS SEDIMENTOS .....	137
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	145
REFERÊNCIAS .....	146

## INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um importante fenômeno de degradação de terras agrícolas em todo o mundo. Estima-se que quase 60% da atual erosão do solo é induzida pela atividade humana, e que o aumento das áreas cultivadas no século passado aumentou as perdas de solo por erosão em cerca de 17% (YANG et al., 2003). As estimativas atuais de taxas de erosão hídrica global em terras agrícolas varia de 28.3 Pg ano<sup>-1</sup> (VAN OOST et al., 2007) a 73.5 Pg ano<sup>-1</sup> (PIMENTEL et al., 1995)<sup>1</sup>. O solo está sendo perdido das áreas cultivadas cerca de 10 a 40 vezes mais rápido do que a taxa de renovação do solo. Como consequência, cerca de 10 milhões de hectares de terras cultiváveis são perdidos anualmente devido à erosão do solo, reduzindo assim a área plantada disponível para a produção de alimentos, colocando em risco o futuro da segurança alimentar humana e qualidade ambiental (PIMENTEL, 2006).

A crescente demanda por terra, água e energia em breve irá afetar nossa capacidade de produzir alimentos. Neste contexto, existe uma necessidade urgente de reduzir o impacto dos sistemas de produção de alimentos no ambiente (GODFRAY et al., 2010). De acordo com Telles et al. (2011), entre as diversas estimativas de custos de erosão do solo entre 1933 e 2010, o valor mais elevado foi de 45,5 bilhões de dólares por ano para a União Europeia, enquanto que nos Estados Unidos, o maior valor foi de 44 bilhões de dólares por ano. Os mesmos autores encontraram que, no Brasil, as estimativas para o estado do Paraná indicam um valor de 242 milhões de dólares por ano, e para o estado de São Paulo, 212 milhões de dólares por ano, destacando que, acima de tudo, medidas de conservação devem ser implementadas para que a produção agrícola e pecuária torne-se sustentável.

Em todo o território brasileiro, as atividades agropecuárias estão entre aquelas que mais perturbam o ambiente, através do aumento da exposição do solo aos processos de erosão, acelerando a transferência de sedimentos e contaminantes para os corpos d'água. A erosão do solo no Brasil é considerado como o principal fator de degradação das terras agrícolas (GUERRA et al., 2014). Na década de 1990, o Brasil foi um dos poucos países do mundo onde houve aumento da área agrícola, chegando à 250 milhões de hectares em 2000, e atualmente ocupam 27,6% de seu território para atividades agropecuárias, enquanto que as áreas protegidas cobrem atualmente cerca de 55 milhões de hectares (MANZATTO et al., 2002). Nesse contexto, Merten e Minella (2013) indicam que as áreas de pastagens degradadas (~177 milhões de ha) assumem grande importância na erosão e produção de sedimentos pela sua extensão, considerando que, aproximadamente, 80 milhões de ha encontram-se degradados. A magnitude da área de pastagens

---

<sup>1</sup> Pg = Petagrama = 10<sup>15</sup> g = 10<sup>9</sup> toneladas.

degradadas é maior que toda área sob cultivo de grãos no Brasil. Além disso, de acordo com Merten e Minella (2013), durante os próximos 10 anos, a área agrícola do Brasil vai expandir para atender o aumento da demanda interna e mundial por alimentos, combustível e fibra. A quantidade de áreas degradadas indica, claramente, que não se justifica que a expansão da agricultura ocorra sobre áreas hidrologicamente ou ecologicamente frágeis. Estes autores advertem que as atuais escolhas em relação ao uso da terra determinarão os efeitos nocivos dessa expansão, que incluem a erosão do solo, assoreamento dos reservatórios que impactará na produção de energia, no depauperamento da qualidade da água que impactará no custo do tratamento da água e na saúde da população, na ocorrência de enchentes, além da perda de biodiversidade e os conflitos sociais, especialmente em torno reservas indígenas.

Para compreender os impactos da atividade agrícola do sul do Brasil nos solos e nos recursos hídricos, esse capítulo explora a dinâmica da erosão no contexto das bacias hidrográficas. Inicialmente é discutido o surgimento dos sistemas de manejo de solo conservacionistas, com ênfase no sistema plantio direto, e os problemas erosivos associados à esse sistema. Posteriormente, é apresentada algumas metodologias empregadas para estimar a origem dos sedimentos em bacias hidrográficas, com ênfase na abordagem “*fingerprinting*”. Finalmente, é apresentado as principais experiências brasileiras em estudos sobre a origem dos sedimentos em bacias hidrográficas, demonstrando o potencial de perda de solo pelos processos erosivos em áreas de lavoura no Sul do Brasil.

## **1 O SURGIMENTO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO CONSERVACIONISTAS: SISTEMA PLANTIO DIRETO VS. PLANTIO DIRETO**

Na era moderna, a intensificação da agricultura no Brasil foi fortemente influenciada pelas tecnologias utilizadas nos países do Norte como resultado das várias fases de imigração experimentados pelo país (CASÃO JUNIOR et al., 2012). Durante muitos anos, o sistema de cultivo convencional (SCC) foi a forma de manejo dominante na agricultura sul brasileira, com intensa mobilização do solo. Nas décadas de 1950 e 1960, o preparo convencional com aração e gradagem pesada eram frequentemente precedidos da queima dos resíduos para reduzir o volume de biomassa, a fim de facilitar as operações mecânicas. Além do alto custo operacional do SCC, nesse sistema o solo ficava descoberto, especialmente, nos períodos de maior erosividade das chuvas (setembro a novembro). Nessa situação, ocorria a perda acentuada nos teores de matéria orgânica, todos os agregados da superfície eram destruídos, formação de selo e crosta superficial, danos severos à estrutura e capacidade de infiltração de água no solo, que por sua vez, aumentava a suscetibilidade à erosão hídrica. Este sistema de produção causou perdas de solo por erosão de

até 10 t ha<sup>-1</sup> por tonelada de grãos produzidos, resultando em enormes impactos ambientais e perda de áreas cultivadas (CASÃO JUNIOR et al., 2012).

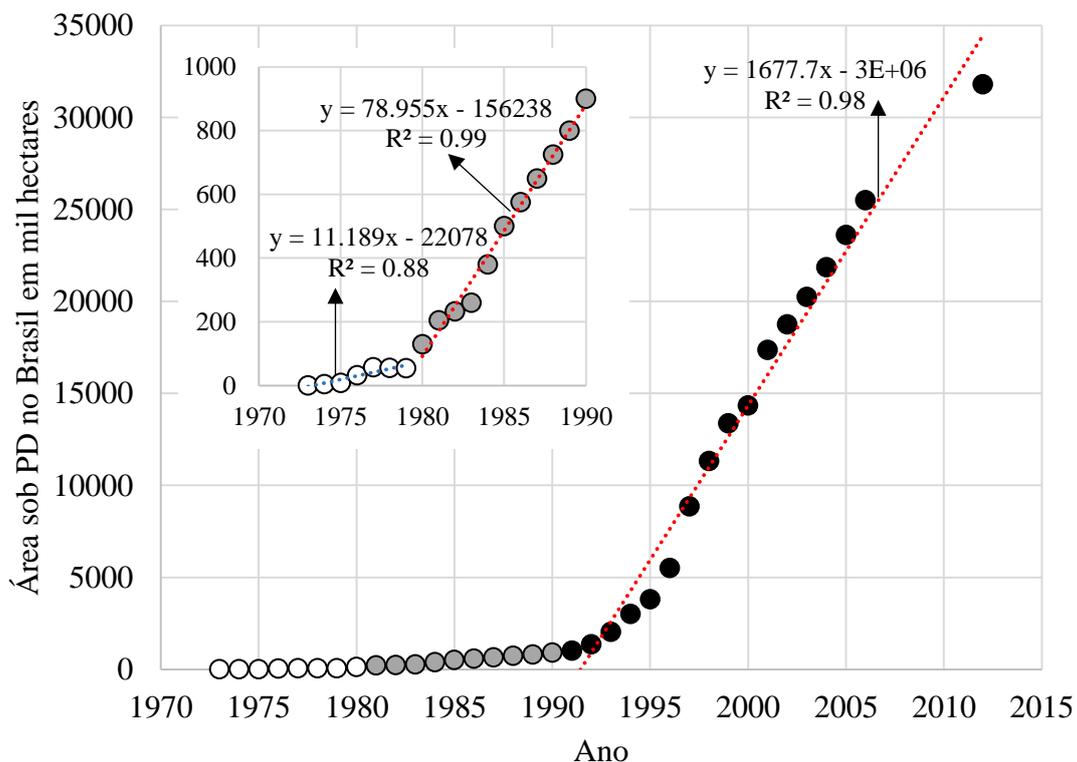
Consequentemente, na década de 1970, várias iniciativas separadas surgiram no sul do Brasil em busca de modificar o sistema de manejo do solo para uma abordagem mais conservacionista. Nesse contexto surgiu o sistema de cultivo com preparo reduzido (SPR), visando diminuir a mobilização do solo em relação ao preparo convencional. Nesse sistema o preparo do solo foi reduzido para apenas uma gradagem com grade pesada, ou grade aradora, onde os resíduos culturais eram semi-incorporados ao solo. Contudo, a pequena quantidade de palha que permanecia na superfície protegia o solo parcialmente, e por isso ainda havia danos severos causados pela erosão hídrica.

Posteriormente surgiu o sistema de cultivo mínimo (SCM), que era bastante similar ao reduzido, diferindo na intensidade das operações. Nesse sistema o preparo do solo era feito somente através de uma gradagem leve, ou com uma mobilização somente na linha de semeadura, permanecendo o espaço entre as linhas sem revolvimento, através do uso de escarificadores. Esse pode ser considerado o sistema precursor do sistema plantio direto (SPD). Comparativamente ao SCC, o SPR e o SCM apresentavam as vantagens de um menor consumo de combustível, controle razoável de plantas invasoras, aumento da infiltração de água quando escarificado e a manutenção de uma maior cobertura do solo.

De acordo com Denardin (2015), a evolução da área sob SPD no Brasil pode ser dividida em três momentos históricos (Figura 39). O SPD surgiu somente na metade da década de 1970. Como os equipamentos (principalmente as semeadoras) eram inadequados, havia carência de conhecimentos e de capacitação técnica, e a tecnologia de controle de plantas invasoras ainda era pouco desenvolvida, a taxa de adoção desse sistema até o final da década de 1970 foi de somente cerca de 10 mil hectares por ano em todo o Brasil (Figura 39).

No início da década de 1980 foram criados os primeiros grupos de troca de experiência, envolvendo produtores rurais, assistentes técnicos e pesquisadores (Clube da Minhoca em Ponta Grossa, Paraná, e Clube Amigos da Terra, no Rio Grande do Sul). Nesse mesmo período houve um aprimoramento do manejo de plantas invasoras e aumento da diversidade e seletividade dos herbicidas pós-emergentes. Outro fator importante foi o desenvolvimento de semeadoras adaptadas para esse sistema de manejo do solo (i.e. triplo disco, disco duplo defasado, rompedores de solo tipo facão). Como resultado, houve um aumento médio de aproximadamente de 80 mil hectares por ano durante a década de 1980 (Figura 39).

Com o surgimento das primeiras semeadoras convencionais adaptadas para o SPD no início da década de 1990, e o comércio de semeadoras desenvolvidas exclusivamente para esse sistema de manejo do solo na metade dessa década, houve um crescimento vertiginoso no aumento da área sob SPD no Brasil. Concomitantemente, a pesquisa evoluiu muito em dois aspectos-chave para o sistema: (i) o manejo integrado de plantas invasoras, que foi impulsionado pela transgenia e pelo grande número e tipos de herbicidas passaram a ser oferecidos no mercado, e (ii) o manejo da fertilidade do solo, onde a fertilização e a forma de amostragem do solo foram ajustadas. A dose de calcário, por exemplo, foi reduzida para metade ou até um terço da recomendação do SCC, com aplicação à lanço e sem incorporação. Sem dúvida nenhuma, o principal fator para o sucesso da difusão e adoção do SPD nos solos brasileiros foi a redução dos custos nesse sistema (DENARDIN et al., 2011) – economia de mão-de-obra, hora-máquina, combustível, calcário e fertilizante. Por isso, desde o início da década de 1990, a área cultivada sob SPD no Brasil tem aumentado cerca de 1700 mil hectares por ano (Figura 39).



**Figura 39.** Evolução da área sob plantio direto (PD) no Brasil. Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e CONAB (2012).

Atualmente, o Brasil é líder no desenvolvimento de práticas e tecnologias de agricultura conservacionista na América do Sul, encorajando a disseminação da agricultura de conservação em toda a região por meio de uma rede eficaz e inovadora dos agricultores e suas associações,

sob a forma de parcerias públicas e privadas (SPERATTI et al., 2015). A adoção generalizada do sistema de plantio direto (SPD) foi uma das maiores evoluções para a agricultura brasileira desde a Revolução Verde<sup>2</sup>. O SPD foi concebido, na sua essência, baseado em alguns princípios básicos como (i) a redução ou eliminação do revolvimento do solo, (ii) a manutenção da cobertura do solo com resíduos de plantas ou plantas vivas para evitar o impacto das gotas de chuva, (iii) a diversificação de culturas em rotação, sucessão e/ou em consórcio para a dição de matéria orgânica para o aumento da estabilidade de agregados e maximização da infiltração, e (iv) o uso de medidas mecânicas de controle de escoamento superficial mecânicas para conservação do solo. Este sistema de gestão dos recursos naturais (solo, água e biodiversidade) é sustentável e altamente produtivo, melhora a estrutura, a agregação e porosidade do solo, maximiza a ciclagem de nutrientes, estimula a atividade biológica do solo, protege contra a erosão, aumenta o armazenamento de água no solo e reduz as enxurradas. Além disso, SPD promove o sequestro de carbono do solo, e oferece uma estratégia para alcançar a segurança alimentar através da melhoria da qualidade do solo (GEBHARDT et al., 1985; LAL, 2004). A adoção generalizada do SPD (plantio direto, rotação de culturas, cobertura do solo/lavouras de cobertura, maximização da infiltração e controle do escoamento) foi, sem dúvida, um dos fatores responsáveis pela evolução da agricultura brasileira, especialmente nas últimas duas décadas, o que tem aumentado a renda e a sustentabilidade nas regiões de agricultura intensiva no Brasil (CASÃO JUNIOR et al., 2012). Nesse sentido, os resultados obtidos por Merten et al. (2015) em um experimento de 14 anos no Sul do Brasil com o objetivo de avaliar as perdas de solo e escoamento superficial em pequenas e grandes parcelas com diferentes sistemas de preparo do solo e diferentes comprimentos e inclinação de rampa, mostram que, quando comparado com preparo convencional do solo (aração e gradagens do solo antes de cada cultivo), as perdas de solo sob SPD foram cerca de 70% menor. No entanto, os autores advertem que o benefício da redução das perdas de escoamento superficial foi menos evidente, o que sugere a necessidade de implementação de práticas adicionais para controlar o escoamento superficial para evitar o transporte de poluentes a cursos de água, como a construção de terraços.

Infelizmente, apenas uma pequena fração dos agricultores no Sul do Brasil respeita os princípios fundamentais do SPD, e, via de regra, o único princípio amplamente utilizado pelos agricultores é o não revolvimento do solo com aração e gradagens, pois torna o sistema menos

---

<sup>2</sup> Revolução Verde: amplo programa idealizado para aumentar a produção agrícola no mundo por meio de melhorias genéticas em sementes, uso intensivo de insumos industriais e agrotóxicos, mecanização e redução do custo de manejo que na verdade. Começou no final de 1940, mas os resultados expressivos foram obtidos durante as décadas de 1960 e 1970, onde países em desenvolvimento aumentaram significativamente sua produção agrícola. A expressão Revolução Verde foi criada em 1966, em uma conferência em Washington, por William Gown, que disse a um pequeno grupo de pessoas interessadas no desenvolvimento dos países com déficit de alimentos “é a Revolução Verde, feita à base de tecnologia, e não do sofrimento do povo”.

oneroso. Apenas o não-revolvimento do solo não caracteriza um sistema<sup>3</sup> e, portanto, como não existe sinergismo entre os elementos básicos do SPD, compromete-se a conservação do solo, diminuindo a sustentabilidade. Diferencia-se aqui portanto o SPD do “plantio direto” (PD), que simplesmente indicam áreas onde o solo não é mais revolvido antes das operações de semeadura do solo. É importante ressaltar aqui que os dados disponíveis da área cultivada sob SPD no Brasil, como aqueles utilizados para construir a Figura 39, não faz distinção entre SPD e PD. A área sem revolvimento do solo (incluindo áreas sem revolvimento do solo ou "PD" e áreas sob SPD) para a produção agrícola aumentou exponencialmente a partir do início da década de 1990, passando de 1 milhão de hectares para 31,8 milhões de hectares em 2011/12, o que representa aproximadamente 25% da área sob PD no mundo (FEBRAPDP, 2013).

A região Sul tem o maior percentual de área agrícola sob alta intensidade de uso do solo no Brasil (41% da área total) (MANZATTO et al., 2002). No estado do Rio Grande do Sul, a área sob PD para produção de grãos é de aproximadamente 90% da área cultivada (DIDONÉ et al., 2014). Influenciada pela colonização de imigrantes europeus, a atividade agrária na região sul é diferente de outras regiões do país, formada predominantemente por pequenos agricultores, geralmente organizados em cooperativas (MANZATTO et al., 2002). Apesar da tradição agrícola, isso não foi suficiente para evitar problemas como a perda de produtividade devido à erosão do solo, o depauperamento das funções básicas dos solos pela sua degradação, a elevada formação de escoamento superficial e mobilização de nutrientes e agroquímicos para os rios, mesmo em áreas sob PD. As principais razões para estes problemas são o abandono das práticas complementares de controle de escoamento e maximização da infiltração, a monocultura da soja negligenciando a rotação de culturas, a baixa entrada de biomassa reduzindo a cobertura do solo e a adição de matéria orgânica no solo, o tráfego excessivo e descontrolado de máquinas agrícolas pesadas, muitas vezes sob condições de umidade desfavoráveis. Pior ainda, os agricultores locais entendem que o plantio em nível e o uso de práticas mecânicas para controle de escoamento (como os terraços – Figura 40a) são obstáculos para as atividades diárias (por exemplo, plantio, colheita e tratamentos fitossanitários) e como um custo adicional devido ao maior tempo gasto para realizar essas atividades, acompanhando os contornos do terreno (DIDONÉ et al., 2014). Além da retirada dos terraços (Figura 40b), a maioria das estradas rurais são construídas sem planejamento, seguindo a linha principal de inclinação (Figura 40c). Muitas das estradas rurais (principais e secundárias) são, frequentemente, danificadas e escavadas por sulcos e voçorocas

---

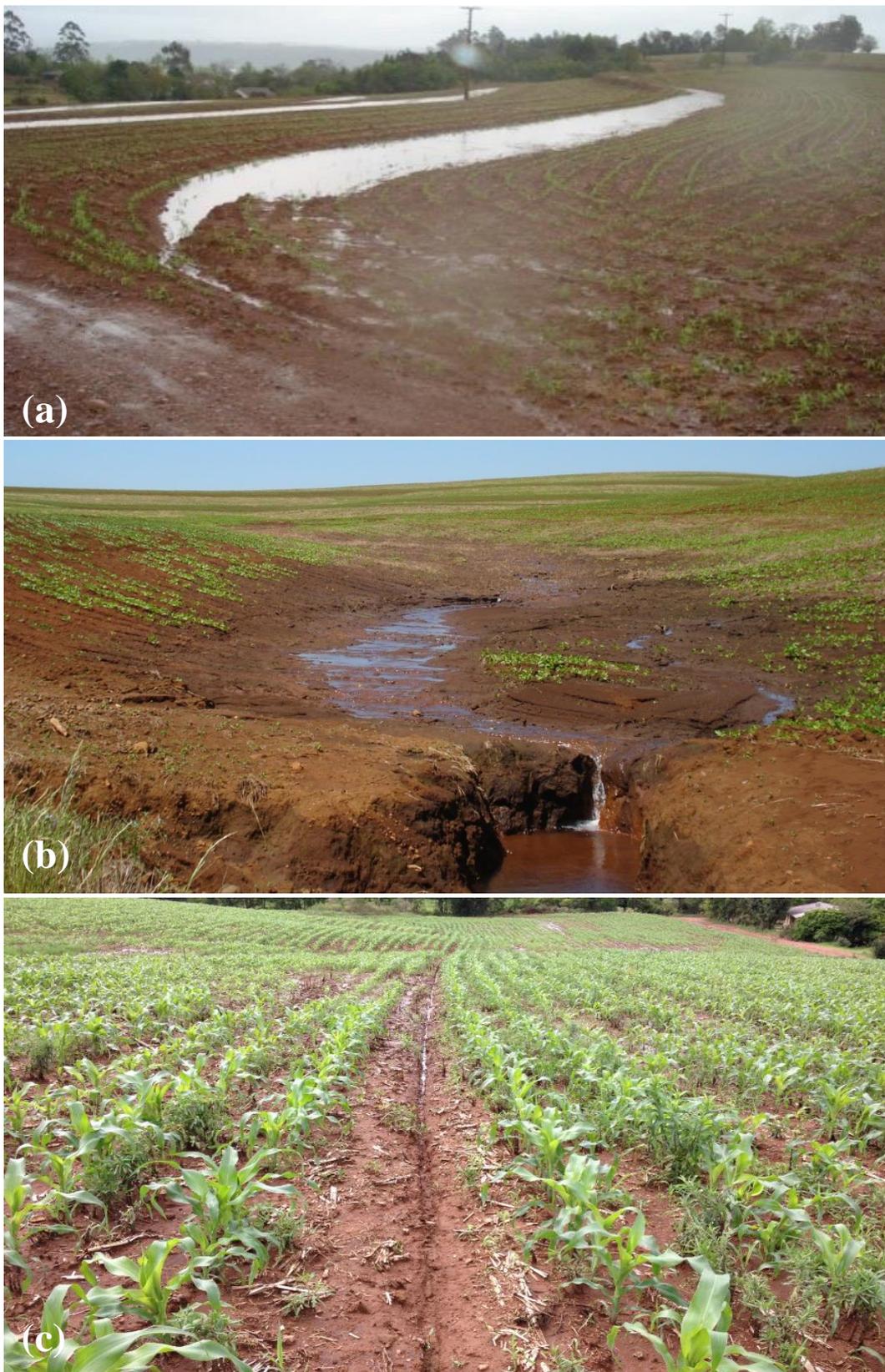
<sup>3</sup> Sistema: conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado. Vindo do grego o termo "sistema" significa "combinar", "ajustar", "formar um conjunto". A boa integração dos elementos componentes do sistema é chamada sinergia, determinando que as transformações ocorridas em uma das partes influenciará todas as outras. A alta sinergia de um sistema faz com que seja possível a este cumprir sua finalidade e atingir seu objetivo geral com eficiência; por outro lado, a falta de sinergia pode implicar em mau funcionamento do sistema, vindo a causar inclusive falha completa, pane e queda do sistema (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema>).

(Figura 41a) que perturbam as atividades agrícolas e aumentam os custos de manutenção (THOMAZ et al., 2014). Outro grande problema erosivo nas áreas do Sul do Brasil é a falta de medidas para controle do escoamento da água em divisas de propriedades (Figura 41b), tais como os canais escoadouros.

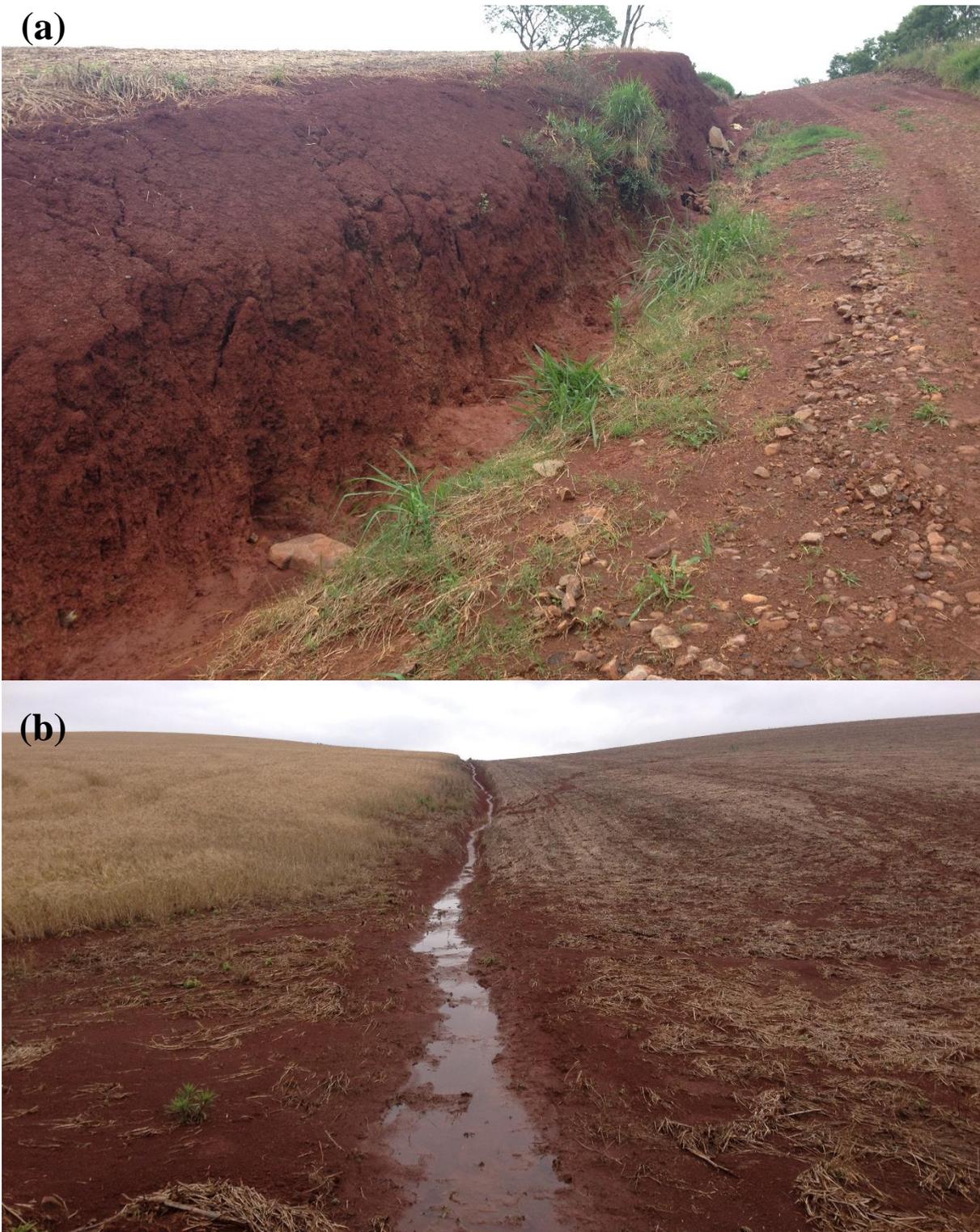
Em áreas tropicais e subtropicais como o Sul do Brasil, apesar da boa distribuição das chuvas ao longo do ano, podem ocorrer chuvas torrenciais em curtos períodos de tempo, ultrapassando facilmente a capacidade de infiltração de água no solo. Além disso, solos com impedimentos à infiltração ou aqueles com lençol freático próximo à superfície podem gerar escoamento superficial, mesmo em chuvas de baixa intensidade, mas de longa duração. Esse processo é, especialmente, evidenciado nas convergências do terreno e na base das encostas. O escoamento superficial de água no solo é, portanto, inevitável. Por isso, mesmo em áreas com relevo suave e boa cobertura de palha pode haver perdas significativas de solo por erosão em sulco (Figura 42a) caso não exista nenhuma estrutura mecânica de contenção do escoamento superficial. Muitos agricultores percebem o processo erosivo, mas utilizam o método inadequado de controle, que em muitos casos pode até acelerar o processo. Um exemplo claro são as bacias de contenção nas áreas de convergência das encostas. A capacidade de armazenamento dessas estruturas está muito aquém do volume de água gerado em toda a encosta que se concentra nesse ponto. Importante lembrar que o processo de degradação pelo escoamento/gota de chuva causando erosão é governado pelos eventos de maior magnitude que ocorrem com baixa frequência, mas com alta capacidade de destruição. A estrutura de contenção deve ser planejada para um precipitação com tempo de retorno<sup>4</sup> de 5 ou 10 anos, pois é com essa frequência que os eventos mais danosos erodirá a maior quantidade de solo. Sendo assim, medidas parciais são ineficientes, uma vez que o volume de armazenamento é ultrapassado, a água segue o seu fluxo e gera erosão em sulco entre as bacias de contenção (Figura 42b).

---

<sup>4</sup> Período de retorno, também conhecido como período de recorrência ou tempo de recorrência, é o intervalo de tempo estimado de ocorrência de um determinado evento de dada magnitude. É um termo bastante utilizado em hidrologia e é definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou ultrapassado.



**Figura 40.** Área de lavoura com terraço em nível em Nova Candelária, Noroeste do RS (Fonte: Dr. Douglas R. Kaiser – UFFS Cerro Largo) (a), Erosão do solo em área sob PD em Mangueirinha, Sudoeste do PR (b), e erosão do solo no sulco de semeadura realizada no sentido do declive em lavoura de milho sob PD em Seberi, Norte do RS (c).

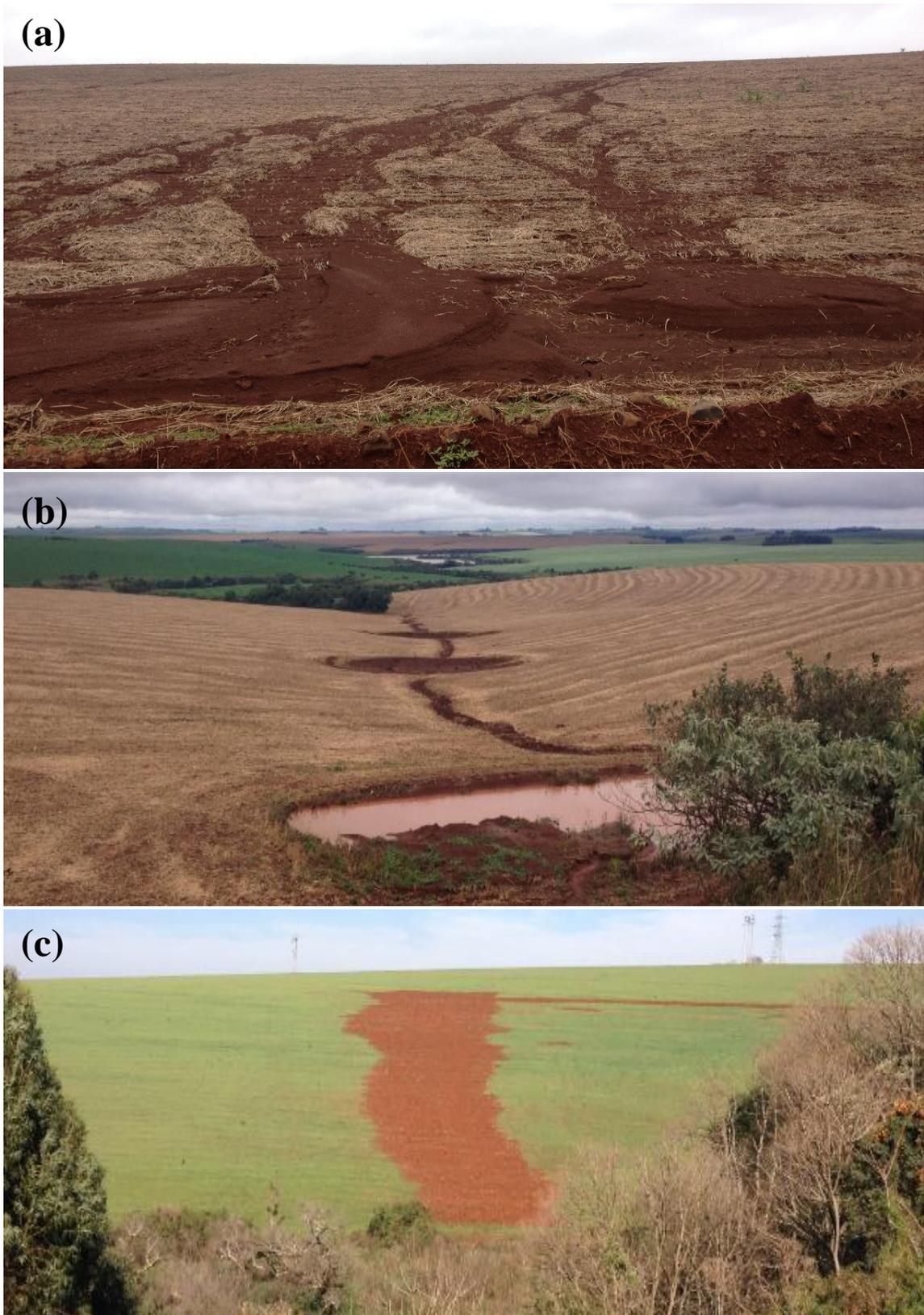


**Figura 41.** Erosão do solo nas margens de uma estrada rural não pavimentada (a) e em uma divisa de propriedades (b) em Frederico Westphalen, Norte do RS.

No Rio Grande do Sul, é perceptível que a maioria dos agricultores negligenciam as perdas de solo em áreas sob PD. Este fato é ainda mais claro para aqueles que participaram da transição do sistema de cultivo convencional do solo (SCC) com aração para o PD que guardam na memória a magnitude do processo erosivo no SCC. Naquela condição, quando o solo era

arado, há relatos de perda de solo de até 30 cm de profundidade durante um único evento de chuva após a aração do solo, resultando em obstrução completa de cursos de água locais. Com essas experiências e imagens na mente, as perdas de solo sob plantio condições são erroneamente consideradas como insignificantes pelos agricultores locais. Realmente, como observado na Etiópia por Moges e Holden (2007), a percepção da degradação do solo pelos agricultores é desencadeada principalmente por uma redução da produtividade das culturas. Neste contexto, como os níveis de produção obtidos ainda são satisfatórios graças à grande entrada de fertilizantes em cada cultivo, a percepção geral do agricultor é que não há degradação do solo em áreas sob PD no Sul do Brasil, muito embora as perdas de solo, água, nutrientes e pesticidas continuam a ser significativas. Além disso, o tipo de erosão mais frequente nessa região é a erosão em entressulco e em sulco, que apesar de levar o solo mais rico em matéria orgânica, nutrientes e poluentes, é muitas vezes negligenciada pelos agricultores locais, uma vez que não representa empecilhos para a mecanização das áreas. Após eventos pluviométricos de grande magnitude, não é raro observar lavouras sob PD com solo exposto devido à gradagens para uniformização do terreno devido à formação de sulcos e canais (Figura 42c).

É perceptível que o problema da degradação dos solos no Sul do Brasil é complexa e abrange questões ambientais, econômicas, sociais e políticas (PELLEGRINI, 2011). No entanto, para promover a consciência de agricultores, ainda existe uma carência de dados consistentes convincentes para demonstrar o impacto das suas práticas agrícolas sobre os recursos hídricos. Um estudo preliminar sobre o impacto dos sistemas agrícolas de PD na produção de sedimentos em duas grandes bacias hidrográficas no Sul do Brasil foi realizado por Didoné et al. (2014). Devido às respostas durante eventos de grande magnitude, os autores concluem que os sistemas de manejo do solo utilizados pelos agricultores em ambas as bacias hidrográficas ainda são ineficientes para reduzir (mitigar) o escoamento superficial e a erosão hídrica do solo. Londero (2015) também apresenta a magnitude do escoamento superficial e da perda de solo em bacias hidrográficas de ordem zero (2,4 ha) pareadas com e sem terraço. O estudo demonstra claramente a ineficiência do atual sistema de manejo do solo no controle das perdas de água e solo.



**Figura 42.** Erosão laminar em lavoura sem terraços com relevo suave e boa cobertura de solo sob PD em Frederico Westphalen, Norte do RS (a), erosão em sulco entre as bacias de contenção construídas nas áreas convergentes de lavouras sob PD (b), e gradagem do solo em área de solo erodida (c) em Palmeira das Missões, Norte do RS.

## 2 O PROBLEMA-CHAVE: DE ONDE VEM O SEDIMENTO?

A erosão do solo é um problema bem conhecido que gera tanto efeitos negativos no local (“*on-site effects*”) quanto fora do local (“*off-site effects*”). Os problemas no local onde ocorre a erosão hídrica do solo estão relacionados com a diminuição da fertilidade do solo e a diminuição da capacidade de retenção de água do solo, que têm efeitos diretos sobre a produtividade das culturas e no custo da produção (EVANS, 2005; LI et al., 2007; LI; SHAO, 2006; QUINTON et al., 2010; YAO et al., 2009; ZHANG et al., 2004). Os problemas fora do local onde ocorre a erosão do solo estão relacionados com o assoreamento de barragens, reservatórios e canais (KONDOLF et al., 2014), bem como para a degradação de ambientes aquáticos causada pelo transporte acelerado de nutrientes (MARTÍNEZ-CARRERAS et al., 2012) e poluentes para os cursos d’água, os quais impactam diretamente no custo da energia elétrica, do tratamento da água servida e na saúde da população. A ligação entre o sedimento produzido em encostas e seus impactos sobre a qualidade dos cursos de água não é simples, uma vez que é controlada por mecanismos complexos resultantes do comportamento hidrossedimentológico específica de cada bacia hidrográfica (MINELLA; MERTEN, 2011). Por isso, uma das principais limitações da maioria dos estudos sobre a transferência de sedimentos, seja quantitativa ou qualitativa, é a falta de informação sobre a origem dos sedimentos (COLLINS; WALLING, 2004). Informações sobre a origem dos sedimentos são necessárias para projetar estratégias de controle de sedimentos eficazes, para entender o transporte de nutrientes e poluentes, e para desenvolver modelos de erosão do solo (NOSRATI et al., 2014; WALLING; COLLINS, 2008). Recentemente, tem havido um crescente interesse em estudos com o objetivo de compreender os padrões espaciais de fontes de sedimentos em suspensão, a fim de ter uma melhor descrição dos processos de conexão entre as fontes de sedimentos e os rios, bem como o planejamento dos recursos naturais (WALLING, 2013).

A contribuição das fontes de sedimentos pode ser avaliada por métodos diretos e indiretos. Os métodos tradicionais empregam abordagens indiretas como observações visuais e medições da atividade erosiva. As fotografias aéreas podem fornecer evidências do impacto da erosão entressulcos, em canal e voçorocas (DAY et al., 2013). Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e sensoriamento remoto também podem ser utilizados para avaliar a vulnerabilidade ao risco de erosão do solo (DENGIZ et al., 2009). Parcelas de erosão podem ser utilizadas para determinar as taxas de perda de solo (ANH et al., 2014). Contudo, de acordo com COLLINS; WALLING (2004) o uso de métodos indiretos para investigar a contribuição das fontes de sedimentos em suspensão geralmente apresentam duas grandes limitações: (i) restrições práticas, de logística e de amostragem, devido à grande variabilidade espacial e temporal das

fontes de sedimentos; e (ii) restrições econômicas, uma vez que o custo de usar vários métodos limita o tempo de cobertura espacial e temporal dos programas de monitoramento em bacias hidrográficas.

Métodos diretos para estimar origem sedimentos são baseadas no fato de que as propriedades físico-químicas do sedimento em suspensão estão relacionados com aqueles das principais fontes de sedimentos. Uma ampla gama de propriedades traçadoras tem sido utilizadas para esta finalidade, tais como a cor (ERSKINE, 2013; KREIN et al., 2003; MARTÍNEZ-CARRERAS et al., 2010a, 2010b), suscetibilidade magnética (BLAKE et al., 2006; CAITCHEON, 1998, 1993; LIU et al., 2010; QUARANTA et al., 2014), teor de pólen de plantas (CLARK, 1986), óxidos de terras raras (DEASY; QUINTON, 2010), enzimas do solo (NOSRATI et al., 2011), carbono orgânico (BEN SLIMANE et al., 2013), isótopos estáveis de nitrogênio e carbono ( $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ ) (MCKINLEY et al., 2013), análise de isótopos específicos de compostos orgânicos (BLAKE et al., 2012; HANCOCK; REVILL, 2013), radionuclídeos naturais, tais como  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  (ZEBRACKI et al., 2015), razões isotópicas ( $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  - BIRD et al., 2010), mineralogia (DE BOER; CROSBY, 1995; FRYIRS; GORE, 2013; KOUHPEIMA et al., 2012; MIGUEL et al., 2014b; PRIZOMWALA et al., 2014; RAVAIOLI et al., 2003), composição geoquímica (STONE et al., 2014), e radionuclídeos precipitados como  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , e  $^7\text{Be}$  (BELYAEV et al., 2013; GOLOSOV et al., 2013; HUGHES et al., 2009; LIM et al., 2014; MATISOFF, 2014; OLLEY et al., 2013; PORTO et al., 2013; WALLING, 2013a).

Os traçadores mais comuns e bem sucedidos são os radionuclídeos precipitados ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ), e a composição geoquímica (D'HAEN et al., 2012; DAVIS; FOX, 2009; GUZMAN et al., 2013; HADDADCHI et al., 2013; KOITER et al., 2013; MUKUNDAN et al., 2012). De acordo com Haddadchi et al. (2013), traçadores físicos, como a cor, densidade e dimensões dos sedimentos finos, são menos dispendiosos e podem ser medidos facilmente, mas eles não apresentam alta conservatividade e podem conduzir a ambiguidade na interpretação dos resultados. Traçadores geoquímicos são favorecidos devido ao grande número de elementos disponíveis; e traçadores de radionuclídeos são os marcadores mais poderosas para distinguir os solos de diferentes usos da terra, mas precisam, contudo, de equipamentos caros de análise. Além disso, traçadores radionuclídeos são bem adaptados para uso em bacias hidrográficas heterogêneas, desde as suas concentrações sejam efetivamente independentemente do tipo de solo e geologia subjacente (WALLING, 2005). Traçadores como C, N, C/N, P, e radionuclídeos precipitados são reconhecidos por fornecer uma clara distinção entre as fontes do subsolo e do solo superficial (SAMANI et al., 2011).

A utilização de apenas um traçador muitas vezes não é suficiente para discriminar as fontes de sedimentos, especialmente em estudos que envolvem um grande número de potenciais fontes de sedimentos. Yu e Oldfield (1989) demonstraram que a resolução quantitativa de múltiplas fontes de sedimentos pode ser obtida através da utilização de assinaturas compostas ("*fingerprints*") envolvendo múltiplos traçadores que são estatisticamente diferentes entre as fontes de sedimentos. Assim, ao longo das últimas três décadas, uma abordagem conhecida como "*fingerprinting*" tem sido desenvolvida, aplicada e melhorada por pesquisadores em todo o mundo para estudar a origem dos sedimentos em bacias hidrográficas. O crescimento dos estudos investigando as fontes de sedimentos em bacias hidrográficas utilizando a abordagem "*fingerprinting*" desde seu início em meados dos anos 1970 até 2012 indica que houve um aumento quase exponencial nesse tipo de estudos (WALLING, 2013). Esta abordagem é uma técnica consolidada amplamente utilizada para quantificar a contribuição das fontes difusas de sedimentos através da utilização de uma ampla variedade de marcadores naturais combinados com rigorosas técnicas de modelação estatísticas, sendo uma ferramenta valiosa para auxiliar no desenvolvimento de estratégias para mitigar a erosão e poluição em bacias hidrográficas (D'HAEN et al., 2012; DAVIS; FOX, 2009; HADDADCHI et al., 2013; KOITER et al., 2013; MUKUNDAN et al., 2012). No entanto, de acordo com Lacey et al. (2015), embora uma premissa da abordagem "*fingerprinting*" é de que a inclusão de mais elementos melhora a traçagem dos sedimentos, é importante também entender a utilidade de poucos elementos mais significativos que tenham uma fundamentação geológica/pedológica para a discriminação das fontes ao invés de depender exclusivamente técnicas estatísticas para a determinação do potencial discriminante.

Numa recente revisão bibliográfica, Walling (2013b) enumerou os sete principais avanços e desenvolvimentos obtidos na abordagem "*fingerprinting*" para identificar as fontes de sedimentos ao longo dos últimos 30 anos. Em primeiro lugar, ele mencionou o uso de um conjunto de traçadores e de uma gama crescente de propriedades traçadoras para melhorar a discriminação entre as fontes. Este avanço foi essencial para aumentar o número de fontes potenciais a serem estudadas e reduzir as incertezas na estimativa da contribuição. Em segundo lugar, relatou a utilização de um conjunto robusto de testes estatísticos para confirmar a capacidade de determinadas propriedades em discriminar as fontes potenciais de sedimentos e para ajudar na seleção do melhor conjunto de traçadores no modelo "*fingerprinting*" composto. Em terceiro lugar, referiu-se a utilização de métodos numéricos para fornecer avaliações quantitativas da contribuição relativa das diferentes fontes potenciais. O quarto avanço foi o reconhecimento da necessidade de garantir que os traçadores se comportem de forma conservadora durante o

processo de erosão e transporte, além de levar em conta o enriquecimento em tamanho de partícula e matéria orgânica, bem como os efeitos de enriquecimento/depleção dos traçadores no sedimento comparativamente às fontes potenciais. O quinto avanço dessa abordagem foi considerar amostras de sedimentos integradas no tempo ao invés de utilizar amostras discretas de sedimentos em suspensão em dado local de amostragem, e a inclusão de um maior número de fontes potenciais bem como o número de amostras que as caracterizam. O sexto avanço foi a inclusão da dimensão temporal, a fim compreender a variabilidade intra e inter-evento das fontes de sedimentos. Finalmente, o sétimo avanço foi o avanço nos métodos computacionais para a avaliação das incertezas associadas aos resultados na estimativa da proporção de contribuição nas fontes de sedimentos.

Em estudos utilizando a abordagem “*fingerprinting*”, a origem dos sedimentos pode ser definida como fontes espaciais ou tipo de fonte (COLLINS; WALLING, 2004; WALLING, 2013; WALLING, 2005). Fontes espaciais podem ser sub-bacias ou regiões específicas da bacia, caracterizadas por diferente geologia, solos, geomorfologia ou padrão no uso da terra em uma bacia hidrográfica. Tipos de fontes são independentes da localização espacial, mas caracterizam processos erosivos distintos em solos com características distintas. A estratégia de agrupar as fontes (fontes espaciais ou tipo de fonte) depende dos objetivos do estudo, da natureza espacial do problema erosivo e da existência de elementos capazes de traçar cada fonte distintamente. A abordagem procura explorar a diferença nos processos responsáveis pela mobilização de sedimentos, como erosão laminar, erosão em sulcos, voçorocas, erosão do canal, movimentos de massa e mobilização de sedimentos estradas não pavimentadas e superfícies urbanas. Como as informações sobre as fontes espaciais podem ser obtidas através da comparação das descargas de sedimento em sub-bacias de afluentes, elas são alvo menos frequente de estudos envolvendo a abordagem “*fingerprinting*” do que os tipos de fonte. Informações sobre o tipo de fonte, no entanto, são muito difícil de serem obtidas usando técnicas tradicionais, por conseguinte, tem sido alvo mais frequente em estudos para a identificação da origem dos sedimentos utilizado a abordagem “*fingerprinting*”.

### **3 A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA EM ESTUDOS SOBRE A ORIGEM DOS SEDIMENTOS**

Embora os estudos de identificação das fontes de sedimentos sejam importantes para a compreensão dos processos de poluição difusa, a qual inclui a geração e transferência de sedimentos erodidos, a maioria das pesquisas hidrossedimentológicas desenvolvidas na escala de bacias hidrográficas no Brasil enfocou a interpretação da origem da produção de sedimentos

como resultado da magnitude das taxas de erosão, bem como o impacto nos recursos hídricos (MINELLA; MERTEN, 2011). Historicamente, estudos hidrossedimentológicos no Brasil têm como objetivo estimar o assoreamento dos reservatórios em grandes bacias (ARAÚJO, 2003; BRONSTERT et al., 2014; DE ARAÚJO; GÜNTNER; BRONSTERT, 2006) para dar suporte ao setor energético. Apesar da importância dessa informação para o desenvolvimento do país, a rede nacional de monitoramento contínuo não incorpora a variabilidade das escalas espaciais e, principalmente, temporais dos processos erosivos. A maioria das seções de monitoramento é baseada em poucas amostragens anuais gerando um banco de dados limitado para a maioria dos propósitos. No Brasil, poucos estudos foram desenvolvidos para estudar os processos erosivos considerando a escala de bacia, integrando a dinâmica das encostas com os processos observados no rio. Além disso, não há nenhuma solicitação ou interesse em quantificar os problemas de qualidade da água devido à erosão agrícola porque a percepção dos efeitos fora do local ainda não está claro para os tomadores de decisão no Brasil.

Até agora, os estudos sobre a identificação das fontes de sedimentos foram realizados somente em nove bacias hidrográficas brasileiras, oito deles no estado do Rio Grande do Sul. Além disso, todos eles são muito recentes (publicados depois de 2003). O surpreendentemente baixo número de estudos sobre a identificação das fontes de sedimentos no Brasil (especialmente fora do Rio Grande do Sul), quando comparado ao uso massivo dessa abordagem no mundo todo, deixa em aberto algumas questões, como: o método é pouco utilizado devido à falta de conhecimento ou devido a uma desconfiança sobre a abordagem? Devido à indisposição dos pesquisadores ou a falta de recursos e infraestrutura? Uma ampla pesquisa no resto da América do Sul revela que a utilização da abordagem “*fingerprinting*” é ainda mais incipiente. O único trabalho utilizando essa abordagem fora do Brasil na América do Sul foi realizado para em pequenas bacias hidrográficas florestadas no centro-sul do Chile (SCHULLER et al., 2013). A principal razão para isso não é clara. Não obstante, apesar de reconhecer a importância do conhecimento sobre os padrões espaciais das principais fontes difusas de poluição, tais como sedimentos, parece que há uma falta de interesse em geral sobre a origem das fontes de sedimentos em sistemas fluviais da América do Sul.

Sete das nove bacias hidrográficas (BH) estudadas pela abordagem “*fingerprinting*” no Brasil são bacias hidrográficas rurais (Tabela 8). A saber: BH de Agudo (1.68 km<sup>2</sup> – MINELLA et al., 2007), BH de Arvorezinha (em toda a BH, cobrindo uma área de 1.19 km<sup>2</sup> – CLARKE, 2014; MAIER, 2013; MINELLA et al. 2007; 2008; 2009; 2014, e em uma sub-bacia de 0.58 m<sup>2</sup> – MINELLA 2003; MINELLA et al. 2004; 2009), duas BHs de Júlio de Castilhos (em uma BH de 0.80 km<sup>2</sup> – TIECHER et al., 2014; TIECHER 2015, e em outra de 1.43 km<sup>2</sup> – TIECHER 2015),

BH do Vacacaí-Mirim (20 km<sup>2</sup> – MIGUEL et al. 2014a, 2014b), e duas grandes BHs, a BH do Conceição (804,3 km<sup>2</sup> – TIECHER 2015) e a BH do Guaporé (2.027,2 km<sup>2</sup> – TIECHER 2015). As outras duas bacias hidrográficas estão localizadas em áreas urbanas (Tabela 8). Poletto et al. (2009) avaliaram as principais fontes de sedimentos em uma pequena bacia urbana residencial (0,83 km<sup>2</sup>) nos subúrbios de Porto Alegre, RS. Franz et al. (2014) estudaram as fontes de sedimentos depositados no Lago Paranoá na capital do Brasil, Brasília (área total da bacia de 950 km<sup>2</sup>), bem como na sub-bacia do Riacho Fundo (224 km<sup>2</sup>).

As pequenas bacias hidrográficas rurais dos municípios de Agudo e Arvorezinha estão ambas localizadas em áreas íngremes onde a atividade dominante é a fumicultura praticada em pequenas propriedades com aração do solo. As duas BHs mostraram um padrão semelhante de contribuição das fontes de sedimentos (Tabela 8). Na BH de Agudo, a contribuição das áreas de lavoura foi de 68%; estradas não-pavimentadas 28%, e a rede de drenagem 4%. Na BH de Arvorezinha, a contribuição das áreas de lavoura foi de 55%; estradas não-pavimentadas 38% e a rede de drenagem 7% (MINELLA et al., 2007). Minella et al. (2009) também mostrou que a abordagem “*fingerprinting*” foi eficaz na detecção de mudanças na contribuição das fontes de sedimentos devido à adoção de práticas conservacionistas nas áreas de lavoura na BH de Arvorezinha, como o cultivo de culturas de cobertura de inverno e implementação de cultivo mínimo. Após a adoção dessas práticas, a contribuição das áreas de lavoura na produção de sedimentos reduziu de 62 para 54%, e a contribuição de estradas não-pavimentadas diminuiu de 36 para 24%. Por outro lado, a contribuição da rede de drenagem aumentou de 2 a 22%. Isso demonstra que a introdução de práticas como o cultivo mínimo do solo para reduzir a mobilização do solo e a produção de sedimentos, os resultados do estudo também demonstraram a necessidade de ter uma visão mais ampla da gestão da BH, e se caso necessário diminuir a produção de sedimento, a rede de drenagem também deve ser alvo de estratégias de manejo. Os autores mostraram que após a introdução de melhores práticas de manejo do solo, até mais de 40% dos sedimentos mobilizados na BH durante eventos pluviométricos de grande magnitude originou-se da rede de drenagem, sendo que anteriormente a contribuição máxima dessa fonte era uma ordem de magnitude menor. Isso aconteceu devido à redução do aporte de sedimentos provenientes das lavouras causando o aumento da capacidade de transporte do escoamento gerando mais erosão nas margens dos riachos.

**Tabela 8.** Resumo dos resultados de estudos sobre a origem dos sedimentos em bacias hidrográficas Brasileiras utilizando a abordagem “fingerprinting”.

Bacia hidrográfica	UF	Área (km <sup>2</sup> )	Período	Contribuição das fontes de sedimentos (%)							Referência	
				Lavoura	Estradas não-pav.	Canal	Pastagem	Solo superfície	Áreas urbanas	Áreas naturais		Estradas pav.
<b><i>Bacias hidrográficas rurais</i></b>												
Arvorezinha <sup>1</sup>	RS	0,58	Abr/2002–Out/2002	64	36	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella (2003) Minella et al. (2004; 2009)
Agudo	RS	1,68	Abr/2003–Jun/2004	68	28	4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella et al. (2007)
Arvorezinha	RS	1,19	Abr/2003–Jun/2004	55	38	7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella et al. (2007)
Arvorezinha <sup>2</sup>	RS	1,19	Mai/2002–Jul/2003	61	37	2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella et al. (2008; 2009)
Arvorezinha <sup>3</sup>	RS	1,19	Out/2003–Mar/2006	53	29	18	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella et al. (2008; 2009)
Arvorezinha	RS	1,19	Mai/2002–Jul/2003	63	36	2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Minella et al. (2014)
Arvorezinha	RS	1,19	Out/2009–Jul/2011	57	23	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher (2015)
Vacacaí-Mirim	RS	20,0	Mai/2011–Dez/2011	n.a.	35	3	n.a.	62	n.a.	n.a.	n.a.	Miguel et al. (2014a)
Vacacaí-Mirim	RS	20,0	Mai/2011–Dez/2011	n.a.	31	35	n.a.	34	n.a.	n.a.	n.a.	Miguel et al. (2014b)
Júlio de Castilhos I	RS	0,80	Mai/2009–Abr/2011	44	56	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher et al. (2014)
Júlio de Castilhos I	RS	0,80	Abr/2011–Out/2013	16	15	49	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher (2015)
Júlio de Castilhos II	RS	1,43	Abr/2011–Out/2013	11	41	23	25	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher (2015)
Conceição	RS	804,3	Mai/2011–Mar/2014	51	0	49	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher (2015)
Guaporé	RS	2.031	Mai/2011–Mar/2014	90	2	8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Tiecher (2015)
<b><i>Bacias hidrográficas urbanas</i></b>												
Arroio Mãe d'Água	RS	0,83	Jan/2003–Dez/2006	n.a.	23	31	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	46	Poleto et al. (2009)
Lago Paranoá	DF	950,0	2011	5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	85	10	n.a.	Franz et al. (2014)
Riacho Fundo	DF	224,0	2011	10	7	n.a.	n.a.	n.a.	78	5	n.a.	Franz et al. (2014)

n.a., Não avaliado.

<sup>1</sup> Sub-bacia da bacia hidrográfica de Arvorezinha.<sup>2</sup> Período pré-tratamento – plantio convencional de fumo.<sup>3</sup> Período pós-tratamento – utilização de plantas de cobertura e cultivo mínimo nas áreas de lavoura.

De acordo com Minella et al. (2008), o acoplamento da abordagem “*fingerprinting*” para identificar as fontes de sedimento com técnicas tradicionais de monitoramento hidrossedimentológico devem ser vistos como uma forma de fornecer tanto uma melhor compreensão das melhores práticas de gestão sobre a resposta de sedimentos de uma bacia hidrográfica, bem como informações importantes para a concepção e implementação de medidas eficazes de gestão de controle de produção de sedimentos. Mais recentemente, Minella et al. (2014) combinou as medidas de  $^{137}\text{Cs}$  com o monitoramento da produção de sedimentos e dados de identificação das fontes de sedimento para estabelecer um balanço de sedimentos (“*sediment budget*”) provisória para a BH de Arvorezinha. As informações fornecidas pelas três fontes primárias de sedimento foi integrado para elaborar o balanço de sedimentos para a BH ao longo dos últimos 57 anos. Os cálculos demonstram que a BH de Arvorezinha tem um uma taxa de entrega de sedimentos de cerca de 15%, ou seja, apenas 15% do sedimento erodido são de fato exportados para fora da BH, os outros 85% são redistribuídos dentro da encosta, pedimento, várzeas e no próprio canal.

Miguel et al. (2014a) avaliou a contribuição das principais fontes de produção de sedimentos em uma BH de encosta com o predomínio de solos rasos e agricultura familiar. A bacia está localizada na região central do Rio Grande do Sul, onde o uso da terra dominante é floresta nativa, seguido por pastagem nativa, culturas anuais, plantação de *Eucalyptus* spp. e assentamentos urbanos. Em geral, nos quatro períodos de monitoramento, a principal fonte de sedimentos foi o solo superficial. No entanto, no segundo período de monitoramento, a contribuição estradas não pavimentadas aumentou significativamente até 81% na porção média da bacia. Além disso, Miguel et al (2014b) demonstraram que variáveis mineralógicas, como teores de caulinita e hematita, tem potencial para discriminar fontes de sedimentos na mesma BH, aumentando o poder preditivo do modelo.

Tiecher et al. (2014) estudou a contribuição relativa das estradas e das lavouras na produção global de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural com o domínio do cultivo da soja sob PD com integração lavoura-pecuária na região do planalto do Rio Grande do Sul. Os autores mostraram que o manejo inadequado do solo nas áreas de lavoura, a falta de planejamento das estradas de acesso, e a ausência de práticas mecânicas para o controle do escoamento superficial combinada com a fragilidade natural dos solos, têm causado a aceleração de processos erosivos com efeitos negativos para os agricultores e sociedade. As estradas contribuíram com uma alta porcentagem da produção de sedimentos, mas a contribuição das áreas de lavoura aumentou durante período de maior precipitação. Comparando o primeiro (de Maio de 2009 a Outubro de 2009) e o segundo período de

amostragem (de Outubro de 2009 a Julho de 2010), a quantidade de chuva precipitada foi muito maior que a média dos últimos 30 anos (1,76 vezes maior), especialmente durante os meses de Novembro e Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010, devido a manifestação do fenômeno El Niño. Com a maior precipitação, o solo das áreas de lavoura atingiu condições de elevada umidade durante um período mais longo de tempo do que o normal. Assim, durante os eventos mais intensos, a capacidade de infiltração de água no solo das lavouras pode ter sido excedido. Este efeito combinado com a baixa adoção de práticas conservacionistas, sem terraços para contenção da água escoada superficialmente, a falta de rotação de culturas, e a baixa cobertura do solo, resultou em um aumento da contribuição das áreas de lavoura de 30,8% no primeiro período para 47,8% no segundo. Isso demonstra que a magnitude dos eventos de chuva modifica a proporção das contribuições das fontes de sedimentos ao longo do ano, afetando o processo de mobilização de sedimentos e nutrientes para o sistema fluvial.

Poleto et al. (2009) encontraram que as estradas pavimentadas e não-pavimentadas e a própria rede de drenagem contribui, em média, com 46, 23, e 31%, respectivamente, para o fluxo de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia urbana residencial no sul do Brasil (Tabela 8). Além disso, eles demonstraram que variações nas contribuições de origem em escalas tanto inter-evento quanto intra-evento depende dos padrões de precipitação locais. Os autores indicaram também que o nível de incerteza da contribuição das fontes de sedimento tende a diminuir com o aumento do número de marcadores. Por isso, em ambientes hidrológicos complexos, tais como bacias urbanas, é recomendado utilizar um número maior de traçadores químicos e/ou físicos.

Franz et al. (2014) apresentaram informações valiosas sobre a resposta das principais fontes de sedimentos em uma aglomeração urbana com rápido crescimento, com uma ênfase nos diferentes usos do solo e atividades humanas. Eles mostraram que, canteiros de obras e áreas residenciais esparsas em torno da cidade de Brasília foram as principais fontes dos sedimentos depositados no Lago Paranoá ( $74 \pm 3\%$ ), enquanto que as áreas com (semi-) vegetação natural e ravinas naturais contribuiu com  $10 \pm 2\%$ , e zonas agrícolas forneceram uma contribuição de sedimentos de apenas  $5 \pm 4\%$  em toda a BH ( $950 \text{ km}^2$ ). No entanto, como a proporção das áreas de lavoura é muito baixa, a sua contribuição de sedimentos do Lago Paranoá demonstram que a superfície de áreas de lavoura e estradas não-pavimentadas estão fortemente ligados à erosão e à geração de sedimentos. Além disso, os resultados do modelo confirmaram a hipótese de que as áreas

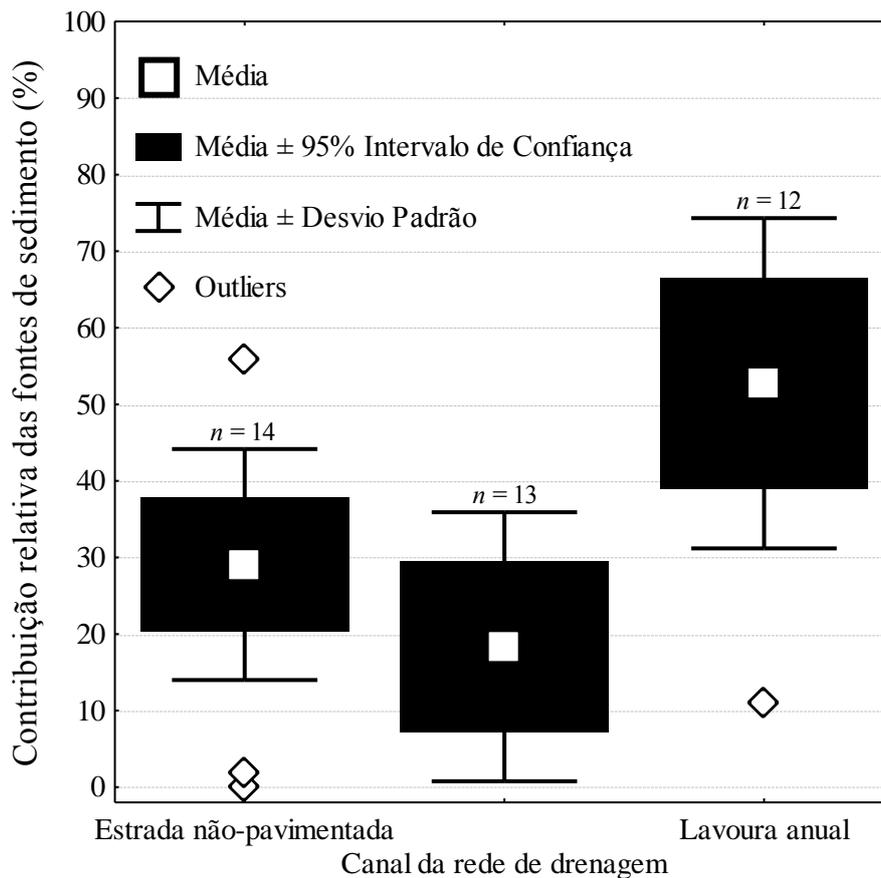
naturais são menos vulneráveis à mobilização de sedimentos, e que a cobertura vegetal densa é uma das estratégias mais eficazes para reduzir a mobilização de sedimentos.

No trabalho realizado por Tiecher (2015) foi avaliado a contribuição das fontes de sedimentos em BH rurais do estado do Rio Grande do Sul em áreas representativas dos principais impactos da agricultura nos recursos hídricos no estado. A área total das BHs estudadas de Arvorezinha, Júlio de Castilhos I, Júlio de Castilhos II, Conceição e Guaporé foi de 1,19, 0,80, 1,43, 804,3 e 2.031 km<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 8). Os resultados indicam que a quantidade de sedimentos gerados nas áreas de lavoura por unidade de área que realmente atinge a rede de drenagem fluvial foi muito diferente entre as bacias estudadas, devido em parte às condições naturais intrínsecas de relevo e declividade, e foram fortemente influenciados pelo uso da terra e manejo do solo. Nas bacias de Júlio de Castilhos, a quantidade de sedimentos originada nas áreas de lavoura foi muito baixa (6–12 ton km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>), devido ao relevo mais suave e, principalmente, devido à presença de áreas úmidas e açudes artificiais, que promovem a interceptação dos sedimentos e reduzem a conectividade das áreas de lavoura com a rede de drenagem. Por outro lado, as encostas íngremes e solos rasos frequentemente arados, nas áreas de lavoura da bacia hidrográfica de Arvorezinha resultou na produção de sedimentos aproximadamente 20–35 vezes maior do que nas bacias hidrográficas de Júlio de Castilhos, o que é particularmente preocupante, uma vez que o sistema de produção dessas áreas envolve altas doses de fertilizantes fosfatados e pesticidas, aumentando o risco ambiental de eutrofização dos corpos d'água.

Nas grandes BHs monitoradas no estudo realizado por Tiecher (2015), ficou evidente que embora as bacias hidrográficas do Guaporé e do Conceição apresentem produção de sedimentos muito semelhante, a produção de sedimentos oriundo das áreas de lavoura é cerca de três vezes menor na bacia do Conceição do que na bacia do Guaporé. A bacia Guaporé tem características naturais que favorecem a erosão e a transferência de sedimentos para os corpos d'água, especialmente no seu terço médio e inferior, onde o relevo é montanhoso e os solos são rasos. Mesmo assim, em muitas áreas, as culturas e o manejo do solo não levam em conta a fragilidade dos solos, resultando em alta erosão das áreas de lavoura. A menor produção de sedimento nas áreas de lavoura da bacia do Conceição em comparação com a do Guaporé, estão de acordo com o seu principal manejo do solo (> 80% das áreas de lavoura são cultivadas sob plantio direto) e com as características naturais de solo e paisagem que indicam baixa susceptibilidade à erosão. No entanto, a quantidade de sedimentos gerados nas áreas de lavoura que atinge a rede fluvial ainda é muito elevada para uma área considerada de baixa susceptibilidade à erosão sem

revolvimento do solo, indicando que novos esforços ainda são necessários para reduzir a erosão do solo. As principais causas disso são o abandono das práticas mecânicas para o controle de escoamento (como a utilização de terraços), a monocultura de soja negligenciando o sistema de rotação de culturas, o baixo aporte de biomassa resultando em redução da cobertura do solo, e o tráfego excessivo e descontrolado de máquinas agrícolas pesadas muitas vezes sob condições de umidade desfavoráveis.

Embora a maior parte das BHs brasileiras onde foram conduzidos os estudos para identificar a origem dos sedimentos em suspensão estejam localizadas em diferentes ambientes, no que diz respeito ao relevo, declividade, litologia, tipo de solo, uso da terra e manejo do solo, os resultados gerais demonstram que a abordagem “*fingerprinting*” é uma ferramenta adequada para estudar fontes de sedimentos nas condições ambientais brasileiras. Finalmente, os resultados obtidos nos 14 estudos utilizando essa técnica em bacias hidrográficas rurais no estado do Rio Grande do Sul (Figura 43) demonstram claramente que as áreas lavouras ainda são a principal fonte de sedimentos (40–66%) e que as estradas não pavimentadas também possuem contribuição significativa (20–37%). Para construir a Figura 43 foram utilizados os dados da Tabela 8. O valor  $n$  representa o número de estudos utilizados. Em dois estudos não foi avaliado a contribuição das lavouras (MIGUEL et al., 2014a,b), e em um deles não foi avaliado a contribuição do canal da rede de drenagem (TIECHER et al., 2014), e por isso o  $n$  é menor que 14.



**Figura 43.** Contribuição relativa das fontes de sedimento nos 14 estudos realizados em bacias hidrográficas rurais no estado do RS.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para compreender o estado atual dos sistemas de conservação, bem como os impactos das atividades agrícolas nos corpos d'água deve ser utilizada uma abordagem que considere os processos hidrológicos e erosivos na escala de bacia, baseado num programa de monitoramento. Nesse sentido, a abordagem “*fingerprinting*” para a identificação de fontes de sedimentos é um técnica importante para elucidar os processos erosivos dominantes e a origem dos problemas associados ao sedimento e aos poluentes. As áreas de lavoura, mesmo cultivados sem revolvimento do solo, ainda são a principal fonte de sedimentos em bacias hidrográficas agrícolas do Sul do Brasil. A ausência de medidas mecânicas de controle de escoamento, o monocultivo da soja em detrimento do uso de um plano de rotação de culturas, a baixa cobertura do solo tanto com resíduos culturais como com plantas vivas, está comprometendo sobremaneira a conservação dos nossos solos. O atual modelo de agricultura do Sul do Brasil, na maior parte das áreas agrícolas é, portanto, insustentável. As práticas de conservação do solo que são parcialmente ou indevidamente utilizados, não são suficientes para controlar o escoamento superficial e reduzir

significativamente os processos associados (erosão, produção de sedimentos, etc.) nas áreas de lavoura. Existe a necessidade urgente de planejamento e controle do uso e ocupação do solo na escala de bacia hidrográfica, na medida em que os sistemas de manejo do solo utilizados pelos agricultores ainda são ineficazes na redução do escoamento superficial e erosão nas áreas de lavoura do Sul do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ANH, P. T. Q. et al. Linkages among land use, macronutrient levels, and soil erosion in northern Vietnam: A plot-scale study. **Geoderma**, v. 232-234, p. 352–362, nov. 2014.
- ARAÚJO, J. C. DE. Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido: Modelagem e Validação. v. 8, p. 39–56, 2003.
- BELYAEV, V. R. et al. Using Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs to document recent sediment deposition rates on the River Plava floodplain (Central European Russia). **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 807–821, 15 mar. 2013.
- BEN SLIMANE, A. et al. Fingerprinting sediment sources in the outlet reservoir of a hilly cultivated catchment in Tunisia. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 4, p. 801–815, 10 jan. 2013.
- BIRD, G. et al. Quantifying sediment-associated metal dispersal using Pb isotopes: application of binary and multivariate mixing models at the catchment-scale. **Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)**, v. 158, n. 6, p. 2158–69, jun. 2010.
- BLAKE, W. H. et al. Magnetic enhancement in wildfire-affected soil and its potential for sediment-source ascription. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, n. 2, p. 249–264, fev. 2006.
- BLAKE, W. H. et al. Tracing crop-specific sediment sources in agricultural catchments. **Geomorphology**, v. 139-140, p. 322–329, fev. 2012.
- BRONSTERT, A. et al. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 12, p. 2001–2018, 29 out. 2014.
- CAITCHEON, G. . The significance of various sediment magnetic mineral fractions for tracing sediment sources in Killimicat Creek. **Catena**, v. 32, n. 2, p. 131–142, maio 1998.
- CAITCHEON, G. G. Sediment source tracing using environmental magnetism: A new approach with examples from Australia. **Hydrological Processes**, v. 7, n. 4, p. 349–358, out. 1993.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. . **No-till agriculture in southern Brazil: Factors that facilitated the evolution of the system and the development of the mechanization of conservation farming**. [s.l.] The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Instituto Agrônômico do Paraná, 2012. p. 83

CLARK, R. L. Pollen as a chronometer and sediment tracer, Burrinjuck Reservoir, Australia. **Hydrobiologia**, v. 143, n. 1, p. 63–69, dez. 1986.

COLLINS, A. L.; WALLING, D. E. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. **Progress in Physical Geography**, v. 28, n. 2, p. 159–196, 1 jun. 2004.

D'HAEN, K.; VERSTRAETEN, G.; DEGRYSE, P. Fingerprinting historical fluvial sediment fluxes. **Progress in Physical Geography**, v. 36, n. 2, p. 154–186, 3 fev. 2012.

DAVIS, C. M.; FOX, J. F. Sediment Fingerprinting: Review of the Method and Future Improvements for Allocating Nonpoint Source Pollution. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 7, p. 490–504, jul. 2009.

DAY, S. S. et al. Measuring bluff erosion part 2: pairing aerial photographs and terrestrial laser scanning to create a watershed scale sediment budget. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 10, p. 1068–1082, 25 ago. 2013.

DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157–170, fev. 2006.

DE BOER, D. H.; CROSBY, G. Evaluating the potential of SEM/EDS analysis for fingerprinting suspended sediment derived from two contrasting topsoils. **Catena**, v. 24, n. 4, p. 243–258, out. 1995.

DEASY, C.; QUINTON, J. N. Use of rare earth oxides as tracers to identify sediment source areas for agricultural hillslopes. **Solid Earth**, v. 1, n. 1, p. 111–118, 26 nov. 2010.

DENARDIN, J. E. et al. Sistema plantio direto: evolução e implementação. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 185–216.

DENARDIN, J. E. **Evolução do SPD no Brasil**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/arvore/CONT000f\\_h2b6ju702wyiv80rn0etnxng2vunj.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000f_h2b6ju702wyiv80rn0etnxng2vunj.html)>. Acesso em: 22 nov. 2015.

DENGIZ, O.; YAKUPOGLU, T.; BASKAN, O. Soil erosion assessment using geographical information system (GIS) and remote sensing (RS) study from Ankara-Guvenc Basin, Turkey. **Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology, India**, v. 30, n. 3, p. 339–44, maio 2009.

DIDONÉ, E. J. et al. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1287–1297, 23 jan. 2014.

ERSKINE, W. D. Soil colour as a tracer of sediment dispersion from erosion of forest roads in Chichester State Forest, NSW, Australia. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 933–942, 15 mar. 2013.

EVANS, R. Reducing soil erosion and the loss of soil fertility for environmentally-sustainable. **Annals of Applied Biology**, v. 146, n. 2, p. 137–146, 2005.

FRANZ, C. et al. Sediments in urban river basins: identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasília DF, Brazil - using the fingerprint approach. **The Science of the total environment**, v. 466-467, p. 513–23, 1 jan. 2014.

FRYIRS, K.; GORE, D. Sediment tracing in the upper Hunter catchment using elemental and mineralogical compositions: Implications for catchment-scale suspended sediment (dis)connectivity and management. **Geomorphology**, v. 193, p. 112–121, jul. 2013.

GEBHARDT, M. R. et al. Conservation tillage. **Science (New York, N.Y.)**, v. 230, n. November, p. 625–630, 1985.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science (New York, N.Y.)**, v. 327, n. 5967, p. 812–8, 12 fev. 2010.

GOLOSOV, V. N.; BELYAEV, V. R.; MARKELOV, M. V. Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 781–794, 15 mar. 2013.

GUERRA, A. J. T. et al. Erosão e Conservação de Solos no Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 37\_1, n. 1, p. 81–91, 9 abr. 2014.

GUZMÁN, G. et al. Sediment tracers in water erosion studies: current approaches and challenges. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 4, p. 816–833, 27 fev. 2013.

HADDADCHI, A. et al. Sediment fingerprinting in fluvial systems: review of tracers, sediment sources and mixing models. **International Journal of Sediment Research**, v. 28, n. 4, p. 560–578, dez. 2013.

HANCOCK, G. J.; REVILL, A. T. Erosion source discrimination in a rural Australian catchment using compound-specific isotope analysis (CSIA). **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 923–932, 15 mar. 2013.

HUGHES, A. O. et al. Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia. **Geomorphology**, v. 104, n. 3-4, p. 262–275, mar. 2009.

KOITER, A. J. et al. The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins. **Earth-Science Reviews**, v. 125, p. 24–42, out. 2013.

KONDOLF, G. M. et al. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. **Earth's Future**, v. 2, n. 5, p. 256–280, 23 maio 2014.

KOUHPEIMA, A. et al. An assessment of specific sediment yield of geological formations using investigated sedimentary deposits in reservoirs and fingerprinting. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 435–447, 2012.

KREIN, A.; PETTICREW, E.; UDELHOVEN, T. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. **Catena**, v. 53, n. 2, p. 165–179, set. 2003.

LACEBY, J. P. et al. A comparison of geological and statistical approaches to element selection for sediment fingerprinting. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8212, 24 mar. 2015.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science (New York, N.Y.)**, v. 304, n. 5677, p. 1623–7, 11 jun. 2004.

LI, J. et al. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. **Biogeochemistry**, v. 85, n. 3, p. 317–332, 12 jul. 2007.

LI, Y. Y.; SHAO, M. A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. v. 64, p. 77–96, 2006.

LIM, Y. S. et al. Evaluation of suspended-sediment sources in the Yeongsan River using Cs-137 after major human impacts. **Quaternary International**, v. 344, p. 64–74, set. 2014.

LIU, S. et al. Magnetic properties of East China Sea shelf sediments off the Yangtze Estuary: Influence of provenance and particle size. **Geomorphology**, v. 119, n. 3-4, p. 212–220, jul. 2010.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. [s.l.] 2015. 166 f. Dissertação (Msc em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria., 2015.

MAIER, C. **Variabilidade intra-evento da origem das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural (Intra-event variability of sources from sediment basin in a rural)**. [s.l.] 2013. 124 f. Thesis (PhD in Water Resources and Sanitation) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. D. F.; PERES, J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 174

MARTÍNEZ-CARRERAS, N. et al. The use of sediment colour measured by diffuse reflectance spectrometry to determine sediment sources: Application to the Atert River catchment (Luxembourg). **Journal of Hydrology**, v. 382, n. 1-4, p. 49–63, mar. 2010a.

MARTÍNEZ-CARRERAS, N. et al. Assessment of different colour parameters for discriminating potential suspended sediment sources and provenance: A multi-scale study in Luxembourg. **Geomorphology**, v. 118, n. 1-2, p. 118–129, maio 2010b.

MARTÍNEZ-CARRERAS, N. et al. The Influence of Sediment Sources and Hydrologic Events on the Nutrient and Metal Content of Fine-Grained Sediments (Atert River Basin, Luxembourg). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 9, p. 5685–5705, 20 out. 2012.

MATISOFF, G. (210)Pb as a tracer of soil erosion, sediment source area identification and particle transport in the terrestrial environment. **Journal of environmental radioactivity**, v. 138, p. 343–54, dez. 2014.

MCKINLEY, R.; RADCLIFFE, D.; MUKUNDAN, R. A streamlined approach for sediment source fingerprinting in a Southern Piedmont watershed, USA. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 10, p. 1754–1769, 29 maio 2013.

MERTEN, G. H. et al. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, set. 2015.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 3, p. 37–48, dez. 2013.

MIGUEL, P. et al. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 585–598, abr. 2014a.

MIGUEL, P. et al. Variáveis mineralógicas preditoras de fontes de produção de sedimentos, em uma bacia hidrográfica do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 783–796, jun. 2014b.

MINELLA, J. P. G. **Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural (Identification of sediment sources in a small rural watershed)**. [s.l.] 2003. 90 f. Master Dissertation (Master in Water Resources and Sanitation) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1637–1646, dez. 2007.

MINELLA, J. P. G. et al. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil. **Catena**, v. 79, n. 3, p. 228–236, dez. 2009.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 424–432, mar. 2011.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; CLARKE, R. T. Identification of sediment sources in a small rural drainage basin. **IAHS Publ.**, n. August, p. 44–51, 2004.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; CLARKE, R. T. Método “fingerprinting” para identificação de fontes de sedimentos em bacia hidrográfica rural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 633–638, out. 2009.

MINELLA, J. P. G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 3-4, p. 546–563, jan. 2008.

MINELLA, J. P. G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 2189–2201, nov. 2014.

MOGES, A.; HOLDEN, N. M. Farmers' perceptions of soil erosion and soil fertility loss in Southern Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 18, n. 5, p. 543–554, set. 2007.

MUKUNDAN, R. et al. Sediment Source Fingerprinting: Transforming From a Research Tool to a Management Tool 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 48, n. 6, p. 1241–1257, 17 dez. 2012.

NAZARI SAMANI, A.; WASSON, R. J.; MALEKIAN, A. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: Review and case study from Boushehr province, southwestern Iran. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 3, p. 375–391, 5 maio 2011.

NOSRATI, K. et al. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? **International Journal of Sediment Research**, v. 26, n. 2, p. 136–151, jun. 2011.

NOSRATI, K. et al. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. **Geoderma**, v. 217–218, p. 173–180, abr. 2014.

OLLEY, J. et al. The application of fallout radionuclides to determine the dominant erosion process in water supply catchments of subtropical South-east Queensland, Australia. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 885–895, 15 mar. 2013.

PELLEGRINI, J. B. R. **Planejamento do uso do solo em unidades de produção familiar produtoras de fumo: limites e possibilidades para a superação de conflitos agroambientais (Land use planning in family production units of tobacco: limits and possibilities for overcoming the agro.** [s.l.] 2011. 128 f. Thesis (PhD in Soil Science) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PIMENTEL, D. et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science (New York, N.Y.)**, v. 267, n. 5201, p. 1117–23, 24 fev. 1995.

PIMENTEL, D. Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. **Environment, Development and Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 119–137, fev. 2006.

POLETO, C.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. The identification of sediment sources in a small urban watershed in southern Brazil: an application of sediment fingerprinting. **Environmental technology**, v. 30, n. 11, p. 1145–53, out. 2009.

PORTO, P.; WALLING, D. E.; CALLEGARI, G. Using <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb ex measurements to investigate the sediment budget of a small forested catchment in southern Italy. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 795–806, 15 mar. 2013.

PRIZOMWALA, S. P.; BHATT, N.; BASAVAIHAH, N. Provenance discrimination and Source-to-Sink studies from a dryland fluvial regime: An example from Kachchh, western India. **International Journal of Sediment Research**, v. 29, n. 1, p. 99–109, mar. 2014.

QUARANTA, A et al. Ion Beam Induced Luminescence capabilities for the analysis of coarse-grained river sediments. **Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy**, v. 121, p. 1–8, jan. 2014.

QUINTON, J. N. et al. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 5, p. 311–314, 18 abr. 2010.

RAVAIOLI, M.; ALVISI, F.; VITTURI, L. M. Dolomite as a tracer for sediment transport and deposition on the northwestern Adriatic continental shelf (Adriatic Sea, Italy). **Continental Shelf Research**, v. 23, n. 14-15, p. 1359–1377, set. 2003.

SCHULLER, P. et al. Using (137)Cs and (210)Pbex and other sediment source fingerprints to document suspended sediment sources in small forested catchments in south-central Chile. **Journal of environmental radioactivity**, v. 124, p. 147–59, out. 2013.

SPERATTI, A. et al. Conservation Agriculture in Latin America. In: FAROOQ, M.; SIDDIQUE, K. H. M. (Eds.). . **Conservation Agriculture**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 391–415.

STONE, M. et al. The use of composite fingerprints to quantify sediment sources in a wildfire impacted landscape, Alberta, Canada. **The Science of the total environment**, v. 473-474, p. 642–50, 1 mar. 2014.

TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. D. F.; DECHEN, S. C. F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 287–298, abr. 2011.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R.; RAMOS SCHARRÓN, C. E. The effects of unpaved roads on suspended sediment concentration at varying spatial scales - a case study from Southern Brazil. **Water and Environment Journal**, v. 28, n. 4, p. 547–555, 21 dez. 2014.

TIECHER, T. et al. Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 639–649, abr. 2014.

TIECHER, T. **Fingerprinting sediment sources in agricultural catchments in Southern Brazil**. [s.l.] 2015. 307 f. Tese (PhD in Soil Science) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria., 2015.

VAN OOST, K. et al. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. **Science (New York, N.Y.)**, v. 318, n. 5850, p. 626–9, 26 out. 2007.

WALLING, D. E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. **The Science of the Total Environment**, v. 344, n. 1-3, p. 159–84, 15 maio 2005.

WALLING, D. E. Beryllium-7: The Cinderella of fallout radionuclide sediment tracers? **Hydrological Processes**, v. 27, n. 6, p. 830–844, 15 mar. 2013a.

WALLING, D. E. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 10, p. 1658–1675, 27 ago. 2013b.

WALLING, D. E.; COLLINS, A. L. The catchment sediment budget as a management tool. **Environmental Science & Policy**, v. 11, n. 2, p. 136–143, abr. 2008.

YANG, D. et al. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 14, p. 2913–2928, 15 out. 2003.

YAO, S. et al. The effects of vegetation on restoration of physical stability of a severely degraded soil in China. **Ecological Engineering**, v. 5, p. 723–734, 2009.

YU, L.; OLDFIELD, F. A multivariate mixing model for identifying sediment source from magnetic measurements. **Quaternary Research**, v. 32, n. 2, p. 168–181, set. 1989.

ZEBRACKI, M. et al. Tracing the origin of suspended sediment in a large Mediterranean river by combining continuous river monitoring and measurement of artificial and natural radionuclides. **The Science of the total environment**, v. 502, p. 122–32, 1 jan. 2015.

ZHANG, B.; YANG, Y.; ZEPP, H. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China. **Catena**, v. 57, n. 1, p. 77–90, jun. 2004.

A presente edição foi composta pela URI,  
em caracteres Garamond,  
formato e-book, pdf, em dezembro de 2015.