



Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada

Manejo e conservação de solo e água

Volume 1 – Formação, implantação e metodologias

Editores – André Pellegrini e Graziela Moraes de Cesare Barbosa



Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada

Manejo e conservação de solo e água

Volume 1 - Formação, implantação e metodologias

Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada

Manejo e conservação de solo e água

Volume 1 - Formação, implantação e metodologias

André Pellegrini
Graziela Moraes de Cesare Barbosa
editores

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n.164, datada de 22 de julho de 1994 e junto à Fundação Biblioteca Nacional e Centro de Editoração, Documentação e Informação Técnica do SENAR AR-PR.

Autores: Vários autores

Coordenação técnica: Bruno Vizioli e Flaviane M. de Medeiros

Coordenação pedagógica: Enderson Lopes Guimarães

Coordenação gráfica: Carlos Manoel Machado Guimarães Filho

Diagramação: Sincronia Design Gráfico Ltda.

Normalização e revisão final: CEDITEC – SENAR AR/PR

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação e
Informação Técnica do SENAR AR/PR.

M274

Manejo e conservação de solo e água [livro eletrônico] : volume 1 - formação, implantação e metodologias / editores André Pellegrini e Graziela Moraes de Cesare Barbosa; Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. — Curitiba : SENAR AR/PR, 2023.

20.480 kB ; PDF.

ISBN 978-65-88733-56-1

Vários autores

1. Solos - Conservação. 2. Água - Conservação. 3. Solos - Manejo. 4. Solos - Erosão. I. Barbosa, Graziela Moraes de Cesare. II. Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. III. Título.

CDD: 631.4

Bibliotecária responsável: Luzia G. Kintopp - CRB/9 - 1535

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio,
sem a autorização do editor.

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

Editores

André Pellegrini

Graziela Moraes de Cesare Barbosa

Autores

Adriana Knob

*Bióloga, Doutora em Ciências Biológicas
(Microbiologia Aplicada)
Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Adriel Ferreira da Fonseca

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
(Solos e Nutrição de Plantas)
Universidade Estadual de Ponta Grossa*

Aline Marques Genú

*Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
(Solos e Nutrição de Plantas)
Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Ana Lúcia Londero

*Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER*

André Pellegrini

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Andrea Scaramal Menoncin

*Bióloga, Doutora em Agronomia
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER*

Anny Rosi Mannigel

*Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
Centro de Ensino Superior de Maringá*

Arnaldo Colozzi Filho

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
(Solos e Nutrição de Plantas)
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER*

Carlos Alberto Casali

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Carolina Weigert Galvão

*Bióloga, Doutora em Ciências (Bioquímica)
Universidade Estadual de Ponta Grossa*

Cleverson Vitório Andreoli

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Meio Ambiente
e Desenvolvimento
Instituto Superior de Administração e Economia
do Mercosul*

Cristiano Andre Pott

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências
Agrárias (Agrarwissenschaft)
Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Danilo Bernardino Ruiz

*Químico, Doutor em Química dos Recursos Naturais
Universidade Estadual de Londrina
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER*

Débora Grimm

*Engenheira Agrícola
Diretora Técnica do Sistema FAEP/SENAR-PR*

Dinéia Tessaro

*Bióloga, Doutora em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Eder da Costa dos Santos

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência de
Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Edneia Aparecida de Souza Paccola

*Bióloga, Doutora em Ciências Agrárias
Centro de Ensino Superior de Maringá*

Edison Schmidt Filho

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
(Produção Vegetal)
Centro Universitário de Maringá*

Edson Lucas Camilo

*Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia
Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia
Agrícola
Universidade Estadual de Ponta Grossa*

Elizeu Jonas Didoné,

*Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria Instituto
de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR -
EMATER*

Ericson Hideki Hayakawa,

*Geógrafo, Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Estadual do Oeste do Paraná*

Fabrcio Tondello Barbosa,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Manejo do Solo
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Fagner Goes da Conceição,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia
Agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Flaviane Marcolin de Medeiros,
Engenheira Agrônoma, Mestra em Agronomia
Sistema FAEP/SENAR-PR

Francielli Gasparotto,
Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
Centro Universitário de Maringá

Gabriela Machineski,
Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
Universidade Norte do Paraná
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER

Graziela Moraes de Cesare Barbosa,
Engenheira Agrícola, Doutora em Agronomia
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER

Gustavo Henrique Merten,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade de Minnesota, Estados Unidos

Jean Paolo Gomes Minella,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

José Francirlei de Oliveira,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER

Júlio César Franchini,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Leandro Rampim,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Leila Limberger,
Geógrafa, Doutora em Geografia (Geografia Física)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Luciane Lemos do Prado,
Tecnóloga em Química Ambiental, Mestra em
Ciências do Solo
Universidade Federal do Paraná

Luiz Marcio Spinosa,
Estatístico, Doutor em Informática e Produtônica
Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento
Científico e Tecnológico

Lutécia Beatriz dos Santos Canalli,
Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
(Produção Vegetal)
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR - EMATER

Marcelo Marques Lopes Müller,
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia
(Energia na Agricultura)
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Marcia Regina Calegari,
Geógrafa, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Maria de Fátima Guimarães;
Engenheira Agrônoma, Doutora em Solos e
Nutrição de Plantas
Universidade Estadual de Londrina

Miriam Fernanda Rodrigues;
Engenheira Florestal, Doutora em Engenharia
Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Nerilde Favaretto,
Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo
Universidade Federal do Paraná

Neyde Fabíola Balarezo Giarola,
Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
(Solos e Nutrição de Plantas)
Universidade Estadual de ponta Grossa

Rosilaine Carrenho,
Bióloga, Doutora em Ciências Biológicas (Biologia
Vegetal)
Universidade Estadual de Maringá

Rubens Ernesto Niederheitmann,
Engenheiro Agrônomo
Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do
Paraná

Smaylla El Kadri Ceccatto;
Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
Universidade Estadual de Londrina

Thaise Moser Teixeira,
Engenheira Ambiental, Doutora em Ciência e
Tecnologia Ambiental
Centro Universitário de Maringá

Werner Hermann Meyer Júnior,
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia
Sistema FAEP/SENAR-PR

Equipes de pesquisa

Mesorregião 1 e 2

Coordenação

Neysde Fabiola Balarezo Giarola

Pesquisadores envolvidos

Eduardo Augusto Agnellos Barbosa – (UEPG)

Fabício Tondello Barbosa – (UEPG)

Selma Regina Aranha Ribeiro – (UEPG)

Adriel Ferreira da Fonseca – (UEPG)

Carolina Weigert Galvão – (UEPG)

Cláudia Pereira Krueger – (UFPR)

Rafael Mazer Etto – (UEPG)

André Carlos Stuepp – (UEPG)

Rosimeri de Oliveira Fragoso – (UEPG)

Marta Regina Barrotto do Carmo – (UEPG)

Luis Miguel Schiebelbein – (CESCAGE)

Ildegardis Bertol – (UDESC)

Nerilde Favaretto – (UFPR)

Antônio Carlos Vargas Motta – (UFPR)

Fabiane Machado Vezzani – (UFPR)

Glaciela Kaschuk – (UFPR)

Jeferson Dieckow – (UFPR)

Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizeli – (UFPR)

Volnei Pauletti – (UFPR)

Gabriel Barth – Pesquisador da Fundação ABC

Pós-doutorado

Ariane Lentice de Paula – (UEPG)

Luciane Lemos do Prado – (UFPR)

Luis Miguel Schiebelbein – (CESCAGE)

Veridiana Fernanda Cherobim – (UFPR)

Doutorado

Santos Henrique Brand Dias

André Luiz Oliveira de Francisco

Regiane Kazmierczak

Daiane Hyeda

Heverton Fernando Melo

Ana Kelly de Souza Julião

Sâmara Ester Lima Saraiva

Gabriel Democh Goularte

Luana Salete Celante

Mestrado

Joel Zubek da Rosa

Jéssyca Kauana Franquito

Yasmin Volmer Tullio

Ricardo Kwiatkowski da Silva

Darlan Paulo Cossul

Caio Laércio Meyer

Sebastiao Chiquete Murtinho

Amanda Taissa Jung

Igor Felipe de Siqueira

Felipe Youssef Abboud

Jessica Souza Cavalcante

Sergio Wallace Bousfield

Jair Augusto Zanon

Lenir Gotz

Stallone da Costa Soares

Bruna Rocha de Oliveira

Iniciação Científica

Vinícius Caetano Pinto

Márcia Manfron

Luis Gustavo Walus

Kaike Vinícius Rangel de Abreu

Lana Evilyn Barbosa

Gabriel Dias Martins

Alexandre Wojciechowski
Mariana Braga Marcinia
João Luís Martins Fidelis Filho
João Pedro Matoso Martins
Thomas Malluta Malachini
Gabriel Procópio
Juliana Rosa Gabriel
Gabrielle Barbieri Azambuja
Leticia Oliveira de Paula
Fernanda Moraes da Silva
Joice Angelo
Larissa Obenaus
João Pedro de Barros Leinecker
Paloma Estefan e Santana Ferreira

Apoio Técnico

Breno Augusto Moraes,
Luís Fernando Grisoski,
Suelem Verônica Bueno,
Jéssyca Kauana Franquito,
Brayan Flokorski Paulo,
Larissa Correia de Paula,
Camila Halat,
Sanderson Bueno de Lara,
Ricardo Kwiatkowski da Silva,
Felipe Riquerme,
Ariel Stanguerlin,
Gabriel Buss,
Éricles Leonardo dos Santos,
Mateus Jose Martins,
Bruno Gabriel da Silva.

Servidores

Mariane Gioppo Ferreira

Mesorregião 3

Coordenação

Cristiano André Pott (UNICENTRO)

Pesquisadores envolvidos

Adriana Knob (UNICENTRO)
Aline Marques Genú (UNICENTRO)
Leandro Rampim (UNICENTRO)
Marcelo Marques Lopes Müller (UNICENTRO)
Paulo Alba (FAPA)
Rodrigo Ferreira (FAPA)
Sebastião Brasil Campos Lustosa (UNICENTRO)

Pós-doutorado

Carla Fernanda Ferreira (UNICENTRO)
Miguel David Fuentes-Guevara (UNICENTRO)

Doutorado

Caio Ericles Kolling
Danilo Oliveira de Castro Lima
Edson Lucas Camilo
Ernani Garcia Neto
Jhonatan Spliethoff

Mestrado

Aline Mariele Czekalski Conrado
Ana Carolina Pichibilski Padilha
Ana Carolina Ramos
Bruna Housni Camargo
Caio Ericles Kolling
Camila Eduarda Loli Pereira
Carolina Surkamp
Chaiane Olanik
Édina Cristiane Pereira Lopes
Edson Lucas Camilo
Jhonatan Spliethoff
Keli Colecha
Luiz Henrique de Lima
Maíra Dalvana Martins
Marcelo Luiz Camilo
Perivaldo Mateus Conrado
Thais Wouk
Weslei Ricardo Graffunder

Iniciação Científica

Alan Christy Ferreira Preste
 Amanda Alves Pacheco
 Amanda Paola Costa
 Ana Carolina Pichibilski Padilha
 André Luiz Maziero Regiani
 Angelica Lorini
 Bruna Housni Camargo
 Caio Eduardo Zander
 Carolina Surkamp
 Chaiane Olanik
 Clara Regina Konser
 Emanuel Flugel Teixeira
 Guilherme Antonio Mikos
 Higor Ayres Prado
 Joao Pedro Gotlieb Reichmann
 João Vitor Fillus
 Jonas Luiz Kulik
 Keli Colecha
 Lediane Martins
 Maria Isabel Pelegrine
 Mauro Henrique Pocynek
 Roberto Marcondes Baptista Netto
 Saullo Monteiro Gomes
 Weslei Ricardo Graffunder

Servidores

Ana Paula Vantroba

Técnicos de Campo

Erik Henrique Nowak (FAPA)
 Leandro José dos Santos (FAPA)

Administrativo

Marcio Guimarães Mourão (Agraria)
 Bruno Silva Dandolini (Agraria)
 Rafael Managó (FAPA)

Produtor Rural

Jonatan Seitz

Mesorregião 4

Coordenação

André Pellegrini

Pesquisadores envolvidos

Alceu Luiz Assmann – (IDR-PR)
 André Luiz Oliveira de Francisco – (IDR-PR)
 Arnaldo Colozzi Filho – (IDR-PR)
 Carlos Alberto Casali – (UTFPR)
 Dinéia Tessaro – (UTFPR)
 Eder da Costa dos Santos – (UTFPR)
 Elisandra Pocojeski – (UTFPR)
 Janaína Dartora – (IDR-PR)
 Joice Mari Assmann – (IDR-PR)
 Laércio Ricardo Sartor – (UTFPR)
 Lutécia Beatriz dos Santos Canalli – (IDR-PR)
 Marie Luise Carolina Bartz – (Universidade Positivo)
 Paulo Cesar Conceição – (UTFPR)
 Tangriani Simioni Assmann – (UTFPR)
 Thalita Grandó Rauen – (UTFPR)

Pós-doutorado

Miriam Fernanda Rodrigues – UTFPR

Doutorado

Maiara Karine Haskel

Mestrado

Inara de Souza Stockmann
 Kelly Fioreze

Bolsistas de Assistência Técnica

Alinne Bisolo
 Bruna Larissa Feix
 Caroline Amadori
 Élcio dos Santos Backes
 Elizabete Artus Berté

Fagner Goes da Conceição
Fernando Batistti
Gustavo Ferronato
Jéssica Camile da Silva
Jonatha Júlio Cancelier
Maiara Karine Haskel

Iniciação científica

Alan Ribeiro da Silva
Ana Clara Avelino
Ana Gabriela Pelegrino
Anderson Debald
Breno Sandri Corteze
Caroline Aparecida Seleprin Dresch
Dieyson Fernando Peruzzolo
Edina Mara Batista
Edson Luiz Neves Junior
Felipe Lunardelli Sandrin
Fernando Pletsch
Heloisa Kuss Lourenço
Ingrid Luiza da Rosa
Ketrin Lorhayne Kubiak
Laura Aparecida dos Anjos Fucilini
Leonardo Bomfim Belotto
Leonardo Rafael de Souza Vivian
Luís Felipe Wille Zarzycki
Luiz Antônio Colet Gasparetto
Maíra Gabriela Almeida da Costa
Matheus Bortolote
Otávio Leonardo Gubert
Rodrigo Gugel
Rodrigo Rosa
Rodrigo Schwanck Fernandes
Thainara Wrzesinki Lesbik
Wander da Silva Ferreira Raboni
Winicius Langvinski Bay

Mesorregião 5

Coordenação

Graziela M. de Cesare Barbosa

Pesquisadores/professores

Graziela M. de Cesare Barbosa – IDR-Paraná
Arnaldo Colozzi Filho – IDR-Paraná
Andre L. Johann – IDR-Paraná
José Francirlei de Oliveira – IDR-Paraná
Avacir Casanova Andrello – UEL
Fábio Luiz Melquiades – UEL
Maria de Fátima Guimarães – UEL
Pedro R. Siqueira Vendrame – UEL
Ricardo Ralisch – UEL
João Tavares Filho – UEL
Adriana Pereira da Silva – UEL
Julio Cezar Franchini dos Santos – Embrapa Soja
Henrique Debiasi – Embrapa Soja

Bolsistas Pós Doc

Danilo Bernardino Ruiz – IDR-Paraná
Andréa Scaramal da Silva Menoncin – IDR-Paraná
Fabio José Andres Schneider – IDR-Paraná
Gabriela Machineski da Silva – IDR-Paraná
Elizeu J. Didoné – IDR-Paraná

Bolsistas Doutorado

Felipe Rodrigues dos Santos – UEL
Smaylla El Kadri Ceccatto – UEL
José Victor Freitas dos Santos – UEL

Bolsistas Mestrado

José Victor Freitas dos Santos – IDR-Paraná
Tamires Firmino – IDR-Paraná
Katia Cristina de Menezes Fernandes – IDR-Paraná
Marcelo Campos – IDR-Paraná

Bolsistas AT

Rafael Jioconda Rodrigues – IDR-Paraná
Vanessa Gonçalves Aisawa – IDR-Paraná
Carlos Hideaki Johnson Suzuki – IDR-Paraná
Keila Padilha de Oliveira Camargo de Lima – IDR-Paraná
Leonardo Miranda Feriani – IDR-Paraná
Breyner Gustavo Pavao Bertagnoli – IDR-Paraná
Luciano H. P. de Oliveira – IDR-Paraná
Pedro Monteiro Colito – IDR-Paraná
Estevão C. Gomes Júnior – IDR-Paraná
Guilherme Ari Ferreira de Oliveira – IDR-Paraná
Peterson Almeida Arcanjo dos Santos – IDR-Paraná
Denise Santos de Luca Lopes – IDR-Paraná
Jonatas Fermino Langame – IDR-Paraná
Isabela Martins Rocha – IDR-Paraná
Johne Maycon Mano – IDR-Paraná
Heder Asdrubal Montanez Valencia – IDR-Paraná
Ana Paula Zandonan – IDR-Paraná
Luiz Gustavo Batista Ferreira – IDR-Paraná

Bolsistas IC

Renan Prado Rodrigues – IDR-Paraná
Claudio Alberto Piccin Junior – IDR-Paraná
Gabriel Liuti – IDR-Paraná
Higor Cesar Gondo – IDR-Paraná
Pablo Henrique N. Severino – IDR-Paraná
Giovana Gorla Gaiser – IDR-Paraná
Roger Gustavo Gouveia do Bomfim – IDR-Paraná
Camila Bayer – IDR-Paraná
Ingrid Oiliva Campana – IDR-Paraná

Pessoal técnico de laboratório

Maria Matos
Antonio Candido da Rosa – IDR-Paraná
Auro Sebastião da Silva – IDR-Paraná
Vilson José Teixeira Rozendo – IDR-Paraná
Rosinei Aparecida de Souza – IDR-Paraná
Oswaldo Horiuchi – IDR-Paraná

Apoio administrativo

Magda Regina D. Fernandes – IDR-Paraná
Lisiane Bottine – IDR-Paraná

Mesorregião 6**Coordenação**

Graziela Moraes de Cesare Barbosa

Pesquisadores/professores

Graziela Moraes de Cesare Barbosa – IDR-Paraná
Arnaldo Colozzi Filho – IDR-Paraná
Andre L. Johann – IDR-Paraná
José Francirlei de Oliveira – IDR-Paraná
Marcia Regina Calegari – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)
Ericson Hideki Hayakawa – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)
Deonir Secco – UNIOESTE (Campus Cascavel)
Luiz Antônio Zañão Junior – IDR-Paraná

Bolsistas Pós Doc

Ana Lucia Londero – IDR-Paraná
Felipe Rodrigues dos Santos – IDR-Paraná
Jean Carlo Santos de Oliveira – IDR-Paraná
Andréa Scaramal da Silva Menoncin – IDR-Paraná
Danilo Bernardino Ruiz – IDR-Paraná
Fabio José Andres Schneider – IDR-Paraná

Miriam Lago Valente – IDR-Paraná

Elizeu J. Didoné – IDR-Paraná

Luciene Kazue Tokura – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Bolsistas Doutorado

Pablo Chang – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Vinicius Rigueiro Messa – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Bruno Aparecido da Silva – UNIOESTE (Campus Francisco Beltrão)

Bolsistas Mestrado

Luana Salete Celante – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Maurício Antonio Pilatti – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Pablo Chang – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Bruna de Villa – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Simone Andreia Roehrs – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Macarius C. Di Lauro Moreira – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Vitória Regina Morello Gongora – UNIOESTE (Campus Cascavel)

Patrícia A. de Oliveira Perdoná – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)

Geovane R. Calixto – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)

Andrews Rauber – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)

Bolsistas AT

Allan Denizzar Limeira Coutinho – IDR-Paraná

Silvio Duarte da Luz – IDR-Paraná

Ana Gabriela Strohaecker Gomes – IDR-Paraná

Lucas Wickert – IDR-Paraná

Gonimar Venancio Teixeira Marques – IDR-Paraná

Edna Aparecida de Andrade – IDR-Paraná

Gilberto Júnior de A. da Silva – IDR-Paraná

Bolsistas IC

Samuel Kuhl – Unioeste (Campus Cascavel)

Fernanda Nicole Zang – Unioeste (Campus Cascavel)

Matheus Rodrigues Savioli – Unioeste (Campus Cascavel)

Mayra Beatriz Semiano Castro – Unioeste (campus Cascavel)

Pedro Alexandre Develen Cardoso de Lima – Unioeste (campus Cascavel)

Estagiários/estudantes (TCC)

Francielly Amanda Aparecida Fruhauf – Unioeste (Campus Cascavel)

Vitória Regina Morello Gongora – Unioeste (Campus Cascavel)

Zenaide Zin – Unioeste (Campus Cascavel)

Jonathan Herison Mozer – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)

Anderson Habeck – UNIOESTE (Campus Marechal Candido Rondon)

Pessoal técnico de laboratório

Maria Matos – IDR-Paraná

Antonio C. Rosa – IDR-Paraná

Luiz Carlos de Oliveira – IDR-Paraná

Auro Sebastião da Silva – IDR-Paraná

Vilson José Teixeira Rozendo – IDR-Paraná

Rosinei Aparecida de Souza – IDR-Paraná

Oswaldo Horiuchi – IDR-Paraná

Apoio administrativo

Magda Regina D. Fernandes – IDR-Paraná

Lisiane Bottine – IDR-Paraná

Mesorregião 7**Coordenação**

Edison Schmidt Filho

Isadora Fernanda Sperandio

Luis Felipe Magri de Ângelo

Sabrina Pariz

Raissa Fernanda Matias

Pesquisadores Envolvidos

Alan Carlos Martelócio – (UNICESUMAR)

Francielli Gasparotto – (UNICESUMAR)

Edneia Aparecida de Souza – (UNICESUMAR)

Anny Rosi Mannigel – (UNICESUMAR)

André Ribeiro da Costa – (UNICESUMAR)

Thaise Moser Teixeira – (UNICESUMAR)

Graciene de Souza Bido – (UNICESUMAR)

Bruno Aurelio Camolezi – (UNICESUMAR)

Bolsista de Assistência Técnica

Thiago da Conceição Oliveira

Raphael Lohami Lacerda Uerhara

Lucas Toneli Cremm

Carlos Henrique Sanches

Leonardo Arcanjelo Marineli

Geovane Figueiredo Ferreira

Osvaldo Leite da Silva Junior

Amanda Eustachio Pereira

Mestrado

Raquel Romão Sevilha

Karina de Cássia Gazola

Iniciação Científica

Diogo Glauco Fernandes Júnior

Leandro Augusto Moraes de Melo

Revisores

Gonçalo Signorelli de Farias (IUSS)

Isabella Clerici De Maria (Instituto

Agrônômico de Campinas)

Jairo Calderari de Oliveira Junior (UFPR -
Curitiba)Jimmy Walter Rasche Alvarez
(Universidade Nacional de Assunção -
Paraguai)Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizeli
(UFPR - Curitiba)

Krisle da Silva (Embrapa Florestas)

Miriam Fernanda Rodrigues (UTFPR - Dois
Vizinhos)

Oromar João Bertol (IDR-Paraná)

Tales Tiecher (UFRGS)

Conselho Editorial Consultivo

Arlindo Philippi Jr (USP)

Blanca Elena Jimenez Cisneros (UNESCO)

Carlos Alberto Cioce Sampaio (FURB)

Charles Carneiro (SANEPAR/PR)

Fernando Fernandes (UEL)

Gonçalo Signorelli de Farias (IUSS)

Jairo Lizandro Schmitt (FEEVALE)

Liliana Pena Naval (UFT)

Marcelo Buzaglo Dantas (Univali)

Marcos Buckeridge (USP)

Marcos Luiz Paula Souza (UFPR)

Maria do Carmo Sobral (UFPE)

Nilvania Aparecida de Melo (UTFPR)

Rafael Küster de Oliveira (PUC-PR)

Tadeu Fabrício Malheiros (USP)

Valdir Fernandes (UTFPR)

Vânia Gomes Zuin (UFSCar);

Wanda Risso Günther (USP)

Sumário

APRESENTAÇÃO	21
CAPÍTULO 1 – REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA	25
1 APRESENTAÇÃO	25
2 REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA (2015), PROSOLO (2016) E A PESQUISA	27
2.1 O que é a Rede?.....	27
2.2 PROSOLO.....	29
3 REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA NO MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA	30
3.1 Contribuição do NEPAR/SBCS na constituição da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada.....	30
3.2 Seminários para definição do objetivo da pesquisa.....	32
3.3 Subdivisão do estado em mesorregiões	33
4 ESTRATÉGIA DE ORGANIZAÇÃO DA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA POR EDITAIS	35
4.1 Introdução	35
4.2 Editais e estruturação das pesquisas	37
4.3 Formação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, pela chamada Pública da Fundação Araucária 01/2017.....	38
4.4 Criação do sistema de apoio à formação aplicada na área da hidrologia pela Chamada Pública da Fundação Araucária n° 15/2018.....	40
4.5 Implantação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada na região Noroeste pela Chamada Pública da Fundação Araucária n° 17/2019.....	41
5 POLÍTICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, GOVERNANÇA DA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA E O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES	42
5.1 Atual política de ciência e tecnologia e inovação do Paraná para o agronegócio e agricultura	42
5.2 Gestão da governança da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, SETI, FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA e SENAR/PR	44
5.3 Papel das instituições.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

CAPÍTULO 2 – USO DE TERRAÇOS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	49
1 EVOLUÇÃO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA E AS PESQUISAS SOBRE EROÇÃO HÍDRICA NO PARANÁ	49
2 PROCESSOS HIDROLÓGICOS NAS ENCOSTAS E NA BACIA HIDROGRÁFICA	51
3 PRÁTICAS MECÂNICAS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	55
4 CRITÉRIOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DE TERRAÇOS	57
4.1 Procedimentos para determinação do espaçamento entre terraços	58
4.2 Dimensionamento do canal e do camalhão do terraço	64
5 DIMENSIONAMENTO DE TERRAÇOS NO PARANÁ	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS DA REDEAGROPESQUISA E MESORREGIÕES GEOGRÁFICAS	87
1 INTRODUÇÃO.....	87
2 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO DA REDE AGROPESQUISA	87
2.1 Mesorregião 2 (Ponta Grossa)	89
2.2 Mesorregião 3 (Centro-Sul)	95
2.3 Mesorregião 4 (Sudoeste)	96
2.4 Mesorregião 5 (Norte)	97
2.5 Mesorregião 6 (Oeste).....	99
2.6 Mesorregião 7 (Noroeste).....	101
3 CARACTERIZAÇÃO DOS CICLOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO NAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DA REDE AGROPESQUISA	103
CAPÍTULO 4 – MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	114
1 INTRODUÇÃO.....	113
2 BACIAS SELECIONADAS PARA O PROJETO DE MONITORAMENTO	114
2.1 Área da bacia hidrográfica	116
2.2 Definição da intensidade máxima média da chuva (chuva de projeto)	116
2.3 Escolha e dimensionamento da calha Parshall.....	118
2.4 Determinação da vazão mínima do rio	121
3 PRÁTICA DE MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	123
3.1 Instalação da calha Parshall	123
3.2 Instalação de equipamentos e sensores de monitoramento	126
3.3 Amostragem da água-sedimentos no rio das bacias hidrográficas	139
3.4 Análise da água-sedimentos das amostras coletadas no rio.....	140
4 APLICAÇÕES PRÁTICAS	145
4.1 Região Centro-Sul	146

4.4.2 Região Sudoeste	147
4.3 Região Norte	150
4.4 Região Oeste	151
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
CAPÍTULO 5 – MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO EM MEGAPARCELAS EXPERIMENTAIS	155
1 MEGAPARCELAS EXPERIMENTAIS DA REDE AGROPESQUISA	155
2 INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIAS DE MONITORAMENTO EM MEGAPARCELAS ...	159
2.1 Métodos de dimensionamento das seções de monitoramento na encosta (Calha H)	159
2.2 Metodologias e instrumentação de monitoramento na calha H	176
3 CONJUNTO DE DADOS GERADO	181
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	185
CAPÍTULO 6 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA	187
1 QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO E DA ÁGUA.....	187
2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	189
2.1 Acidez ativa e potencial	190
2.2 Ca, Mg e Al trocável.....	192
2.3 P e K disponíveis	194
2.4 Carbono orgânico	195
3 ANÁLISE QUÍMICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (MEGAPARCELAS) E ÁGUA DO RIO.....	196
3.1 Procedimento imediatamente após a coleta de campo	196
3.2 Análise dos elementos químicos	197
4 IMPACTO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA ÁGUA.....	206
4.1 Síntese dos Subprojetos.....	206
4.2 Resultados preliminares dos químicos do solo e dos indicadores de qualidade de água	217
5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA AS MESORREGIÕES DO PARANÁ.....	221
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	222
CAPÍTULO 7 – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA EM SOLOS CULTIVADOS	229
1 INTRODUÇÃO.....	229
2 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUALIDADE DOS SOLOS UTILIZADOS PARA AGRICULTURA.....	229
3 IMPACTO DOS SISTEMAS DE PREPARO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS CULTIVADOS.....	233
4 EROSÃO HÍDRICA E DEGRADAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	234
4.1 A erosão leva à degradação física do solo.....	235
4.2 A degradação física do solo leva a erosão.....	236

5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO AVALIADOS PELA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA	238
5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO AVALIADOS PELA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA.....	239
5.1 Coleta de amostras de solo.....	239
5.2 Textura do solo.....	240
5.3 Estabilidade de agregados por via úmida.....	243
5.4 Densidade e porosidade do solo.....	244
5.5 Curva de retenção de água no solo.....	245
5.6 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	248
5.7 Infiltração de água no solo.....	250
5.8 Resistência do solo à penetração.....	252
6 RESULTADOS PRELIMINARES DA PESQUISA.....	254
6.1 Projetos.....	254
6.2 Subprojetos.....	258
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	261
CAPÍTULO 8 – ATRIBUTOS BIOLÓGICOS.....	267
1 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUALIDADE DO SOLO.....	267
2 O IMPACTO DOS SISTEMAS DE MANEJO E EROÇÃO DOS SOLOS SOBRE OS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM ÁREAS CULTIVADAS.....	270
3 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	273
4 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM E METODOLOGIAS DE ANÁLISES ADOTADAS PELA REDE.....	277
4.1 Biomassa microbiana.....	277
4.2 Atividade microbiana.....	278
4.3 Atividade enzimática do solo.....	278
4.4 Extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.....	282
4.5 Identificação dos fungos micorrízicos arbusculares.....	283
4.6 Extração e quantificação de proteínas relacionadas à glomalina.....	285
4.7 Fauna edáfica.....	285
5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA AS MESORREGIÕES DO PARANÁ.....	286
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	287
CAPÍTULO 9 – REDE AGROPESQUISA EM CONSERVAÇÃO DO SOLO: DIFICULDADES, AVANÇOS E EXPECTATIVAS.....	293
ÍNDICE REMISSIVO.....	301

Apresentação

A agricultura e o agronegócio desempenham um papel estratégico na sociedade brasileira, caracterizando-se, hoje, como a base de sustentação econômica do País.

As características dos recursos naturais do Brasil estabelecem uma vocação para o desenvolvimento da agricultura, pois contamos, em grande parte do território nacional, com solos de elevado potencial agrícola, abundante disponibilidade de recursos hídricos, insolação e variação térmica adequada à maior parte das culturas e uma megabiodiversidade que fornece serviços ambientais imprescindíveis e que, no seu conjunto, estabelecem grande diferencial competitivo para o desenvolvimento dessa atividade.

Associada às características ambientais do País, a capacidade empreendedora e inovadora do produtor rural, apoiada por uma intensa atividade de pesquisa desenvolvida por instituições de ensino superior e institutos de pesquisa é disseminada pela extensão rural e pela capacitação do produtor rural para utilização das práticas desenvolvidas, revolucionou o conceito de Agricultura Tropical e colocou o País em uma posição de liderança mundial.

A prática agrícola impõe uma forte intervenção nos recursos naturais e, conseqüentemente, a expansão da atividade agropecuária esteve, ao longo da história, intrinsecamente relacionada ao desmatamento de extensas áreas em todo o mundo. Atualmente, o desafio da agricultura para responder às crescentes demandas da humanidade por matérias primas e alimentos é a sustentabilidade, com a adoção de modelos de produção regenerativos e resilientes. Esses modelos devem ser a base da implementação das tecnologias da agricultura 4.0 que serão responsáveis por um grande aumento na produtividade, mas sem prejudicar o planeta.

A estratégia de investir em ciência e tecnologia, visando à inovação tecnológica, é uma das formas mais eficazes para responder às demandas da humanidade. O conhecimento científico é a base necessária para apoiar o desenvolvimento de tecnologias que estimulem o aumento da produtividade com base na sustentabilidade, na manutenção da capacidade do ambiente em

oferecer os recursos naturais necessários à estabilidade ambiental. A grande influência das novas tecnologias na sociedade deve ser cuidadosamente considerada, para permitir uma orientação ética da sua adoção, de forma a garantir que os benefícios sejam inclusivos e criem alternativas para compensar os eventuais impactos sociais.

O Estado do Paraná tem sido, historicamente, uma referência nacional no desenvolvimento e adoção de práticas de conservação de solos e água, decorrentes de uma ação conjunta e colaborativa de profissionais de diferentes setores, como produtores rurais inovadores, da intensa atividade de pesquisa aplicada e do envolvimento da extensão rural, com apoio de políticas públicas implantadas pelo Estado desde os anos 1970.

Contribuições importantes, como o desenvolvimento de sistemas físicos de conservação de solos, de práticas de manejo e conservação em microbacias hidrográficas, as experiências pioneiras na implantação de sistemas de plantio direto na palha e os diversos programas estaduais de conservação e manejo de solo e água são exemplos que determinaram o pioneirismo e a liderança do agronegócio paranaense na implantação de práticas sustentáveis e produtivas.

Dentro do plano plurianual do Governo do Estado do Paraná foi criado o Programa Paraná Inovador, cujo objetivo foi viabilizar programas e projetos que fomentem atividades nas áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do Estado: biotecnologia, tecnologias da informação e comunicação, insumos para a saúde, biocombustíveis, energia e agropecuária. A Secretaria da Agricultura teve a iniciativa de inserir nesse debate a proposta de formação de uma rede específica para tratar dos temas ligados ao agronegócio. A partir desse programa, foi assinado pelo governador do Paraná o Decreto Estadual nº 2.475, publicado em 29 de outubro de 2015, dando início à criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada (Rede Agropesquisa Paraná), atendendo à solicitação dos representantes do setor produtivo, com o objetivo de prover maiores benefícios para o setor rural, utilizando de maneira mais eficiente os recursos intelectuais gerados pelas Universidades Estaduais e Institutos de Pesquisa, buscando aproximá-los do setor produtivo agropecuário e florestal.

A partir de então, o Sistema FAEP/SENAR-PR promoveu a realização de workshops com os pró-reitores, pesquisadores e representantes dos produtores rurais, para estabelecer o formato, a metodologia e a execução em rede dos projetos de pesquisa, constituindo a base de todos os projetos futuros. Dentro dos critérios de abrangência, importância econômica e impacto social levantados pelos presentes nos workshops, foi definido o primeiro objeto de pesquisa da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada - CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA.

Paralelamente, o Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBPC) articulou a formação de um grupo de profissionais para realização desse projeto de pesquisa em rede e para a obtenção de apoio financeiro. As ações iniciais do grupo foram direcionadas à busca de apoio para a execução de um projeto de pesquisa em rede interinstitucional e multidisciplinar. Desta forma, a criação da REDE AGROPESQUISA foi uma resposta às demandas que se originaram concomitantemente pelo meio acadêmico e pelos produtores rurais.

Para viabilizar o financiamento das atividades da rede foi apresentada uma proposta à Fundação Araucária, para a criação de um fundo com participação de 50% com recursos provenientes do Sistema FAEP/SENAR-PR e 50% financiados pelo poder público, através da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SETI), e Fundação Araucária.

A SETI e a Fundação Araucária responderam imediatamente a estas demandas e, em seguida, foram lançadas três chamadas públicas para estimular a mobilização dos ativos científicos do estado e permitir uma governança integrada pelas instituições intervenientes, voltada a produzir resultados de pesquisas mais consistentes com a otimização da aplicação dos recursos. Algumas das características desta chamada foram referência para o desenvolvimento de um novo modelo de fomento e gestão denominado “Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação (NAPIs)” para dar sustentação operacional.

A metodologia adotada que orienta todo o funcionamento da rede é a pesquisa em megaparcels e microbacias, nas quais os dados coletados são modelados matematicamente para gerar modelos hidrológicos que levem à definição de critérios de dimensionamento de estruturas físicas de conservação de solos, como terraços e canais escoadouros, para as condições específicas das diferentes Mesoregiões do Estado do Paraná. Foram implantadas redes regionais com a mesma metodologia. Nessas regiões foram construídas as megaparcels nas quais são coletadas informações da física, química e biologia do solo, de forma a propiciar uma visão integrada das características que interferem nos processos erosivos, com ênfase em práticas de manejo capazes de proteger o solo e de aumentar o teor de matéria orgânica, como a rotação de culturas e a infiltração de água.

Nas microbacias também foram instalados sistemas que medem as variações das vazões em resposta às chuvas e de onde são coletadas amostras de qualidade da água. Além disso, cada uma das Mesoregiões que compõe o programa de pesquisa desenvolve projetos específicos que respondem às demandas tecnológicas regionais, tais como plantas de cobertura outonal, aplicação de dejetos de animais na agricultura e projetos de chuva artificial que

compõem o conjunto de informações necessárias para a sustentabilidade da agricultura.

O livro que apresentamos aos produtores rurais, extensionistas e à comunidade científica é resultado de um esforço coletivo do conjunto dos profissionais que participam da pesquisa. A obra apresentada é uma síntese das informações geradas nos primeiros quatro anos da pesquisa, sempre procurando focar na aplicabilidade dos resultados no campo. Como esse tipo de pesquisa depende de séries de dados e, em decorrência do grave período de seca, o projeto já teve uma prorrogação por mais três anos para que fosse gerado um conjunto de dados com maior consistência.

O projeto editorial foi aprovado por um Conselho Científico composto por pesquisadores de referência nas suas áreas de atuação. Todos os capítulos passaram individualmente por uma avaliação científica dos pares acadêmicos, de forma a seguir rigorosamente todas as exigências para a produção de um material de qualidade e rigor acadêmico. Agradecemos a todos esses pesquisadores que contribuíram com a elaboração, avaliação e aprimoramento das contribuições técnicas produzidas, sempre com o mister de oferecer ao produtor rural informações de qualidade e que possam ser aplicadas na prática.

Ágide Meneguette
Presidente da FAEP

Aldo Neslon Bona
Superintendente Geral de Ciência, Tecnologia e
Ensino Superior do Paraná

Ramiro Wahrhaftig
Presidente da Fundação Araucária

Norberto Anacleto Ortigara
Secretário da Agricultura do Estado do Paraná

01

Rede Paranaense de Agropesquisa e formação aplicada

*Autores***Débora Grimm****Arnaldo Colozzi Filho****Werner Hermann Meyer Júnior****Luiz Marcio Spinosa****Cleverson Vitorio Andreoli****Rubens Ernesto Niederheitmann****Flaviane Marcolin de Medeiros**

1 APRESENTAÇÃO

O uso adequado do solo associado à adoção de sistemas de manejo conservacionistas, incluindo quando necessário as estruturas físicas de controle de erosão, são condições indispensáveis para a prática de uma agricultura sustentável. A manutenção do potencial produtivo do solo em longo prazo tem um impacto direto e imediato na lucratividade do agronegócio e é garantia da produção futura.

O modelo do agronegócio praticado no mundo deve considerar o conceito de “intensificação sustentável da agricultura”, que alia o uso de tecnologias da agricultura 4.0 com a adoção de práticas de sustentabilidade capazes de influenciar a solução dos mais graves problemas ambientais, associando o aumento da produtividade com a melhora da resiliência dos agroecossistemas.

O plantio direto aliado a outras técnicas conservacionistas, principalmente a partir dos anos 1990, causou um impacto positivo no que diz respeito à produtividade e à conservação dos solos agrícolas no Estado do Paraná. Somado a isso, o Paraná sempre esteve na vanguarda brasileira quando se trata de conservação de solo, e prova disso são os diversos programas implantados no estado desde o início dos anos 1970. As ações do Estado do Paraná, combinadas à fertilidade de nossos solos, ao clima ameno e, é claro, ao trabalho árduo do produtor rural, resultaram em uma agricultura pujante, que se destaca pela qualidade da sua atividade, pecuária e florestal, despontando como uma das maiores economias do país.

A democratização da tecnologia gerada por universidades, institutos de pesquisa, cooperativas e empresas privadas é uma necessidade estratégica

para que seja possível aumentar a produtividade e, ao mesmo tempo, a sustentabilidade da agricultura.

Predominam no estado as pequenas e médias propriedades, e o treinamento e a capacitação dos produtores e trabalhadores rurais é a forma mais eficaz de promover adequações nas práticas agrícolas. Para tanto, os temas prioritários para a associação entre o aumento da produtividade e a sustentabilidade necessitam do apoio de modernas técnicas de manejo e conservação de solos e da água, de controle integrado de pragas e doenças, de preservação da biodiversidade, de agricultura de baixo carbono associado a tecnologias da agricultura 4.0, com destaque para a biotecnologia, a agricultura de precisão e a utilização de sistemas remotos com inteligência artificial.

A definição dos critérios para o dimensionamento de estruturas físicas de controle da erosão, como terraços e canais escoadouros, tem grande influência na eficiência dos sistemas, mas deve, contudo, considerar a interferência nos métodos de preparo, plantio, tratos culturais e colheita da produção. Sistemas excessivamente restritivos podem gerar projetos com terraços muito próximos, o que dificulta a mecanização e conseqüentemente desestimula o produtor a adotar esse tipo de sistema. Observa-se, no Paraná, que em muitas propriedades os sistemas que tinham sido implantados foram desativados, aumentando as perdas de solo, nutrientes e água, que são carregados aos cursos hídricos, onde causam impactos ambientais.

Dada a diversidade de solos, clima e práticas agrícolas no Estado do Paraná, existe a necessidade de estudar o comportamento hidrogeológico dos sistemas agrícolas nas diferentes regiões homogêneas do estado, com objetivo de desenvolver critérios de dimensionamento específicos para cada região.

A metodologia adotada para a definição desses critérios foi a de megaparcels associadas à análise dos reflexos do escoamento para os cursos hídricos, que são capazes de gerar dados que podem ser modelados para a definição dos critérios de dimensionamento das estruturas físicas. Esta metodologia foi desenvolvida e adotada nos EUA e está sendo usada no Estado do Paraná, conforme detalhado no capítulo 2.

Para responder a esse desafio, a iniciativa privada e o poder público, em atuação conjunta, criaram as condições para a implantação do maior programa de pesquisa na área de conservação de solos em execução no Brasil. Trata-se de uma pesquisa interdisciplinar cooperativa, envolvendo diretamente cerca de 150 pesquisadores de 19 instituições relacionadas ao tema, com investimento de 12 milhões de reais, dos quais metade provém da iniciativa privada, sendo o SENAR-PR o patrocinador, e a outra metade oriunda do poder público, pelas Instituições SETI e Fundação Araucária.

A participação da iniciativa privada em parceria com o setor público trouxe uma nova dinâmica à pesquisa agropecuária desenvolvida no estado. Ela se desenvolveu trazendo como foco a pesquisa aplicada para a busca de soluções para problemas e dificuldades cotidianos, demandados pelo produtor rural paranaense.

Desse modo, o objetivo dos autores neste capítulo é apresentar a origem, os objetivos e como foi organizada a estrutura e a metodologia de criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada no Estado do Paraná.

2 REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA (2015), PROSOLO (2016) E A PESQUISA

2.1 O que é a Rede?

A Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, oficializada pelo Decreto Estadual nº 2.475, de 28 de setembro de 2015, foi criada com o objetivo de promover a inovação, bem como a pesquisa científica e tecnológica em ambiente produtivo no estado.

Sua estratégia tem como foco a organização e centralização de ações no setor agropecuário, possibilitando a estruturação em redes de inteligência, de modo a compartilhar e promover o melhor aproveitamento dos ativos das Universidades e Institutos de Pesquisa no território paranaense, tanto no âmbito da estrutura física dessas entidades, quanto dos ativos intelectuais representados pelos pesquisadores e estudantes.

O Decreto de criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, como passou a ser tratada, estabelece a condução e organização da Rede pela Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento (SEAB) e pela Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI – hoje Superintendência de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná) por meio do programa Paraná Inovador.

A gestão da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada é realizada por um Comitê Gestor paritário formado pelos organizadores (SETI e SEAB) e apoiados à época pelo IAPAR, hoje Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR – EMATER – IDR-Paraná), pela Fundação Araucária e pelas entidades representativas dos produtores rurais: Federação de Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), Organização das Cooperativas do Estado do Paraná (OCEPAR) e pela Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado do Paraná (FETAEP). A distribuição da gestão da Rede Paranaense de

Agropesquisa e Formação Aplicada entre a iniciativa privada e o setor público trouxe uma nova dinâmica à organização e aos objetivos de pesquisa.

O Decreto também estabeleceu a criação de uma Secretaria Executiva paritária, composta por um representante do setor privado no papel de titular (SENAR-PR) e outro representante do setor público como secretário adjunto (SEAB). Essa Secretaria é responsável pela aplicação das diretrizes estabelecidas pelo Comitê Gestor, por meio da mobilização de entidades e de seus atores no apoio ao desenvolvimento e à disseminação da pesquisa, organizando e gerenciando os diversos aspectos da execução da pesquisa em rede.

Os objetivos da Rede são:

- I. Levantar demandas de pesquisa, fazer diagnósticos e prognosticar desafios futuros do setor agropecuário paranaense;
- II. Identificar competências técnico-científicas para o atendimento das demandas de pesquisa e das restrições tecnológicas apontadas pelos diagnósticos e desafios prognosticados;
- III. Desenvolver estratégias para a pesquisa cooperativa e com multiparceiros para a transferência de tecnologia e apoiar a inovação tecnológica, principalmente, mas não exclusivamente, lançando mão do estoque de conhecimento disponível nas Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTPRs) e nas Entidades Científicas e Tecnológicas (ECTis) do Estado do Paraná;
- IV. Prover meios e apoiar o compartilhamento de ativos tecnológicos e do capital intelectual para a superação de problemas da agricultura e para o alcance do pleno potencial das atividades agropecuárias;
- V. Apoiar o desenvolvimento de novas competências para o atendimento do setor, inclusive por meio de programas de formação aplicada, estágios, residências técnicas e treinamento em serviço;
- VI. Organizar e apoiar grupos de excelência para o atendimento de projetos estratégicos e estruturantes para a geração de riqueza no estado;
- VII. Promover, estabelecer e apoiar parcerias, inclusive multilaterais, entre ICTPRs, ECTis e o setor produtivo, para a formação de redes de experimentação e a criação de ecossistemas de inovação.

O primeiro tema de pesquisa da Rede foi estabelecido por meio da realização de seminários promovidos pela Federação de Agricultura do Estado do Paraná, onde se convencionou que a pesquisa em manejo e conservação de solos deveria ser priorizada.

2.2 PROSOLO

O Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná (PROSOLO) foi instituído pelo Decreto Estadual nº 4.966, de 29 de agosto de 2016, posterior à criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada.

Ocorre que, como abordava o mesmo assunto de uma rede de pesquisa em manejo e conservação de solo e água iniciada no estado, o PROSOLO incorporou a pesquisa como um dos pilares do programa.

O objetivo do PROSOLO é promover a mitigação dos processos erosivos do solo e da degradação dos cursos d'água nos sistemas produtivos, visando à redução de perdas econômicas, prejuízos sociais e ambientais no meio rural paranaense. O programa tem como estratégia a conscientização e a mobilização do produtor para a importância do planejamento do uso, manejo e da conservação do solo em sua propriedade, apoiado por ações integradas de capacitação técnica, pesquisa e extensão rural.

A atuação do programa está baseada na capacitação de técnicos, na pesquisa e formação aplicada, na sensibilização do produtor rural e na revisão da legislação, conforme descrito a seguir.

- **Capacitação de técnicos** para a elaboração de projetos de conservação de solo e água em propriedades rurais e microbacias hidrográficas. Esse papel foi desempenhado pelo SENAR/PR, que treinou técnicos para desenvolver projetos conservacionistas, disponibilizando esses profissionais aos produtores paranaenses. O SENAR/PR também possibilitou aos produtores participarem de treinamentos e palestras, mostrando a eles a importância do tema.
- **Pesquisa e formação aplicada** em manejo e conservação do solo e da água. No momento da criação do PROSOLO, a Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada já tinha seu objetivo, sua metodologia, sua gestão e estrutura voltada à pesquisa em manejo e conservação de solo e água.
- **Sensibilização do produtor rural** com programas de incentivo à elaboração de projetos de conservação de solo em propriedades rurais, de modo a mostrar as vantagens econômicas, sociais e ambientais para os produtores que adotam tecnologias e manejos mais adequados à proteção do solo e da água em sua propriedade.

- **Revisão da legislação**, envolvendo leis estaduais, decretos e portarias que tratam da conservação do solo e da água, buscando aperfeiçoá-la e torná-la mais eficiente. Para isso, indica e propõe possíveis alterações ou inclusões aos órgãos competentes.

3 REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA NO MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA

3.1 Contribuição do NEPAR/SBCS na constituição da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) é uma associação científica civil sem fins lucrativos, criada em 1947 com o objetivo de congregar pessoas e instituições na promoção e no desenvolvimento da Ciência do Solo no Brasil.

Com 75 anos de atividade, integrada e mantida por cerca de mil sócios ativos e atuando em todas as regiões do país, foi responsável por profundas modificações no setor produtivo da agropecuária brasileira, tendo como base os estudos e pesquisas produzidos por seus associados em diferentes instituições nacionais e internacionais. Como parte de sua missão, a SBCS edita e publica a Revista Brasileira de Ciência do Solo, uma das publicações científicas mais conceituadas do país, organiza eventos científicos e participa do debate nacional por meio de manifestações formais sobre temas científicos que orientam a proposição de políticas públicas relacionadas à agropecuária.

Administrativamente, a SBCS divide-se em Núcleos Regionais ou Estaduais que estimulam pesquisas e debates relacionados a temas de importância regional ligados ao manejo e à conservação do solo e da água, que contribuem com o desenvolvimento da agropecuária em bases sustentáveis.

O Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS) foi criado em 2013 com objetivo de promover e incrementar a aproximação e o intercâmbio intelectual de profissionais que, no Paraná, atuam na pesquisa, no ensino, na divulgação ou em atividades técnicas relacionadas ao uso, manejo e à conservação do solo e da água nas atividades agropecuárias. Nesse contexto, o NEPAR se converte em um espaço de discussão técnico-científica multi-institucional e multidisciplinar, que reúne pesquisadores, professores e técnicos de formação correlata de diferentes regiões do estado. Essa estruturação possibilitou a formação de uma rede integrada de

inteligência na Ciência do Solo, com atuação em todas as macrorregiões paranaenses, possibilitando um debate qualificado apoiado em bases de dados e experiências regionais.

Desde sua criação, o NEPAR já realizou cinco eventos técnico-científicos (Reunião Paranaense de Ciência do Solo – RPCS) e publicou materiais técnicos de grande interesse e aplicabilidade para a agricultura paranaense, tais como os Manuais de Adubação e Calagem e de Manejo e Conservação do Solo para o Paraná.

A questão da erosão do solo entrou na pauta de discussões do NEPAR em 2013, por ocasião da realização da III Reunião Paranaense de Ciência do Solo, realizada em Londrina, cujo tema foi “Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a ciência do solo”.

No painel de discussão “Processos de degradação do solo: ameaças aos sistemas conservacionistas de produção”, o aumento da ocorrência de processos erosivos em áreas de cultivo de grãos e a prática de retirada de terraços objetivando ganhar eficiência nos processos de plantio e colheita foram relatados e debatidos. Concluiu-se então ser necessária a criação de um Programa Estadual de Pesquisa que avaliasse os processos de degradação do solo e ameaças aos sistemas conservacionistas de produção, mas com enfoque regional, considerando as condições edafoclimáticas e os sistemas de produção. Nesse contexto, deveriam ser revisitados conceitos importantes no estudo de erosão do solo, tais como: escala, propriedades do solo, conectividade entre elas, áreas fontes de sedimento, transporte de partículas, resistência do solo, sistemas de produção, entre outros. Além disso, deveriam ser apoiadas pelo programa instituições e equipes técnicas com atuação local, com o objetivo de valorizar o conhecimento existente e formar profissionais de alta capacitação para gerar soluções para problemas especificamente regionais.

As discussões e recomendações emanadas da III RPCS repercutiram no NEPAR, que passou a articular a formação de um grupo de profissionais para realização desse projeto de pesquisa em rede e para a obtenção de apoio financeiro. Em 2015, em reunião do NEPAR realizada em Guarapuava, o grupo de pesquisadores e professores foi estabelecido e elaborou a proposta técnica. As ações iniciais do grupo foram direcionadas à busca de apoio para a execução de um projeto de pesquisa em rede multi-institucional e multidisciplinar, que culminou com a criação da Rede Agropesquisa, que estava sendo organizada pelo Sistema FAEP/SENAR/PR, como apresentado a seguir. Da mesma forma, o NEPAR apoiou o primeiro projeto de pesquisa contratado, que foi o “Monitoramento da Erosão no Estado do Paraná”.

3.2 Seminários para definição do objetivo da pesquisa

Desde o início, as discussões a respeito da realização de uma pesquisa aplicada foram norteadas pelo princípio de que o objeto da pesquisa deveria ser abrangente, gerar impactos econômicos e melhoria na qualidade de vida da população paranaense.

O 1º Workshop da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada foi realizado nos dias 23 e 24 de novembro de 2015. O evento teve por objetivo orientar a estruturação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, dedicada aos pró-reitores e coordenadores de Agências de Inovação de todas as Universidades Estaduais, da Universidade Federal do Paraná, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, de instituições privadas de ensino superior, do IAPAR, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e de entidades de pesquisa ligadas às cooperativas.

O *workshop* foi aberto pelo Presidente da Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), Ágide Meneguette, pelo Secretário da SEAB, Norberto Ortigara, e pelo Secretário do SETI, João Carlos Gomes, que destacaram a importância do encontro como momento de reflexão, intercâmbio de experiências e de orientação estratégica da Rede.

O evento teve início com uma reflexão a respeito da visão de futuro da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada e os desafios para sua consolidação, realizada por meio de debate em plenária e de dinâmica de grupos, nos quais o cenário atual da agropesquisa e da integração dos programas de pesquisa foi estruturado.

Os objetivos estratégicos que deveriam compor o plano de trabalho para organização e gestão da Rede em 2015/2016 foram detalhados no segundo dia do *workshop*. Além dos instrumentos básicos de planejamento, o evento seguiu os princípios do enfoque participativo, com ênfase no intercâmbio de experiências, e teve como ferramenta metodológica a visualização, o trabalho em grupos e o debate em plenária, que contou com o apoio de um moderador na coordenação metodológica do processo.

O objetivo geral do 1º *workshop* foi orientar a estruturação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. De forma mais específica, buscou-se:

- estabelecer o modelo de governança do processo de pesquisa em Rede;
- definir a metodologia a ser adotada para o funcionamento da Rede;
- orientar as estratégias para a gestão e funcionamento da Rede;
- integrar os diferentes atores no processo de estruturação da Rede;
- definir o primeiro objeto de pesquisa.

As entidades representativas dos produtores rurais indicaram como principais demandas de estudo aquelas relacionadas ao uso da água, ao uso do solo e novos adubos, entre outros. Contudo, foi consenso entre os participantes que o enfoque do primeiro objeto de pesquisa da Rede deveria estar relacionado ao uso e manejo do solo.

Uma vez definido o primeiro projeto da Rede, nos dias 30/11 e 01/12/2015 foi realizado o segundo *workshop*, que teve por objetivo geral reunir subsídios para a estruturação do I Edital de pesquisa voltado ao uso e à conservação dos solos sob a coordenação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. O encontro reuniu pesquisadores, especialistas, autoridades na área de solos e atores do setor produtivo, das Universidades Estaduais, da Universidade Federal do Paraná, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, de instituições privadas de ensino superior, além do IAPAR, da EMBRAPA e de outras entidades de pesquisa ligadas às cooperativas.

Os objetivos específicos desse workshop eram os seguintes:

- Identificar e debater os principais desafios na área de solos no Estado do Paraná;
- Determinar problemas/demandas para novas linhas de pesquisa na área de solos;
- Estruturar a minuta do Termo de Referências, objeto do primeiro edital a ser lançado;
- Integrar os diferentes atores no processo de estruturação da Rede.

3.3 Subdivisão do estado em mesorregiões

O estado foi dividido em mesorregiões homogêneas para garantir a representação das principais regiões de produção agropecuária do estado, com base em critérios técnicos como material de origem, condições similares de relevo, tipo de solo, clima, manejo e uso do solo, cada qual com suas peculiaridades.

Dessa forma, cada megaparcela instalada representa o sistema de produção agrícola que ocorre naquela mesorregião (descrita no capítulo 5). Partiu-se da premissa de que as megaparcelas seriam alocadas em paisagens com alto potencial agrícola no Estado do Paraná, considerando a interatividade geológica/geomorfológica/pedológica. Ademais, a escolha das áreas recaiu sobre a necessidade de o estado investigar a dinâmica da erosão e respectivas soluções, em solos que tenham alta suscetibilidade a processos de perda de água e solo, além de terem grande legitimidade territorial em cada uma das regiões

escolhidas. Na implantação da Rede de Agropesquisa havia duas mesorregiões em instalação sob a coordenação do IAPAR.

Como regra geral, entendeu-se que as cinco novas regiões para implantação das pesquisas deveriam ter pedossequências regionais características, e ainda, que a inserção das parcelas de pesquisa nessas áreas não incidisse sobre declividades superiores a 20%. As características detalhadas de cada mesorregião foram descritas como desejáveis, mas não necessariamente preestabelecidas, desde que as áreas de localização das megaparcels e dos subprojetos fossem representativas da mesorregião (descritas nos capítulos 4 e 5).

- **Mesorregião 1: Campos Gerais** – primeiro planalto em paisagem formada sobre rochas cristalinas de idade proterozoica – granito porfírico cunhaporanga. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo e cambissolo, com textura argilosa e relevo ondulado.
- **Mesorregião 2: Formações Ponta Grossa e Furnas** – segundo planalto em paisagem elaborada sobre rochas sedimentares de idade devoniana. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo e cambissolo com textura argilosa e relevo ondulado.
- **Mesorregião 3: Centro Sul** – terceiro planalto em paisagem elaborada sobre rochas eruptivas (basaltos) de idade juro-triássica, formação Serra Geral, Grupo São Bento. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo de textura muito argilosa e cambissolo de textura argilosa e relevo ondulado.
- **Mesorregião 4: Sudoeste** – terceiro planalto em paisagem elaborada sobre rochas eruptivas (basaltos) de idade juro-triássica, formação Serra Geral, Grupo São Bento. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo de textura muito argilosa e nitossolo de textura argilosa e relevo ondulado.
- **Mesorregião 5: Norte** – terceiro planalto em paisagem elaborada sobre rochas eruptivas (basaltos) de idade juro-triássica, formação Serra Geral, Grupo São Bento. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo de textura muito argilosa e nitossolo de textura argilosa e relevo ondulado. Essa região dispõe de unidade experimental em processo de instalação.

- **Mesorregião 6: Oeste** – terceiro planalto em paisagem elaborada sobre rochas eruptivas (basaltos) de idade juro-triássica, formação Serra Geral, Grupo São Bento. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo de textura muito argilosa e nitossolo de textura argilosa e relevo ondulado. Essa região já dispõe de unidade experimental instalada.
- **Mesorregião 7: Noroeste** – terceiro planalto em paisagem formada sobre rochas sedimentares (arenitos) de idade cenozoica, formação Caiuá, Grupo São Bento. A área escolhida deverá estar, preferencialmente, sobre pedossequência constituída por latossolo e argissolo, com textura média e relevo ondulado. sem acento

4 ESTRATÉGIA DE ORGANIZAÇÃO DA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA POR EDITAIS

4.1 Introdução

As pesquisas convencionais no Brasil têm como principais financiadores a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), em nível federal, e as fundações de pesquisas estaduais são representadas no Paraná pela Fundação Araucária.

O pesquisador apresenta seu projeto, que é analisado pelos pares, e caso o mérito científico e a adequação orçamentária sejam aprovados dentro da disponibilidade de recursos das instituições financiadoras, é elaborado o contrato e os recursos são liberados. Após a conclusão da pesquisa (em alguns casos, durante sua execução), é feita uma prestação de contas, e os resultados acadêmicos são publicados em forma de artigos científicos, capítulos de livro, congressos, boletins técnicos ou outras formas de divulgação científica.

O desenvolvimento de soluções para problemas de grande complexidade que exigem respostas urgentes requer práticas diferentes das usadas em pesquisas convencionais. A adoção de métodos de pesquisa interdisciplinar em rede cooperativa tem sido realizada com sucesso em diversas experiências em todo o mundo, e já existem vários exemplos de sucesso no Brasil e no Estado do Paraná.

As demandas tecnológicas devem ser definidas com a participação dos usuários de forma direta ou por meio de suas representações. A abordagem interdisciplinar em redes cooperativas requer a definição clara do problema de

pesquisa, que deve ser subdividido entre os diversos fatores que o compõem. Cada fator desses deverá integrar os diferentes eixos da pesquisa, que por sua vez deverão estar integrados entre si, de forma a permitir o desenvolvimento de respostas objetivas e aplicáveis na prática.

No caso específico, os produtores rurais e suas representações, como as cooperativas, a FAEP, os sindicatos e os funcionários públicos que trabalham nas áreas operacionais da agricultura, demandam da estrutura pública e privada, por meio da Rede Agropesquisa, as orientações de como enfrentar o problema da conservação de solos e água, que além dos custos econômicos, traz reflexos ambientais de grande importância para o produtor rural e para toda a sociedade.

Como exigência do edital, todas as atividades de pesquisa devem estar voltadas, prioritariamente, à aplicação prática dos resultados. A produção científica e de formação pelo envolvimento de bolsistas é, geralmente, profícua, pois a interação entre pesquisadores permite a produção de publicações temáticas e também aquelas provenientes da interação entre diferentes pesquisadores, a chamada produção interdisciplinar. As redes de pesquisa, além das publicações específicas, devem se comprometer em gerar um produto interdisciplinar que abranja os principais resultados da Rede, geralmente, em forma de um livro que sistematize as informações produzidas.

O edital da Rede Agropesquisa estabeleceu a necessidade da integração dos pesquisadores com os técnicos da extensão, além do envolvimento direto de extensionistas, de técnicos de cooperativas e das instituições públicas relacionadas e de produtores rurais e suas representações, pois isso reduz o tempo entre a produção científica e sua aplicação prática. Essa integração amplia o conhecimento científico dos técnicos e produtores, a geração de produtos tecnológicos realísticos da prática da agricultura pelos pesquisadores e a utilização do conhecimento empírico dos produtores como fomento para as pesquisas que tenham aplicabilidade prática dos resultados. Além disso, a sistematização de dados operacionais disponíveis nas cooperativas, nos órgãos públicos e obtidos por extensionistas também podem gerar produtos acadêmicos.

As redes regionais reuniram-se em seminários semestrais para a apresentação e discussão dos resultados de todas as pesquisas, permitindo a ampliação da crítica e a integração entre tais resultados, além da troca de experiências entre pesquisadores e técnicos.

Geralmente são criados bancos de dados coletivos, com uma área de acesso exclusiva aos pesquisadores e outra de acesso público, na qual os resultados

são publicados para acelerar sua aplicação. É comum que as redes contem com a participação de consultores externos de referência, que apoiam as atividades de pesquisa e contribuem com análise crítica de qualidade.

Outra característica importante desse tipo de pesquisa definida pelo edital é que, além da atividade científica, os projetos devem ter um componente de extensão, com objetivo de democratizar as informações geradas e integrar os produtores rurais nas atividades desenvolvidas no âmbito da rede.

Assim, a integração entre os subprojetos, a aplicabilidade prática e as atividades de extensão são itens considerados imprescindíveis nessa modalidade de pesquisa interdisciplinar em rede cooperativa e, portanto, utilizados como critério de seleção de projetos.

4.2 Editais e estruturação das pesquisas

Um programa interdisciplinar de pesquisa deve ser instituído por meio de chamadas públicas, de forma a permitir a mobilização de todos os ativos científicos disponíveis, como a massa crítica composta por pesquisadores, professores e profissionais que trabalham nas estruturas do poder público, em todas as suas esferas, e na iniciativa privada. Além da massa crítica, o estado dispõe do patrimônio científico representado por laboratórios, institutos de pesquisa, fazendas e áreas experimentais e que deve ser utilizado e fortalecido com os equipamentos e materiais necessários à realização das pesquisas.

As redes contam, geralmente, com um sistema de governança para orientar o alcance de seus objetivos, garantir a observação das exigências específicas para a participação nesse tipo de pesquisa, o acompanhamento da execução físico-financeira dos projetos que a compõem, a participação nos seminários semestrais e a realização de visitas técnicas de acompanhamento. A coordenação-geral da rede é definida pela escolha de um dos pesquisadores-coordenadores dos projetos que a compõem e deve considerar a relevância da produção acadêmica e a liderança científica do pesquisador.

Essa rede foi formada por meio de três diferentes chamadas públicas, a primeira que a instituiu, em 2017; a segunda, em 2018, que criou um sistema de apoio à formação em hidrologia para gerar a base científica para a interpretação dos resultados; e a terceira, lançada em 2019, que teve como objetivo a instalação de duas megaparcels na região noroeste do Estado do Paraná.

4.3 Formação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, pela chamada Pública da Fundação Araucária 01/2017

A primeira chamada foi lançada em 2017, após a sistematização dos resultados dos seminários e das discussões específicas com os pesquisadores envolvidos. Essa chamada teve como principais objetivos:

- Apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento em redes colaborativas ligadas à agropesquisa paranaense;
- Fortalecer o Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná (PROSOLO) por meio da promoção da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada;
- Promover a sistematização e/ou produção de conhecimentos e de metodologias ou meios processuais inovadores, bem como o desenvolvimento de novos procedimentos que orientem práticas agrícolas no Estado do Paraná;
- Propiciar a definição de critérios técnicos de sistemas conservacionistas para redução de perdas em solo e água nos diversos solos, manejos, climas e cultivos regionais do Paraná;
- Apoiar a elaboração de novas literaturas técnicas referentes ao tema e o desenvolvimento de programas e cursos de formação profissional de técnicos das Ciências Agrárias e demais áreas correlatas, bem como de produtores e trabalhadores rurais, em relação às técnicas e aos sistemas conservacionistas para redução de perdas em solo e água em áreas de produção agrícola, pecuária e florestal.

A chamada foi organizada em duas linhas temáticas que orientaram a elaboração dos projetos de pesquisa:

- O tema consiste em quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo em sete mesorregiões do Paraná, das quais já existiam parcelas implantadas nas regiões Norte e Oeste. Além disso, as redes regionais deveriam participar do esforço estadual para integração de informações e dados, de maneira a permitir a sistematização dos resultados, com objetivo de fundamentar a elaboração dos critérios técnicos para a implantação de práticas de controle da erosão em todo o Estado do Paraná, adequados aos tipos de solo e aos manejos e culturas específicas praticadas nas diferentes regiões.

- A seleção dos projetos de pesquisa e seu desenvolvimento ocorrerão conforme as linhas temáticas definidas nesta chamada, visando à seleção de projetos destinados à sistematização do conhecimento, à produção de conhecimentos e de metodologias ou meios processuais inovadores, bem como ao desenvolvimento de novos procedimentos, que proporcionem o devido embasamento científico para orientar as práticas agrícolas no Estado do Paraná e para definir critérios técnicos de sistemas conservacionistas para redução de perdas em solo e água nos diversos solos, manejos, climas e cultivos regionais do Paraná, a saber:
 - » Espaçamento e dimensão de terraços em solos, manejo, clima e cultura regionais;
 - » Infiltração de água em diferentes manejos regionais no plantio direto para pontuar adequadamente o nível de implantação do sistema;
 - » Alternativas de diferentes rotações regionais, considerando a cobertura do solo e o manejo de resíduos culturais;
 - » Alternativas técnicas para minimizar os problemas de compactação em diferentes solos, manejos e climas.

A ideia da chamada pública foi estruturar uma rede estadual, formada por sete redes regionais, todas integradas entre si. As mesorregiões do estado foram espacialmente distribuídas com base nas condições climáticas, no material de origem e nas pedossequências características, com a premissa de que as parcelas estarão alocadas em paisagens com alto potencial agrícola no Estado do Paraná.

Por problemas burocráticos, o contrato referente à “Mesorregião 1 – Campos Gerais do primeiro planalto” não foi assinado. Também por conta de dificuldades burocráticas, o contrato da “Mesorregião 7 – Noroeste” foi cancelado, e por essa razão foi lançada uma chamada específica para atender a essa região.

Os projetos deveriam conter, em todas as mesorregiões, obrigatoriamente uma megaparcela de aproximadamente 2 ha em solos característicos e representativos da região, inserida em uma bacia hidrográfica com rio de primeira ordem.

Para avaliação dos impactos das chuvas sobre a disponibilidade e a qualidade da água, foram instaladas calhas do tipo H no exutório das megaparcels e calha Parshall no exutório da bacia hidrográfica, no rio de primeira ordem. A chamada também definiu a metodologia a ser adotada em todas as regiões para permitir a compilação dos dados e a interpretação das simulações

hidrológicas que possibilitem definir os critérios para o dimensionamento das estruturas físicas para controle de erosão do solo e perdas de água. Essa metodologia será apresentada com mais detalhes no capítulo 2.

Além da megaparcela e da bacia hidrográfica, as redes regionais incluíram como subprojetos a abordagem de temas específicos relacionados à conservação e ao manejo de solo e água para atender às demandas relatadas pelos agricultores e por suas representações durante os seminários. O conjunto dos projetos e subprojetos de cada mesorregião formou a rede regional.

Em decorrência das condições climáticas atípicas no período de execução das pesquisas, com estiagem severa em todas as regiões do estado, ocorreram poucas chuvas que geraram escoamento nas megaparcelas. Por isso, um projeto de continuidade foi necessário e disponibilizou recursos adicionais para um período adicional de três anos, até setembro de 2024, na expectativa de gerar os dados necessários para atingir os objetivos propostos no projeto.

4.4 Criação do sistema de apoio à formação aplicada na área da hidrologia pela Chamada Pública da Fundação Araucária nº 15/2018

Assim como a rede estadual definiu os estudos em megaparcela e calhas Parshall para todos os projetos das mesorregiões, era também necessário aprofundar o conhecimento para permitir que a interpretação dos dados gerados seguisse um padrão científico a fim de homogeneizar a abordagem para definição dos critérios relacionados ao dimensionamento das estruturas físicas de controle de erosão, para toda a rede.

A chamada pública 15/2018 da Fundação Araucária teve por objetivo “Desenvolver um Projeto visando padronizar procedimentos e gerar modelos matemáticos para o tratamento e modelagem dos dados obtidos nas megaparcelas como critérios para dimensionamento de estruturas físicas de conservação do solo e água, em atividade complementar ao Programa da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada”.

Esse projeto previa orientação e suporte técnico aos coordenadores e equipes das redes mesorregionais quanto à obtenção e ao tratamento de dados hidrológicos por meio da derivação de parâmetros hidrológicos obtidos dos dados de pesquisa, para elaboração de um novo modelo de dimensionamento de obras hidráulicas de controle do escoamento superficial para o Estado do Paraná. Para isso, o projeto previa a realização de oficinas de trabalho, que foram ministradas aos integrantes das equipes de trabalho de todas as regiões.

O prazo de vigência desse projeto foi prorrogado até 2024, para acompanhar as coletas dos dados gerados na Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada.

4.5 Implantação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada na região Noroeste pela Chamada Pública da Fundação Araucária nº 17/2019

Uma chamada específica foi lançada para garantir a geração de dados relativos à Mesorregião 7 – Noroeste, cujo projeto foi cancelado por problemas burocráticos. Essa chamada determinou a instalação de duas megaparcelas, sendo uma ao norte e outra ao sul da mesorregião (Figura 1), devido às características dos solos dessa região, que em geral têm alta erodibilidade.

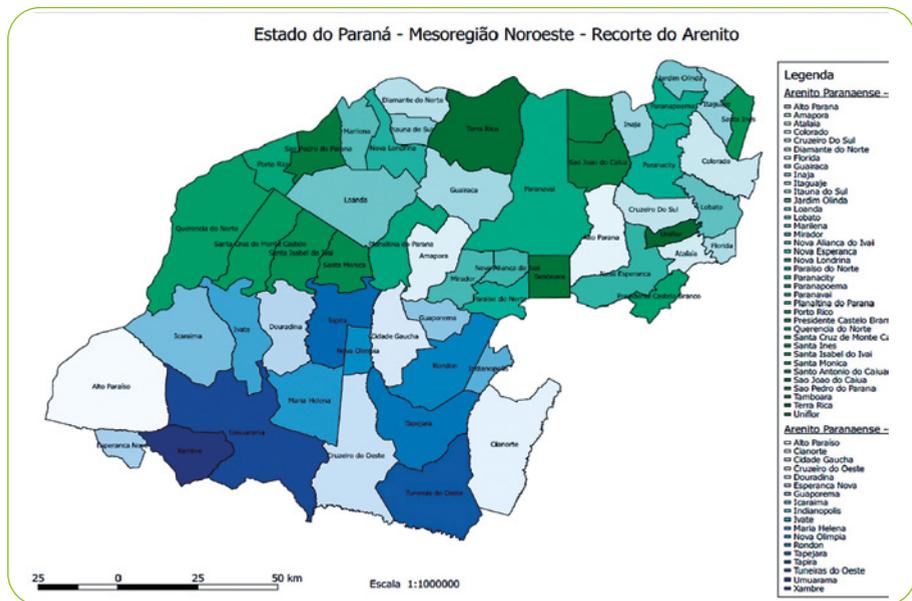


Figura 1 – Recorte do arenito na Mesorregião Noroeste

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como essa chamada foi realizada posteriormente aos demais projetos da rede, foi estabelecida como exigência a integração desse projeto aos demais, além da definição de prazos para implantação dos projetos. A instituição selecionada foi o Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI), vinculado à UNICESUMAR.

5 POLÍTICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, GOVERNANÇA DA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA E FORMAÇÃO APLICADA E O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES

5.1 Atual política de ciência e tecnologia e inovação do Paraná para o agronegócio e agricultura

A presente gestão do estado consignou em seu Plano de Governo, intitulado Paraná 2022, diretrizes e recomendações que vêm sendo adotadas no período 2019-2022. Nele se destaca a inovação, em seu amplo entendimento, como grande elemento transformador do estado na busca de avanços sociais, econômicos e humanos. Políticas públicas, estratégias, instrumentos e ações que venham a contribuir para a inovação merecerão atenção especial.

Adicionalmente, o Conselho Paranaense de Ciência e Tecnologia (CCT PARANÁ), na XXVII Reunião Ordinária, de 17/11/2020, definiu as seguintes áreas prioritárias para desenvolvimento do estado.

- Agricultura & Agronegócio;
- Biotecnologia & Saúde;
- Energias sustentáveis/renováveis* (*energias inteligentes);
- CIDADES INTELIGENTES;
- Sociedade, educação e economia.

As áreas prioritárias estão alicerçadas em duas outras áreas condicionantes:

- **Transformação Digital** (necessidade de uma política de transformação digital muito bem estruturada, que consiga prever as consequências de sua implantação, minimizando os aspectos negativos e maximizando os positivos); e
- **Desenvolvimento Sustentável** (implementação de políticas públicas que garantam o engajamento e a articulação das partes interessadas em torno do desenvolvimento sustentável).

A agricultura e o agronegócio são atividades estratégicas para o Paraná por sua tradição econômica na produção agrícola e pelo crescimento vertiginoso e diversificado do agronegócio no estado. Esses dois segmentos de ativi-

dade, identificados pelo Sistema FIEP como Setores Portadores de Futuro, posicionam o estado entre os maiores produtores nacionais de soja (16%), milho (16%), trigo (54%), suínos (17% rebanho; 21% abates) e aves (26% rebanho; 31% abates) e estão presentes em 78% das exportações do Paraná.

A produção paranaense concentra-se, majoritariamente, em pequenas propriedades (85%), o que ajuda a explicar a força do cooperativismo no estado, que é destaque nacional. As cooperativas paranaenses Coamo, C.Vale, Lar e Cocamar lideram a lista com uma receita líquida de 33.068 milhões de reais em 2018, de acordo com o *ranking* 2019 elaborado pelo jornal *Valor Econômico* em cooperação com a Serasa Experian e a Fundação Getúlio Vargas. Além dessas, outras cooperativas paranaenses estão entre as 50 maiores do Brasil: Integrada, Agrária, Castrolanda, Frísia, Coopavel, Coasul, Copagril, Capal, Coagru e Primato.

Esses segmentos são importantes e podem alavancar ainda mais a economia. Para tanto, demandam mais ciência e tecnologia para se tornarem mais atrativos para as novas gerações e consubstanciar a busca pela sustentabilidade na agricultura e no agronegócio. A inovação e a modernização de equipamentos e processos podem representar uma grande contribuição para a competitividade desses segmentos, por meio da redução de custos e do aumento na produtividade.

Nesse contexto, a Fundação Araucária e a SETI definiram novas diretrizes para suas atuações como efetivos instrumentos de política pública no contexto do Sistema Estadual de Ciência, de Tecnologia e, agora com mais ênfase, da Inovação. Um enquadramento foi aprovado pelo Conselho Superior da Fundação Araucária em 29 de maio de 2019, contendo três macrosdiretrizes (MD) do Governo Estadual:

- **MD 1:** Promover o Sistema Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação como ativo da sociedade paranaense capaz de impulsionar o desenvolvimento integral do Paraná.
- **MD 2:** Desenvolver um ambiente de Ciência, Tecnologia e Inovação nacional e internacionalmente reconhecido como um dos melhores para a criação de riqueza e bem-estar na América Latina.
- **MD 3:** Constituir um novo Sistema Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação (SEI), por meio do reconhecimento, protagonismo e da integração de atores e ativos, valorizando as identidades regionais.

5.2 Gestão da governança da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, SETI, FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA e SENAR/PR

A governança da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, a Fundação Araucária, a SETI e o SENAR/PR vêm implantando um novo modelo de fomento e gestão denominado Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação (NAPIs) para dar sustentação operacional.

O fortalecimento dos ecossistemas regionais de inovação e dos ecossistemas setoriais do Paraná sintetiza o esforço a ser empreendido pelos NAPIs, que focam a criação de riqueza e bem-estar, levando à maior assertividade dos instrumentos de apoio da Fundação Araucária e, por consequência, melhor retorno sobre investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Há uma relação natural entre os Ecossistemas de Inovação e as Mesorregiões da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada.

O NAPI Agro, como outros NAPIs geridos pela Fundação Araucária em cooperação com a SETI, foi criado em 2020 e direcionado para atender demandas setoriais, regionais e estadual, de forma integrada e racionalizada para melhor aproveitamento de atores e ativos já existentes, com foco na área prioritária do Agronegócio e Agricultura. A ênfase está na melhor mobilização e integração entre território e ativos, empresas líderes (*players*) e fatores-chave de desenvolvimento, ligados a essa área prioritária.

O NAPI Agro compõe uma solução sociotécnica fortemente apoiada em pressupostos da Transformação Digital e, concomitantemente, da Gestão e Engenharia do Conhecimento. Ele tem como objetivo conduzir a produção de conhecimento de forma colaborativa pelos pesquisadores paranaenses, incitados por demandas reais de desenvolvimento de setores estratégicos para o estado, mediante o aporte de recursos financeiros (chamadas públicas da Fundação Araucária) e tem como base a plataforma digital IAraucária.

Enquanto solução sociotécnica, o NAPI Agro conta com três componentes principais interdependentes:

- **Social**, que visa aproveitar o potencial humano de pesquisadores no Paraná e no mundo para alavancar ainda mais a posição do estado na produção científica nacional e internacional. Envolve a mobilização de pessoas, capital intelectual, *expertises*, competências, territórios, seus ativos e atores na solução de problemas complexos;
- **Técnico**, composto de infraestrutura, processos, tarefas e modelos de gestão para trabalhos cooperados;

- **Tecnologias**, capazes de suportar a interação entre os dois componentes anteriores. Releva o uso intensivo das Tecnologias de Informação e Comunicação, reunindo funcionalidades computacionais para processos intra e interorganizacionais da Araucária de forma digital e baseado na Internet (um ERP estendido para Fundações de Apoio).

Os resultados buscados pela prática dos NAPIs são estes:

- RE 1: Implantação de ações efetivas voltadas à criação de riqueza e ao bem-estar no Paraná;
- RE 2: Desenvolvimento socioeconômico e aumento da competitividade do Paraná favorecidos pela Ciência, Tecnologia e a Inovação;
- RE 3: Elevação da relevância da SETI e da Araucária como agentes-chave de um Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Paraná, por meio da promoção de pesquisa de alta qualidade e alto impacto;
- RE 4: Consolidação de um Sistema Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação que reúne esforços conjuntos da Academia, do Governo, de Empresas e da Sociedade Civil Organizada;
- RE 5: Incrementos quantitativo e qualitativo da Ciência e Tecnologia em nossas universidades e centros de pesquisa;
- RE 6: Melhoria da percepção das empresas e indústrias do Paraná quanto ao valor agregado a ser aportado pelo Sistema Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação;
- RE 7: Maior mobilização e integração de competências de alto nível em torno de problemas complexos e em prol do interesse público no Estado do Paraná, por meio de novos arranjos sociotécnicos.
- RE 8: Maior capacitação do estado, da SETI, da Fundação Araucária e do cidadão para os desafios futuros e para a inserção em cadeias globais de desenvolvimento.

5.3 Papel das instituições

A SETI, em conjunto com a SEAB, tem a responsabilidade de conduzir a Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, conforme abordado no item anterior, de acordo com o Decreto nº 2.475, de 28 de setembro de 2015.

De maneira integrada com as demais entidades privadas, como os sistemas FAEP/SENAR-AE/PR e OCEPAR e a FETAEP, a SEAB e a SETI participam do Comitê Gestor da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada

com a responsabilidade de articular o setor público e organizações do setor produtivo visando atingir os objetivos propostos para a Rede.

A Fundação Araucária tem um papel fundamental na gestão da Rede, com a elaboração das chamadas em cooperação com as demais instituições, a análise científica dos projetos apresentados, a elaboração dos convênios, o acompanhamento da execução das pesquisas com base nos relatórios dos pesquisadores, o apoio administrativo às universidades para execução das pesquisas e a prestação de contas. Além disso, participa de todos os seminários de apresentação de resultados, dando apoio aos coordenadores em relação a dúvidas de procedimentos e na solução rápida para os problemas apresentados.

O SENAR/PR também realiza o acompanhamento da execução dos projetos com duas visitas anuais a todas as áreas de pesquisa, sempre identificando as dificuldades e fazendo as gestões para a solução dos problemas. Além disso, apoia a realização dos seminários e, em conjunto com a Fundação Araucária, apresenta informações sobre o funcionamento da Rede junto ao Comitê Gestor.

A SEAB, como integrante da Secretaria Executiva, também desempenha importante função no apoio às atividades da Rede e na aproximação do corpo técnico do IDR-PR com os coordenadores das diferentes pesquisas, para estimular a divulgação dos resultados, especialmente junto aos extensionistas, a fim de acelerar a aplicação prática dos resultados obtidos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estado do Paraná criou a Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada e o PROSOLO como forma de arranjo institucional para atender a demandas científicas definidas pelos produtores rurais, por meio da mobilização de ativos representados por universidades, institutos de pesquisa e cooperativas, que são apoiados pelas estruturas pública e privada para a criação de ambientes de pesquisa.

A prioridade definida pelos produtores foi o desenvolvimento de critérios para o dimensionamento de estruturas físicas de controle de erosão, que também eram demandadas pelo Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS).

Para atender essa demanda, o programa de pesquisa aplicada em rede cooperativa foi estabelecido, como resultado de um esforço conjunto das instituições públicas e da iniciativa privada. Esse programa está em funcionamento desde 2017 e representa um patrimônio institucional que desenvolve um trabalho de pesquisa cooperativa, caracterizando-se como o primeiro

NAPI, na inovadora abordagem da política de pesquisa paranaense. Trata-se do maior programa de pesquisa em manejo e conservação de solo e água em desenvolvimento no Brasil, e seus resultados devem consolidar a posição de vanguarda do Estado do Paraná em seu esforço histórico em atividades que visam à melhoria da sustentabilidade do agronegócio.

O grande empenho para a implantação de complexas estruturas de pesquisa em todas as regiões do estado tem sua continuidade garantida até a conclusão das simulações e modelagens que serão desenvolvidas com base nos dados levantados em todo o estado. Essas estruturas institucionais e técnicas deverão ser utilizadas para o desenvolvimento de novas atividades de pesquisa aplicada, para novos desafios que venham a ser identificados no futuro.

REFERÊNCIAS

PARANÁ. Decreto n° 2.475, de 28 de setembro de 2015. Dispõe sobre a criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada e dá outras providências - SEAB, SETI. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=147198&indice=1&totalRegistros=1&dt=16.11.2022.14.37.21.828>. Acesso em: 15 ago. 2021.

PARANÁ. Decreto n° 4.966, de 29 de agosto de 2016. Institui o Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=161403&indice=1&totalRegistros=1&dt=16.11.2022.14.38.40.406>. Acesso em: 15 ago. 2021.

02

Uso de terraços para o controle do escoamento superficial

*Autores***Gustavo Henrique Merten****Jean Paolo Gomes Minella****Graziela Moraes de Cesare Barbosa**

1 EVOLUÇÃO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA E AS PESQUISAS SOBRE EROSÃO HÍDRICA NO PARANÁ

O Estado do Paraná foi um dos pioneiros a implementar programas voltados à conservação do solo e da água no Brasil. Desde o fim da década de 1960, foram realizados vários acordos e convênios com o Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária Meridional (IPEAME), vinculado ao Ministério da Agricultura (MA), com a Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ) e com a Imperial Chemical Industries (ICI), para realizar pesquisas em conservação do solo.

Vários outros programas e projetos foram implementados no estado, como o Projeto Noroeste do Paraná, com objetivo de controlar a erosão do solo em pastagens, cafeeiros e lavouras anuais em 1970; o Programa Nacional de Conservação dos Solos (PNCS) e o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), com ações diretas para o controle da erosão hídrica em solos agrícolas. Esses programas visavam à conservação do solo, dando ênfase às práticas mecânicas de conservação de solo (plantio em nível e terraços) de forma conjunta em bacias hidrográficas. Essas ações abrangeram, aproximadamente, 2,3 milhões de hectares e atenderam, aproximadamente, 72 mil propriedades rurais em 130 municípios do Paraná (TELLES; ARAÚJO, 2016).

Desde o início do uso do solo para fins agrícolas, o preparo do solo nas lavouras era predominantemente realizado por meio de aração, com arados de discos, seguida por operações de gradagem, com grades niveladoras. Esse manejo proporcionava intensa mobilização do solo e, por consequência, aumento dos processos erosivos nas áreas agrícolas.

A intensa degradação das áreas agrícolas de produção por processos erosivos impulsionou pesquisas, no Brasil, com objetivo de desenvolver sistemas de manejo do solo que reduzissem o processo erosivo. Essas pesquisas indicaram o sistema plantio direto como uma promissora prática conservacionista no controle das perdas de solo por erosão (VIEIRA; Cogo; Cassol, 1978; MUZILLI, 1983; ELTZ *et al.* 1984; DEDECEK.; RESCK; FREITAS JUNIOR, 1986; HERNANI *et al.*, 1997).

Nessa temática, na década de 1980 o Paraná investiu em políticas públicas com programas de conservação do solo em bacias hidrográficas, como o Programa de Manejo Integrado de Solos (PMIS) (1983 a 1986); o Programa de Manejo Integrado dos Solos e Água (PMISA), instituído pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná (1987 a 1990); e o Programa de Desenvolvimento Rural do Paraná (Paraná Rural) (1989 a 1996), no qual os esforços foram direcionados para práticas conservacionistas (construção de terraços e adequação de estradas), em cinco milhões de hectares em 2.100 microbacias hidrográficas e favoreceram, diretamente, 165.000 agricultores (TELLES; ARAÚJO, 2016).

Esses e outros programas foram instituídos com o objetivo principal de reduzir/controlar os processos erosivos e adotar medidas conservacionistas. As perdas de solo foram quantificadas em vários experimentos, instalados no estado pelo IAPAR nas décadas de 1970 a 1990, em condições de chuva natural e simulada, com solo descoberto em dois comprimentos de rampa (11 m e 22 m) e culturas diversas (GAERTNER; DEDECEK; BISCAIA, 2006; MERTEN *et al.*, 2015; MERTEN; ARAÚJO; BARBOSA, 2016). Os resultados dessas pesquisas indicaram que o plantio direto reduziu, em média, 70% das perdas de solo quando comparado com o plantio convencional (utilizando arado + grade de disco leve e grade pesada + grade leve).

Embora o plantio direto tenha sido eficiente no controle das perdas de solo, isso não ocorreu em relação ao controle do escoamento superficial, que no plantio direto foi 21% menor do que sob o tratamento que utilizou o arado + grade leve, nas parcelas sob chuva natural, com sucessão de cultivo de trigo e soja. Nas parcelas grandes (22 m de comprimento de rampa), com rotação de cultura que incluiu soja, milho e plantas de cobertura, a diminuição do escoamento superficial foi de 10%. Quando se comparou o plantio direto com a grade pesada + grade leve, a diminuição do escoamento superficial proporcionada pelo plantio direto foi de 41%.

Em eventos extremos, o plantio direto é eficaz no controle da erosão hídrica reduzida, principalmente em encostas com declividade superior a 10%,

com o cultivo realizado na direção do declive e onde a proteção do solo por resíduos da colheita é insuficiente para reduzir o escoamento superficial ($< 4-6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca bem distribuída na superfície do solo).

Esses resultados evidenciam a necessidade de usar práticas mecânicas (como terraços) para complementar o plantio direto no controle do escoamento superficial, principalmente durante eventos extremos de chuva (MERTEN *et al.*, 2015). Contudo, com o aumento da adoção do sistema de plantio direto, muitos agricultores eliminaram parcial ou totalmente os terraços existentes nas áreas agrícolas, e muitas operações (tratos culturais) passaram a ser realizadas acompanhando a inclinação das encostas (LEVIEN *et al.*, 2011). Tais práticas, associadas a um sistema de plantio direto de baixa qualidade (sucessão de culturas, redução de palha no sistema, compactação do solo), contribuíram para o retorno do processo erosivo nas áreas agrícolas.

Em 2010, o IAPAR publicou um Boletim Técnico (CAVIGLIONE *et al.*, 2010) no qual demonstrou as quantidades das perdas de solo quando o produtor retira total ou parcialmente os terraços, mesmo em sistema de plantio direto, reiterando a importância dos terraços nas áreas agrícolas. Essa recomendação da necessidade de terraços em áreas agrícolas foi confirmada pela Resolução nº 172, de 03/09/2010 (SEAB).

Nesse contexto, faz-se necessário continuar as pesquisas sobre como otimizar o tamanho das máquinas (redução de custos e mão de obra) para atender às condições de topografia (relevo acentuado) e a forma das propriedades agrícolas (longas e estreitas) comumente encontrada no sul do Brasil, onde o terraceamento e o plantio em nível são indispensáveis para o controle da erosão hídrica. São necessários estudos sobre como tornar o terraceamento mais eficiente em termos de espaçamento e dimensionamento dos terraços.

Atualmente, as pesquisas realizadas no âmbito da Rede de Agropesquisa contemplam os diferentes ambientes (solo, clima, relevo, culturas, entre outros) em escala de bacia hidrográfica com o objetivo de contribuir para a minimização do problema da erosão hídrica (descritos nos capítulos 4 e 5).

2 PROCESSOS HIDROLÓGICOS NAS ENCOSTAS E NA BACIA HIDROGRÁFICA

No Brasil, as práticas conservacionistas de solo e água estão perdendo a eficiência, apesar da expansão do plantio direto, o que tem provocado excesso de escoamento superficial e o conseqüente agravamento dos processos de degradação do solo e da água. O uso e manejo impróprio das terras comanda a degradação dos solos e, também, dos recursos hídricos.

A simplificação dos sistemas agrícolas produtivos em termos conservacionistas dificulta o manejo do escoamento superficial e o controle da erosão hídrica, com repercussões negativas à produção, ao ambiente e à sociedade. A piora na qualidade dos sistemas conservacionistas amplifica os problemas decorrentes das mudanças climáticas, especificamente, das chuvas de maior volume e intensidade. Esse novo padrão hidrológico e erosivo deve ser compreendido por meio de uma estratégia de monitoramento capaz de refletir os processos hidrológicos dominantes (MENEZES; MINELLA; TASSI, 2020; LONDERO *et al.*, 2021a e b; DAMBROZ *et al.*, 2022).

Por isso, é imprescindível que os sistemas agrícolas se adaptem ao novo padrão climático, tanto para as condições de estiagem quanto de excesso de chuva. A degradação dos solos em bacias hidrográficas agrícolas está relacionada com o aumento do escoamento superficial, a erosão hídrica, a produção de sedimentos e a transferência de poluentes. As enchentes, as altas taxas de produção de sedimentos e a contaminação impõem um importante desafio ambiental, econômico e de saúde.

Apesar da importância da agricultura no Brasil, há poucas informações sobre a influência do uso e manejo dos solos nos processos hidrológicos, na escala de bacia hidrográfica, especialmente dos processos de transferência de poluentes. Estudos da formação e propagação do escoamento superficial e de seus processos associados, como a produção de sedimentos e de elementos químicos associados, como nutrientes e pesticidas, são fundamentais para definir a melhor estratégia de manejo e reduzir os impactos aos recursos hídricos. A falta de informações na escala de pequenas bacias hidrográficas sobre o impacto das práticas conservacionistas de solo e água torna as recomendações das práticas mais adequadas passíveis de erros.

O desenvolvimento de estratégias conservacionistas na escala de bacia hidrográfica depende do monitoramento hidrológico associado a técnicas de modelagem matemática. O objetivo dessas estratégias é desenvolver ferramentas de modelagem capazes de contribuir para a recomendação de práticas de conservação do solo com vistas à redução da erosão hídrica, ao aumento da produtividade e à redução dos impactos ambientais negativos.

Na abordagem de bacia hidrográfica, os projetos de planejamento conservacionista devem oferecer opções para o controle do escoamento superficial e de seus processos associados, como o controle da erosão hídrica, melhorias na qualidade e quantidade da água nos mananciais e o aumento da disponibilidade hídrica às plantas. Para isso, o relevo e a interação entre os componentes da paisagem são muito importantes.

Além dos processos nas áreas de produção, outros componentes da paisagem são considerados para avaliar como os fluxos atuam no processo de degradação. O desgaste observado em determinado local da bacia hidrográfica, como na rede fluvial ou nas lavouras, pode ser resultado da ausência de controle em outras unidades da paisagem, como estradas. A natureza desses processos é altamente dinâmica no tempo e no espaço, sendo que o conjunto de fatores que controlam essa dinâmica, como tipo de solo, uso do solo e relevo, estabelecem a complexidade da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica é a unidade fundamental de análise e gestão dos solos e dos recursos hídricos, pois os processos hidrológicos são fortemente controlados pelas características geomorfológicas. Os componentes do ciclo hidrológico, como a infiltração de água no solo e a formação de escoamento superficial, condicionam os principais processos de degradação do solo, como a erosão e a disponibilidade hídrica para as plantas. Os solos cumprem a função não apenas de substrato para a produção de alimentos, mas também como reguladores dos fluxos hidrológicos. O uso das terras e o manejo dos solos definem diferentes tipos de escoamento que podem gerar prejuízos aos agricultores e à sociedade ou prosperidade aos agricultores e benefícios à sociedade. As práticas de manejo do solo e da água devem maximizar a infiltração de água no solo e controlar as enxurradas.

Os efeitos dos fatores controladores são bem conhecidos na escala de parcela, mas não na escala de bacia hidrográfica, especialmente a relação entre os processos observados nas encostas e na rede de drenagem. A dinâmica hidrológica na bacia hidrográfica define os mecanismos de mobilização de sedimentos e poluentes, que são específicos para cada local. O comportamento dos fluxos de água, sedimentos e poluentes presentes na rede de drenagem refletirá o efeito integrado dos fatores controladores (clima, relevo, tipo de solo, uso das terras e manejo dos solos). A descrição dos fluxos desde as encostas até o exutório da bacia desempenha papel sobre como acontece a formação das enxurradas, a geração e propagação dos sedimentos erodidos e a dissipação dos poluentes ao longo de uma bacia hidrográfica. Os escoamentos vistos na rede de drenagem são, então, o resultado de diversas interações que só podem ser descritas por intermédio da modelagem, embasada por um robusto programa de monitoramento (Figura 1).

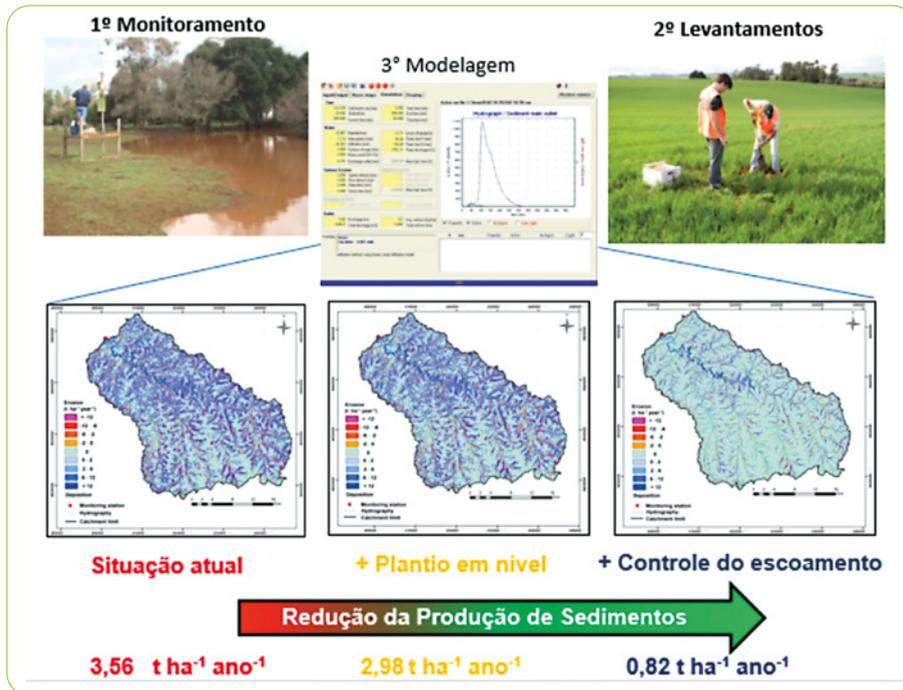


Figura 1 – Monitoramento e modelagem na Bacia do Rio Conceição para recomendação de práticas de conservação do solo e da água
 Fonte: Didoné, Minella e Evrard (2017, p. 33).

O uso das terras e os sistemas de manejo afetam e são afetados pelo comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, o que leva à necessidade de compreender localmente como controlar o volume e a velocidade do escoamento utilizando as práticas mais adequadas para a bacia hidrográfica em questão.

A estratégia de utilizar bacias hidrográficas experimentais características de cada unidade regional é fundamental para compreender os processos hidrológicos e erosivos específicos da região e, dessa forma, validar o uso dos modelos em regiões similares em termos de solo, relevo e sistema de produção. Os estudos de monitoramento e modelagem dos processos de degradação em bacias hidrográficas amplia o conceito de Agricultura Conservacionista, conforme o qual a conservação dos solos e da água contribuem para o sucesso na produção de alimentos e de água de forma ampla e integrada com a sociedade.

3 PRÁTICAS MECÂNICAS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O produtor rural, para o controle dos processos erosivos, conta com as informações das práticas conservacionistas preconizadas pela pesquisa, que podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As práticas vegetativas utilizam a própria vegetação para a proteção do solo. As práticas edáficas promovem a melhoria da fertilidade do solo por meio de adubações minerais, orgânicas e alterações no manejo. As práticas mecânicas utilizam estruturas artificiais que seccionam a encosta para reduzir a velocidade de escoamento superficial (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019).

As práticas mecânicas aumentam a rugosidade do solo e facilitam a infiltração de água durante os eventos pluviométricos. O produtor pode usar uma ou mais práticas mecânicas no planejamento conservacionista da propriedade, como terraceamento, canais escoadouros, distribuição de estradas e carregadores, cultivo em contorno e plantio em nível, enleiramento da fitomassa residual, sulcos de infiltração e diques em pastagem, cordões de pedra em contorno *mulching* vertical e caixas de retenção (também conhecidas como barraginhas ou bacias de acumulação), entre outras.

As barraginhas são estruturas construídas em áreas de exploração agropecuária (lavoura), enquanto as bacias de contenção são construídas nas estradas rurais não pavimentadas, ambas com o objetivo de interceptar, reter e conduzir, de forma segura, a água proveniente das lavouras e estradas (PRUSKI *et al.*, 2009).

Os terraços em lavouras também são utilizados para reduzir as perdas de solo e água, diminuindo o comprimento de rampa e, por consequência, a velocidade das águas. A função dos terraços é interceptar, reter e armazenar a água do escoamento superficial que se forma sempre que a intensidade da chuva for maior do que a capacidade do solo de infiltrar água.

A escolha do tipo de terraço a ser utilizado nas áreas agrícolas é de fundamental importância e necessita do auxílio de um profissional competente, pois deverá considerar o tipo e as características do solo, a topografia do terreno (declividade), o regime hídrico da região, a ocupação do solo (lavouras temporárias de grãos, lavouras permanentes, pastagens, reflorestamento ou outras) e a prática de manejo (plantio direto, convencional, mínimo). Dessa forma, todas essas variáveis devem passar por uma análise criteriosa, que irá determinar o tipo de terraço a ser utilizado (em nível ou em gradiente) e seu dimensionamento.

O terraço é composto de duas partes: o canal coletor, de onde é removido o solo e onde o escoamento superficial fica armazenado, e o camalhão, construído com o solo retirado do canal.

Os terraços construídos em nível (de infiltração) têm a função de reter o escoamento superficial que se forma durante um evento de precipitação e permitir que infiltre lentamente no canal de armazenamento. Esse tipo de terraço é recomendado para solos com boa permeabilidade e declividade máxima de 16% (Figuras 2a e 2b).

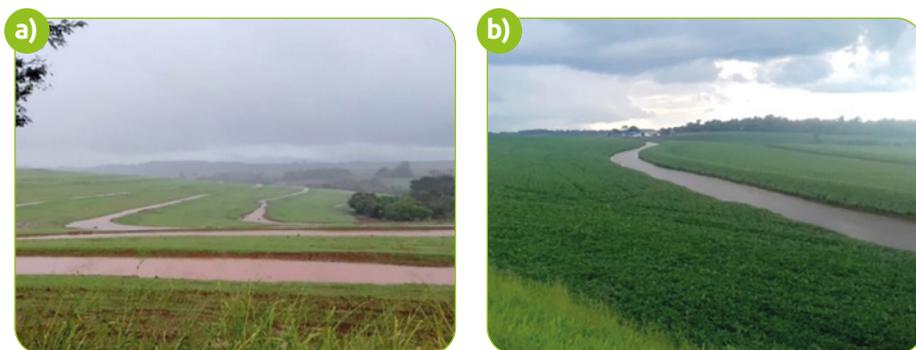


Figura 2 – Sistema de terraceamento em nível no oeste do Paraná

Fonte: Os autores (2022).

O terraço construído em gradiente (de drenagem), ou seja, em desnível, recebe o escoamento superficial e o conduz lentamente para fora da lavoura até os canais escoadouros vegetados (Figura 3) ou bacias de captação. Esse tipo de terraço é recomendado para solos de baixa permeabilidade e pouco profundos.



Figura 3 – Canal escoadouro em lavoura de grãos

Fonte: Os autores (2022).

O camalhão do terraço pode sofrer rebaixamento e pode haver acúmulo de sedimentos no canal pelo uso inadequado do solo na faixa entre terraços, o que implica a necessidade de manutenção (Figura 4) para que a área de acumulação do escoamento superficial não seja reduzida e cause transbordamento do terraço, fazendo com que este perca parcial ou totalmente sua função.



Figura 4 – Canal e camalhão de terraço em nível
Fonte: Os autores (2022).

Informações mais detalhadas sobre a escolha do tipo de terraço estão disponíveis no Manual de Manejo e Conservação do Solo e da Água para o Estado do Paraná (BERTOL *et al.*, 2019) e na publicação Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (BERTOL *et al.*, 2019).

4 CRITÉRIOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DE TERRAÇOS

Na fase de planejamento de um sistema de terraceamento é necessário determinar o espaçamento entre terraços e dimensionar o canal e o camalhão (Figura 5). De maneira geral, o critério que tem sido utilizado para determinar o espaçamento entre terraços está relacionado ao comprimento da encosta no qual o escoamento superficial adquire energia suficiente (ou velocidade suficiente) para causar erosão entre os terraços, em níveis indesejáveis. O dimensionamento do canal e do camalhão, por sua vez, está associado a características hidrológicas do escoamento superficial (volume e vazão de pico) que são estimadas após uma chuva de projeto e de modelos hidrológicos.

Conforme mencionado no item 2.3, os terraços podem ser instalados em desnível ou em nível. No primeiro caso, o gradiente do canal deve ser planejado de maneira que o escoamento canalizado não adquira energia/velocidade suficiente capaz de erodir o fundo e as paredes do canal. Nesse caso, além do dimensionamento do canal e do camalhão, é necessário planejar uma estrutura que irá receber o escoamento proveniente da área entre os terraços e conduzi-lo para um desaguadouro. A estrutura que recebe o escoamento do canal do terraço, de maneira geral, consiste em um canal vegetado (SCHWAB *et al.*, 1993). No terraço em nível (ou também chamado de infiltração ou retenção), o canal e o dique funcionam como uma estrutura de armazenamento temporário do escoamento. O tempo de retenção do escoamento irá depender da capacidade de infiltração do canal (CASTRO, 2001; FRANCO, 2018).

Além desses dois tipos de terraço, existe também o tipo misto, que consiste em um canal e um camalhão instalados em nível, porém uma estrutura hidráulica é instalada em uma das extremidades para controlar a vazão de saída do canal do terraço (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A escolha do tipo de terraço (gradiente, em nível ou misto) depende das condições climáticas (regime de chuvas), do tipo de solo (grau de permeabilidade) e do relevo (declividade). Por exemplo, Schwab *et al.* (1993) e Morgan (2005) recomendam que os terraços em nível sejam utilizados, preferencialmente, em áreas de moderada precipitação sob solos com alta permeabilidade e com relevos de no máximo 8% de declividade. Já o NRCS (2011) recomenda o uso de terraços de infiltração nos Estados Unidos somente para áreas de baixa precipitação (e declividade <4%), sendo o objetivo principal aumentar a umidade do solo.

No Brasil, mesmo em regiões de altas precipitações e independentemente da permeabilidade do solo ou da declividade do terreno, o terraço em nível tem sido utilizado de maneira generalizada entre os agricultores. Em áreas de produção de cana-de açúcar em São Paulo, isso tem resultado no rompimento de terraços, ocasionando problemas de erosão hídrica severa (FRANCO, 2018). Outra causa do rompimento dos terraços em nível são as chuvas de alta intensidade associadas ao tempo insuficiente para o excesso de água infiltrar no solo (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019).

4.1 Procedimentos para determinação do espaçamento entre terraços

O espaçamento entre terraços tem sido definido como a distância vertical (EV) entre os canais de sucessivos terraços (SCHWAB *et al.*, 1993). O critério

mais utilizado para definir a EV tem sido o comprimento de rampa no qual o escoamento não seria capaz de adquirir velocidade suficiente para causar erosão hídrica severa, considerada acima dos limites de tolerância de perdas de solo.

Conforme mencionado, o critério para o dimensionamento do canal e do camalhão depende, por sua vez, de parâmetros hidrológicos, como o volume e a vazão máxima do escoamento superficial esperados para uma chuva de projeto. Por outro lado, o espaçamento entre terraços também contribui para o volume escoado e para a vazão de pico (ou seja, quanto maior o espaçamento entre terraços, maior será o volume escoado e também a vazão de pico). Com base nesses pressupostos, os procedimentos que mais têm sido utilizados para determinar o espaçamento entre terraços são os seguintes:

- Uso de equações empíricas do tipo espaçamento vertical (EV) (SCHWAB *et al.*, 1993; FANGMEIER *et al.*, 2006; PRUSKI, 2006; NRCS, 2011; DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019);
- Uso de modelos matemáticos de erosão nos quais as perdas de solo devem ser inferiores aos limites de tolerância de perdas de solo (SCHWAB *et al.*, 1993; FANGMEIER *et al.*, 2006; PRUSKI, 2006; NRCS, 2011);
- Espaçamentos definidos em função da largura dos equipamentos utilizados no cultivo [procedimento utilizado para o alinhamento de terraços do tipo paralelos (SCHWAB *et al.*, 1993; FANGMEIER *et al.*, 2006; NRCS, 2011)];
- Espaçamentos definidos pelo critério da falha de resíduos (BERTOL, 1995; BERTOL; COGO; CASSOL, 2000);
- Espaçamentos definidos por fórmula analítica (MORGAN, 2005).

No Brasil, o procedimento mais utilizado para determinar o espaçamento entre terraços tem sido o da equação empírica do tipo EV, semelhante à Equação 1 (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991). Essas equações foram inicialmente derivadas para as condições dos Estados Unidos pelo Soil Conservation Service (SCS), atual Natural Resource Conservation Service (NRCS), onde os parâmetros considerados inicialmente foram a textura do solo e a declividade do terreno. No Brasil, durante a década de 1930 em São Paulo, essas equações foram inicialmente adaptadas pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Agricultura (DEMA) e posteriormente pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) para a determinação do EV tanto para terraços em gradiente como em nível (SALES, 1998).

Equações do tipo EV para vários países do mundo têm sido apresentadas por Morgan (2005). Nos Estados Unidos, a equação do tipo EV continua sendo utilizada ainda que, segundo NRCS (2011), o desenvolvimento dessa equação não esteja adequadamente documentado. A equação do tipo EV derivada por Lombardi Neto *et al.* (1991) tem sua fundamentação teórica baseada nos experimentos de perda de solo e água realizados em parcelas experimentais conduzidos em São Paulo, por Bertoni (1959). Posteriormente, Lombardi Neto (1989) adicionaram novos parâmetros aos inicialmente utilizados (tipo de solo e declividade) para considerar o tipo de uso e do manejo de solo (parâmetros u e m da Equação 1).

$$EV = 0,4518 \cdot K \cdot D^{0,58} \cdot \frac{(m + u)}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

EV = espaçamento vertical (m);

K = fator adimensional (que varia entre 0,75 a 1,25) relacionado com o tipo de solo considerando a resistência à erosão, profundidade, permeabilidade, textura e razão textural;

D = declividade do terreno (%);

m = fator adimensional (que varia entre 0,5 a 2) relacionado com o tipo de preparo de solo e manejo dos resíduos culturais;

u = fator adimensional (que varia entre 0,5 a 2) relacionado com o tipo de cultura.

Outro método muito utilizado nos Estados Unidos pelo NRCS para o cálculo do espaçamento de terraços é por meio da determinação do comprimento de rampa de uma encosta cujo valor de perda de solo (estimado pela modelagem matemática) se iguale aos valores tolerados de perda de solo (conceito conhecido como “limite de tolerância de perda de solos”). Atualmente, nos Estados Unidos, o modelo matemático utilizado tem sido a Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2) (USDA, 2013), que estima o processo erosivo em sulcos e entressulcos. Por se tratar de um modelo matemático de predição de erosão (e também de produção de sedimentos), esse modelo utiliza parâmetros de chuva (erosividade), de textura do solo (erodibilidade), de relevo (fator LS) e de uso e manejo de solos (fatores C e P). Dessa maneira, com base nas perdas de solo estimadas e no limite de tolerância de perda de solo conhecido, ajusta-se o fator comprimento de rampa (L) para que as perdas de solo se igualem aos valores do limite de tolerância de perda de solo.

Essa metodologia seria apropriada para a determinação do espaçamento de terraços por considerar os diversos fatores que estão associados com o processo erosivo (PRUSKI, 2006). Entretanto, seu emprego generalizado no Brasil tem limitações devido à ausência de informações necessárias para a utilização da modelagem matemática da erosão e de dados referentes aos limites de tolerância de perda de solos (PRUSKI, 2006).

Para as condições de uma área na região de Moji-Mirim, no estado de São Paulo, Sales (1998) comparou o espaçamento de terraços utilizando o procedimento de Lombardi Neto e Drugowich (1994) com o método da modelagem matemática considerando diferentes tipos de solo e cultivos (citrus, eucalipto, cana-de-açúcar e algodão). Por meio desse estudo, o autor concluiu que: a) o método da modelagem da erosão foi adequado para determinar o espaçamento de terraços por considerar nessa determinação fatores importantes como clima, solo, geomorfologia e uso e manejo do solo; b) os espaçamentos de terraços determinados por meio da modelagem da erosão resultaram em espaçamentos maiores do que aqueles determinados pela metodologia proposta por Lombardi Neto e Drugowich (1994).

Um método original para determinação do espaçamento de terraços em condições de plantio direto baseado no conceito da “falha de resíduo” foi proposto por Bertol (1995) e Bertol, Cogo e Cassol (2000). A “falha de resíduo” ocorre quando as condições hidráulicas do escoamento possibilitam a remoção dos resíduos culturais que se encontram depositados sobre a superfície do solo (FOSTER; JOHNSON; MOLDENHAUER, 1982). Essa condição depende da potência hidráulica do escoamento que, por sua vez, está condicionada à vazão escoada e à declividade do terreno. O volume escoado tende a aumentar com o comprimento de rampa quando o solo se encontra próximo da saturação. Partindo desse princípio, Bertol (1995) propôs uma metodologia para determinação do espaçamento de terraços na qual estes seriam alocados com espaçamentos correspondentes ao comprimento em que a falha do resíduo poderia ocorrer. A comparação entre o método da “falha do resíduo” e um procedimento no qual o espaçamento de terraços é baseado na predefinição de uma seção transversal de 1,5 m² evidenciou que os espaçamentos definidos pelo critério da “falha de resíduo” tiveram valores numéricos de uma ordem de grandeza dez vezes maior que o método baseado na predefinição da seção transversal (328-483 m × 44-60 m, respectivamente) (BERTOL; COGO; CASSOL, 2000).

Considerando apenas aspectos hidrológicos e hidráulicos como fundamentação teórica, Morgan (2005) propôs uma equação para determinar o espaçamento entre terraços (Equação 2).

$$X_{\text{crítico}} = \frac{v_c^2 n^2}{(R - i) \sin^{\frac{3}{4}} \theta \cos \theta} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

$X_{\text{crítico}}$ = distância horizontal entre terraços (m);

v_c = velocidade crítica para início do processo de desagregação do solo (m s^{-1});

n = coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{m}^{-1/3} \text{s}^{-1}$);

R = intensidade da chuva (mm s^{-1});

I = capacidade de infiltração da água no solo (m s^{-1});

θ = declividade angular da encosta.

O método proposto por Morgan (2005) foi comparado com o método empírico da equação EV e com o método da modelagem da erosão, em um estudo realizado por Baryla e Zmuda (2017) na Polônia em duas bacias hidrográficas, considerando declividades de 5% e 10%. Os espaçamentos entre terraços para a mesma declividade foram diferentes conforme o método utilizado, sendo que o procedimento de Morgan (2005) estimou os maiores espaçamentos – Tabela 1 (BARYLA; ZMUDA, 2017).

Baryla e Zmuda (2017) também verificaram aspectos interessantes quando da comparação do procedimento de Morgan (2005) com a modelagem matemática da erosão (Figura 5). Nesse estudo, o método de Morgan (2005) foi aplicado considerando três diferentes chuvas de projeto ($p = 1\%$, $p = 59\%$ e $p = 90\%$, que representam valores de precipitação total baixa, média e alta, respectivamente).

Já para o método da modelagem matemática da erosão (obtida pela equação universal de perdas de solo-USLE) foram considerados três níveis de tolerância de perdas de solo ($2, 5$ e $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). O espaçamento entre terraços, determinado pelo método de Morgan (2005), variou conforme a chuva de projeto utilizada, sendo verificados grandes valores de espaçamento quando considerada uma chuva de baixa precipitação e espaçamentos menores quando considerada uma chuva de alta precipitação (Figura 5). A aplicação do método da modelagem matemática da erosão (USLE) proporcionou variações de espaçamento ao considerar os diferentes limites de tolerância de perda de solos (Figura 5). Nessa condição, quando o limite de tolerância de perda de solo foi alto ($10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), os espaçamentos foram muito maiores do que aqueles considerados quando o limite de tolerância de perda de solo foi baixo ($2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Esse resultado evidencia que na utilização da modelagem da erosão o valor do limite de tolerância de perda de solo selecionado influencia de forma significativa a determinação dos espaçamentos entre terraços.

Tabela 1 – Espaçamento entre terraços determinados no estudo realizado por Baryla e Zmuda (2017)

Método utilizado	Declividade (%)	Espaçamento horizontal (m)	
		Bacia 1	Bacia 2
Equação empírica EV $L = (xs + y) \frac{100}{s}$	5	18	40
	10	15	30
Modelagem da erosão comparada e limite de tolerância de perda de solo = 5 t há ⁻¹	5	26	75
	10	4	17
Morgan (2005)	5	55	54
	10	33	32

Fonte: Baryla e Zmuda (2017).

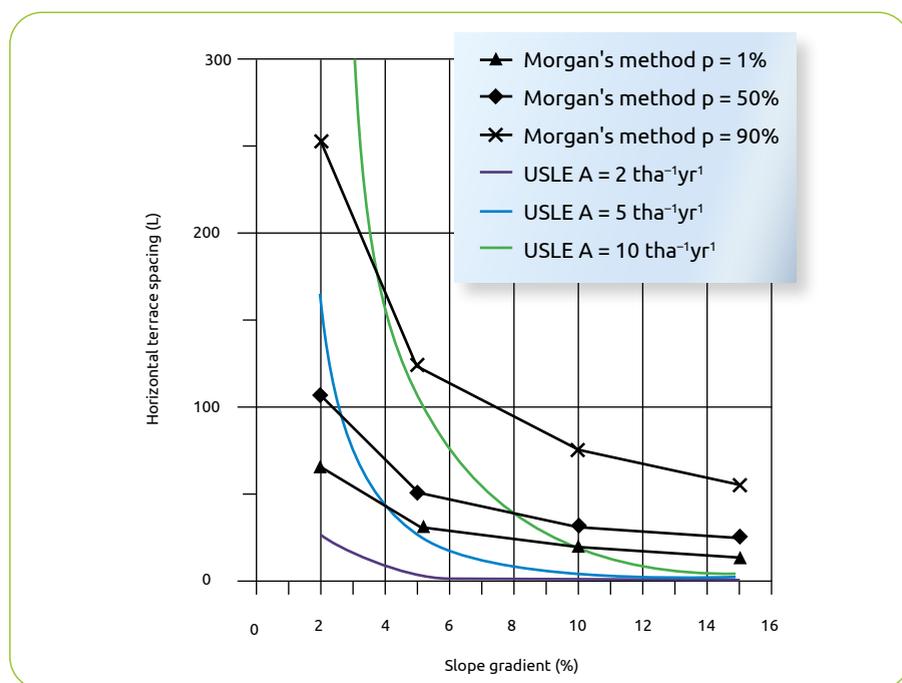


Figura 5 – Espaços entre terraços em função da declividade, determinados pelo método Morgan (2005), e da modelagem matemática que compara os limites de perda de solo considerando chuvas de intensidade diferentes para o método de Morgan (2005) e diferentes limites de tolerância de perdas para o método da modelagem matemática. Fonte: Baryla e Zmuda (2017).

4.2 Dimensionamento do canal e do camalhão do terraço

Conforme comentado anteriormente, o terraço deve ser considerado uma estrutura hidráulica formada por um canal e um camalhão. Em um terraço em desnível, o canal tem a função de conduzir o escoamento superficial gerado nas áreas entre terraços para um desaguadouro (geralmente um canal escoadouro). No caso de terraços locados em nível, o canal e o camalhão têm a função de armazenar temporariamente o escoamento superficial (estrutura hidráulica de retenção). Para o dimensionamento de terraços em desnível, é necessária a determinação de parâmetros relacionados com a geometria do canal (área da seção transversal, perímetro molhado e raio hidráulico) e de características do canal, como a declividade do fundo e a rugosidade do canal. O coeficiente de Manning tem sido, geralmente, utilizado para determinar a rugosidade do canal, sendo que a ASAE (2003) recomenda um valor de aproximadamente 0,060. Alguns parâmetros de projeto, como a declividade do terreno (S_e), a declividade de jusante do camalhão (S_d), o comprimento do terraço e a declividade do canal devem ser previamente definidos. Para a condição de terraços em nível, as características do canal como a declividade do fundo e a rugosidade não são necessárias, uma vez que o escoamento deverá ficar armazenado no canal de maneira temporária até que ocorra a infiltração total do volume armazenado.

As informações hidrológicas necessárias para o dimensionamento do terraço são o volume escoado (para a condição do terraço em nível) e a vazão de pico (para a condição do terraço em desnível). Essas duas variáveis são determinadas por meio de uma chuva de projeto e da utilização de um modelo hidrológico de conversão dessa chuva em escoamento.

A chuva de projeto se refere a uma chuva hipotética determinada por meio das curvas de intensidade, duração e frequência determinadas para cada local. Já os modelos hidrológicos podem ser do tipo empírico, como o Soil Conservation Service-CN, o método racional (SCHWAB *et al.*, 1993; FANGMEIER *et al.*, 2006; MELLO; BERTOL, 2019) ou por meio de modelos de base física que utilizam equações hidrodinâmicas baseados no conceito da onda cinemática (PRUSKI, 2006; GUPTA, 2017).

4.2.1 Terraços em nível

O dimensionamento do canal de um terraço em nível, de base larga, cujo canal tem uma geometria do tipo triangular (Figura 6), é realizado com base na área da seção transversal e na altura do camalhão. A área da seção do canal

(A_{total}) é função da altura do nível de água (h) e da largura do canal (W), sendo necessário para esse cálculo conhecer a declividade da encosta (S_e) e a declividade do camalhão de jusante (S_d).

De maneira geral, para terraços de base larga tem sido recomendada uma declividade do camalhão, a jusante, de aproximadamente 1:6 [vertical: horizontal (NRCS, 2011)]. A altura do camalhão deve ser determinada pela soma da altura do nível de água calculado (h) mais um valor referente à borda livre (BL). Esta se refere a uma altura adicional à altura do canal calculada (h) cujo propósito é compensar o rebaixamento do camalhão que ocorre após a construção do terraço. O rebaixamento estimado equivale a 10% de h e, por isso, a altura total do camalhão deve corresponder a aproximadamente 20% do h (FANGMEIER *et al.*, 2006).

O cálculo dos elementos geométricos como área da seção (A_{total}) e da largura da seção (w) tem como ponto de partida o nível de água (h) que, por sua vez, depende da estimativa do volume escoado entre os terraços. O volume escoado entre os terraços corresponde ao produto entre a lâmina de água prevista a ser escoada (LE), por algum modelo hidrológico, e a área entre terraços (EH; espaçamento entre terraços \times comprimento do terraço). A altura do nível de água e demais parâmetros geométricos, considerando um canal triangular, são obtidos por meio da derivação da Equação 3.

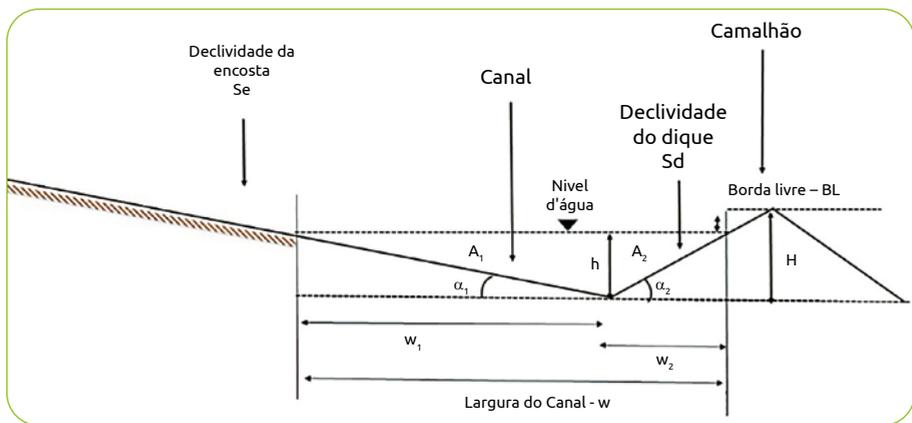


Figura 6 – Representação do canal de um terraço de base larga de geometria triangular

Fonte: Os autores (2022).

Nota: Declividade da encosta; S_e ; Canal; Declividade do dique; S_d ; Camalhão; Nível d'água; Borda livre – BL; A_1 ; A_2 ; h ; H ; α_1 ; α_2 ; w_1 ; w_2 ; Largura do canal – w .

Considerando uma seção transversal de um canal do tipo triangular (Figura 6), verificamos que:

$$\tan \alpha_1 = \frac{h}{w_1} \quad \tan \alpha_2 = \frac{h}{w_2} \quad w_1 = \frac{h}{\tan \alpha_1 = S_e} \quad w_2 = \frac{h}{\tan \alpha_2 = S_d}$$

$$A_1 = \frac{w_1 h}{2} = \frac{\frac{h}{S_e} h}{2} = \frac{h^2}{2S_e} \quad A_2 = \frac{h^2}{2S_d}$$

$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2 = \frac{h^2}{2} \frac{S_e + S_d}{S_e S_d}$$

A_{total} = volume escoado por unidade de comprimento de terraço ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$)

$$A_{\text{total}} = \frac{LE}{1.000} EH (\text{m}^2)$$

em que:

LE = lâmina escoada entre terraços (mm);

EH = espaçamento horizontal entre terraços (m).

Então, igualando a área da seção transversal do canal com o volume escoado por comprimento de terraço ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$):

$$A_{\text{total}} = \frac{h^2}{2} \frac{S_e + S_d}{S_e S_d} = \frac{LE}{1.000} EH (\text{m}^2)$$

Resolvendo para h :

$$h = \sqrt{\frac{LE EH S_e S_d}{500(S_e + S_d)}} \quad (\text{Equação 3})$$

Com base na altura da lâmina do escoamento (h), calcula-se a área da seção transversal (A_{total}), a largura do canal (w) e a altura do camalhão (h).

Outro aspecto importante referente ao dimensionamento de terraços em nível consiste em calcular o tempo de “esvaziamento” do canal após um evento de precipitação. Se considerarmos o volume armazenado de um escoamento gerado por uma chuva de projeto (24h para um período de retorno de 10 anos), esse volume deveria infiltrar no canal do terraço em um período de, aproximadamente, 24 horas (SCHWAB *et al.*, 1993; FANGMEIER *et al.*, 2006). Essa condição é “desejável” para que o terraço seja capaz de armazenar o volume escoado gerado na eventualidade de ocorrência de um segundo evento de precipitação. Uma das maiores razões para o rompimento de terraços (e a

formação de sulcos de erosão) consiste no problema da drenagem lenta dos terraços, especialmente, quando os terraços são construídos em solos de baixa permeabilidade (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019).

Castro (2001) verificou essa limitação apresentada pelos terraços em nível por meio de um estudo sobre a dinâmica da água em terraços de infiltração em um latossolo vermelho (8% de declividade). Esse autor, utilizando o método da densidade de fluxo e da armazenagem de água, verificou algumas limitações desses dois métodos. No caso do primeiro método, problemas relacionados com a alta variação da condutividade hidráulica (devido a deposições irregulares de sedimentos que ocorreram ao longo do canal e provocaram a formação do selo superficial) inviabilizou o uso da equação de Darcy-Buckingham para avaliar a infiltração no canal. No caso do segundo método, não foi possível estimar a infiltração devido ao desconhecimento do papel da drenagem profunda e da absorção de água pelo camalhão do terraço. Essas duas limitações encontradas nesse estudo sugerem a necessidade de serem desenvolvidos métodos adequados para avaliar a infiltração de água quando da utilização de terraços em nível.

O problema da infiltração do escoamento em canais em nível também foi estudado por Franco (2018) em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sobre diferentes tipos solos no estado de São Paulo. Nesse estudo, o autor mediu diretamente as taxas de infiltração utilizando régua graduada instaladas ao longo de canais de infiltração. Os valores de infiltração variaram de um mínimo de $0,12 \text{ mm h}^{-1}$ para um Argissolo Vermelho-Amarelo até um máximo de $2,66 \text{ mm h}^{-1}$ para um Latossolo Vermelho Típico. Esses valores de infiltração em canais, quando comparados com as taxas de infiltração medidas entre terraços, têm valores numéricos de pelo menos uma unidade de grandeza menor. Essa redução das taxas de infiltração no canal foi atribuída, principalmente, aos problemas de selamento da porosidade do fundo dos canais devido ao depósito de sedimentos oriundos da área entre terraços.

4.2.2 Terraços em desnível

Conforme já comentado, esses tipos de terraço têm como objetivo remover o escoamento gerado nas áreas entre terraços e conduzi-lo para um desaguadouro (normalmente um canal escoadouro vegetado), condição esta que leva os agricultores no Paraná a oferecer grande resistência em adotá-los. No entanto, o terraço em desnível precisa ser considerado quando se trata de um projeto a ser implementado em uma área que tem solos de baixa permeabilidade [tipicamente solos com B textural (FRANCO, 2018; DE MARIA; BERTOL;

DRUGOWICH, 2019). O canal do terraço em desnível precisa ser projetado de maneira a limitar a velocidade do escoamento para que não ocorra erosão no canal de terra [velocidade < 0,6 m s⁻¹, segundo a ASAE (2003)].

O dimensionamento do canal do terraço em desnível segue o mesmo *layout* da seção transversal de um terraço em nível (Figura 6). A diferença é que, no terraço em desnível, a altura do escoamento (h) dever ser calculada com base na vazão máxima (em vez de no volume máximo) esperada para determinada chuva de projeto.

Para o dimensionamento da geometria do canal utiliza-se uma equação que descreve o movimento do escoamento, sendo normalmente a equação de Manning (Equações 4 e 5), da qual uma equação (Equação 6) destinada ao cálculo da altura máxima do escoamento no canal (h) será derivada. À semelhança do canal em nível, uma vez definida a altura máxima do escoamento, os demais parâmetros que compõem a geometria do canal podem ser facilmente calculados.

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \text{ [m s}^{-1}\text{]} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

v = velocidade do escoamento (m s⁻¹);

n = coeficiente de rugosidade de Manning (s m^{-1/3});

R = raio hidráulico [área/perímetro molhado (m)];

S = declividade do canal (m m⁻¹).

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \text{ [m}^3 \text{ s}^{-1}\text{]} \quad (\text{Equação 5})$$

em que:

Q = vazão de pico (m³ s⁻¹);

A = área da seção transversal do canal (m²).

Para determinar a seção geométrica de um canal utilizando a equação de Manning (Equação 4), torna-se prático separar de um lado da equação os parâmetros do escoamento (Q , n e S) e do outro os parâmetros geométricos (A , R e P). Utilizando esse arranjo da equação de Manning (no qual se conhece previamente Q , n e S) e calculando os parâmetros geométricos (A e R) em função de h (Equação 6), dos parâmetros conhecidos (S_e e S_d) se obtém uma equação cujo único valor desconhecido é h . Uma vez conhecido h é possível determinar a seção transversal (A_{total}), a largura do canal (w) e a altura do camalhão ($h + 20\%h$).

$$\frac{Qn}{\sqrt{s}} = A R^{\frac{2}{3}}, \text{ mas } R = \frac{A}{P}$$

em que:

R = raio hidráulico (m);

P = perímetro molhado (m).

Então:

$$\frac{Qn}{\sqrt{s}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

em que:

A = área da seção transversal (m²);

P = perímetro molhado do canal triangular (m).

A área da seção transversal e o perímetro molhado do canal são definidos para um canal do tipo triangular (Figura 6) como:

$$A = \frac{h^2}{2} \frac{S_e + S_d}{S_e S_d} \text{ e } P = \frac{h \operatorname{sen} \alpha_1 + h \operatorname{sen} \alpha_2}{\operatorname{sen} \alpha_1 \operatorname{sen} \alpha_2}$$

$$\frac{Qn}{\sqrt{s}} = \frac{\left[\frac{h^2}{2} \frac{S_e + S_d}{S_e S_d} \right]^{\frac{5}{3}}}{\left[\frac{h \operatorname{sen} \alpha_1 + h \operatorname{sen} \alpha_2}{\operatorname{sen} \alpha_1 \operatorname{sen} \alpha_2} \right]^{\frac{2}{3}}}$$

Resolvendo para h (m):

$$h = \left[\frac{Qn(2S_e S_d)^{\frac{5}{3}} (\operatorname{sen} \alpha_2 + \operatorname{sen} \alpha_1)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}} (S_e + S_d)^{\frac{5}{3}} (\operatorname{sen} \alpha_1 \operatorname{sen} \alpha_2)^{\frac{2}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (\text{Equação 6})$$

Um aspecto muito importante a ser considerado em um projeto de dimensionamento de terraços diz respeito às limitações durante as fases de construção e pós-construção desses. Os terraços, assim como qualquer obra hidráulica, precisam ser construídos de acordo com o dimensionamento definido na fase de projeto. Entretanto, as máquinas agrícolas utilizadas para construção dos terraços não permitem a construção do canal e do camalhão

em condições de geometria prismática (seção transversal do canal com geometria uniforme ao longo do canal) (PRUSKI, 2006). As operações mecanizadas, realizadas durante o cultivo e a colheita, e o assoreamento do canal contribuem para as alterações da geometria inicial do terraço, especialmente devido ao rebaixamento do camalhão (GRIEBELER *et al.*, 1998; MAGALHÃES, 2013). Para compensar esse problema, a altura do escoamento (h) deve ser ajustada com o uso de um coeficiente de desuniformidade (C_d ; $\left[h_{\text{corrigido}} = h\sqrt{C_d} \right]$), durante a fase de projeto (PRUSKI, 2006).

5 DIMENSIONAMENTO DE TERRAÇOS NO PARANÁ

Conforme já mencionado, o estado do Paraná promoveu amplamente a prática do terraceamento junto a outras práticas conservacionistas, tais como o plantio direto, a rotação de culturas e o uso de culturas de cobertura, durante os anos de 1980 e 1990, por meio de programas como o Programa de Manejo Integrado de Solo e Água e de Desenvolvimento Rural do Paraná (PMISA) e o PARANÁ RURAL.

Nos anos seguintes, com a consolidação do plantio direto e a confiança na eficiência desse método em controlar a erosão hídrica, os agricultores começaram a retirar parcialmente os terraços (um a cada dois terraços) ou mesmo eliminar a presença deles nas lavouras. Como consequência da remoção dos terraços, o processo erosivo (especialmente da erosão em sulcos) voltou a ocorrer nas áreas de cultivo do estado. Nesse contexto, a prática do terraceamento como medida complementar às demais práticas conservacionistas têm sido considerada pelos órgãos de assistência técnica como indispensável para controlar a erosão hídrica, aumentar o armazenamento de água nas lavouras, reduzir a transferência de poluentes para os corpos de água e aumentar a recarga dos aquíferos.

Por outro lado, a consolidação do plantio direto no Paraná tem alterado a maneira de cultivar o solo onde o revolvimento por meio da aração e gradagem foi substituído pelo plantio sem necessidade de mobilizar o solo. Essa modificação altera profundamente a hidrologia (transformação da chuva em escoamento) e a hidráulica (movimento da água nas encostas) do escoamento superficial e o consequente processo erosivo. Nesse contexto, os critérios para o dimensionamento de terraços necessariamente precisam ser revisados.

O dimensionamento de terraços, conforme já comentado, envolve a especificação da locação, do espaçamento e do dimensionamento do canal e do camalhão do terraço. No Estado do Paraná, as especificações técnicas para o dimensionamento de terraços foram descritas por Rufino (1994) e posteriormente revistas por Caviglione *et al.* (2010). Esses dois documentos serão revisa-

dos neste item, com o propósito de embasar uma definição de novos critérios técnicos de dimensionamento de terraços com base nas condições locais (climáticas, edafológicas, uso e manejo de solo).

No documento produzido por Rufino (1994), os terraços foram classificados em três categorias quanto ao destino e manejo do escoamento superficial gerado nas encostas:

- Terraço de retenção, absorção ou infiltração, caracterizado pela construção em nível, na qual suas extremidades são bloqueadas, de modo que o escoamento superficial infiltre no canal do próprio terraço;
- Terraço de drenagem ou com gradiente, no qual o canal tem um gradiente suave para remover o escoamento superficial para fora da área protegida pelos terraços;
- Terraço misto, caracterizado pela presença de um canal com gradiente suave e por uma zona de acumulação do escoamento superficial onde um tubo de tomada de água, ligado a um dreno subterrâneo, elimina o excesso de água acumulada no canal.

O documento produzido por Rufino (1994), no entanto, não informa as condições (característica das chuvas, declividade do terreno e tipo de solo) sobre as quais esses três tipos de terraços deveriam ser utilizados no Paraná. Schwab *et al.* (1993) e Fangmeier *et al.* (2006) sugerem que os terraços de retenção sejam construídos apenas em áreas de baixa a moderada precipitação ou em áreas de maior precipitação quando os solos têm alta permeabilidade, enquanto Pruski (2006) recomenda que o tipo adequado de terraço a ser construído depende das características das chuvas (quantidade, intensidade, duração e frequência) e do tipo de solo (profundidade, textura dos horizontes e permeabilidade). Já De Maria, Bertol e Drugowich (2019) comentam que a decisão sobre a escolha do tipo de terraço deve estar fundamentada nas propriedades físicas do solo que determinam sua permeabilidade.

Em relação ao espaçamento de terraços, Rufino (1994) apresenta uma tabela para condições de terraços de base larga e base estreita para cultivos anuais e perenes (Tabela 2). Na revisão dessa tabela, para o declive de 1% e na condição de terra argilosa, o espaçamento horizontal de 54,75 m não corresponde ao espaçamento vertical (EV) de 0,75 m. Nesse caso, o valor do EH deveria ser de 75 m, considerando que na transformação do espaçamento vertical (EV) em horizontal (EH) o valor do espaçamento vertical (EV) deve ser multiplicado por 100 (cem) e dividido pela declividade ($EH = EV \cdot 100 / \% \text{Declive}$).

Essa tabela define que o sistema de terraceamento é uma prática recomendada para áreas de cultivo entre 1 a 20% de declividade e que esse espaçamento é definido de acordo com três tipos de solo (terra arenosa; terra argilosa e terra roxa). Nessas condições, o espaçamento horizontal dos terraços varia de um mínimo de 10 m para um solo de textura arenosa e declividade de 20% até um máximo de 75 m para a condição de um solo de textura argilosa e 1% de declividade.

Tabela 2 – Espaçamento de terraços de base larga em culturas anuais e terraços de base estreita (cordões de contorno) em culturas perenes

Declive (%)	Terra arenosa		Terra argilosa		Terra roxa	
	EV (m)	EH (m)	EV (m)	EH (m)	EV (m)	EH (m)
1	0,38	37,75	0,75	54,75	0,43	43,10
2	0,56	28,20	0,82	40,95	0,64	32,20
3	0,71	23,20	1,04	34,55	0,82	27,20
4	0,84	21,10	1,22	30,60	0,96	24,10
5	0,96	19,20	1,39	27,85	1,10	21,95
6	1,07	17,80	1,55	25,80	1,22	20,30
7	1,17	16,75	1,69	24,20	1,33	19,05
8	1,26	15,75	1,83	22,85	1,44	18,00
9	1,35	15,00	1,96	21,75	1,54	17,75
10	1,43	14,35	2,08	20,80	1,64	16,40
11	1,52	13,80	2,20	20,00	1,73	15,70
12	1,60	13,30	2,32	19,3	1,82	15,20
13	1,69	13,00	2,42	18,60	1,90	14,60
14	1,74	12,45	2,53	18,03	1,99	14,20
15	1,83	12,20	2,63	17,50	2,07	13,80
16	1,89	11,80	2,74	17,10	2,15	13,45
17	1,98	11,65	2,83	16,65	2,23	13,10
18	2,02	11,20	2,92	16,25	2,30	12,80
19	2,11	11,10	3,01	15,85	2,37	12,50
20	2,14	10,70	3,11	15,55	2,45	12,25

Nota: EV = espaçamento vertical; EH = espaçamento horizontal; terra roxa é atualmente considerada como Nitossolo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018).

Fonte: Rufino (1984).

O procedimento do cálculo (e dos fatores envolvidos nesse cálculo) referente aos valores numéricos da Tabela 2 não está documentado em Rufino (1994). Talvez esses valores numéricos tenham sido originados da equação do tipo VI [intervalo vertical (Equação 7)], apresentada no documento “Terraces”, pelo NRCS (USDA, 2011). Segundo esse documento, a origem da equação do tipo VI não estaria bem documentada, porém se acredita que tenha se originado do documento Farmer’s Bulletin 1669, publicado pelo USDA em 1930. Esse tipo de equação teria sido proposto por um pesquisador norte-americano chamado Ramser, que derivou espaçamentos de terraços para as condições do sudoeste e nordeste dos Estados Unidos (USDA, 2011):

$$VI = 2 + \frac{S}{4} \quad (\text{Equação 7})$$

em que:

VI = espaçamento vertical máximo entre terraços (ft);

S = declividade acima do terraço (%).

Uma versão mais atualizada da equação do tipo VI (Equação 8) tem sido apresentada pelo USDA (2011) como:

$$VI = XS + Y \quad (\text{Equação 8})$$

em que:

VI = espaçamento vertical máximo entre terraços (ft);

S = declividade acima do terraço (%);

X = variável numérica com valores entre 0,4 a 0,8 que representa a característica das chuvas para diferentes locais dos Estado Unidos;

Y = variável numérica com valores numéricos entre 1 a 4 ft que representa a erodibilidade dos solos, o tipo de cultura e manejo utilizado.

Além disso:

- X = 1 ft representa a condição de solos com elevada erodibilidade e baixa capacidade de infiltração, cujo sistema de manejo tem baixa cobertura do solo durante o período de intensa precipitação;
- X = 4 ft representa solos com baixa erodibilidade, cujo sistema de manejo durante o período de semeadura tem mais de 30% de cobertura do solo;
- X = 2,5 ft representa a condição em que um dos fatores tem uma condição favorável (por exemplo, solo com reduzida erodibilidade)

e outro fator desfavorável (por exemplo, cobertura do solo durante o período de semeadura menor que 30%).

A fundamentação teórica da Equação 8 está relacionada com processos erosivos (erosão entre e em sulcos) e ela é mais conservativa (estima menores espaçamentos) quando comparada ao procedimento de cálculo de espaçamento de terraços por meio da equação RUSLE2 (USDA, 2013).

A equação do tipo VI, também mencionada em Pruski (2006), está sendo definida neste documento como equação proposta por Bentley (Equação 9):

$$EV = \left(2 + \frac{D}{X} \right) 0,305 \quad (\text{Equação 9})$$

em que:

EV = espaçamento vertical entre terraços (m);

D = declividade do terreno (%);

X = fator adimensional que varia com as características do solo e sua resistência à erosão e assume os seguintes valores:

- Solos argilosos = 2,5;
- Solos de textura média = 3,0;
- Solos de textura arenosa = 3,5.

Ainda que o procedimento de cálculo para os valores numéricos de espaçamento de terraços dispostos na Tabela 1 não estejam documentados em Rufino (1994), é possível inferir que esses números tenham sido originados de uma equação do tipo VI similar à Equação 9. Para avaliar essa hipótese, a Equação 9 foi utilizada para calcular o espaçamento vertical, que depois foi convertido para o espaçamento horizontal por meio da Equação 10; esta foi comparada com a Tabela 2, apresentada por Rufino (1994):

$$EH = \frac{(EV \cdot 100)}{D} \quad (\text{Equação 10})$$

em que:

EH = espaçamento horizontal (m);

EV = espaçamento vertical (m);

D = declividade do terreno (%).

Os resultados do cálculo do espaçamento de terraços utilizando a Equação 9, para declividades entre 1 a 20%, estão dispostos nas Figuras 7, 8 e 9.

De acordo com elas, os espaçamentos horizontais calculados pela equação de Bentley são próximos (especialmente para as declividades superiores a 5%) àqueles apresentados por Rufino (1994). Para a condição de solo argiloso, os espaçamentos horizontais para as declividades menores do que 4% são bastante similares. Contudo, para os solos de textura arenosa e média essa condição não foi verificada, sendo os espaçamentos horizontais significativamente menores do que aqueles calculados pela equação de Bentley.

Na Figura 9, os valores numéricos calculados pela equação de Bentley correspondem a um valor $X = 3$, que se refere ao valor recomendado para solos de textura média, enquanto os valores comparados da Tabela 2 se referem à terra roxa, que corresponde a solos com gradiente textural. Ainda assim, para valores de declividade acima de 3%, os valores de espaçamento horizontal são praticamente idênticos, sugerindo que os dados numéricos da Tabela 2 de Rufino (1994) possam ter sido originados da equação de Bentley, com valores de espaçamento horizontal ajustados para declividades menores do que 3%.

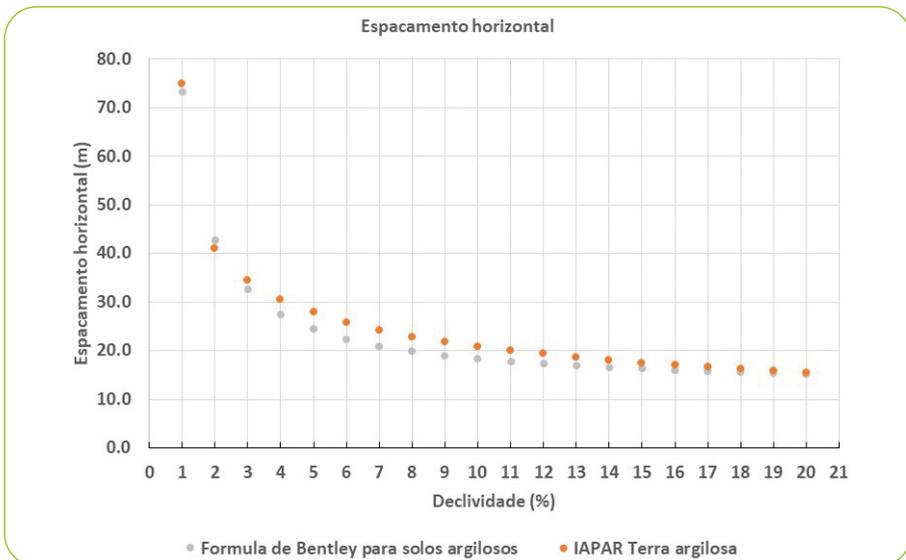


Figura 7 – Comparação entre o espaçamento horizontal entre terraços calculados pela equação de Bentley (Equação 9) e os dados da Tabela 2 (RUFINO, 1994) para a condição de solo argiloso

Fonte: Os autores (2022).

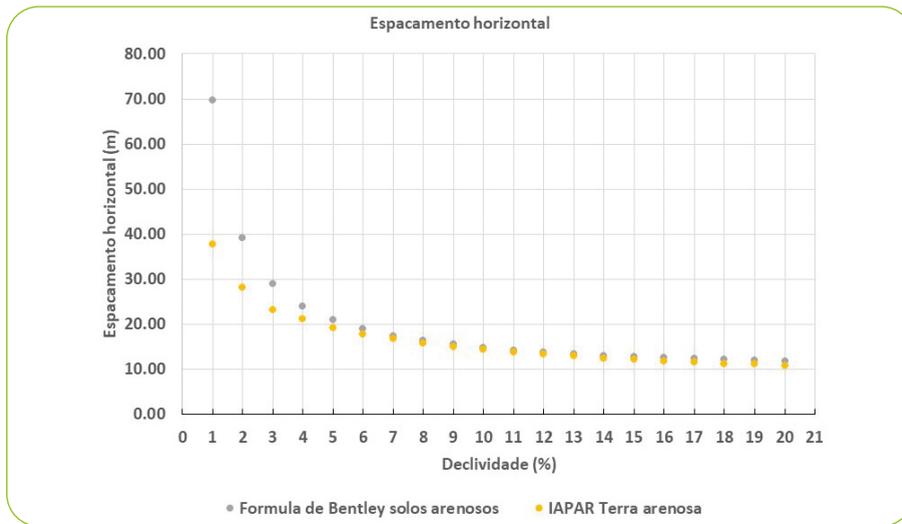


Figura 8 – Comparação entre o espaçamento horizontal entre terraços calculados pela equação de Bentley (Equação 9) e os dados da Tabela 2 (RUFINO, 1994) para a condição de solo arenoso

Fonte: Os autores (2022).

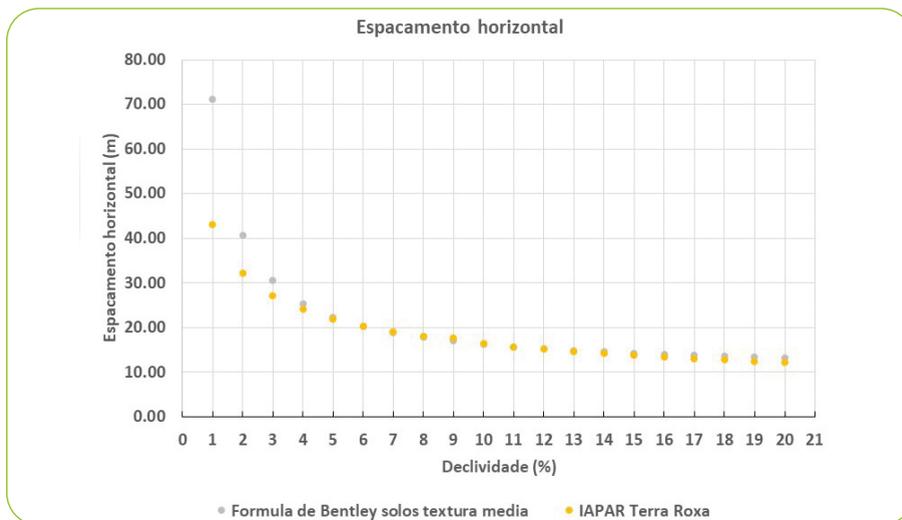


Figura 9 – Comparação entre o espaçamento horizontal entre terraços calculados pela equação de Bentley (Equação 9) e os dados da Tabela 2 (RUFINO, 1994) para a condição de terra roxa e solo de textura média ($X = 3$) para a equação de Bentley

Fonte: Os autores (2022).

A seção transversal do terraço deve ser dimensionada a fim de ser suficiente para absorver o volume do escoamento superficial gerado na área entre os terraços e sugere uma seção mínima de 0,70 m², independentemente do tipo de terraço (RUFINO, 1994). A seção transversal do terraço deve ser calculada por meio da equação mencionada como sendo de Ramser, que é apresentada no documento (RUFINO, 1994).

Os critérios para o dimensionamento de terraços no Paraná foram revisados no Boletim Técnico n° 71 do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (Caviglione *et al.*, 2010). O contexto da elaboração desse documento está relacionado com o crescimento das perdas de solo que vem sendo observado nas áreas de cultivo no Paraná. Esse aumento da erosão dos solos, de maneira incompatível com a produção sustentável, tem sido atribuído à remoção parcial (retirada de um terraço a cada dois) ou total do sistema de terraceamento implantado no Paraná nos anos 1980 e 1990. Além desse aspecto, o aumento da erosão hídrica também está relacionado ao padrão de ocorrência de chuvas mais erosivas, resultante, possivelmente, dos efeitos das mudanças climáticas (GASPAROTO; CARAMORI; VASCONCELLO, 2021).

O procedimento utilizado no Boletim Técnico n° 71 para revisar as recomendações referentes ao dimensionamento de terraços no Paraná foi comparar as perdas de solo por meio da modelagem matemática (utilizando o modelo RUSLE) considerando diferentes cenários:

- Cenário de referência no qual o espaçamento entre terraços é definido pelos valores recomendados por Rufino (1994) (Tabela 2);
- Cenário de referência no qual o espaçamento entre terraços é definido pelo procedimento recomendado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991);
- Cenário alternativo sem uso de terraços;
- Cenário alternativo com a eliminação de um terraço a cada dois, sendo o espaçamento entre terraços definidos pelos valores recomendados por Rufino (1994).

Para as simulações das perdas de solo por meio da equação RUSLE foi utilizada como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Grande e do Córrego Pensamento (4,348 ha), localizada no terceiro planalto paranaense, no município de Mambore. Os solos dessa bacia variam desde uma textura argilosa (oriundos de derrame basáltico) até uma textura arenosa (Formação Caiuá). Para essas simulações, os autores consideraram uma sucessão de trigo e soja em sistema de manejo convencional (aração seguida de gradagem)

e plantio direto. Os detalhes referentes à descrição do modelo RUSLE e dos procedimentos metodológicos utilizados nessa simulação estão descritos de maneira detalhada em Caviglione *et al.* (2010).

O dimensionamento do espaçamento entre terraços, determinado pela metodologia do IAC (que utiliza uma equação do tipo VI), foi calculado de acordo com a Equação 11 (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991), que leva em consideração o grupo hidrológico dos solos (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019):

$$EV = 0,4518 \cdot K \cdot D^{0,58} \cdot \frac{(m + u)}{2} \quad (\text{Equação 11})$$

em que:

EV = espaçamento vertical (m);

K = fator adimensional (que varia entre 0,75 a 1,25) relacionado ao tipo de solo, considerando a resistência à erosão, profundidade, permeabilidade, textura e razão textural;

D = declividade do terreno (%);

m = fator adimensional (que varia entre 0,5 a 2) relacionado ao tipo de preparo de solo e ao manejo dos resíduos culturais;

u = fator adimensional (que varia entre 0,5 a 2) relacionado ao tipo de cultura.

Os resultados dessas simulações mostraram que as perdas de solo referentes aos cenários alternativos (eliminação de um terraço a cada dois ou eliminação total dos terraços) foram significativamente maiores quando comparadas aos cenários de referência [presença de terraços espaçados de acordo com Rufino (1994) e IAC (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991)]. Assim, as principais conclusões do Boletim Técnico nº 71 do IAPAR foram:

- “Os critérios dos espaçamentos de terraços recomendados por Rufino (1994) e pelo IAC (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991)” foram eficientes e devem ser mantidos;
- “As recomendações de espaçamento entre terraços recomendados por Rufino (1994) e pelo IAC (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991) podem ser utilizadas nas áreas agrícolas do estado do Paraná onde os terraços são construídos”.

Na Tabela 3 consta a comparação entre o espaçamento de terraços recomendados por Rufino (1994) e pelo IAC (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991) considerando a cultura da soja sob condição de plantio direto para dois solos com duas texturas diferentes. Pela avaliação dessa tabela verifica-se que, utilizan-

do-se o critério do IAC, a distância entre terraços para solos argilosos e arenosos é, em média, de 12 m a 16 m, respectivamente, maior quando comparado com a recomendação de espaçamento do IAPAR (RUFINO, 1994). Neste estudo, o tipo de terraço (retenção, drenagem ou misto) não foi considerado, uma vez que o objetivo do trabalho foi comparar as perdas de solo.

Tabela 3 – Valores comparativos de espaçamento de terraços considerando a recomendação do IAPAR (RUFINO, 1994) e o procedimento do IAC (LOMBARDI NETO *et al.*, 1991) para a cultura da soja em plantio direto em solos com textura argilosa e textura arenosa

Declive (%)	Terra argilosa					Terra arenosa				
	IAPAR Soja Plantio direto		IAC Soja Plantio direto		Diferença	IAPAR Soja Plantio direto		IAC Soja Plantio direto		Diferença
	EV	EH	EV	EH		EV	EH	EV	EH	
1	0,75	75,00	0,85	84,71	9,71	0,38	37,75	0,75	74,55	36,8
2	0,82	41,00	1,27	63,32	22,32	0,56	28,20	1,11	55,72	27,52
3	1,04	34,67	1,60	53,40	18,74	0,71	23,20	1,41	46,99	23,79
4	1,22	30,50	1,89	47,32	16,82	0,84	21,10	1,67	41,65	20,55
5	1,39	27,80	2,15	43,09	15,29	0,96	19,20	1,90	37,92	18,72
6	1,55	25,83	2,39	39,91	14,08	1,07	17,80	2,11	35,12	17,32
7	1,69	24,14	2,62	37,41	13,27	1,17	16,75	2,3	32,92	16,17
8	1,83	22,88	2,83	35,37	12,50	1,26	15,75	2,49	31,13	15,38
9	1,96	21,78	3,03	33,66	11,89	1,35	15,00	2,67	29,62	14,62
10	2,08	20,80	3,22	32,21	11,41	1,43	14,35	2,83	28,34	13,99
11	2,20	20,00	3,40	30,94	10,94	1,52	13,80	3,00	27,23	13,43
12	2,32	19,33	3,58	29,83	10,50	1,6	13,30	3,15	26,25	12,95
13	2,42	18,62	3,75	28,85	10,23	1,69	13,00	3,30	25,38	12,38
14	2,53	18,07	3,91	27,96	9,89	1,74	12,45	3,44	24,61	12,16
15	2,63	17,53	4,07	27,16	9,63	1,83	12,20	3,59	23,90	11,70
16	2,74	17,13	4,23	26,44	9,31	1,89	11,80	3,72	23,26	11,46
17	2,83	16,65	4,38	25,77	9,13	1,98	11,65	3,86	22,68	11,03
18	2,92	16,22	4,53	25,16	8,94	2,02	11,20	3,99	22,14	10,94
19	3,01	15,84	4,67	24,60	8,75	2,11	11,11	4,11	21,64	10,54
20	3,11	15,55	4,81	24,07	8,52	2,14	10,70	4,24	21,18	10,48
Média					12,09					16,10

Nota: EV = espaçamento vertical; EH = espaçamento horizontal.

O Boletim Técnico nº 71 do IAPAR (CAVIGLIONE *et al.*, 2010), no entanto, não discutiu os critérios relativos à escolha do tipo de terraço (retenção, drenagem ou misto) a ser recomendado, tampouco os procedimentos relacionados ao dimensionamento de terraços quanto à determinação da seção transversal. Esses dois aspectos precisam ser considerados na atualização dos critérios para o dimensionamento de terraços no Paraná.

No que diz respeito ao tipo de terraço a ser utilizado, ainda que os agricultores tenham maior aceitação pelos terraços de infiltração, as condições de precipitação, de relevo e das propriedades hidrológicas dos solos (permeabilidade) precisam ser consideradas nas recomendações do tipo de terraço a ser utilizado. A experiência do estado de São Paulo quanto à utilização generalizada de terraços de infiltração, especialmente em áreas de cana-de-açúcar, sem considerar os parâmetros edafoclimáticos e de manejo de solos, tem levado ao aumento da falha dos terraços, ou seja, extravasamento/rompimento, causando, em alguns casos, a formação de voçorocas (FRANCO, 2018).

Os critérios para o dimensionamento da seção transversal dos terraços de drenagem e infiltração precisam ser revistos. Em ambos os casos, os parâmetros hidrológicos básicos a serem utilizados são o volume escoado e a vazão de pico escoado na área entre terraços (SCHWAB *et al.*, 1993). Para estimar esses parâmetros é necessária a determinação da chuva de projeto [equações de chuvas intensas (FENDRICH, 2011)] e de modelos hidrológicos de transformação de chuva em vazão (CHIN, 2011; GUPTA, 2017; MELLO; BERTOL, 2019). Além disso, quando da utilização de modelos hidrológicos baseados no conceito da onda cinemática [geração de hidrograma e sua propagação (PRUSKI, 2006; GUPTA, 2017; JULIEN, 2018)], é necessário determinar parâmetros hidráulicos como o fator de fricção de Manning, por exemplo.

No caso do Paraná, onde o cultivo tem sido realizado em condição de plantio direto, os parâmetros de fricção não foram determinados e tal informação é necessária para as condições locais do Paraná (regime de chuva, tipo, uso e manejo de solo). Os modelos hidrológicos mais utilizados no Brasil (SCS-CN e Método Racional) são baseados exclusivamente em dados gerados para as condições dos Estados Unidos (MELLO; BERTOL, 2019). Dessa maneira, a possibilidade da derivação de parâmetros hidrológicos e hidráulicos para o Paraná por meio do Projeto de Monitoramento Hidrológico possibilitará um enorme avanço na redução das incertezas quanto ao dimensionamento de terraços.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da agricultura conservacionista no sul do Brasil passa necessariamente pelo estudo dos processos hidrológicos que comandam a formação e a propagação do escoamento superficial. A alocação e o dimensionamento de práticas de controle do escoamento, como os terraços, dependem dessas informações para maximizar sua função e minimizar os custos de construção. Importante enfatizar que o manejo do escoamento superficial tem repercussões positivas além do controle da erosão. O manejo desse excedente de água traz impactos positivos à disponibilidade hídrica para as plantas nos períodos de estiagem que afetam diretamente a qualidade e a quantidade da água nos rios e barragens. O investimento em práticas de controle do escoamento, além de promover o aumento da produtividade das culturas, também presta serviços ecossistêmicos fundamentais para toda a sociedade, como redução das enchentes, melhoria da qualidade da água para o abastecimento urbano, aumento da vida útil dos reservatórios, entre outros benefícios.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE ENGINEERS (ASAE). **Design, layout, construction and maintenance of terraces systems**. St. Joseph: ASAE Standard S268.4, 2003. p. 811-816.
- BARYLA, A.; ZMUDA, R. Determining the spacing of ridge terraces on arable land in central and south-western Poland. **Annals of Warsaw University of Life Sciences**, v. 49, n. 2, p. 57-68, 2017.
- BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive em sistemas de preparo conservacionistas do solo**. 1995. 183f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 417-425, 2000.
- BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. de C.; SANTOS, J. B. dos; GUIMARÃES, M. de F. (org.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. Curitiba: Cubo, 2019. v. 1. 325p.
- BERTONI, J. O. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinação em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.
- CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em terraço de infiltração**. 2021. 104f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAUJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R. **Espaçamento entre terraços em plantio direto**. Londrina: IAPAR, 2010. (Boletim Técnico nº 71).
- CHIN, D. A. **Water resources engineering**. 3. ed. Boston: Pearson, 2011. 939p.
- DAMBROZ, A. P. B.; MINELLA, J. P. G.; TIECHER, T.; MOURA-BUENO, J. M.; EVRARD, O.; PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; BERNARDI, F.; SCHNEIDER, F. J. A.; CERDAN, O. Terrain analysis, erosion simulations, and sediment fingerprinting: a case study assessing the erosion sensitivity of agricultural catchments in the border of the volcanic plateau of Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Nova Iorque, v. 22, n. 10, p.1023-1040, mar. 2022.
- DE MARIA, I. C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas conservacionistas do solo e da água. *In*: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. v. 17. p. 527-587.
- DEDECEK, R.; RESCK, D. V.; FREITAS JUNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho escuro do Cerrado em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 265-272, 1986.
- DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; EVRARD, O. Measuring and modelling soil erosion and sediment yields in a large cultivated catchment under no-till of southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 24-33, 2017.
- ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em Laterítico Bruno avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 117-125, 1984.

- FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; WORKMAN, S. R.; HUFFMAN, R. L.; SCHWAB, G. O. **Soil and water conservation engineering**. 5. ed. Melbourne: Cengage Learning, 2006. 502p.
- FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011. 89p.
- FOSTER, G. R.; JOHNSON, C. B.; MOLDENHAUER, W. C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 25, p. 935-947, 1982.
- FRANCO, A. P. B. **Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento**. 2018. 140f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade do trigo e da soja em Latossolo Vermelho distrófico com diferentes níveis de erosão hídrica. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 7, p. 27-34, 2006.
- GASPAROTO, F. K.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLO, M. E. C. **Análise de tendências climáticas térmicas e hídricas para o Estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/climaticas.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; BRAGA, A. P.; ABRAHAO, W. A. Variabilidade espacial da seção transversal de terraços posicionados em nível. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, p. 1-11, 1998.
- GUPTA, R. S. **Hydrology & hydraulic systems**. 4. ed. Long Grove: Waveland Press, 2017. 871p.
- HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 667-676, 1997.
- JULIEN, P. Y. **River mechanics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2018. 499p.
- Levien, R.; Furlani C. E. A.; Gamero, C. A.; Conte, O.; Cavichioli, F. A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 1003-1010, 2011.
- LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento do canal do terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1989, Campinas. **Anais [...]** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 125-135.
- LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; LEPSCH, I. F. OLIVEIRA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. **Terraceamento agrícola**. Campinas: Coordenadoria da Assistência Técnica Integral, 1991. (Boletim Técnico n° 206).
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coord.). **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Campinas: Coordenação de Assistência Técnica Integral, 1994. (Manual Técnico n° 38).
- LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; MERTEN, G. H.; EVRARD, O. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, Nova Iorque, v. 35, n. 3, p. e1409, 2021a.
- LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; MERTEN, G. H.; EVRARD, O. Quantifying the impact of no-till on sediment yield in southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, Nova Iorque, v. 35, n. 7, p. e14286, 2021b.

- MAGALHÃES, G. M. F. Análise de eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1109-1115, 2013.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I. Modelos hidrológicos. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 394-419.
- MENEZES, D.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R. Monitoring sediment yield for soil and water conservation planning in rural catchments. **Environmental Monitoring and Assessment**, Nova Iorque, v. 192, n. 11, 2020.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C. **Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios**. Londrina: IAPAR, 2016. 116p.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 152, p. 85-93, 2015.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. New Delhi: Wiley India, 2005. 299p.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.
- OLIVEIRA, J. R. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; SILVA, D. P. Comparative analysis of the performance of mixed terraces and level graded terraces. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, p. 351-357, 2012.
- PARANÁ. Resolução SEAB nº 172, de 03 de setembro de 2010. Estabelece critérios para alocação de terraços em sistema de plantio direto, segundo orientações técnicas do Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=144503>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 240p.
- PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; DA SILVA, J. M. A.; OLIVEIRA, J. R. S. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 2009. v. 1. p. 132-165.
- RUFINO, R. L. Terraceamento. In: PEREIRA, L. R. (ed.). **Manual técnico do programa de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR/Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Paraná, 1994. v. 1. p. 218-235.
- SALES, S. J. **Análise comparativa de metodologias para espaçamento entre terraços**. 1998. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. E.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons. Inc., 1993. 508p.
- TELLES, T. S.; ARAÚJO, A. G. de. Evolução do manejo do solo convencional ao conservacionista: panorama da erosão no Paraná. In: MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C. **Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios**. Londrina: IAPAR, 2016. p. 16-26.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Engineering field handbook**. Washington DC: USDA, 2011. (Chapter 8 – Terraces).

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2)**. Washington DC: Science Documentation, 2013.

Vieira, M. J.; Cogo, N. P.; Cassol, E. A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo de solo para a cultura da soja (*Glycinemax* (L.) Merr.) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 209-214, 1978.

03

*Autores***Marcia Regina Calegari****Aline Marques Genú****André Pellegrini****Eduardo Augusto Agnellos Barbosa****Ericson Hideki Hayakawa****Fagner Goes da Conceição****Neyde Fabíola Balarezo Giarola****José Francirlei de Oliveira****Leila Limberger****Thaise Moser Teixeira**

Caracterização fisiográfica das áreas experimentais da redeagropesquisa e mesorregiões geográficas

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo visa à descrição das características fisiográficas naturais e de uso e ocupação do solo das áreas correspondentes às mesorregiões da Rede Agropesquisa, que constituem unidades de referência em monitoramento hidrossedimentométrico em microbacias hidrográficas no estado do Paraná.

As áreas experimentais foram selecionadas visando representar adequadamente cada mesorregião e os processos atuantes, em relação às dimensões de encosta e de bacia que são variadas entre as áreas. Estas representam as paisagens com maior utilização agrícola no Estado do Paraná, considerando a interatividade dos aspectos fisiográficos regionais, dos processos sociais e das redes de comunicação, o que configura um espaço geográfico bem definido atendendo às demandas colocadas na criação da Rede Agropesquisa.

2 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO DA REDE AGROPESQUISA

As áreas experimentais para o estudo e o monitoramento hidrossedimentométrico foram selecionadas em seis mesorregiões do Paraná, contemplando sete bacias hidrográficas de primeira ordem (Quadro 1). À exceção da Mesorregião Noroeste do Paraná (Meso 7), que tem duas bacias hidrográficas (Cianorte e Presidente Castelo Branco), todas as demais mesorregiões têm uma bacia como área experimental (Figura 1).

Quadro 1 – Principais características fisiográficas das mesorregiões definidas pela REDEAGROPESQUISA

Mesorregião	Região/ município	Clima ⁽¹⁾	Unidade morfoestrutural ⁽²⁾	Geologia ⁽³⁾	Sistema pedológico representativo ⁽⁴⁾
Meso 2	(Campos Gerais)/ Ponta Grossa	Cfb	Segundo Planalto	Rochas sedimentares – Formações Ponta Grossa e Furnas (Devoniano)	Latossolo de textura argilosa e Cambissolo de textura argilosa, relevo ondulado
Meso 3	(Centro Sul)/ Guarapuava	Cfb	Terceiro Planalto	Rochas eruptivas básicas – Grupo e Supergrupo Serra Geral (Juro-Triássico)	Latossolo de textura muito argilosa e Cambissolo de textura argilosa, relevo ondulado
Meso 4	(Sudoeste)/ Dois Vizinhos	Cfa/Cfb			Latossolo de textura muito argilosa e Nitossolo de textura argilosa, relevo ondulado
Meso 5	(Norte)/ Cambé	Cfa			Latossolo de textura muito argilosa e Nitossolo de textura argilosa, relevo ondulado
Meso 6	(Oeste)/ Toledo	Cfa			Latossolo de textura muito argilosa e Nitossolo de textura argilosa, relevo ondulado
Meso 7	(Noroeste)/ Presidente Castelo Branco e Cianorte	Cfa			Arenito – Grupo Caiuá

Fontes: (1) Nitsche *et al.* (2019); (2) MINEROPAR e UFPR (2006); (3) Arioli e Licht (2013); Arioli; Salazar Jr. (2014); Licht; Arioli (2018); (4) Critério apresentado na Chamada de projetos 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio à Agropesquisa e Formação Aplicada FUNDAÇÃO/SETI-PR/SENAR-PR.

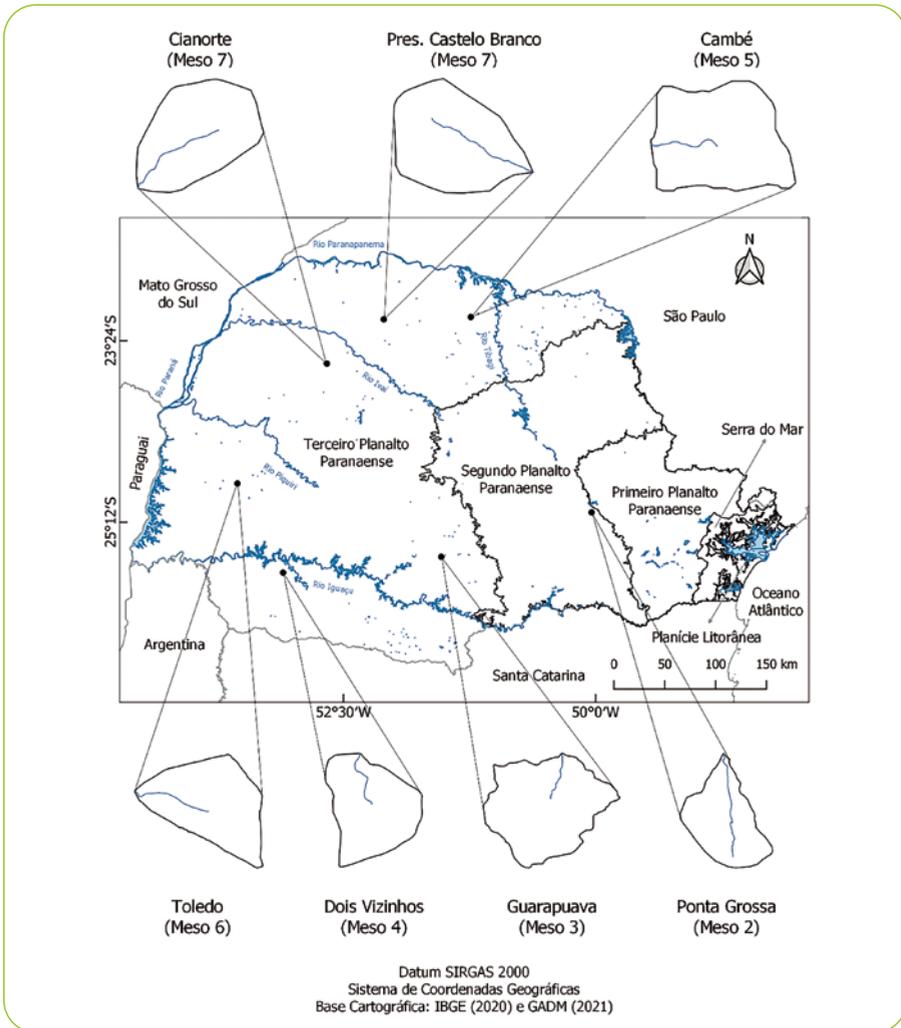


Figura 1 – Localização das áreas experimentais e suas respectivas sub-bacias onde estão instaladas as megaparcels para monitoramento hidrossedimentométrico da Rede Agropesquisa

Fonte: Confeccionado por Fagner Goes da Conceição (2022).

2.1 Mesorregião 2 (Ponta Grossa)

A área representativa da **Meso 2 (Ponta Grossa)** está localizada no município de Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, no Segundo Planalto Paranaense (MAACK, 2002; MINEROPAR; UFPR, 2006).

As megaparcelas experimentais estão instaladas em uma bacia de ordem zero, no interior da Fazenda Escola Capão da Onça, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Essas megaparcelas foram posicionadas em encosta convergente do escoamento, que se conecta à jusante em um curso de 1ª ordem, tributário do Rio Verde. Geograficamente, a área está localizada a 25°05'31,3 – sul e 50°03'28,0 – oeste, a uma altitude média de 990 m acima do nível do mar.

A bacia hidrográfica experimental tem uma área de 75,3 ha e perímetro de 3145,7 m. Seu formato é circular e seu índice de compacidade de 1,03. O curso d'água tem baixa sinuosidade, com comprimento de 1.306 m. O vale tem formato em “V”, fechado, com canal confinado e retilíneo e gradiente topográfico de 78 m (947 a 1.025 m). A cobertura vegetal na bacia é bastante similar àquela verificada na região do Alto Tibagi, com predomínio da agricultura para produção de grãos no sistema de plantio direto (SPD) e floresta plantada com pinus.

Na encosta selecionada foram instaladas as duas megaparcelas, cada uma com área de aproximadamente 1,54 ha, com predomínio de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico. A área é cultivada no sistema de plantio direto em longa duração (há mais de duas décadas). Em novembro de 2019, seguindo os padrões da Rede Agropesquisa, os terraços agrícolas de infiltração em nível foram construídos, e o cultivo de grãos foi realizado.

A região na qual a área experimental da Meso 2 está inserida é parte da unidade morfoescultural Planalto de Ponta Grossa (MINEROPAR; UFPR, 2006), pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná. Nessa unidade geomorfológica predominam paisagens com relevo plano a suavemente ondulado em 50% de seu território, com declividades de 0 a 10% (PAROLIN *et al.*, 2010).

O expressivo processo geomorfológico de dissecação regressiva na paisagem produziu áreas com vales aprofundados e encostas íngremes, portanto, mais suscetíveis à ação dos processos erosivos. No Planalto de Ponta Grossa é comum a ocorrência de topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas e vales em “U”, modelados sobre rochas sedimentares dos Grupos Itararé e Paraná (MINEROPAR; UFPR, 2006).

A geologia é representada por rochas do Paleozoico, pertencentes às Formações Ponta Grossa e Furnas (Grupo Paraná), do Período Devoniano (Figura 2). Essas unidades geológicas foram afetadas pelos fenômenos de deformação rúptil (falhas e fraturas) durante a principal fase de deformação ao longo do Arco de Ponta Grossa, durante o Mesozoico (ZALÁN *et al.*, 1991), cujos efeitos são expressos na paisagem.

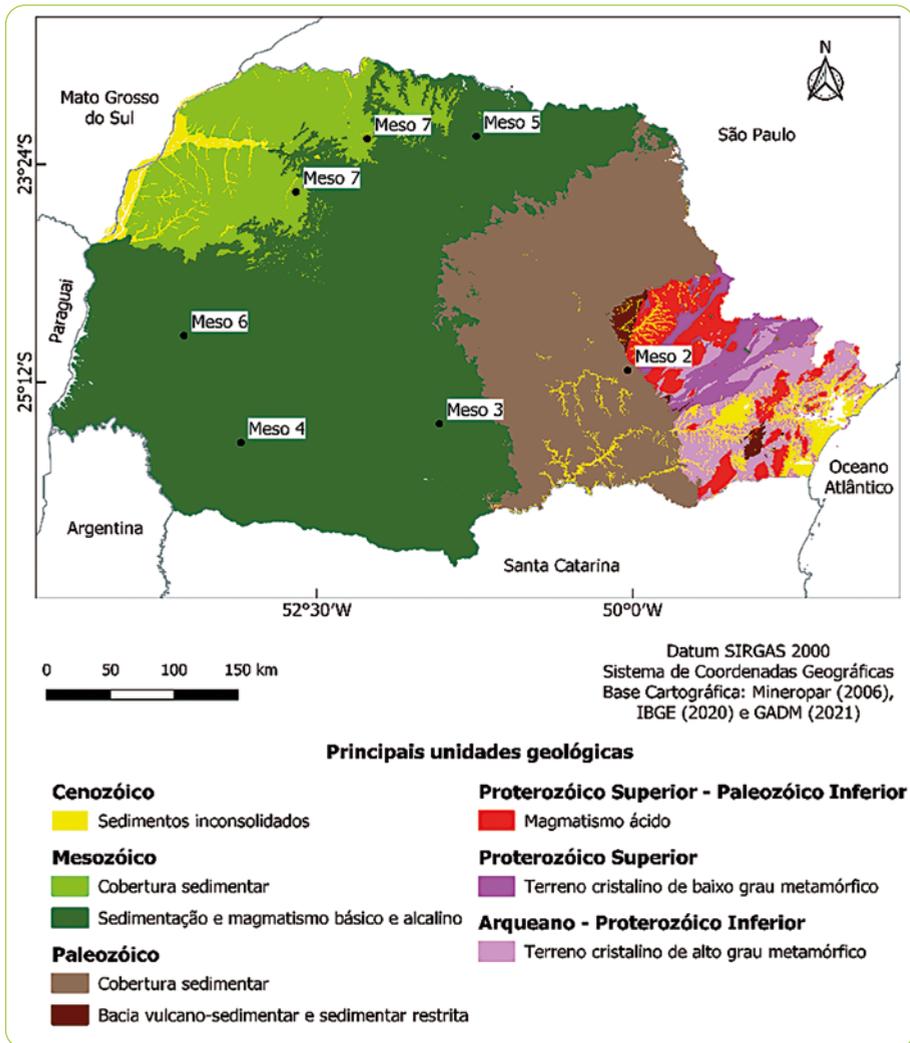


Figura 2 – Unidades geológicas do Estado do Paraná
Fonte: Confeccionado por Fagner Goes da Conceição (2022).

A Formação Ponta Grossa é constituída predominantemente de folhelhos e argilitos fossilíferos com estratificação sub-horizontal, dispostos na forma de camadas com espessura métrica a decamétrica. Secundariamente ocorrem leitos subordinados de areia fina a muito fina, com espessura métrica a submétrica, na forma de camadas relativamente delgadas ou em lentes lateralmente descontínuas. A formação Furnas é constituída por arenitos esbranquiçados,

levemente amarelados ou ainda localmente arroxeados, médios a grossos, regularmente selecionados, apresentando grãos angulares e subangulares, quartzosos e com matriz caulínica. Secundariamente, ocorrem intervalos de pequena espessura de arenitos conglomeráticos, arenitos finos e siltitos argilosos micáceos (PINESE, 2002).

As rochas dessas formações deram origem a solos que variam de muito a pouco desenvolvidos pedogeneticamente. De modo geral, os solos pouco desenvolvidos são frágeis, pouco férteis, arenosos e de pouca espessura, como os Neossolos Litólicos, que também apresentam elevada acidez e são muito suscetíveis à erosão; os Cambissolos variam de rasos a pouco profundos, moderadamente a mal drenados, com altos teores de alumínio e limitado uso agrícola (BHERING; SANTOS, 2008). Dentre os solos mais profundos se destacam os Latossolos Vermelho Amarelos, que apresentam baixa fertilidade natural (BHERING; SANTOS, 2008) e, embora ocorram em área de relevo mais planos, comumente apresentam processos erosivos.

De modo geral, esses solos têm boa permeabilidade e contribuem para o surgimento de dezenas de nascentes que abastecem os corpos hídricos. Ao longo dos principais lineamentos estruturais, foram formados a rede drenagem principal e seus tributários, cujas áreas ripárias favoreceram o desenvolvimento de matas de galeria e, nas encostas com solos mais favoráveis, capões de mata típicos com araucária, diversificando a paisagem original dos Campos Gerais (BODZIAK JR.; MAACK, 2001).

A Bacia do Alto Tibagi, na qual a área está inserida, tem baixo índice de cobertura vegetal, e o uso do solo predominante é a agricultura (60,64%), com destaque para a produção de grãos no sistema de plantio direto e floresta plantada (16,2%). As áreas com floresta nativa e pastagem e/ou campos naturais representam 6,86% e 6,62% da área da bacia, respectivamente. A demanda hídrica da bacia varia de 3.000 a 6.000 L/s, com predominância de manancial superficial, para uso industrial e abastecimento urbano. O índice de qualidade da água é bom, sendo esta caracterizada como pouco poluída (IPARDES, 2013).

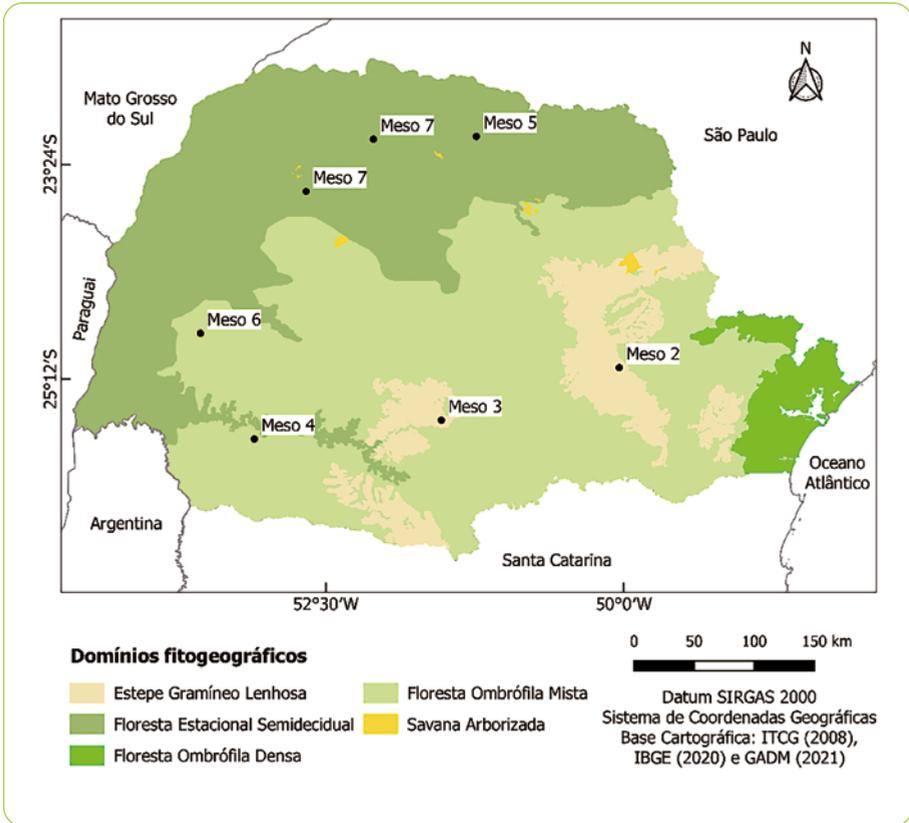


Figura 3 – Domínios fitogeográficos do Estado do Paraná
Fonte: Confeccionado por Fagner Goes da Conceição (2022).

O clima predominante na área da Meso 2 é subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação climática de Köppen, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C e temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C, sem estação seca definida (Figura 4). A região tem, de acordo com o Atlas Climático do Paraná (NITSCHKE *et al.*, 2019), precipitação anual variando entre 1.400 e 1.600 mm, e a evapotranspiração potencial média varia entre 800 e 1.000 mm anuais (NITSCHKE *et al.*, 2019). O regime pluvial é distinto entre as estações do ano, sendo o maior regime pluvial no verão, com precipitações variando de 400 a 600 mm, e menores precipitações no inverno, com valores entre 200 e 400 mm (NITSCHKE *et al.*, 2019). Em todos os meses chuvosos, as precipitações acumuladas são de mais de 80 mm.

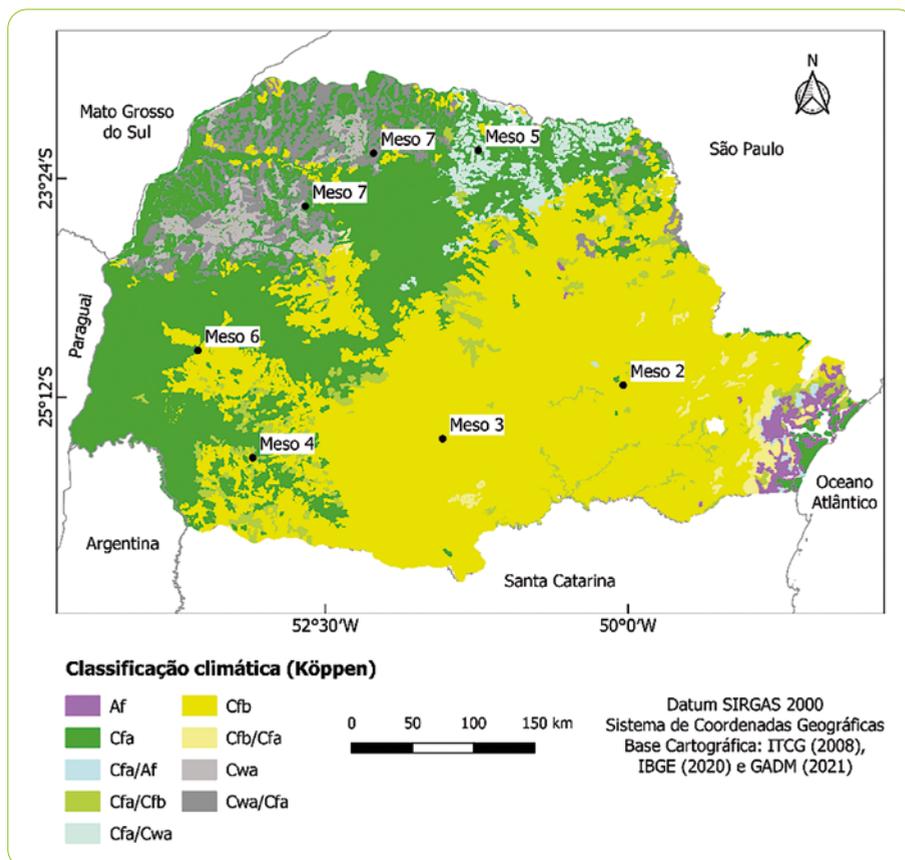


Figura 4 – Classificação climática do Estado do Paraná

Fonte: Confeccionado por Fagner Goes da Conceição (2022).

A estrutura agrária regional surgiu com a ocupação pioneira do “Paraná Tradicional”, caracterizada pelas primeiras áreas ocupadas no litoral, primeiro planalto paranaense e Campos Gerais (SERRA, 1992). Nesse período, as atividades agrícolas na região foram baseadas nos latifúndios campeiros, caracterizados pela criação de gado, pelo beneficiamento de erva-mate e por serrarias de pinheiros. No fim do século XVIII, os campos praticamente já estavam ocupados com atividades agrícolas e, na passagem para o século XIX, ocorreu o declínio da atividade pecuária e teve início uma economia baseada na extração e no beneficiamento de madeira e erva-mate, sendo a atividade madeira uma das responsáveis pelo desenvolvimento das cooperativas na região, em meados do século XX (SERRA, 1992).

No século XX, a produção de grãos, como trigo e arroz, ganhou destaque na região de Ponta Grossa, com posterior introdução das lavouras de soja a partir das décadas de 1950 e 1960. Com o incentivo à produção dessa oleaginosa, o binômio trigo-soja passou a predominar na região a partir da década de 1970. Nesse mesmo período ocorreram as primeiras experiências com o plantio direto na região, sistema que rapidamente se popularizou entre os produtores de grãos do Paraná. Atualmente, o cultivo de grãos no sistema de plantio direto, com a produção de soja/milho no verão e trigo/aveia no inverno, predomina nas lavouras da região Centro-Oriental, sendo que nessa condição de cultivo estão instaladas as megaparcelas experimentais e a bacia hidrográfica monitorada no projeto.

2.2 Mesorregião 3 (Centro-Sul)

O local selecionado como representativo da **Meso 3 (Centro-Sul)** é uma bacia de primeira ordem localizada no Distrito de Entre Rios, município de Guarapuava, inserido na Mesorregião Geográfica Centro-Sul Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004a). A bacia hidrográfica está localizada a 25°32'1.07" sul e 51°31'54.05" oeste e pertence à sub-bacia do Rio Quebra Joelho, tributário do Rio Jordão, que é o principal afluente da margem direita do Rio Iguaçu (PARANÁ, 2008). A bacia hidrográfica tem uma área de 119,30 ha, perímetro de 4.634,86 m e gradiente topográfico de 40 m (1.070 a 1.110 m).

Geologicamente, a bacia é formada por rochas intermediárias ácidas datadas do Jurássico Superior-Cretáceo Inferior pertencente ao Membro Guarapuava da Formação Covó, Grupo Serra Geral (ARIOLI; LICHT, 2013) (Figura 2). A Formação Covó compreende o topo da sequência vulcano-sedimentar Serra Geral e, neste, o Membro Guarapuava é uma das unidades vulcânicas mais recentes, com espessura variando de 60 a 90 m e predomínio de riodacitos constituídos de plagioclásios, felsdspatos potássicos, piroxênios, magnetita e quartzo (MINEROPAR, 2013). Essas rochas dão origem aos cambissolos encontrados nas áreas mais altas da bacia hidrográfica, próximo ao divisor de águas, enquanto no restante da bacia predominam os Latossolos Brunos de textura argilosa.

A área está inserida no Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2002), no Planalto de Guarapuava/Palmas, que está em altitude entre 520 e 1.300 m, declividade menor do que 8%, baixa denudação, topos aplainados com vertentes retilíneas e convexas e vales em “U” (MINEROPAR; UFPR, 2006).

A bacia hidrográfica está inserida na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista com Araucária (FOM) ou Floresta de Araucária (Figura 3), sendo as-

sim denominada devido à presença natural do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze) (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). O uso do solo atual é voltado para a produção de grãos, similar ao padrão regional, que é predominante com cultivo de soja e milho no verão e de trigo, cevada e aveia no inverno, em sistema plantio direto, sem terraços.

O clima na região é subtropical úmido mesotérmico (Cfb), de acordo com a classificação climática de Köppen, sem estação seca definida e temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (Figura 4). A temperatura média anual é de 17°C, e a precipitação é superior a 1.700 mm, bem distribuída ao longo do ano (SALTON *et al.*, 2016). Nas áreas de menor altitude dessa região, ao longo dos principais rios, ocorre o clima subtropical úmido (Cfa), com verões quentes, geadas pouco frequentes e precipitação pluvial mais concentrada no verão (NITSCHKE *et al.*, 2019).

A Bacia do Rio Jordão, na qual a área experimental está inserida, apresenta, em ordem decrescente de área, Latossolo Bruno, Neossolo Litólico, Cambissolo, Nitossolo e Latossolo Vermelhos (PARANÁ, 2008), sendo que na área experimental da Meso 3 ocorrem Latossolo Bruno e Cambissolo.

A cobertura natural na área é hoje constituída de fragmentos esparsos de mata, geralmente encontrados em fundos de vale ou locais de alta declividade, como resultado da intensa atividade antrópica na região, inicialmente de forma extrativista, com a exploração da erva-mate, da araucária e de outras espécies associadas, como a imbuia, e depois com a necessidade de expandir as fronteiras agrícolas (PARANÁ, 2008). Atualmente, a bacia é de intenso uso agrícola, com propriedades rurais que realizam o cultivo de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) no verão e cereais como trigo (*Triticum* spp), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e aveia (*Avena*) no inverno, em sistema de plantio direto, sem terraços.

2.3 Mesorregião 4 (Sudoeste)

A **Meso 4 (Sudoeste)** está representada pela área experimental alocada em uma bacia hidrográfica de segunda ordem, localizada no município de Dois Vizinhos, na Mesorregião Geográfica do Sudoeste Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004b), dentro da área da Fazenda experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV). Geograficamente, a área está situada a 25°41'55" sul e 53°06'01" oeste e em altitude média de 560 m acima do nível do mar. O córrego que drena a bacia hidrográfica em estudo é um afluente do Riacho Erveira, que deságua próximo à foz do Rio Chopim, na região hidrológica do Baixo Iguaçu.

As megaparcelas experimentais foram instaladas em uma vertente retilínea, com declividade média de 8%. A área tem terraços de base larga e vinha sendo cultivada sob plantio direto há mais de 15 anos.

Regionalmente, a vocação agrícola está associada à homogeneidade geomorfológica da paisagem decorrente do predomínio de relevo plano a ondulado, com declividade <10% na maior parte da região, onde predominam solos profundos e mais desenvolvidos pedogeneticamente.

O sudoeste paranaense, inserido no Terceiro Planalto, tem seu relevo modelado pelo Rio Iguaçu e seus afluentes, sendo o Rio Chopim o principal. A geologia da região é constituída de basalto (Figura 2) das Formações Covó, Candói e Barracão, do Grupo Serra Geral, de idade Juro-Cretácea (ARIOLI; LICHT, 2013).

Nas áreas de relevo ondulado a suave ondulado predominam solos profundos e desenvolvidos pedogeneticamente, com predomínio do Nitossolo Vermelho, do Latossolo Vermelho argiloso e muito argiloso e, por vezes, associações entre essas duas classes. As transições e associações de Nitossolo Vermelho/Cambissolo/Neossolo ocorrem nas áreas de relevo mais dissecado, classificado como relevo ondulado a forte ondulado (BHERING; SANTOS, 2008).

O clima na região é do tipo subtropical úmido (Cfa) (Figura 4), com precipitações bem distribuídas durante as quatro estações do ano e acumulado entre 1900 e 2200 mm por ano (ALVARES *et al.*, 2014). Em relação à precipitação no município de Dois Vizinhos, outubro é o mês mais chuvoso, com média de 243 mm (VIEIRA *et al.*, 2018). A temperatura média mínima no mês mais frio (julho) é inferior a 18°C, e a máxima (janeiro) é superior a 22°C, sem estação seca, com verão quente e geadas menos frequentes (ALVARES *et al.*, 2014). A erosividade média na região é a maior do Estado do Paraná e varia entre 10.000 e 12.000 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ (WALTRICK *et al.*, 2015).

A vegetação original nessa região pertence à Floresta Estacional Semidecidual (FES) em transição para a Floresta Ombrófila Mista (FOM) (Figura 3). A FES é caracterizada pela perda de 20% a 50% das folhas de seus indivíduos no período hibernar, enquanto a FOM é caracterizada pela presença da araucária entre as espécies arbóreas (BERTOLINI *et al.*, 2012; IBGE, 2012).

2.4 Mesorregião 5 (Norte)

A **Meso 5 (Norte)** é representada pela área experimental, instalada no município de Cambé (Figura 1), localizada entre as coordenadas geográficas 23°9'58" sul e 51°14'15" oeste. Essa área faz parte da Mesorregião Geográfica Norte Central Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004c) e está inserida em

uma bacia hidrográfica de primeira ordem, com curso de água afluente do Ribeirão Vermelho, que faz parte da região hidrográfica do Paranapanema 3. A bacia hidrográfica tem 186,62 ha de área de contribuição, perímetro de 5.706,37 m, com comprimento de rampa mais longa da encosta de 805 m e gradiente topográfico de 55 m (521 a 576 m acima do nível do mar).

As megaparcelas experimentais foram instaladas em encostas de perfil de curvatura plana e plana-convexa e 12% de declividade média. Ambas as parcelas têm uma área de 2,67 ha. Da nascente até a seção de monitoramento da bacia hidrográfica, o rio tem 776 m de extensão com baixa sinuosidade e declividade média de 2%.

As classes de solos encontradas dentro da área experimental são o Latossolo Vermelho Distrófico, que se distribui nos setores de topo, e o Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico, predominante na meia encosta e no sopé da vertente, sendo ambas as classes de textura muito argilosa. O relevo local é suave ondulado a plano e o perfil de curvatura é linear-côncavo.

A cobertura vegetal natural predominante na área da bacia pertence à Floresta Estacional Semidecidual, que foi retirada durante o processo de ocupação na região entre os séculos XIX e XX (SERRA, 1992). Até a década de 1970, a área vinha sendo utilizada para produção de grãos de café. A partir da década de 1980, passou a ser utilizada para produção de soja e milho em sistema mecanizado (aração e gradagens) e, desde a década de 2000 até atualmente, a área é utilizada para produção de grãos, com sucessão soja/verão e milho/inverno sob sistema de plantio direto. O preparo do solo é realizado por meio de escarificação e gradagem leve a cada três anos, aproximadamente, sendo que a última escarificação foi realizada em agosto de 2019.

A maior parte da região onde a Meso 5 está inserida faz parte do Terceiro Planalto e é uma das principais áreas produtoras de grãos do Estado. A geologia dessa região é constituída predominantemente por rochas eruptivas básicas do Grupo Serra Geral, de idade Juro-Cretácea (ARIOLI; LICHT, 2013), recobertas, a noroeste, por rochas de arenito do Grupo Caiuá (Figura 2).

No relevo regional predominam baixa dissecação, topos aplainados e vertentes retilíneas e côncavas na base, sendo que em mais de 96% dessa subunidade a declividade é <6 a 12% (MINEROPAR; UFPR, 2006). Em relação às classes de solo, as mais comuns na região são Latossolo Vermelho Distroférico típico no topo de encosta, Latossolo Vermelho Distroférico nitossólico na meia encosta e Nitossolo Vermelho Distroférico típico no sopé (BHERING; SANTOS, 2008).

Na região hidrográfica onde está inserida a área de estudo, o solo é predominantemente utilizado na agricultura para lavouras temporárias, e a pas-

tagem é o segundo tipo predominante de uso do solo, enquanto a Floresta Estacional Semidecidual nativa está presente em menos de 6% da área (ITCG, 2013) (Figura 3).

Os solos da área, assim como na maior parte do Terceiro Planalto Paranaense, são predominantemente férteis e classificados com aptidão agrícola boa a regular. Um dos desafios da agricultura nesse planalto é o controle da erosão em função do uso inadequado do solo e de eventos de precipitação com alto poder erosivo (WALTRICK *et al.*, 2011; 2015) devido a elevada erosividade das chuvas, principalmente durante eventos climáticos como o El Niño e La Niña. O objetivo deste trabalho foi estimar a erosividade das chuvas para o estado do Paraná e avaliar a influência dos eventos climáticos El Niño e La Niña. A erosividade das chuvas foi estimada utilizando-se o método pluviométrico. A influência dos fenômenos El Niño e La Niña, foi determinada, separando-os em períodos: Geral, Neutro, El Niño e La Niña. À partir dos dados de precipitação média mensal (p).

O clima na região da Meso 5 é subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação climática de Köppen (Figura 4), com temperatura anual média de 20,4°C, verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com precipitação média anual de 1.466 mm, concentradas principalmente nos meses de verão (IMPrensa ITAIPU, 2018; NITSCHKE *et al.*, 2019).

2.5 Mesorregião 6 (Oeste)

A **Meso 6 (Oeste)** está representada pela área experimental alocada em uma bacia hidrográfica de primeira ordem de um tributário do Rio Lopeí. Geograficamente, a área está localizada a 24°48'44.77" sul e 53°33'30.36" oeste, na localidade denominada Esquina Memória, no grande divisor de águas entre os municípios de Toledo e Cascavel, na Mesorregião Geográfica do Oeste Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004d). Essa região se destaca no cenário agropecuário por ser uma das principais produtoras de grãos e demais produtos agropecuários paranaense.

A área da bacia hidrográfica é de 189,90 ha, e o curso d'água tem 1.000 m de extensão. A bacia hidrográfica está inserida no Planalto de Cascavel, no extremo leste da Bacia do Paraná 3 (BP3) e limite com a Bacia do Rio Piquiri (OLIVEIRA, 2019). Essa bacia hidrográfica tem forma alongada, vale dissimétrico em "V" aberto, com canal confinado. O gradiente topográfico é de 107 m (587 a 694 m acima do nível do mar) e o relevo local varia de suave ondulado (3-8% de declividade), nos segmentos de topo e média alta vertente, a ondulado (8-20%), nos segmentos de jusante e média baixa vertente (OLIVEIRA, 2019).

Uma estreita faixa de mata ciliar (vegetação secundária) ocupa uma área de 6,88 ha no setor de fundo de vale, com espécies representativas da Floresta Ombrófila Mista, como a *Araucaria angustifolia*, e fitofisionomia predominante na região. O uso do solo na área é o mesmo desde a década de 1980, com predomínio do cultivo de grãos com culturas de verão e inverno, com adoção de sistema de plantio direto com terraceamento. Na área da bacia, a mudança no sistema viário promoveu a realocação e/ou desativação de alguns carregadores, sobretudo na margem direita do vale (OLIVEIRA, 2019).

A geologia é constituída por derrames basálticos juro-cretáceos do Supergrupo São Bento (ARIOLI; LICHT, 2013) (Figura 2). As rochas pertencentes a esse grupo, que afloram na região da área do estudo, são da Formação Barracão (Membros Flor da Serra do Sul e Cantagalo) e da Formação Cascavel (Membros Toledo, Santa Quitéria e Foz do Iguaçu) (ARIOLI; LICHT, 2013). Na área da Bacia do Arroio Esquina Memória, a geologia é formada por rochas do Membro Toledo, que representa a subunidade mais espessa e extensa da Formação Cascavel. Esse membro tem espessura total aparente que atinge até 380 m, sendo composto, essencialmente, por basalto maciço de coloração cinza-arroxeadado, com rochas vulcanoclásticas subordinadas, procedentes predominantemente de derrames tabulares (ARIOLI; LICHT, 2013). Esse substrato contribuiu para formação e evolução de um relevo composto por interflúvios alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, com predomínio de declividades entre 6 e 12% (ARIOLI; SALAZAR JR., 2014), pertencentes aos Planaltos de Cascavel, São Francisco (MINEROPAR; UFPR, 2006).

A geografia dos solos da região expressa a relação forte com o relevo regional, com predomínio de sequências de solos compostas por Latossolos Vermelho Distroférico nos segmentos de topo e ao longo dos interflúvios, Nitossolo Vermelho Distroférico na média vertente e, solos rasos (Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico) e Cambissolo nos setores mais íngremes, quase sempre associados às rupturas de declividade que definem as mudanças de derrames em escala regional e na escala da vertente condicionam os segmentos de fundo de vale (BHERING; SANTOS, 2008). Naquelas áreas onde os fundos do vale são amplos ocorre o desenvolvimento de Neossolo Flúvico.

A formação vegetal é composta por Floresta Ombrófila Mista com Araucária (FOM) e formação Montana, que ocorrem em altitudes entre 500 e 1.000 m (Figura 3), e pela Floresta Estacional Semidecidual (FES) nas áreas abaixo de 500 m de altitude. A FOM está associada a áreas que, devido à altitude, apresentam ocorrência de baixa temperatura, possibilidade de geadas no inverno e, durante o ano, chuvas bem distribuídas (MAACK, 2002), enquanto a FES ocorre nas áreas com temperatura mais alta, típicas do clima Cfa.

A região está sob influência do clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen (Figura 4). Devido à estacionalidade dos sistemas de alta e baixa pressão, na região predominam verões quentes e com maior índice pluviual nessa época do ano (BORSATO; MENDONÇA, 2013). Na região não há estação seca definida, e a precipitação média anual é de 1.600 mm a 1.800 mm (BORSATO; MENDONÇA, 2013; CAVIGLIONE *et al.*, 2000; LIMBERGER, 2007). A temperatura média no período mais frio é inferior a 18°C, e a temperatura média no período mais quente é superior a 22°C. Nas áreas de maior altitude, ao longo dos principais divisores de água, ocorre o clima subtropical mesotérmico (Cfb), com verões frescos e invernos intensos, com fortes e frequentes geadas, sem estação seca definida, com temperatura média inferior a 22°C nos meses mais quentes e inferior a 18°C nos meses mais frios, enquanto a precipitação média anual varia entre 1.700 e 1.800 mm (NITSCHE *et al.*, 2019).

Regionalmente, a partir da década de 1950 a vegetação nativa foi removida para exploração de madeira e, consecutivamente, as áreas foram usadas para o cultivo de grãos (milho, soja e trigo) (SERRA, 1992). Devido ao processo de ocupação, os remanescentes de vegetação nativa, de modo geral, ficaram restritos às áreas de preservação permanente, no fundo de vale, como vegetação ciliar com finalidade de proteção dos cursos d'água e nascentes e, em alguns locais, com maior declividade, constituindo uma reserva legal.

2.6 Mesorregião 7 (Noroeste)

A **Meso 7 (Noroeste)** é composta por duas unidades de estudo da Rede Agropesquisa, sendo uma localizada no município de Cianorte e outra em Presidente Castelo Branco, ambos pertencentes à Mesorregião Geográfica Noroeste Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004e).

Em Cianorte, a bacia hidrográfica está localizada a 23°37'43" sul e 52°39'54" oeste, inserida na área da sub-bacia hidrográfica do Rio dos Índios, afluente do Rio Ivaí, que tem 1.236 m de extensão. A calha Parshall está instalada a 166 m da nascente. A bacia hidrográfica do Rio dos Índios tem aproximadamente 5,8 km de perímetro e 192 ha. Apresenta cerca de 6% de declividade, gradiente topográfico de 48 m (496 a 448 m acima do nível do mar), vale em "V" aberto e predomínio de Latossolo Vermelho Distrófico, textura média.

No município de Presidente Castelo Branco, a bacia hidrográfica está localizada sob as coordenadas geográficas 23°11'27" sul e 52°06'0.16" oeste. Essa área é drenada por um afluente do Córrego da Tába que tem 1.374 m de extensão e deságua no Ribeirão Jacupiranga, tributário do Rio Pirapó. A bacia hidrográfica tem aproximadamente 5,3 km de perímetro e área de aproximada-

mente 195 ha. Apresenta declividade de 8%, gradiente topográfico de 74 m (542 a 468 m acima do nível do mar), vale em “V” aberto e predomínio de Latossolo Vermelho Distrófico, textura média.

A geomorfologia regional do Noroeste é representada pelos Planaltos de Umuarama, Paranaíba e, em menor proporção, pelo Planalto de Campo Mourão (MINEROPAR; UFPR, 2006). De modo geral, o relevo tem uma conformação bastante uniforme, com arenitos pertencentes ao Grupo Caiuá e, em menor proporção a leste, os basaltos característicos do Grupo Serra Geral (Figura 2).

Os arenitos do Grupo Caiuá são friáveis e de granulação fina a média, frações muito fina e grossa, e matriz lamítica e geral inferior a 5%, seleção moderada a boa, coloração marrom-avermelhada e arroxeadas, películas de óxidos de ferro ou limonita, provenientes de processos secundários, recobrando os grãos (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

Regionalmente, predominam características morfológicas suaves, extensas chapadas e platôs suavemente ondulados, com divisores de água arredondados, elaborados pela rede de drenagem (MAACK, 2002). O relevo plano predomina na região, uma vez que 35% da mesorregião apresenta declividade de 0 a 3% (menor que 3 graus), principalmente nos vales dos rios Ivaí, Paraná e Paranapanema (IPARDES, 2004f).

Na região noroeste paranaense, a maioria dos solos é autóctone, pobre e de baixa fertilidade natural, friável e de textura média a arenosa, caracterizando-se como frágil, de alta suscetibilidade à erosão (MAACK, 2002; FIDALSKI *et al.*, 2013). Em muitas situações, o teor de areia total é alto, enquanto o teor de areia fina é baixo, o que resulta em baixa capacidade de retenção de água no solo (FIDALSKI *et al.*, 2013). Os atributos dos solos, especialmente as propriedades químicas, na maior parte da mesorregião são resultantes do material de origem, os arenitos do Grupo Caiuá.

O Latossolo Vermelho de textura média ocupa os espigões e interflúvios, em posição de topos aplainados e altas vertentes. Nas áreas de relevo mais dissecado, de vertentes convexas, com declividade ligeiramente acentuada, mais comumente do terço inferior em direção ao fundo dos vales mais amplos, predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo abruptos, de textura média. Os Neossolos Quartzarênicos, muito friáveis e altamente suscetíveis aos processos erosivos, são encontrados, na maioria das vezes, em posição de baixa vertente associada aos solos com hidromorfia.

A vegetação natural da região é composta, predominantemente, por Floresta Estacional Semidecidual (FES), seguida de Campos Inundáveis (nas áreas de várzeas) e, em menor proporção, a vegetação de Estepes (IPARDES, 2004f; ITCG, 2013) (Figura 3). O processo de ocupação promoveu o desmatamento e a consequente redução dos recursos florestais, além de expor os solos aos processos erosivos (MUZILLI *et al.*, 1991).

As áreas experimentais da Meso 7, inseridas na Mesoregião Noroeste, estão sob condições do clima subtropical úmido (Cfa) (Figura 4), com verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão (MAACK, 2002; NITSCHKE *et al.*, 2019). A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.600 mm (NITSCHKE *et al.*, 2019). A temperatura média dos meses mais quentes é superior a 22°C e menor do que 18°C nos meses mais frios (NITSCHKE *et al.*, 2019)

O uso do solo é bem diversificado com atividades pecuária e agrícola (cana-de-açúcar, soja, trigo e milho). Em especial, na área utilizada para o estudo, o solo é ocupado, na grande maioria, por culturas anuais (mandioca e soja) e áreas menores, por pastagem.

3 CARACTERIZAÇÃO DOS CICLOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO NAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DA REDE AGROPESQUISA

O Paraná tem condições de transição climática entre os climas subtropical e tropical. Nas regiões norte e noroeste, áreas de abrangência das Meso 5 e 7 da Rede Agropesquisa, respectivamente, ocorre maior diferenciação entre as estações seca e chuvosa, o que se assemelha com o clima tropical, em contraposição à região sudoeste (Meso 4), que tem chuvas mais bem distribuídas durante o ano (CARAMORI *et al.*, 2001; PEREIRA *et al.*, 2008; RICCE *et al.*, 2014; FERREIRA, 2017).

A variação entre o ciclo anual de chuva também se reflete no total anual, sendo que na faixa sul os totais anuais podem chegar a 2.000 mm ou mais, enquanto na faixa norte/noroeste/centro a chuva total anual varia entre 1.200 e 1.600 mm, como evidenciado nos municípios das áreas experimentais da Rede Agropesquisa e de seu entorno (Figura 5).

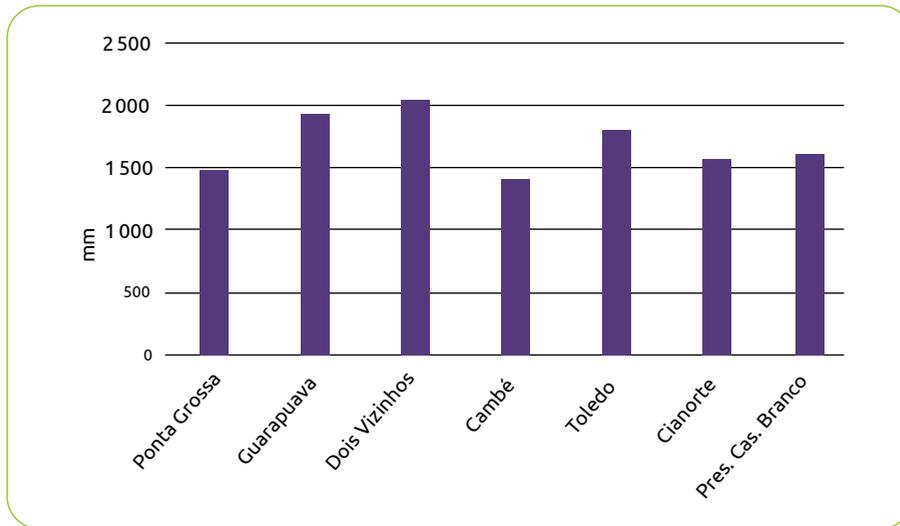


Figura 5 – Total anual médio de precipitação durante o período de 1977 a 2018 nas estações climatológicas abrangidas pela REDEAGROPESQUISA

Fonte: SIMEPAR (2022).

Os totais anuais de precipitação são maiores no sudoeste do estado (Dois Vizinhos), com mais de 2.000 mm anuais, enquanto Cambé, Cianorte e Presidente Castelo Branco, localizadas no norte e noroeste, têm precipitação anual de, aproximadamente, 1.500 mm. Ponta Grossa (Meso 2), que cuja precipitação total anual é de, aproximadamente, 1.500 mm, está em uma área do estado que tem valores de precipitação intermediários entre o litoral, que recebe umidade do oceano e resulta em altos totais pluviais, e o sudoeste (Meso 4), que tem alta pluviosidade por ser local preferencial de passagem de frentes frias, ingresso de umidade por Jatós de Baixos Níveis (JBN) da Amazônia (chamados “rios voadores”) e pelo desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), o que favorece chuvas durante todo o ano (REBOITA *et al.*, 2010).

No oeste do Paraná (Meso 6) ocorrem dois tipos climáticos subtropicais, o Cfa e Cfb, de acordo com a classificação de Köppen (Figura 4). O clima Cfa ocorre nas regiões norte, noroeste, oeste e sudoeste do Paraná, onde os verões são quentes, sendo o mês mais quente com temperatura média acima de 22°C, e o mês mais frio com temperaturas inferiores a 18°C, sendo considerado mesotérmico (ZANÃO JR.; FARIA; CARAMORI, 2015; FERREIRA, 2017; ROCHA; BADE, 2018).

Nas áreas mais altas do Paraná, nas regiões sul, leste e nordeste, ocorre o tipo climático Cfb, que é caracterizado por ser temperado e úmido, com inexistência de estação seca, considerado mesotérmico, com verões frescos e inverno bem definidos. A precipitação pluvial em todos os meses do ano tem média anual de, aproximadamente, 1.800 mm a 2.000 mm. Nos meses mais quentes, a temperatura média é superior a 22°C, e nos meses frios, superior a 10°C, com possibilidade de severas e frequentes geadas (FERREIRA, 2017).

A distribuição média mensal da chuva foi obtida para o período de 1977 a 2018 para os sete municípios estudados, ou próximos deles, pela Rede Agropesquisa (Tabela 1; Figura 6). No município localizado no sudoeste do Estado (Dois Vizinhos), a chuva, que é bem distribuída durante todo o ano, tem maior volume nos meses de transição entre verão/inverno (maio e outubro), ficando acima de 100 mm, mesmo em agosto, que é o mês menos chuvoso (Tabela 1). Isso ocorre porque nessa região há sistemas produtores de chuva atuando durante todo o ano. Na primavera e no outono predominam os CCM e as frentes frias, que resultam em chuvas volumosas devido ao contato com o ar tropical mais úmido e quente. No verão ocorrem as chuvas convectivas e, novamente, algumas frentes frias e a atuação dos CCM, enquanto o inverno é dominado por frentes frias, que produzem chuvas generalizadas e volumosas.

Toledo (Meso 6) também tem maiores volumes pluviais em maio e outubro, com chuva bem distribuída durante o ano, mas com totais menores do que em Dois Vizinhos, uma vez que as frentes frias, que têm direção preferencial sudoeste-nordeste, algumas vezes não conseguem avançar mais ao norte do estado, o que reduz os totais mensais de chuva no inverno e nos períodos de transição (primavera e outono).

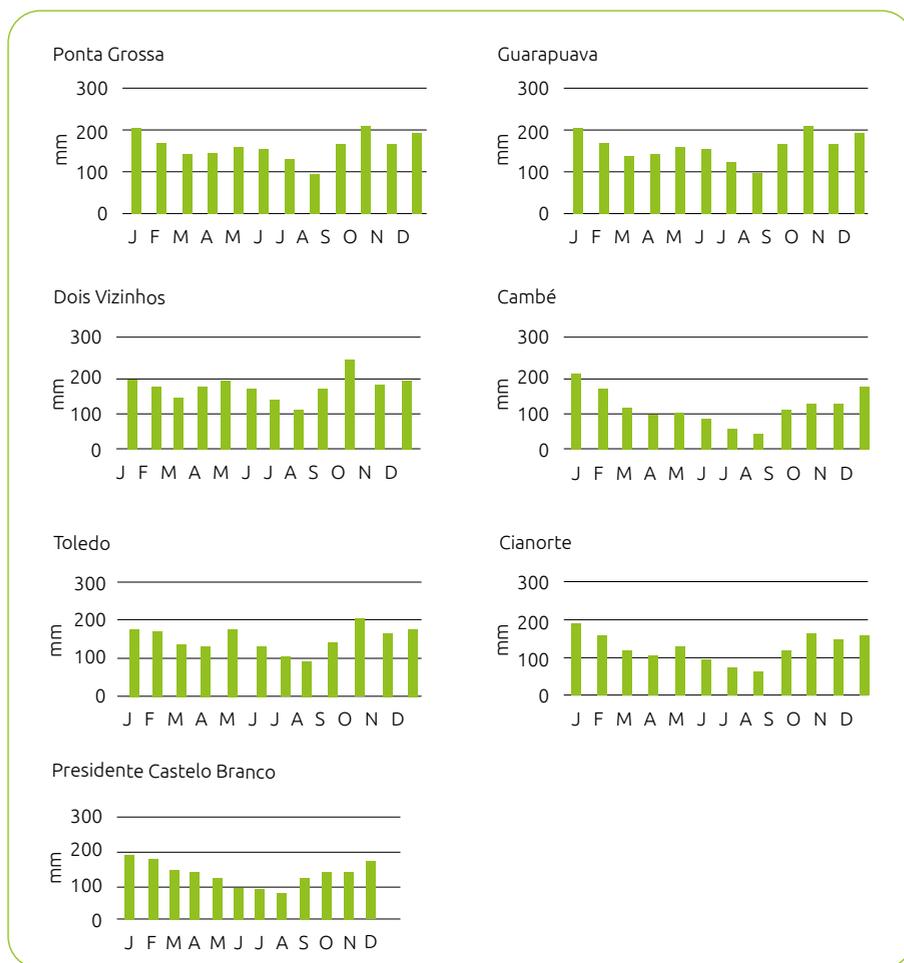


Figura 6 – Ciclo anual da precipitação para os municípios componentes da Rede Agropesquisa ou nas proximidades

Fonte: SIMEPAR (2022).

Comportamentos muito semelhantes ocorrem em Guarapuava (Meso 3), que tem chuvas abaixo de 100 mm em agosto, enquanto os meses com maior precipitação são outubro e janeiro, com maiores volumes de chuva no verão. Em Ponta Grossa (Meso 2), as chuvas são bem distribuídas durante o ano, sem período seco, porém com volume total menor, à exceção de janeiro, mês no qual o volume total de chuva é superior a 150 mm. O mês menos chuvoso é agosto, com aproximadamente 75 mm. Isso ocorre porque nem os sistemas litorâneos (efeito orográfico, por estar a sotavento) nem a umidade advinda dos JBN atingem essa cidade, o que reduz o total pluvial.

Tabela 1 – Valores médios mensais de chuva no período de 1977 a 2018 para os municípios abrangidos pela Rede Agropesquisa

Mês	Valores médios (mm) mensais						
	Ponta Grossa	Guarapuava	Dois Vizinhos	Cambé	Toledo	Cianorte	Pres. Castelo Branco
Jan	168	205	187	206	176	191	193
Fev	155	170	171	166	171	157	175
Mar	125	140	143	116	136	122	147
Abr	89	143	169	98	133	109	137
Mai	119	159	187	103	177	132	120
Jun	109	153	165	82	132	98	94
Jul	104	129	137	59	105	76	90
Ago	73	95	110	43	94	69	78
Set	128	167	167	108	140	124	119
Out	154	207	249	130	203	165	137
Nov	132	165	178	130	165	149	142
Dez	140	192	188	171	177	160	170
Total	1.496	1.926	2.051	1.413	1.810	1.552	1.602

Fonte: SIMEPAR (2022).

Cambé (Meso 5) tem condições de clima tropical, com período seco no inverno e chuvas de, aproximadamente, 50 mm em agosto. No mês mais seco, agosto, ocorre aproximadamente 25% do volume de chuva registrado nos meses mais chuvosos, com volume de chuva superior a 200 mm mensais, como em janeiro. (Quadro 1; Gráficos 1 e 2).

Presidente Castelo Branco (Meso 7) tem menores volumes de chuva no inverno, mas em agosto, que é o mês de menor volume de precipitação, a média é de 78 mm, maior do que em Cambé, uma vez que essa cidade está mais ao oeste do Estado, o que favorece a ocorrência de chuvas frontais e o ingresso de umidade via JBN e CCM no fim do inverno.

Cianorte (Meso 7) tem uma distribuição de chuvas característica de área de transição, com maiores volumes totais de chuva nos meses de verão, mas também com volumes mais altos em maio e em outubro, meses de transição das estações do ano, com grandes volumes de chuva por sistemas frontais e CCM.

Os valores extremos diários (de 1977 a 2018) são diferentes entre os municípios devido às diferenças nos eventos que configuram a variabilidade climá-

tica entre os municípios estudados da Rede Agropesquisa (Quadro 2). O maior volume diário registrado foi 269 mm em Cambé no dia 20 de junho de 2012, seguido de 239 mm em Toledo no dia 6 de junho de 2014. Os maiores volumes diários de chuva, portanto, são registrados nas cidades do norte e oeste do estado, tanto no inverno quanto no verão. Os períodos de chuva extrema diária não são coincidentes, o que demonstra o aspecto aleatório da chuva extrema diária e sua dificuldade de previsão.

Quadro 2 – Valores extremos positivos de chuva diária e mensal durante o período de 1977 a 2018 para as áreas da REDEAGROPESQUISA

	Máximo diário (mm)	Data	Máximo mensal (mm)	Data
Dois Vizinhos	Ampére 151,8	13/01/2012	474,25	12/2015
Guarapuava	193,6	08/06/2014	518	4/1998
Ponta Grossa	136,5	01/08/2011	423,8	01/1995
Toledo	Formosa do Oeste 239,5	06/06/2014	492,2	12/1981
Cambé	269,1	20/06/2012	478,5	02/2016
Presidente Castelo Branco	Maringá 170,3	27/02/1993	518,1	11/2015
Cianorte	208,8	23/03/2018	537	11/2015

Fonte: SIMEPAR (2022).

O maior valor de chuva mensal foi registrado em Cianorte, onde se registrou 537 mm de chuva em novembro de 2015, período de El Niño (CLIMATE PREDICTION CENTER, [S. d.]), mesmo mês de ocorrência de 518 mm em Presidente Castelo Branco. Em abril de 2018, também no período de El Niño, foram registrados 518 mm em Guarapuava. O El Niño, portanto, tem grande influência nos maiores volumes de precipitação mensal.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.
- ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B. **O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**: mapeamento geológico das cartas 1:250.000 de Guaira, Cascavel, Campo Mourão, Foz do Iguaçu, Guaraniaçu, Guarapuava, Pato Branco e Clevelândia. Curitiba: IAT, 2013.
- ARIOLI, E. E.; SALAZAR JR., O. **Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná**. Curitiba: Mine-ropar, 2014.
- BERTOLINI, Í. C.; KREFTA, S. M.; PEREIRA, P. H.; SALLA, V. P.; BRUN, E. J. Crescimento inicial em altura de 16 espécies florestais nativas plantadas na região Sudoeste do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: APRE, 2012.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa, 2008.
- BODZIAK JR., C.; MAAK, R. Contribuições ao conhecimento dos solos dos Campos Gerais no estado do Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, jubilee volume, p. 127-163, 2001.
- BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. **A dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012-2013 no Paraná e em Campo Mourão**. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: a dinâmica das cidades e a produção do espaço, 2., 2013, Campo Mourão. **Anais [...]**. Campo Mourão: Unespar, 2013.
- CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGGE, M. S.; CAVIGLIONE, J. H.; OLIVEIRA, D. de; FARIA, R. T. de; LOLLATO, M. A.; MARIOT, E. J.; KRANZ, W. M.; PARRA, M. S.; BIANCHINI, A. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 477-485, 2001.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.
- CLIMATE PREDICTION CENTER. **Cold & warm episodes by season**, College Park, [S. d.]. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 9 out. 2021.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, M. A. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 164-176, set. 1994.
- FERREIRA, L. G. B. **Disponibilidade hídrica e produtividade de soja no Oeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2017.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 613-621, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão do Brasil em mesorre-giões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IMPRESA ITAIPU. ESPECIAL Show Rural: pesquisas feitas por ITAIPU e IAPAR provam eficiência do terraceamento no plantio direto. **Revista Cultivar**, 07 fev. 2018. Seção Plantio Direto. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/especial-show-rural-pesquisas-coordenadas-por-itaipu-e-iapar-provam-eficiencia-do-terraceamento-no-plantio-direto>. Acesso em: 12 out. 2022.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Centro-Oriental Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004a.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Centro-Sul Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004b.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Sudoeste Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004c.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Norte Central Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004d.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Oeste Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004e.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais**: Mesorregião Geográfica Noroeste Paranaense. Curitiba: IparDES, 2004f.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do Estado do Paraná**. Curitiba: IparDES, 2013.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG). **Mapa fitogeográfico**, 2013. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_fitogeografico_a3.pdf. Acesso em: 29 set. 2021.

LICHT, O. A. B.; ARIOLI, E. E. **Mapa geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**: nota explicativa (C. e G. do P-I. Instituto de Terras (ed.)). Curitiba: ITCG, 2018.

LIMBERGER, L. **O clima do Oeste do Paraná**: análises da presença do lago de Itaipu. 2017. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002.

MINERAIS DO PARANÁ (MINEROPAR); UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). Atlas geomorfológico do Estado do Paraná - Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Curitiba, 2006. 63p.

MUZILLI, O.; LAURENTI, A. C.; FUENTES, L. R.; FAGUNDES, A. C.; FIDALSKI, J.; FREGONEZE, J. A.; RIBEIRO, M. F. S.; LUGÃO, S. M. B. **Conservação do solo em sistemas de produção nas microbacias hidrográficas do arenito Caiuá do Paraná**: 1. Clima, solo, estrutura agrária e perfil da produção agropecuária. Londrina: IAPAR, 1991.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

- OLIVEIRA, P. A. de. **Relação solo-relevo assistida por árvore de decisão**. 2019. 128f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2019.
- PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Jordão**. Curitiba: Sedest, 2008.
- PAROLIN, M.; GUERREIRO, R. L.; KUERTEN, S.; MENEZES, H. R. Bacias hidrográficas paranaenses. *In*: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINE, J. A. (ed.). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da Fecilcamp, 2010. p. 59-104.
- PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; SILVA, D. A. B. da; CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e término da estação chuvosa no Estado do Paraná. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 1-12, 2008.
- PINESE, J. P. P. Síntese geológica da Bacia do Rio Tibagi. *In*: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. **A Bacia do Rio Tibagi**. 3. ed. Londrina: M. E. Medri, 2002. p. 21-32.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- RICCE, W. da S.; COLUCCI DE CARVALHO, S. L.; CARAMORI, P. H.; RUFFO ROBERTO, S. Zoneamento agroclimático da cultura da videira no Estado do Paraná. **Semina**, Londrina, v. 35, p. 2327-2336, 2014.
- ROCHA, A. S.; BADE, M. R. **Geografia da bacia hidrográfica do Paraná 3: fragilidades e potencialidades socioambientais**. Jundiaí: In House, 2018.
- SALTON, F. G.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; BORROZZINO, E. Climatologia dos episódios de precipitação em três localidades no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, supl. 1, p. 626-638, dez. 2016.
- SERRA, E. Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná. **Boletim de Geografia – UEM**, Maringá, v. 10, n. 1, p. 61-93, 1992.
- SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ (SIMEPAR). **Sistema meteorológico do Paraná**. Disponível em <http://www.simepar.br/site_pw/faleconosco#collapse1>. Acesso em 10 fev. 2022.
- VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124p.
- VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. de S.; POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 2, p. 260-266, 2018.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. de M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. de Estimativa da erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 256-267, 2015.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. de M.; OLIVEIRA, D. de; GRIMM, A. M.; DIECKOW, J. **Erosividade de chuvas no Estado do Paraná**: atualização e influência dos eventos “El Niño” e “La Niña”. Curitiba: DSEA, 2011. 20p. (SBCS-NEP. Boletim técnico, 01).

ZALÁN, P. V.; WOLFE, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. *In*: ULBRICH, H.; ROCHA CAMPOS, A. C. (ed.). **Gondwana Seven**. São Paulo: Proceeding, 1991. p. 83-117.

ZANÃO JR., L. A.; FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H. **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. Londrina: IAPAR, 2015.

04

Monitoramento hidrossedimentométrico em bacias hidrográficas

*Autores***Cristiano Andre Pott****Graziela Moraes de Cesare Barbosa****André Pellegrini****José Francirlei de Oliveira****Elizeu Jonas Didoné****Anny Rosi Mannigel****Eduardo Augusto Agnellos Barbosa****Danilo Bernardino Ruiz**

1 INTRODUÇÃO

As práticas de preparo do solo foram, em grande escala, substituídas pelo sistema plantio direto nas áreas produtoras de grãos a partir da década de 1980. Com isso, os efeitos negativos das perdas de solo por erosão foram significativamente reduzidos no Estado do Paraná, sul do Brasil. No entanto, o escoamento superficial e os problemas decorrentes da erosão ainda são recorrentes, mesmo em áreas sob plantio direto. As principais causas desses impactos negativos são a compactação das camadas superficiais e subsuperficiais do solo e a redução da rugosidade de superfície do solo devido ao intenso tráfego de máquinas e à ausência de práticas de manejo e conservação do solo, tais como rotação de culturas, cultivo em nível e terraceamento nas áreas.

O manejo do solo aplicado na escala de bacia hidrográfica reflete no comportamento da vazão e na qualidade das águas dos cursos hídricos (OWENS; COLLINS, 2006) e, portanto, as alterações de manejo ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas por meio do monitoramento da vazão e da qualidade da água. No ciclo hidrológico, as precipitações sobre as áreas vertentes podem formar o escoamento superficial que transporta sedimentos e poluentes para a rede de drenagem. Dessa forma, o rio é um integrador dos fenômenos que ocorrem nas vertentes da bacia hidrográfica e que podem ser avaliados pelos parâmetros de qualidade da água (MERTEN; MINELLA, 2002). Desse modo, o monitoramento hidrossedimentométrico é necessário para entender como o manejo agrícola das lavouras da bacia hidrográfica impactam os recursos hídricos.

A Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada (Rede Agropesquisa) vem conduzindo projetos de monitoramento hidrossedimentométrico de bacias hidrográficas em várias regiões do estado do Paraná. O objetivo do estudo é realizar o monitoramento hidrossedimentométrico em bacias hidrográficas rurais, de primeira ou segunda ordem, que representem o manejo agrícola predominante em cada região, com características regionais distintas (caracterizadas no Capítulo 3) e grande importância agrícola para o Paraná.

2 BACIAS SELECIONADAS PARA O PROJETO DE MONITORAMENTO

As bacias hidrográficas de cada mesorregião foram selecionadas em áreas rurais com características de solo, relevo, uso e manejo representativas da atividade agrícola predominante em cada região.

Áreas rurais com curso d'água de primeira ou segunda ordem, nas regiões Norte, Sudoeste, Centro-Sul, Campos Gerais do Paraná, Noroeste e Oeste do Estado do Paraná, foram identificadas com o auxílio de imagens do Google Earth® (Figura 1). A seleção foi realizada buscando bacias hidrográficas com menos de 2% de área de estradas rurais e, preferencialmente, sem influência de áreas urbanas.

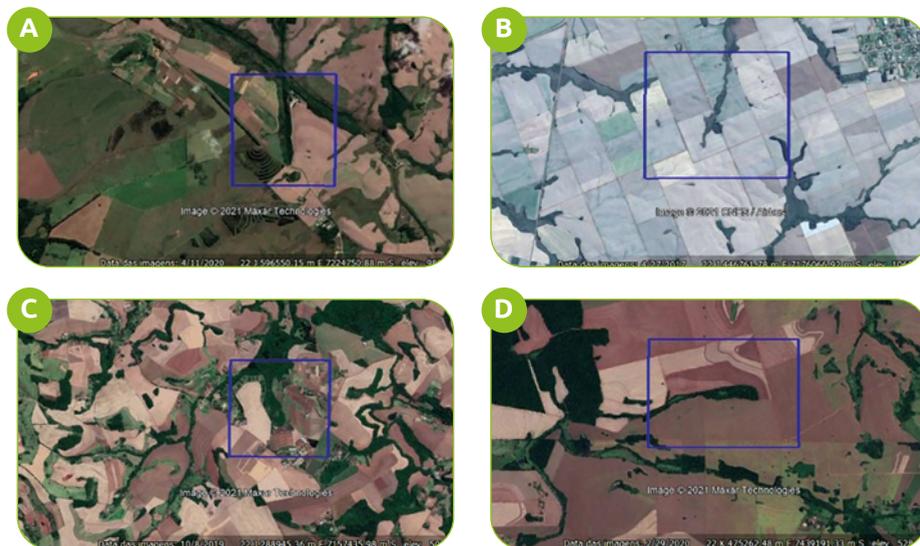




Figura 1 – Áreas rurais com curso d'água de primeira ou segunda ordem

Fonte: Adaptado de Google Earth®.

Nota: (A) Mesorregião 2 em Ponta Grossa; (B) Mesorregião 3 em Guarapuava; (C) Mesorregião 4 em Dois Vizinhos; (D) Mesorregião 5 em Cambé; (E) Mesorregião 6 em Toledo; e (F) Mesorregião 7 em Presidente Castelo Branco.

A escolha da bacia hidrográfica considerou, além do tipo de cultivo, tipo de solo e manejo predominantes nas vertentes de acordo com a região, algumas características do rio de primeira ordem: leito retilíneo, estabilizado e bem delimitado por suas margens, livre de represamentos, açudes, represas nas encostas ou construções que pudessem alterar seu leito (Figura 2). Essas características foram buscadas por serem adequadas para estabelecer a seção de monitoramento, uma vez que as condições hidráulicas do escoamento são mantidas, e por permitirem a instalação da calha Parshall.

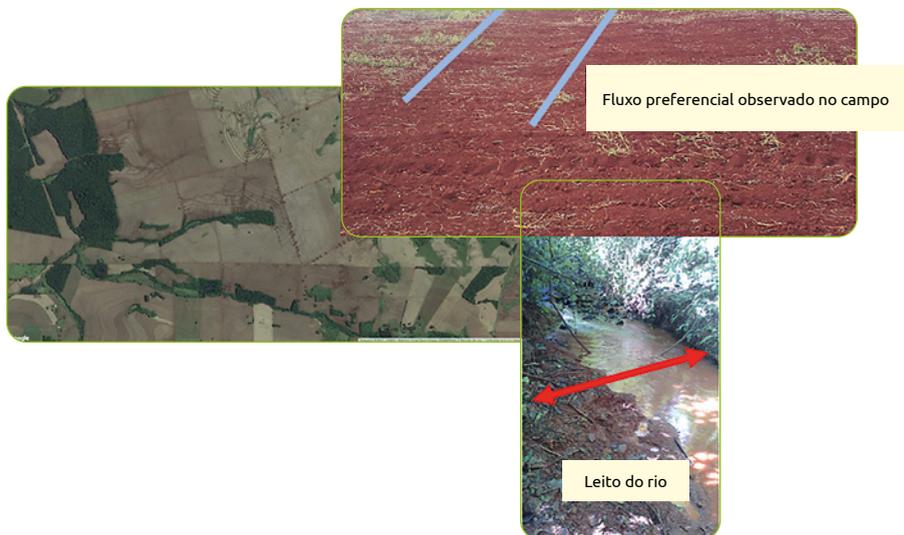


Figura 2 – Curso d'água de primeira ordem na Mesorregião 5 em Cambé-PR

Fonte: José Francirlei de Oliveira (2019).

2.1 Área da bacia hidrográfica

Após a escolha do curso d'água e do local de monitoramento, foi feita a delimitação da área da bacia hidrográfica para o dimensionamento da calha Parshall a ser instalada na seção de monitoramento.

A caracterização topográfica do terreno para a determinação da área de contribuição da bacia hidrográfica foi realizada, inicialmente, com o uso de um mapa digital de elevação do terreno, obtido no banco de dados da TOPO-DATA ou com auxílio de imagens de satélite SRTM (Figura 3). Com base na imagem SRTM, um modelo digital de elevação foi gerado, e os atributos primários e secundários do terreno foram derivados, como os mapas de altitude, de declividade, de direção de fluxo e de fluxo acumulado de água para caracterização da bacia hidrográfica.

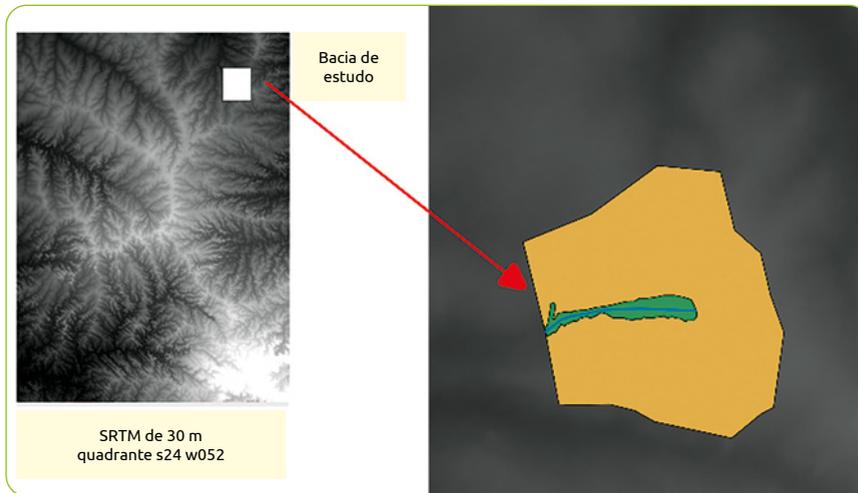


Figura 3 – Quadrante da SRTM disponível, com levantamento de 30 m, para análises iniciais de delimitação da bacia hidrográfica e para o dimensionamento da estrutura de monitoramento hidrossedimentométrico, em Cambé-PR

Fonte: José Francirlei de Oliveira (2019).

2.2 Definição da intensidade máxima média da chuva (chuva de projeto)

A intensidade da chuva a ser considerada para aplicação do método racional é a máxima média, ocorrida para uma duração correspondente ao tempo da chuva de projeto (24 horas) da bacia hidrográfica para o tempo de retorno estabelecido. A intensidade máxima média da chuva foi obtida por

meio das equações de intensidade, duração e frequência (IDF) determinadas para cada região de interesse. As equações IDF utilizadas foram descritas por Fendrich (2011) para as respectivas regiões (Tabela 1).

Tabela 1 – Equações de intensidade, duração e frequência (IDF) de cada mesorregião para cálculo da chuva de projeto

Local da bacia	Local da equação	Equação IDF
Ponta Grossa	Ponta Grossa	$i = \frac{1.902,39 \cdot T_R^{0,152}}{(t + 21)^{0,892}}$
Guarapuava	Guarapuava	$i = \frac{1.132,66 \cdot T_R^{0,167}}{(t + 12)^{0,791}}$
Dois Vizinhos	Francisco Beltrão	$i = \frac{1.012,28 \cdot T_R^{0,192}}{(t + 9)^{0,76}}$
Cambé	Londrina	$i = \frac{3.132,56 \cdot T_R^{0,0009}}{(t + 30)^{0,939}}$
Toledo	Cascavel	$i = \frac{1.062,92 \cdot T_R^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}}$
Cianorte	Cianorte	$i = \frac{2.115,18 \cdot T_R^{0,145}}{(t + 22)^{0,849}}$
Presidente Castelo Branco	Presidente Castelo Branco	$i = \frac{2.765,061 \cdot T_R^{0,105}}{(t + 32,58)^{0,926}}$

Nota: i = intensidade máxima média da chuva (mm h^{-1}); T_R = tempo de retorno (anos); t = tempo de duração da chuva (minutos).

Fonte: Fendrich (2011).

O tempo de retorno de 10 anos para uma chuva com duração de 24 horas, o mesmo usado no dimensionamento de terraços, foi considerado para estimar a intensidade máxima média a ser usada no dimensionamento da calha Parshall em todas as bacias hidrográficas. Como exemplo, a intensidade máxima da chuva (i) para a região Norte do Paraná (bacia hidrográfica de Cambé) foi determinada para diferentes tempos de retorno e duração da chuva (Tabela 2). Considerando o tempo de retorno de 10 anos, com duração da chuva t de 1.440 minutos (24 horas), obteve-se uma intensidade máxima média da chuva $i = 4,44 \text{ mm h}^{-1}$, com um volume total em 24 horas de 107 mm.

Tabela 2 – Intensidade máxima média da chuva (i , mm h^{-1}) em função de diferentes tempos de retorno e de duração da chuva calculadas para a região de Cambé-PR

t (minutos)	Tempo de retorno (T_R)			
	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos
5	146,40	162,22	179,74	205,85
30	76,33	84,57	93,71	107,32
60	49,97	55,37	61,35	70,26
1.440 ⁽¹⁾	4,01	4,44	4,92	5,64

Nota: t = tempo de duração da chuva (minutos); T_R = tempo de retorno (anos).
(1) Correspondente a 24 horas.

Fonte: Os autores (2022).

2.3 Escolha e dimensionamento da calha Parshall

O dimensionamento da calha Parshall é realizado com base na vazão máxima de escoamento superficial prevista para a bacia hidrográfica. Assim, essa estrutura aferida é capaz de receber a vazão máxima que ocorre na bacia sem que ocorra extravasamento, permitindo que toda a amplitude de cotas e vazões possam ser registradas. A vazão máxima pode ser obtida pelo método racional, e a vazão de pico, pelo método SCS TR-55.

2.3.1 Método racional

Esse método foi originalmente desenvolvido para estimar vazões máximas de escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas urbanas (SMEDEMA; RYCROFT, 1983). A aplicação dessa metodologia é recomendada para bacias com área de contribuição menor do que 200 ha. O método racional estima a vazão (Q) conforme a seguinte equação:

$$Q = C i A$$

em que:

Q = vazão máxima de escoamento superficial ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

i = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração (m s^{-1});

A = área de contribuição da bacia (m^2).

O método racional considera que a vazão máxima provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante ocorre quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com o escoamento na seção de monitoramento. O tempo necessário para que isso aconteça, medido desde o início da chuva, é o tempo de concentração.

O coeficiente de escoamento superficial consiste na parcela do volume total precipitado que é escoado em superfície. Em bacias com diferentes usos do solo e, por consequência, com variação no coeficiente de escoamento superficial ao longo da área da bacia considerando os diferentes usos, o coeficiente de escoamento superficial pode ser determinado pela média ponderada das áreas de cada uso.

2.3.2 Método SCS TR-55

A vazão de pico (q) estimada para as bacias hidrográficas de monitoramento pode ser obtida por meio da equação SCS-TR-55 (HUFFMAN *et al.*, 2011) descrita a seguir:

$$Q = q\mu \cdot A \cdot Q \cdot F_p$$

em que:

q = vazão de pico ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

$q\mu$ = vazão de pico unitária ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

A = área da bacia hidráulica (ha);

Q = excesso de vazão calculado para uma chuva de duração de 24 horas e período de retorno desejado (mm);

F_p = fator de ajustamento para pequenos açudes ou banhados (adimensional).

Para obtenção do valor da vazão de pico unitária ($q\mu$) é necessário calcular o tempo de concentração que, por sua vez, depende da área de contribuição da bacia de estudo e da distância do ponto mais distante da seção de monitoramento.

Um exemplo referente a esses cálculos é feito com base na delimitação da área de contribuição da área de estudo no norte do Paraná, que tem 181 ha. O ponto mais distante da área de contribuição até a seção de monitoramento é 1.815 m. A declividade do rio é de $0,02 \text{ mm}^{-1}$, e a declividade média da bacia é de $0,08 \text{ mm}^{-1}$. Assim, a declividade média do trecho compreendido entre o ponto extremo da bacia de contribuição ao exutório dela é de $0,05 \text{ mm}^{-1}$. Nes-

nas condições, o tempo de concentração calculado conforme equação do SCS (1990) é de 36 minutos:

$$T_c = L^{0,8} \cdot \left[\frac{\left(\frac{1.000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{4.407 \cdot (S_g)^{0,5}} \right]$$

$$T_c = 1.815^{0,8} \cdot \left[\frac{\left(\frac{1.000}{92} - 9 \right)^{0,7}}{4.407 \cdot (0,05)^{0,5}} \right]$$

$$T_c = 0,63 \text{ horas ou } 36 \text{ min}$$

em que:

T_c = tempo de concentração (h);

L = distância máxima entre o ponto mais extremo da bacia de contribuição e da secção de monitoramento (m);

CN = curva número (adimensional);

S_g = gradiente médio da bacia (mm^{-1}).

O tempo de concentração também foi calculado por meio da fórmula de Kirpich (1940), para fins de comparação com a fórmula do SCS (1990):

$$T_c = 0,0078 \cdot L^{0,77} S^{-0,385}$$

em que:

T_c = tempo de concentração (minutos);

L = comprimento do canal considerando a distância dos limites da bacia hidrográfica ao canal de monitoramento (ft);

S = declividade média da bacia hidrográfica (ft ft^{-1}).

$$T_c = 0,0078 \cdot 5.955^{0,77} 0,05^{-0,385}$$

$$T_c = 19 \text{ min}$$

Para determinação da vazão de pico, é preciso determinar a razão Ia/P e o $q\mu$, assim:

$$\frac{Ia}{P} = \frac{4,42}{106,6} = 0,0414$$

$$\text{Quando } \frac{Ia}{P} < 0,1 \therefore = 0,1$$

Com $Tc = 0,63$ h e $Ia/P = 0,1$, o valor de $q\mu = 0,0020$ $m^3 s^{-1} ha^{-1} mm^{-1}$:

$$q = q\mu \cdot A \cdot Q \cdot Fp$$

$$q = 0,002 \cdot 181,2 \cdot 84,02 \cdot 1$$

$$q = 30,4$$
 $m^3 s^{-1}$

2.4 Determinação da vazão mínima do rio

Determinar a vazão mínima do rio é necessário para dimensionar a calha Parshall para a medida dessa variável, o que permitirá também, em longo prazo, determinar o volume acumulado de escoamento subsuperficial e subterrâneo que ocorre na bacia hidrográfica em períodos sem chuva e, então, calcular o balanço hídrico simplificado.

Com os valores de volume das chuvas como variável de entrada e a subtração do volume acumulado dos escoamentos (superficial, subsuperficial e subterrâneo), obtém-se a evapotranspiração resultante dos diferentes usos do solo da bacia hidrográfica. Além disso, para aplicar o balanço simplificado deve-se utilizar valores de umidade do solo similar entre os períodos analisados, para que a variação no armazenamento seja considerada nula.

A vazão mínima é determinada por meio da relação entre a área da seção transversal e a velocidade do escoamento. Esta é obtida por meio de um molinete medidor de velocidade (Figura 4), e a área de seção do rio (m^2) é obtida em subseções medidas com auxílio de trena e régua. A estimativa da vazão mínima deve ser realizada, preferencialmente, em períodos secos, em que ocorra apenas a contribuição do escoamento de base.

A vazão (Q) é determinada pela seguinte equação:

$$Q = A \cdot v$$

em que:

Q = vazão ($m^3 s^{-1}$);

A = área de seção molhada do rio (m^2);

v = velocidade do escoamento ($m s^{-1}$).



Figura 4 – Medição da velocidade do escoamento do rio, com uso de molinete hidrológico, no rio da bacia hidrográfica de Guarapuava-PR

Fonte: Gustavo Henrique Merten (2019).

Com base nesses cálculos e medições, as calhas Parshall foram dimensionadas para cada bacia hidrográfica das mesorregiões da Rede de Agropesquisa do Paraná (Tabela 3).

Tabela 3 – Características das bacias hidrográficas e das calhas Parshall instaladas nas diferentes mesorregiões do Estado do Paraná

Local	Área de contribuição da bacia hidrográfica (ha)	Tipo de calha Parshall	Vazão mínima (m ³ h ⁻¹)	Vazão máxima (m ³ h ⁻¹)
Ponta Grossa	67	W48"	132	6.921
Guarapuava	118	W36"	62	5.138
Dois Vizinhos	64	W48"	132	6.921
Cambé	181	W24"	43	3.373
Toledo	108	W24"	43	3.373
Pres. Castelo Branco	80	W36"	62	5.138
Cianorte	80	W36"	62	5.138

Fonte: Os autores (2022).

3 PRÁTICA DE MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.1 Instalação da calha Parshall

A instalação da calha deve ser realizada em local sólido, para evitar que o peso da água danifique ou desloque a base dela. Além disso, é necessário evitar qualquer tipo de infiltração na base e nas áreas laterais da calha Parshall, o que poderia comprometer sua estrutura.

A calha Parshall deve ser concretada no leito do rio. Para isso, o ambiente deve estar seco, sendo necessário desviar temporariamente o curso de água para garantir a cura do concreto. Além disso, a instalação da calha Parshall deve ser realizada, preferencialmente, em períodos secos e de baixa vazão do rio, para facilitar o desvio da água e otimizar os serviços de confecção de ferragem e concretagem da base e laterais da calha, como realizado durante a instalação da calha Parshall na bacia hidrográfica de Toledo, na região oeste do Paraná (Figura 5).



Figura 5 – Etapas de construção da calha Parshall na bacia hidrográfica de Toledo-PR

Fonte: Elizeu Jonas Didoné (2020).

Nota: (A) desvio do rio e construção da ferragem; (B) colocação da calha e escoramento da caixa para concretagem; e (C) calha Parshall instalada.

Em Guarapuava-PR, a estrutura para instalação da calha foi construída e instalada em ambiente seco antes de uma curva do rio em formato de “C”, (Figura 6A). Após a concretagem (Figura 6B), o rio foi desviado para dentro da calha, e o acesso da água à curva em formato de “C” foi isolado, o que deixou o trecho do rio retilíneo próximo à calha.

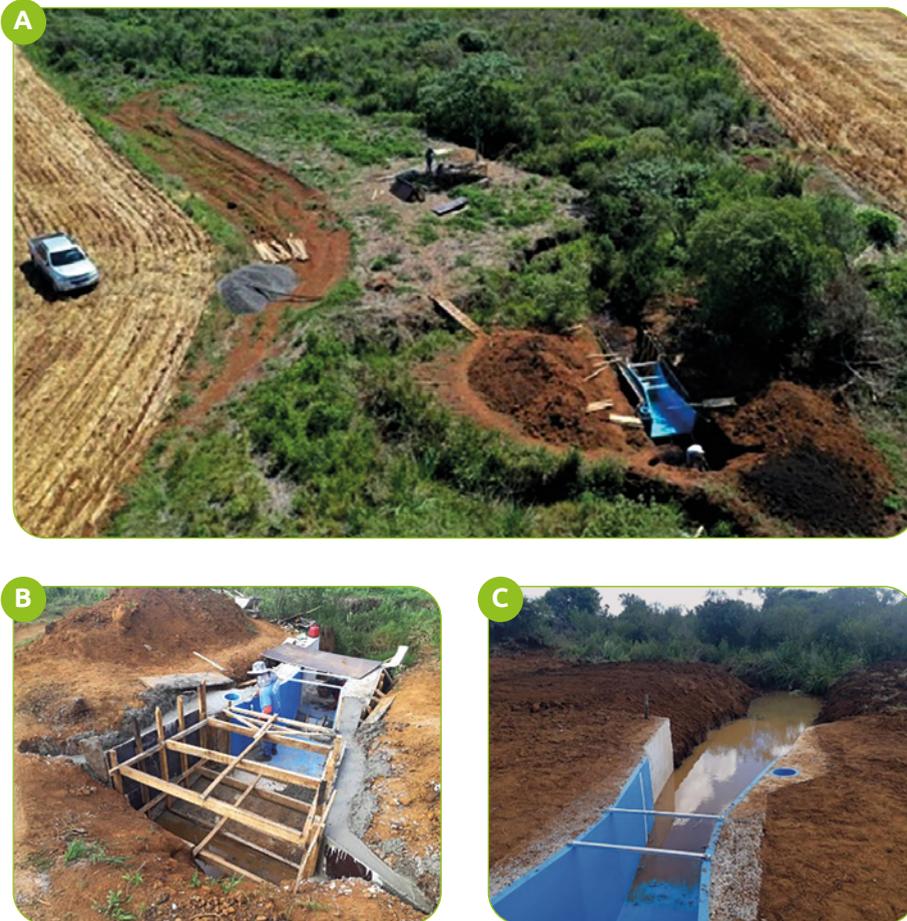


Figura 6 – Etapas de construção da calha Parshall na bacia hidrográfica de Guarapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2020).

Nota: (A) instalação da calha antes de uma curva (em ambiente seco); (B) concretagem da calha; e (C) calha Parshall instalada com o rio desviado para dentro dela.

O trecho do rio selecionado para instalação da seção de monitoramento tem leito retilíneo, com margens estáveis.

A instalação da calha Parshall deve estar acima do leito original do rio, na proporção de 1:4, ou seja, para cada centímetro que a calha Parshall é levantada, deve haver uma rampa de quatro centímetros de comprimento. Isso é necessário para que haja formação de uma área de aproximação dos escoamentos com um pequeno represamento para alterar o regime dos escoamentos do rio, de turbulento para laminar na entrada da calha (Figura 7). Além disso, a calha Parshall deve estar em nível ao longo dos sentidos transversal e longitudinal, tanto na entrada quanto na saída.



Figura 7 – Área de aproximação dos escoamentos de entrada na calha Parshall, na bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR

Fonte: André Pellegrini (2019).

Nota: Ponte coberta para realização das amostragens e abrigo de proteção de equipamentos de monitoramento e dos operadores.

A proteção das margens deve ser realizada após a instalação da calha. Para isso, o uso de gabões com pedras, a adequação da inclinação do talude das margens (em torno de 45°) e a proteção com vegetação densa, especialmente por gramíneas, são indicados (Figura 8). A instalação de ponte coberta sobre o curso de água para realização de amostragens e de abrigo para equipamentos e operadores é necessária, como realizado nas seções de monitoramento hidrossedimentométrico das bacias hidrográficas de Dois Vizinhos-PR (Figura 7) e de Guarapuava-PR (Figura 8C).



Figura 8 – Adequação das instalações junto à calha Parshall, em Guarapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) construção de gabiões de pedra; (B) plantio de grama e construção do abrigo para proteção dos equipamentos de monitoramento e dos operadores; e (C) a obra finalizada com abrigo ao lado da calha Parshall, com telhado sobre o rio e ponte de acesso e margens com gabião e talude vegetado com gramíneas.

3.2 Instalação de equipamentos e sensores de monitoramento

O monitoramento hidrossedimentométrico em bacias hidrográficas consiste em avaliar e medir as grandezas características do escoamento (precipitação, nível de água, velocidade e vazão) do processo erosivo (turbidez, concen-

tração de sedimentos em suspensão e em arraste, descarga sólida e produção de sedimentos) e de qualidade da água (elementos químicos na água do rio). Essas medições podem ser realizadas com auxílio de estruturas aferidas, equipamentos manuais e equipamentos automáticos.

Em pequenas bacias hidrográficas, as medições de precipitação, nível e turbidez devem ser efetuadas com alta frequência de amostragem para abranger a variação temporal dessas variáveis e representar o comportamento da forma dos hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas. Em geral, o intervalo das medidas de chuva utilizando sensores de precipitação (pluviógrafos) é de 2 a 5 minutos. Para os sensores de nível (linígrafo) e de turbidez (turbidímetro), esse intervalo pode variar de 5 a 10 minutos, de acordo com o modo operante da bacia hidrográfica, que determina a velocidade em que ocorre o escoamento e a propagação da onda de cheia do rio monitorado.

O intervalo de medições pode ser ajustado ao longo do monitoramento, conforme vai sendo conhecido o modo operante da bacia hidrográfica, em função do manejo do solo, das práticas conservacionistas utilizadas, da área e do tempo de concentração da bacia hidrográfica e do tempo de propagação do escoamento. Assim, o intervalo entre as medições depende das características da bacia e deve ser definido por meio de observações a campo e da análise dos dados registrados pelos equipamentos automáticos, para que a discretização das informações geradas seja representativa.

O monitoramento da chuva, do nível e da turbidez nas bacias hidrográficas é realizado com o uso, respectivamente, de pluviógrafos e pluviômetros, linígrafos e turbidímetros, instalados junto às seções de monitoramento.

3.2.1 Equipamentos para o monitoramento da chuva

A instalação do pluviômetro e do pluviógrafo para o monitoramento da chuva deve ser realizada longe de barreiras como árvores, postes e construções, devendo os equipamentos estar em um ambiente isolado com a entrada superior, respeitando a distância de 1,5 metros em relação ao nível do solo, sendo que a cobertura do solo não deve interferir na captação da chuva.

3.2.1.1 Pluviógrafo

É o equipamento mais usual para medir a distribuição temporal da chuva. O pluviógrafo digital com sistema de básculas tem duas cubas basculan-

tes interligadas por um eixo central. Durante a chuva, quando uma das cubas enche, o peso da água faz com que ela rotacione em torno do eixo e encoste na base do pluviógrafo para ser esvaziada, enquanto a cuba que estava vazia se eleva e passa a receber a água. Cada rotação corresponde a um volume de chuva, e o *datalogger* registra o número de vezes que esse movimento ocorreu em determinado intervalo de tempo.

O pluviógrafo deve ser calibrado, preferencialmente, a cada três meses. O processo de calibração consiste em três etapas: 1. avaliação do deslocamento das básculas, 2. verificação do volume e 3. verificação da intensidade de precipitação (Figura 9).

A análise do deslocamento da báscula consiste em expor a base interna do pluviógrafo e verificar se as cubas se deslocam livremente. Nessa etapa é fundamental verificar se há presença de materiais e impurezas que afetam o deslocamento da báscula. O material e as impurezas, quando presentes, devem ser retirados com cuidado, e a limpeza da báscula e das cubas deve ser realizada.

Na etapa de verificação do volume medido pelo equipamento, deve-se pesar o volume de água indicado pelo fabricante para cada descida da báscula (limite de operação do equipamento). Para o pluviógrafo utilizado nesse teste (Figura 9), cada oscilação da báscula com registro de um sinal elétrico representa o esvaziamento de uma das cubas com capacidade de armazenamento de 0,2 mm ($0,2 \text{ L m}^{-2}$) e, como a área de captação do pluviógrafo é de 214 cm^2 ($0,0214 \text{ m}^2$), 4,28 g de água destilada foram pesados para obter de forma precisa os 4,28 mL, que representam a lâmina de 0,2 mm do pluviógrafo. Após a pesagem, com auxílio de uma proveta graduada, o volume de 4,28 mL foi aplicado sobre o funil de captação que direciona a água para dentro das cubas. Esse processo é realizado observando se, ao encher, a cuba fez o movimento descendente e bateu no sensor, pois é nesse momento que o sensor gera um sinal elétrico (milivolt, mV) e esvazia a cuba. Se necessário, deve-se ajustar o sinal elétrico para a lâmina aplicada.

A terceira etapa de calibração consiste em verificar a intensidade de precipitações. Nessa etapa, aplica-se, com auxílio de uma proveta graduada, diferentes intensidades de precipitação. Posteriormente, com as diferentes intensidades simuladas no tempo, elabora-se uma curva de calibração, por meio da relação entre o sinal do equipamento em milivolts (mV) e o do volume total aplicado (mm).



Figura 9 – Calibração do pluviógrafo eletrônico realizada com proveta graduada
 Fonte: Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (2021).

3.2.1.2 Pluviômetro

O monitoramento da chuva deve ser realizado, também, com auxílio de um pluviômetro (Figura 10). Trata-se de um equipamento utilizado para medir o volume acumulado de chuva. As medições de chuvas diárias devem ser, preferencialmente, realizadas diariamente às 9 horas, o que corresponde à precipitação acumulada do dia anterior. Assim, antes da chuva, a equipe de monitoramento deve ir a campo e certificar-se de que o pluviômetro esteja vazio e, ao fim do evento, é necessário medir o volume acumulado.

O volume de chuva registrado no pluviógrafo é corrigido com base no volume acumulado no pluviômetro. Essa correção é necessária porque, dependendo da intensidade de chuva, o registro de chuva realizado pelo pluviógrafo pode ser diferente do volume real da chuva. O fator de correção é obtido para cada chuva, por meio da razão entre o volume total acumulado no pluviômetro (mm) e o volume total registrado pelo pluviógrafo (mm). Essa razão entre esses dois volumes é multiplicada pelo volume registrado pelo pluviógrafo em cada intervalo de tempo.



Figura 10 – Pluviômetro tipo *Ville de Paris* (A) e proveta pluviométrica (B)
 Fonte: André Pellegrini (2019).

3.2.2 Equipamentos para o monitoramento do nível

3.2.2.1 Sensor de nível ou linígrafo

O sensor eletrônico de nível de água utilizado é um linígrafo de pressão, que registra o nível em função da carga hidráulica aplicada sobre ele e envia os dados ao *datalogger* para registro e armazenamento dos dados de nível no intervalo de tempo programado. O linígrafo deve ser, preferencialmente, instalado no poço tranquilizador da calha Parshall para evitar que o fluxo turbulento interfira na altura do nível registrada pelo sensor.

O linígrafo de pressão deve ser previamente calibrado. A calibração deve contar com uma coluna de água até a altura máxima da calha onde o linígrafo será instalado. A calibração é feita mediante registro do sinal elétrico emitido pelo sensor (mV) para cada variação do nível da água (Figura 11). Um tubo de PVC de 100 a 150 mm de diâmetro, com escala graduada, pode ser utilizado para o controle e a alteração da lâmina de água a cada centímetro (Figura 11A), variação de nível essa que é ideal para uma boa calibração.

Os sensores mais comuns disponíveis no mercado têm, geralmente, menor sensibilidade para uma carga hidráulica de até 10 cm, por isso é necessário discretizar as leituras a cada centímetro até essa carga hidráulica. Para cargas hidráulicas maiores, as leituras podem ser realizadas a cada 2 cm de coluna de água até a altura máxima da calha. A calibração do sensor de nível pode ser realizada a cada três meses, para conferência de dados de acordo com a altura real da calha (Figura 11B).

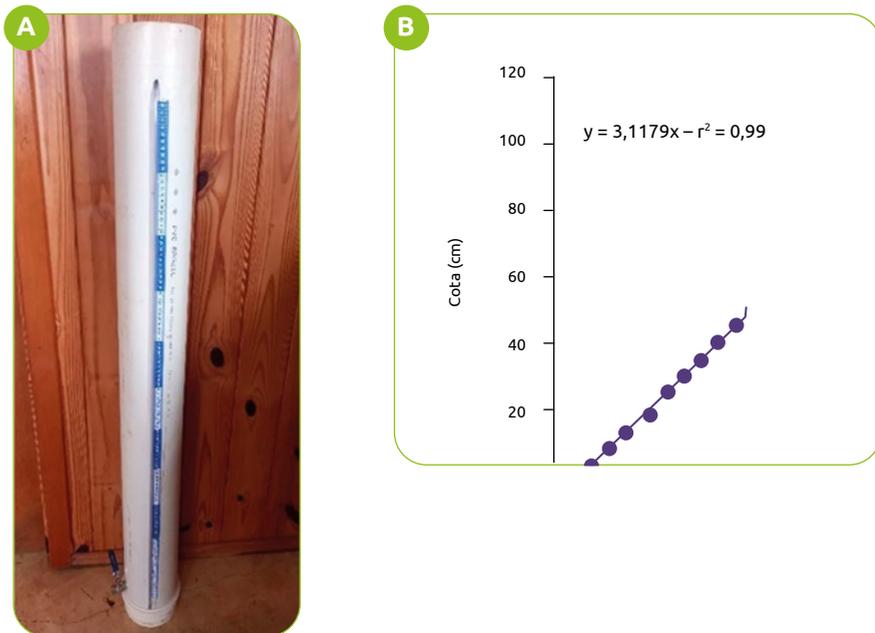


Figura 11 – Calibrador de sensor de nível e curva de calibração

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) construído com tubo de PVC de 150 mm de diâmetro; e (B) obtida por meio da correlação entre o valor do sinal elétrico registrado pelo sensor e o nível de água medido no calibrador, para o linígrafo instalado no tubo tranquilizador da calha Parshall da seção de monitoramento da bacia hidrográfica de Guarapuava-PR (B).

3.2.2.2 Régua linimétrica

A conferência do adequado funcionamento do linígrafos também deve ser realizada manualmente, por meio da leitura do nível da água na régua linimétrica instalada junto à calha Parshall (Figura 12A) e da verificação do valor registrado pelo sensor. Uma correlação entre essas leituras é estabelecida (Fi-

gura 12B) e, se o coeficiente de determinação (r^2) for alto e significativo, não há necessidade de calibrar novamente o linígrafo, pois ele não perdeu a eficiência (Figura 12B). Os dados de leitura da régua linimétrica e registrados pelo sensor podem ser obtidos ao longo do tempo, no momento da obtenção de amostras de sedimento e/ou no momento em que os dados armazenados no *datalogger* são coletados.

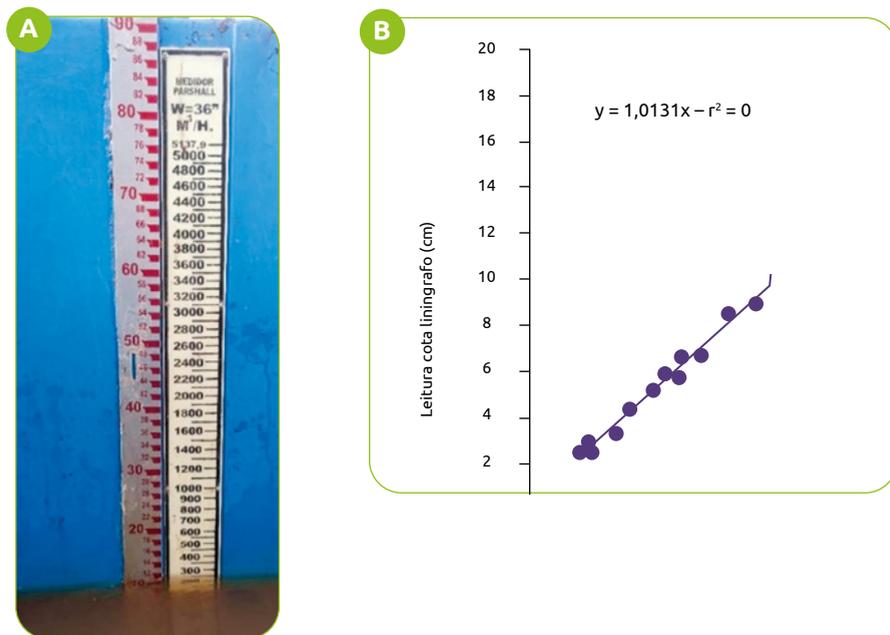


Figura 12 – Calibrador de sensor de nível e curva de calibração

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) construído com tubo de PVC de 150 mm de diâmetro; e (B) obtida por meio da correlação entre o valor do sinal elétrico registrado pelo sensor e o nível de água medido na régua linimétrica e no calibrador, para o linígrafo instalado no tubo tranquilizador da calha Parshall da seção de monitoramento da bacia hidrográfica de Guarapuava-PR.

3.2.2.3 Sensor de alcance de radar

Este (Figura 13) é um sensor utilizado no monitoramento do nível da água do rio por meio da emissão de pulsos de microondas curtos e subsequente medida do tempo decorrido entre a emissão e o retorno dos pulsos. A medição do tempo decorrido é usada para calcular a distância entre o sensor e o alvo

(lâmina de água). O valor da distância pode então ser usado para determinar a profundidade da água.

A principal vantagem do sensor de radar é que ele não fica submerso, evitando a corrosão e os danos causados pela água. Em contrapartida, esse tipo de sensor é de alto custo, sendo necessária a programação inicial de diferentes parâmetros a serem utilizados e a utilização de um *datalogger* compatível com o equipamento.



Figura 13 – Sensor de radar para medida do nível do rio, instalado junto à calha Parshall da seção de monitoramento da bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Rafael J. Rodrigues (2020).

3.2.3 Equipamentos para o monitoramento da turbidez

A turbidez da água é correlacionada à concentração de sedimentos em suspensão. Essa correlação gera uma equação de regressão utilizada para estimar a concentração de sedimentos em suspensão com base na turbidez registrada por sensores de turbidez.

Os turbidímetros têm lentes na parte lateral ou em sua extremidade. O sensor de turbidez com a lente na extremidade deve ser instalado verticalmente dentro da água, com uma distância mínima do fundo de, aproximadamen-

te, 10 a 15 cm, de acordo com a recomendação do fabricante (Figura 14A). A limpeza das lentes do turbidímetro, para o adequado funcionamento, deve ser realizada semanal ou quinzenalmente com auxílio de esponja ou algodão e detergente neutro (Figura 14B).



Figura 14 – Sensor de turbidez e limpeza da lente do sensor de turbidez, na seção de monitoramento da bacia hidrográfica de Guarapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) instalado verticalmente dentro de um tubo de PVC; e (B) limpeza da lente utilizando uma haste flexível de algodão.

A calibração do turbidímetro deve ser realizada no menor intervalo de tempo possível (ex. quinzenal), não ultrapassando três meses, com a solução-padrão de calibração. Essa solução, em diferentes concentrações, deve ser alocada em recipientes escuros, armazenados em uma caixa de vedação, para evitar a incidência de luz. A distância entre a lente do sensor e o fundo do recipiente com a solução de calibração deve ser de aproximadamente 10 cm. O volume da solução de calibração nos recipientes deve ser suficiente para manter o sensor com a lente submersa na solução e atender à distância recomendada entre a lente do sensor e o fundo do recipiente com a solução de calibração.

As concentrações das soluções-padrão de calibração utilizadas nos sensores de turbidez instalados nas bacias hidrográficas do Paraná são de 0, 10, 40, 100, 400, 1.000 e 3.000 unidades nefelométricas de turbidez (NTU). A calibração do sensor de turbidez com as soluções-padrão tem o objetivo de verificar se o sensor está mantendo a eficiência, a exemplo de uma das curvas de calibração do sensor de turbidez instalado na seção de monitoramento da bacia hidrográfica de Guarapuava-PR, com r^2 de 0,99 (Figura 15A).

Para cada concentração da solução-padrão é recomendada a realização de três leituras e o uso do valor médio, principalmente para sensores que têm maior variação entre leituras. Ao fim da calibração, a correlação entre a turbidez (NTU) e o pulso elétrico registrado pelo sensor (mV) deve ter um coeficiente de determinação (r^2) significativo e próximo de 1,00, o que indica que o sensor é eficiente e capaz de representar adequadamente a turbidez do ambiente. Em caso de baixo r^2 da equação de correlação, a calibração deve ser repetida e, persistindo o problema, o sensor deve ser substituído.

A estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) é realizada por meio de uma equação obtida da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão (CSS), obtida por amostragem durante eventos de chuva-vazão-sedimentos, e os valores registrados pelo sensor de turbidez (mV). Nesse caso, a CSS (mg L^{-1}) de amostras coletadas durante vários eventos de chuva e determinadas em laboratório é correlacionada com o sinal elétrico (mV) do sensor de turbidez do mesmo horário da coleta, para gerar a equação a ser usada para estimativa da CSS (mg L^{-1}) em função do sinal de turbidez (mV).

Quando não há amostras de sedimentos coletadas durante eventos de chuva-vazão-sedimentos, pode-se gerar uma equação sintética com sedimentos da bacia. Os sedimentos depositados no leito do rio (sedimento de fundo) devem ser amostrados. Essas amostras devem ser utilizadas para preparar soluções com CSS conhecida. A equação obtida pela correlação entre as soluções com CSS conhecida e os valores registrados pelo sensor de turbidez (Figura 15B) pode ser utilizada para a estimativa da CSS (mg L^{-1}) para os valores registrados pelo sensor de turbidez.

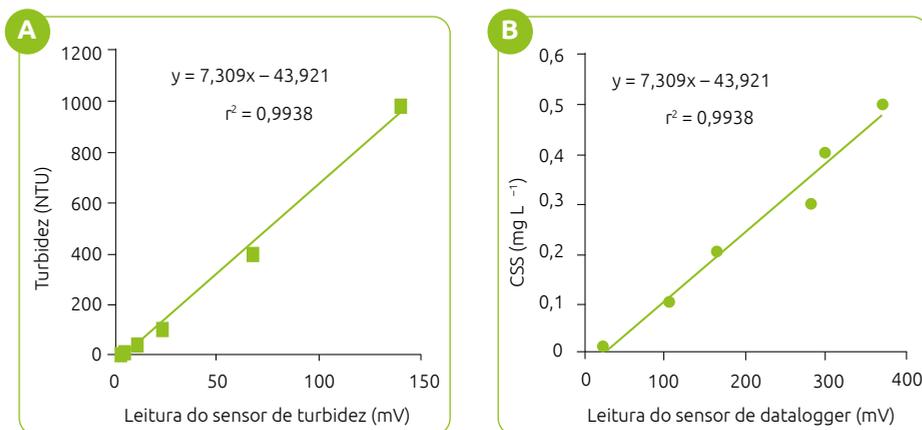


Figura 15 – Curva de calibração do sensor de turbidez da bacia hidrográfica de Guaruva-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) utilizando uma solução-padrão (NTU); e (B) utilizando soluções com concentração de sedimentos em suspensão (CSS) conhecida e gerada com sedimentos coletados no leito do rio.

3.2.4 Amostradores de sedimentos

A coleta de sedimentos transportados em suspensão, na seção de monitoramento, deve ser realizada com auxílio de amostrador manual, como o US DH-48 (Figura 16). Trata-se de um equipamento hidrodinâmico para amostragem isocinética de sedimentos em suspensão, permitindo que a velocidade de entrada da água dentro do amostrador seja igual à velocidade instantânea do escoamento. Isso ocorre quando a velocidade de trânsito (de percurso) é proporcional à velocidade média do escoamento. Assim, durante a amostragem, ocorre a saída do ar de dentro do frasco do amostrador pelo exaustor sem que ocorra turbilhonamento dentro do frasco ou acúmulo em excesso de sedimento, especialmente quando se usa só um béquero para coletar água de todo o perfil do rio.

O amostrador deve ser introduzido na água, e a velocidade de descida e subida deve ser constante. O frasco não deve ficar 100% cheio, pois é um indicativo que ocorreu excesso da amostra e pode ter concentrado mais sedimento. Nessa situação, a amostra deve ser descartada, e a amostragem repetida, de modo que o volume amostrado fique em torno de 75% de capacidade do frasco amostrador.

O amostrador US BLH-84 é utilizado para a amostragem de sedimentos transportados em arraste (Figura 16). É um equipamento do tipo diferencial de pressão, que consiste em um bico expansor metálico com largura de amostragem de 7,6 cm e taxa de expansão da área de 1,4 (relação entre largura de entrada e de saída do amostrador), o que possibilita a amostragem de sedimentos que variam de 1 a 38 mm. O amostrador é composto ainda por um saco, aberto e com anéis de borracha em suas extremidades, e por um conjunto de hastes metálicas e corrente. Esse saco, com abertura de malha de 0,25 mm, é fixado na parte traseira (de saída) do bico com auxílio de um dos anéis de borracha. Ele é então fechado em sua extremidade posterior com auxílio de uma haste metálica utilizada para vedar a outra extremidade do saco que contém o outro anel de borracha. Uma haste metálica é fixada ao cabo do amostrador e mantida na direção do escoamento (paralela ao bico) e presa à haste metálica da extremidade posterior do saco de amostragem por uma corrente, para que a amostragem seja realizada na direção do escoamento e não ocorra compressão do saco durante a amostragem.



Figura 16 – Amostradores de sedimentos

Fonte: (A) André Pellegrini; e (B, C) Graziela Moraes de Cesare Barbosa (2020).

Nota: (A) transportados em suspensão (US DH-48) e em arraste (US BLH-84); (B) coleta com amostrador de sedimentos US DH-48 (amarelo); e (C) adaptado (transparente) para a amostragem da água do rio quando a altura da lâmina de água não é suficiente para utilizar o US DH-48.

Juntamente aos amostradores manuais, pode-se utilizar amostradores automáticos para auxiliar no monitoramento. No entanto, os dados coletados pelo amostrador automático necessitam de correlação matemática entre a

concentração amostrada pelo amostrador automático e pelo US DH-48, pois o amostrador automático não é isocinético.

O uso de amostrador automático de sedimentos permite potencializar as coletas, pois permite coletar grande quantidade de amostras sem necessidade de operadores para realização das coletas. O uso de amostrador manual, como o US DH-48, torna necessária a presença do operador no campo, o que dificulta a coleta em eventos extremos de pico de precipitação/escoamento, especialmente quando a bacia de monitoramento é distante do laboratório responsável pela análise das amostras. Além disso, existem os riscos à segurança dos operadores, por se tratar de ambiente sujeito a inundações e enchentes.

Os amostradores automáticos utilizados pela Rede Agropesquisa são da ISCO®, com 24 garrafas de capacidade de 1.000 mL (Figura 17). O equipamento funciona com bateria 12 volts e pode ser ligado à rede de placas solares/bateria, o que possibilita o monitoramento constante, o qual pode ser programado em função do tempo (horas, minutos) ou da variação da cota do rio. Para isso, é necessário que o sensor de nível esteja interligado com o amostrador automático de sedimentos.



Figura 17 – Amostrador automático de água para coletar amostras de água e sedimentos em suspensão

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

3.3 Amostragem da água-sedimentos no rio das bacias hidrográficas

As amostras para estudo das variáveis do escoamento superficial e do processo erosivo da bacia hidrográfica são coletadas com base em procedimentos amostrais padronizados pela Rede Agropesquisa e descritos por Carvalho *et al.* (2000) e Shreve e Downs (2005). Amostras da mistura água-sedimentos gerada durante eventos pluviais são coletadas nas estruturas aferidas (calha Parshall) instaladas no exutório das bacias hidrográficas (Figura 7, Figura 8C), sendo o número de eventos condicionando à ocorrência natural desses eventos pluviais.

Iniciado o escoamento superficial, ocorre aumento no nível e na vazão do rio. As amostras da mistura de água-sedimentos devem ser coletadas em função da variação no nível da água, na ascensão e na recessão do escoamento. A frequência de amostragem ao longo de evento deve ser tanto maior quanto mais rápida a variação na altura da lâmina de água.

Planilhas de campo devem ser utilizadas para registrar a identificação de cada amostra, bem como para a anotação simultânea da data, do horário e da altura da lâmina de água no momento da coleta. A altura da lâmina de água deve ser verificada na régua linimétrica instalada junto à calha Parshall (Figura 12A).

A amostragem da mistura água-sedimento no rio, proveniente do escoamento da bacia hidrográfica, é realizada junto à calha Parshall, com auxílio de amostrador de sedimentos do tipo US DH-48 (Figura 16), que permite a amostragem isocinética da mistura água-sedimentos transportados em suspensão. A velocidade do escoamento deve ser verificada para a escolha correta do bico do amostrador. Em velocidades de escoamento menores utiliza-se o bico com maior abertura, e em velocidades de escoamento maiores, deve-se utilizar o bico com menor abertura.

A amostragem de água do rio também deve ser realizada em períodos sem eventos de precipitação, a fim de caracterizar as condições hidrossedimentológicas em escoamento de base. Em eventos de precipitação, as amostragens no rio devem também ser realizadas em intervalos de tempo suficientes para caracterizar as variáveis hidrossedimentológicas durante a ascensão e a recessão do escoamento.

A amostragem da mistura água-sedimentos é realizada por integração na vertical em dois sentidos (descida e subida), com auxílio do amostrador US DH-48. O amostrador deve ser posicionado na parte central do curso d'água, com o bico posicionado horizontalmente na direção do fluxo de água. A mistura

água-sedimentos vai sendo acumulada continuamente no recipiente, enquanto o amostrador se move verticalmente no sentido da descida. O deslocamento do amostrador ao longo da seção vertical deve ter velocidade constante, desde a superfície até o fundo do curso de água, sem tocar o leito do curso d'água, para evitar a coleta de sedimentos transportados em arraste. Da mesma forma, deve-se retirar o amostrador da água com velocidade constante, durante a amostragem no sentido da subida.

A amostragem deve ser realizada de forma que o volume amostrado seja de, aproximadamente, 75% da capacidade máxima do recipiente, o que é suficiente para a realização das análises. Durante a amostragem, é necessário evitar que ocorra refluxo ou extravasamento da água dentro do recipiente de amostragem, para que a amostra seja representativa. Caso ocorra refluxo ou a amostra coletada tenha volume maior do que o recomendado, essa amostra deve ser descartada e a amostragem deve ser realizada novamente.

Na sequência, deve-se transferir a amostra do recipiente do amostrador para frasco identificado antes de ser levado ao laboratório. No momento da coleta, deve-se registrar a cota de escoamento do córrego com auxílio de régua linimétrica instalada junto à calha Parshall, visando confeccionar o hidrograma do evento.

As amostras devem ser transportadas ao laboratório para processamento o mais breve possível. Havendo coletas com amostrador automático, as amostras podem ser recolhidas no equipamento em intervalos de tempo programadas conforme as possibilidades de cada grupo de pesquisa e encaminhadas ao laboratório.

O protocolo de análises sugere uma série de procedimentos padrões e cuidados com o manuseio das amostras. Os laboratórios de cada mesorregião foram adaptados e equipados com os materiais necessários para a execução das análises.

3.4 Análise da água-sedimentos das amostras coletadas no rio

Os recipientes contendo as amostras coletadas em campo, logo após a chegada no laboratório, devem ser limpos e organizados conforme a sequência da amostragem registrada nas planilhas de campo (Figuras 18 e 19). Após esse procedimento, as amostras são, inicialmente, submetidas à determinação do pH e da condutividade elétrica. Em seguida, uma alíquota de 100 mL é retirada para as demais análises químicas (conforme descrito no Capítulo 6) e o restante utilizado para determinação da concentração de sedimentos em suspensão.

3.4.1 Análise da concentração de sedimentos em suspensão (CSS)

A determinação da concentração de sedimento em suspensão é realizada por meio de dois métodos: evaporação ou filtração (APHA, 1999; CARVALHO *et al.*, 2000; SHREVE; DOWNS, 2005), os quais foram adaptados para a Rede Agropesquisa do Paraná.

Para determinação do CSS por meio do método de evaporação ou de filtração deve-se utilizar o volume total da amostra de água + sedimento coletada a campo. A definição de qual método, evaporação ou filtração, deve ser utilizado é baseado na observação visual da concentração de sedimento. Em situação de alta concentração é indicado o método de evaporação, e em condição de baixa concentração de sedimentos é recomendado o método da filtração. Não é recomendado utilizar métodos diferentes para o mesmo conjunto de amostras.

O método de filtração pode ter o inconveniente de saturar o filtro com as argilas em solos argilosos ou muito argilosos, o que dificulta a determinação da concentração de sedimentos por esse método. Em contrapartida, nesses mesmos solos, o método da evaporação, que envolve em uma das etapas o processo de decantação dos sedimentos, pode ter o inconveniente das argilas permanecerem por longo tempo em suspensão, demandando longo período em laboratório (Figura 18). Um organograma do procedimento laboratorial das duas metodologias pode ser verificado na Figura 20.

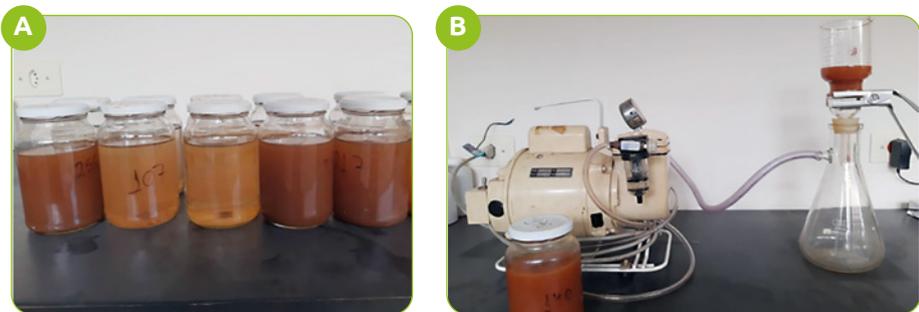


Figura 18 – Determinação da concentração de sedimentos

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2021).

Nota: (A) método de evaporação; e (B) método de filtração.

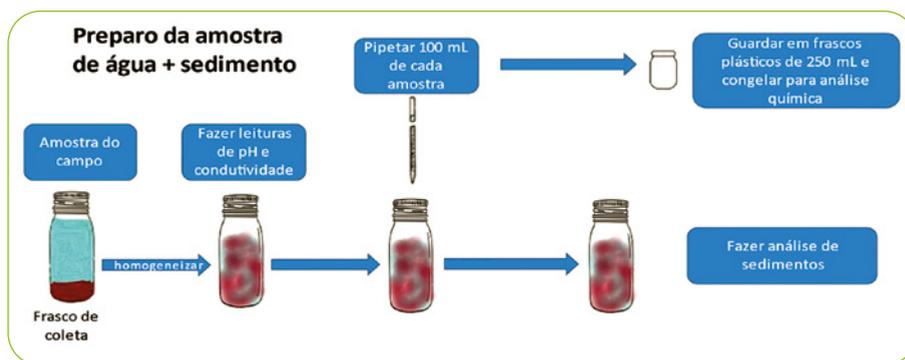


Figura 19 – Organograma do preparo das amostras de escoamento superficial (megaparcels) ou da água do rio para análise química

Fonte: Danilo Bernardino Ruiz (2022).

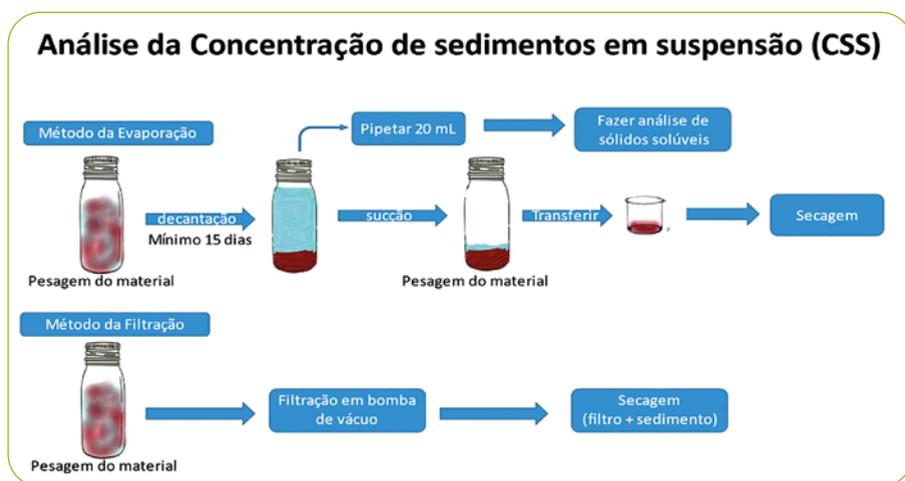


Figura 20 – Organograma para análise da concentração de sedimentos em suspensão das amostras de escoamento superficial

Fonte: Danilo Bernardino Ruiz (2022).

3.4.2 Método de evaporação

Esse método requer maior tempo para o processamento das amostras. Ele é recomendado para amostras com alta concentração de sedimentos em

suspensão. As vantagens são a necessidade de equipamentos de laboratório simples e do fácil procedimento de análise. O tempo deixado para decantação possibilita, por intermédio da lei de Stokes, que todo o material particulado, incluindo a fração argila, deposite-se no fundo do recipiente, o que ocasiona a separação do sobrenadante. Em algumas mesorregiões, o solo tem maior concentração de argila, o que pode resultar na necessidade de maior período para sedimentação. Em casos específicos, é indicado o uso de aditivos flocculantes para reduzir o tempo da decantação. Na situação em que o aditivo flocculante é utilizado é necessário utilizar um fator de correção.

O tempo de decantação das amostras é definido pela lei de Stokes, que descreve a velocidade de partículas esféricas em função das características do meio e do diâmetro. Para o protocolo da Rede, o intervalo em que as amostras devem permanecer em decantação será de no mínimo 15 dias. Para esse método, é necessária a determinação da quantidade dos sólidos dissolvidos (SD) de cada amostra.

- **Passo 1:** Pesar a amostra (água + sedimentos + recipiente). A pesagem deve ser realizada em balança de precisão com duas casas decimais.
- **Passo 2:** Período de decantação de no mínimo 15 dias. As amostras não podem ser mobilizadas/agitadas durante o período de decantação.
- **Passo 3:** Determinar a quantidade de sólidos dissolvidos (SD) por meio da pipetagem de uma alíquota de 20 mL do sobrenadante da amostra. Transferir para um béquer de 50 mL e colocar na estufa a 105°C por 24 horas.
- **Passo 4:** Da amostra (após a retirada de 20 mL para SD – passo 3), com auxílio de uma bomba de sucção, retirar aproximadamente 60% do volume para reduzir o tempo necessário para o processo de evaporação (não agitar/mobilizar a amostra e não succionar ou suspender o sedimento decantado).
- **Passo 5:** Pesar, em balança de precisão de duas casas decimais, a amostra que sobrou (água + sedimento + recipiente).
- **Passo 6:** Homogeneizar a amostra e transferir todo o conteúdo para um béquer (ou Berzelius) de 250 mL. Caso necessário, adicionar água destilada, com auxílio de uma pisseta, para limpeza total do recipiente e incorporar essa água à amostra transferida para o béquer de 250 mL.
- **Passo 7:** Secar as amostras contidas no béquer de 250 mL em estufa a 105°C por 24 horas.

- **Passo 8:** Após esse período (24 horas), as amostras de sedimentos dos béqueres de 250 mL e sólidos dissolvidos dos béqueres de 50 mL podem ser retiradas da estufa com auxílio de uma pinça e acondicionadas em dessecadores por duas horas, para posterior pesagem em balança de precisão de quatro casas decimais.
- **Passo 9:** Lavar as vidrarias (béquer, Berzelius e frascos de coleta) e levar para secar em estufa por 14 horas. Posteriormente, retirar as vidrarias da estufa, deixar em dessecador por duas horas e pesar em balança de precisão de quatro casas decimais. Esses procedimentos são necessários para determinar a tara e para o cálculo final da CSS e dos SD.
- **Passo 10:** Após a realização de todas essas etapas, calcular a CSS e os SD de cada amostra.

3.4.3 Método de filtragem

Esse método tem como vantagens a praticidade e a rapidez no processamento, porém deve ser utilizado em amostras com CSS entre 200-400 mg L⁻¹. Dependendo das características dos sedimentos, pode ocorrer o entupimento do filtro e, em altas concentrações de sedimentos, pode ocorrer a colmatação do filtro, o que compromete o procedimento de análise.

O método utiliza um conjunto de filtragem contendo um recipiente onde é adicionado o volume de água + sedimento. Alguns cuidados com o papel-filtro são recomendados durante o procedimento de análise. A permanência do papel-filtro na estufa por períodos prolongados pode provocar sua quebra. Durante o manuseio do filtro é necessário cuidar para não perfurá-lo, por isso ele deve ser acomodado de forma correta no conjunto de filtragem com auxílio de uma pinça.

- **Passo 1:** Pesar a amostra (água + sedimento + recipiente). A pesagem deve ser realizada em balança de precisão de duas casas decimais.
- **Passo 2:** Colocar os filtros com abertura de malha de 0,45 µm (material de acetato de celulose), com auxílio de uma pinça, em recipiente de alumínio e, posteriormente, manter em estufa a 105°C por uma hora.
- **Passo 3:** Após retirados da estufa, os filtros devem ser mantidos em dessecador por duas horas antes de sua pesagem em balança de precisão de quatro casas decimais.

- **Passo 4:** Montar e instalar o conjunto de filtragem e a bomba de vácuo de baixa pressão. Colocar o filtro no local correto do equipamento, de forma que fique centralizado.
- **Passo 5:** Transferir o volume total da amostra de água + sedimento, adicionando-o aos poucos no reservatório do sistema de filtragem com a bomba vácuo ligada para que ocorra a sucção. Cuidar para que toda a amostra seja transferida para o filtro, podendo limpar as paredes do frasco com água destilada. Para o caso de amostras com alta concentração de sedimentos, é indicado que a filtração seja realizada com volumes de 20 em 20 mL para não saturar o filtro. A agitação da amostra deve ser realizada para toda alíquota a ser filtrada. Utilizar proveta para medir o volume a ser filtrado e anotar o volume final.
- **Passo 6:** Ao término do processo de filtragem da amostra, os filtros + sedimentos devem ser colocados dentro do recipiente de alumínio e mantidos em estufa a 105°C durante oito horas.
- **Passo 7:** Os frascos de coleta das amostras devem ser lavados e colocados na estufa para secar. Quando secos, os frascos devem ser alocados e mantidos no dessecador por duas horas para, então, fazer a pesagem em balança de precisão de duas casas decimais.
- **Passo 8:** Os recipientes de alumínio com os filtros + sedimentos, após o período na estufa, devem ser colocados no dessecador com auxílio de uma pinça e mantidos por duas horas. Após esse período, os filtros devem ser pesados em balança de quatro casas decimais. A correção do SD não é necessária nesse método.
- **Passo 9:** O conjunto de filtragem deve ser lavado após o término do procedimento e guardado juntamente à bomba vácuo.

4 APLICAÇÕES PRÁTICAS

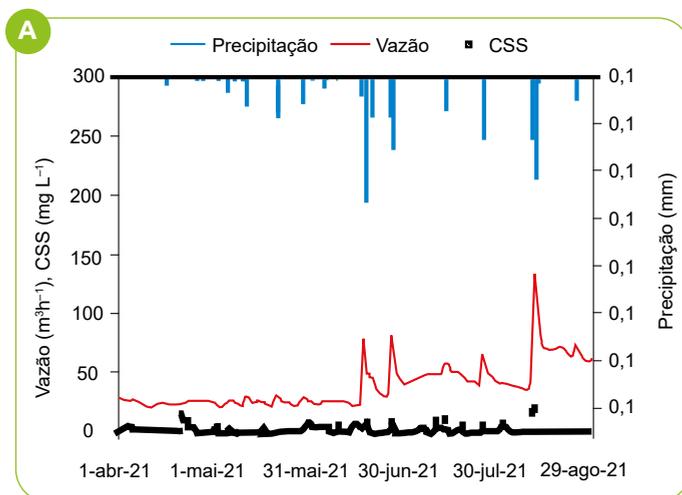
A Rede Agropesquisa está buscando, por meio da realização de cursos, treinamentos e seminários, padronizar a forma de coleta, a obtenção e análise dos dados e o modo de identificação e interpretação da dinâmica hidrológica e sedimentológica em termos de bacias hidrográficas. Os resultados de algumas variáveis hidrossedimentológicas já vêm sendo obtidos na condução dos projetos das mesorregiões do Estado do Paraná.

4.1 Região Centro-Sul

Em Guarapuava-PR, a seção de monitoramento hidrossedimentométrico está equipada com calha Parshall W36” e com linígrafo, turbidímetro, pluviógrafo e pluviômetro de Paris, os quais foram instalados em janeiro de 2021. Desde abril de 2021, um coletor automático de sedimentos também está instalado e programado no modo temporal, com duas coletas de amostras de 400 mL, duas vezes por dia.

Quando há previsão meteorológica de grandes volumes de chuva, esse amostrador é programado de forma a aumentar a quantidade de amostras por tempo, por exemplo, uma garrafa (1 litro) a cada uma ou duas horas, dependendo da duração da chuva. No período entre abril e agosto de 2021, sob forte influência do fenômeno La Niña, houve baixa precipitação, e a maior parte do tempo o equipamento funcionou coletando amostras diárias.

A vazão diária no rio ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) teve alguns picos (Figura 21A), associados à ocorrência de maiores precipitações pluviais. A precipitação mensal foi de 54, 50, 139, 43 e 83 mm, respectivamente nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto de 2021. Os valores médios mensais de vazão (Figura 1B) não se correlacionaram diretamente aos valores de precipitação mensal. A concentração média mensal de sedimentos em suspensão (CSS) foi baixa no período (Figura 21C), principalmente por ser um período seco. A maior concentração média mensal de sedimentos (CSS) ocorreu no mês de junho, mês com o maior volume de precipitação no período monitorado.



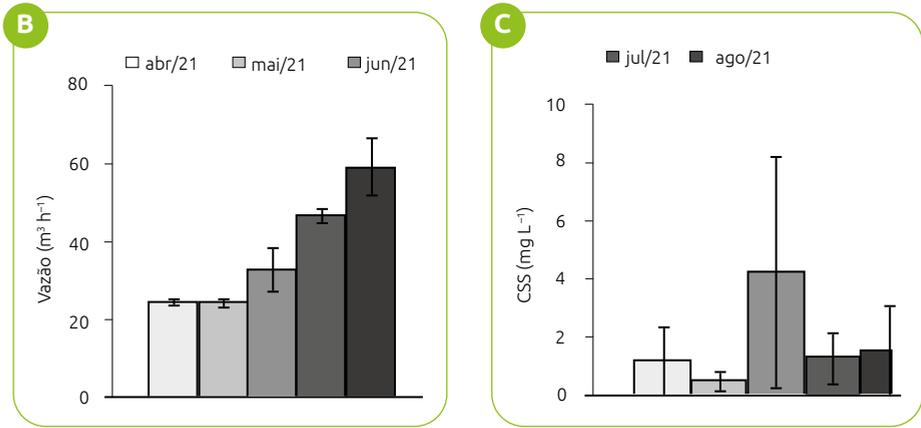


Figura 21 – Hietograma, hidrograma e sedimentograma na seção de monitoramento hidrossedimentométrico de Guarapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

Nota: (A) diário no período de 01/04/2021 a 30/08/2021; (B) média mensal da vazão do rio; e (C) média mensal da concentração de sedimentos em suspensão (CSS).

Barras verticais, nos gráficos de barra, representam o intervalo de confiança de cada mês ($p < 0,05$).

4.4.2 Região Sudoeste

O monitoramento hidrossedimentométrico da bacia hidrográfica em Dois Vizinhos-PR é realizado na seção de monitoramento composta por uma calha Parshall W48”, automatizada com sensores de nível (linígrafo) para estimativa da vazão, de turbidez (turbidímetro) para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão e de chuva (pluviógrafo), além de um *datalogger* e painel solar.

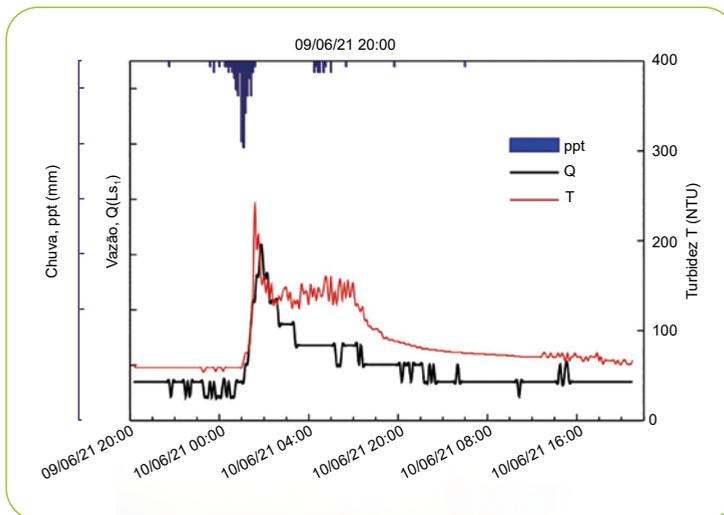
O *datalogger* armazena os dados que são mensurados e registrados em intervalos de tempo fixos de 5 minutos. Além dos dados automáticos, alguns eventos de chuva-vazão-sedimentos são monitorados manualmente, com amostragens durante os eventos de cheia, com intuito de calibrar os equipamentos automáticos e coletar as amostras necessárias para a estimativa da concentração e da produção de sedimentos e de nutrientes.

As coletas de sedimentos em suspensão, durante os eventos de chuva, vêm sendo realizadas para caracterizar o regime sedimentológico, o que possibilita a estimativa da produção de sedimentos nas bacias, tendo em vista que a maior transferência dos sedimentos ocorre durante os eventos de cheia.

As amostras são levadas ao laboratório para quantificação da concentração de sedimentos em suspensão, após a evaporação das amostras (SHREVE; DOWNS, 2005). O monitoramento da chuva na bacia é realizado no pluviômetro instalado junto à seção de monitoramento, bem como em uma estação meteorológica e em mais quatro pluviômetros distribuídos na área da bacia, o que permite a representação adequada da distribuição espacial das chuvas na bacia e a correção dos dados do pluviômetro e da seção de monitoramento.

A concentração de sedimentos em suspensão foi amostrada durante apenas dois eventos de chuva, devido à baixa magnitude dos eventos ocorridos em 2021. Assim, ainda não é possível estimar a concentração de sedimentos em suspensão, sendo o comportamento sedimentológico avaliado apenas por meio do comportamento da turbidez, que tem relação direta com a concentração de sedimentos em suspensão. Para representar o comportamento hidrossedimentológico da bacia hidrográfica, foram selecionados dois eventos de diferentes magnitudes de chuva-vazão-sedimentos ocorridos em 2021.

A magnitude dos eventos ocorridos em 09/06/2021 (19,1 mm) e 14/09/2021 (63,5 mm) gerou vazões de pico e pico de turbidez de diferentes magnitudes, mas, nos dois eventos, o pico da turbidez antecedeu ao pico da vazão (Figura 22).



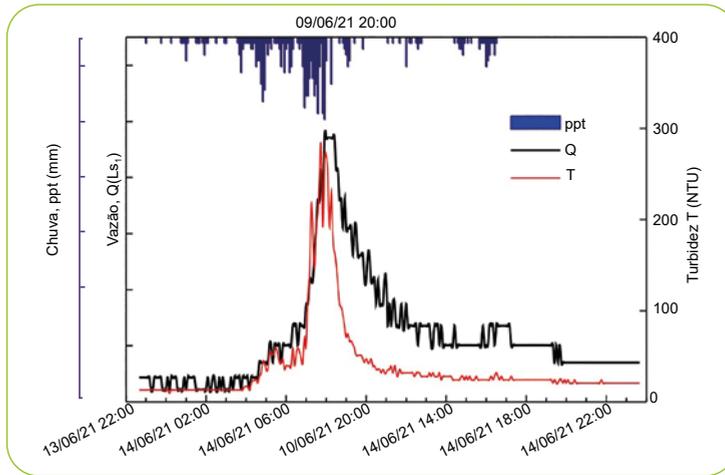


Figura 22 – Hietograma, hidrograma e sedimentograma dos eventos ocorridos em 09/06/2021 e 14/09/2021 na bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR
Fonte: André Pellegrini (2021).

Embora as intensidades máximas dos dois eventos tenham sido próximas, o evento do dia 14/09/2021 apresentou maior escoamento superficial e maiores vazões em função do maior volume de precipitação (Tabela 4). A maior duração desse evento contribuiu para o aumento do tempo de retardo das variáveis hidrológicas características (Tabela 5).

Tabela 4 – Variáveis hidrológicas características da chuva e do escoamento superficial dos eventos ocorrido em 09/06/2021 e 14/09/2021 na bacia hidrográfica em Dois Vizinhos-PR, Sul do Brasil

Variável	09/06/2021	14/09/2021
ppt (mm)	19,1	63,5
I_{10} (mm h ⁻¹)	33,6	31,3
I_{20} (mm h ⁻¹)	25,5	22,6
I_{30} (mm h ⁻¹)	20,5	20,9
I_{60} (mm h ⁻¹)	14,1	19,7
I média (mm h ⁻¹)	5,0	5,9
Escoamento superficial (mm)	0,092	0,458

Variável	09/06/2021	14/09/2021
Q máxima ($L s^{-1}$)	30,9	47,1
Q mínima ($L s^{-1}$)	7,0	2,2
Q média ($L s^{-1}$)	11,5	12,9

Nota: Chuva (ppt); intensidade máxima da chuva em 10 (I_{10}), em 20 (I_{20}), em 30 (I_{30}) e em 60 (I_{60}) minutos; vazão (Q).

Fonte: André Pellegrini (2021).

Tabela 5 – Tempos de retardo (*lag time*) na ocorrência das variáveis hidrológicas características da chuva e do escoamento superficial dos eventos ocorridos em 09/06/2021 e 14/09/2021 na bacia hidrográfica em Dois Vizinhos-PR, Sul do Brasil

Lag time (min)	09/06/21	14/09/21
Tempo entre início da chuva até início da Q	205	340
Tempo entre início da chuva até $Q_{máx}$	405	205
Tempo entre fim da chuva até fim da Q	105	75
Duração da chuva	230	650
Tempo do início da chuva ao centro de massa do hietograma	190	430
Tempo do início do escoamento superficial ao centro de massa do hidrograma	65	225
Tempo entre os centros de massa	80	135
Tempo do início da chuva ao centro de massa do hidrograma	270	565
Tempo do escoamento	130	385
Tempo entre o centro de massa da chuva e $Q_{máx}$	55	105

Nota: Q = vazão ($L s^{-1}$); $Q_{máx}$ = vazão máxima ($L s^{-1}$).

Fonte: André Pellegrini (2021).

4.3 Região Norte

A seção de monitoramento hidrossedimentométrico da bacia hidrográfica de Cambé-PR é composta por uma calha Parshall W24”, na qual a vazão é monitorada por meio de um sensor linimétrico e a turbidez é monitorada por meio de um sensor de turbidez. O volume de chuva em função do tempo é monitorado por um sensor de precipitação (pluviógrafo), e o volume total do evento para determinação do fator de correção do pluviógrafo é monitorado por um pluviômetro de Paris.

Além do sensor de turbidez, a concentração de sedimentos é determinada por meio de um coletor automático de sedimentos que está programado para fazer coletas de amostras em função da ascensão ou recessão da lâmina d'água do rio.

Um evento ocorrido em 23/10/2021 teve 32 mm de chuva (Figura 23). Os dados de vazão e sedimentos foram coletados pelo sensor de nível e pelo coletor automático de sedimentos. O evento teve intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}) de $22,4 \text{ mm h}^{-1}$. A vazão do rio aumentou de forma concomitante à precipitação (7 minutos após o início da chuva), atingindo uma vazão máxima de $7,5 \text{ L s}^{-1}$, possivelmente devido à contribuição do escoamento superficial da bacia hidrográfica. O pico da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) ocorreu logo após o pico da vazão, alcançando uma concentração de $8,9 \text{ g L}^{-1}$.

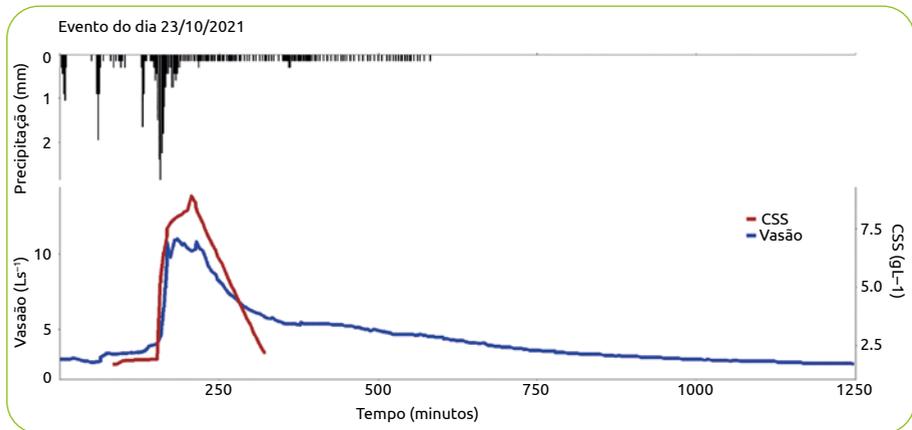


Figura 23 – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de um evento de 32 mm que ocorreu no dia 23/10/2021, na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2021).

4.4 Região Oeste

Nessa região (Toledo-PR), semelhante ao que ocorre na região Norte, a seção de monitoramento é composta por uma calha Parshall W24”, na qual a vazão é monitorada por meio de um sensor linimétrico, e a turbidez, por meio de um sensor de turbidez.

O volume de chuva em função do tempo é monitorado por um sensor de precipitação (pluviógrafo), e o volume total do evento para determinação do fator de correção do pluviógrafo é monitorado por um pluviômetro de Paris.

Além de haver um sensor de turbidez, a concentração de sedimentos é determinada por meio de um coletor automático de sedimentos.

Um evento ocorrido em 25/02/2020 teve 122 mm de chuva (Figura 24). Os dados de vazão e sedimentos foram coletados pelo sensor de nível e pelo coletor automático de sedimentos. O evento teve intensidade máxima em trinta minutos (I30) de 55 mm h^{-1} . É interessante salientar que, da mesma forma que na bacia hidrográfica de Cambé, a vazão do rio aumentou de forma concomitante à precipitação (um minuto após o início da chuva), atingindo uma vazão máxima de $8,7 \text{ L s}^{-1}$, possivelmente devido à contribuição do escoamento superficial da bacia hidrográfica. O pico da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) acompanhou o aumento do pico da vazão, alcançando uma concentração de sedimento em suspensão de, aproximadamente, 10 g L^{-1} .

Esse evento de precipitação gerou um hidrograma composto, formado por três picos de vazão, e um sedimentograma composto, formado por dois picos de sedimentos, sendo que o primeiro pico de vazão e o de sedimentos ocorreram concomitantemente. Essa similaridade pode indicar que, para esse evento, havia sedimento disponível para ser transportado, possivelmente oriundo das laterais ou do leito do rio. Nos dois picos de vazão ocorridos ao fim do evento não houve aumento da concentração de sedimentos em suspensão.

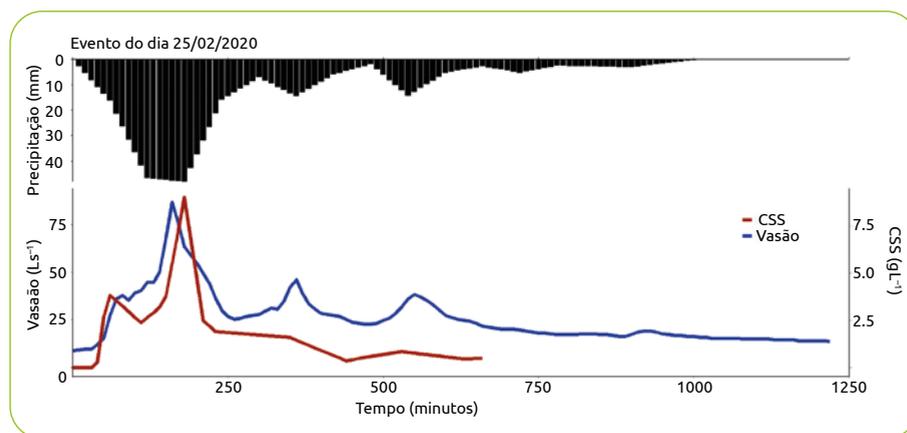


Figura 24 – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de um evento de 122 mm que ocorreu no dia 25/02/2020, na bacia hidrográfica de Toledo-PR
Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento hidrossedimentométrico tem a finalidade de caracterizar eventos de chuva-vazão-sedimentos ao longo do tempo e estudar essas variáveis com a finalidade de aplicá-los em modelos matemáticos de hidrossedimentologia para serem utilizados no planejamento de uso e manejo agrícola, ambiental e de bacias hidrográficas.

Atualmente, vários são os modelos que auxiliam na previsão de uso e manejo em bacias hidrográficas. No entanto, para uma boa calibração do modelo, isto é, para que de fato ele represente o que acontece na realidade, é necessário o monitoramento das variáveis ambientais que são utilizadas nesses modelos por um período mínimo de 10 anos.

Dessa forma, a Rede Agropesquisa do Paraná terá um banco de dados de monitoramento hidrossedimentométrico de bacias hidrográficas de várias regiões sob diferentes tipos de solo, tipos de uso e manejo do solo, que será útil para a aplicação em modelos ou ainda na construção de modelos próprios para o Estado do Paraná, que poderão ser utilizados, por exemplo, no dimensionamento de obras hidráulicas como o terraceamento e os canais escoadouros.

Os dados e resultados do monitoramento hidrossedimentométrico são importantes para definir políticas públicas voltadas à produção agrícola e à proteção ambiental para as diferentes regiões e gerar informações para orientar o uso do solo e práticas de manejo visando à sustentabilidade das atividades econômicas.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1999.
- CARVALHO, N. de O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. G. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: Aneel, 2000. 154p.
- FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Autor, 2011. v. 300. 89p.
- HUFFMAN, R. L.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; WORKMAN, S. R. **Soil and water conservation engineering**. 6. ed. St. Joseph: ASABE, 2011. 523p.
- KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. **Journal of Civil Engineering**, Nova Iorque, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, out./dez. 2002.
- OWENS, P. N.; COLLINS, A. J. **Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management**. Oxfordshire: Cambridge, 2006. 342p.
- SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U.S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory**. Denver: USGS, 2005.
- SMEDEMA, L. K.; RYCROFT, D. W. **Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems**. New York: Cornell University Press, 1983. 376p.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). Hydrology. *In*: USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Engineering Field Manual**. Washington DC: Usda, 1990.

05

Autores

Monitoramento hidrossedimentométrico em megaparcelas experimentais

Graziela Moraes de Cesare Barbosa**André Pellegrini****Cristiano Andre Pott****Edson Schmidt Filho****Fabício Tondello Barbosa****José Francirlei de Oliveira****Elizeu Jonas Didoné**

1 MEGAPARCELAS EXPERIMENTAIS DA REDE AGROPESQUISA

A escolha da área de instalação das megaparcelas para o monitoramento hidrossedimentométrico deve ser realizada em função das características topográficas da encosta. Inicialmente, um caminhamento pode ser feito a campo para identificar a presença de sulcos de erosão, o plano e a forma da curvatura do terreno. O local deve, preferencialmente, ter formato côncavo convergente, no qual o fluxo de água seja direcionado para um ponto concentrado ao fim da encosta. Outras formas de encosta podem ser incluídas, caso haja dificuldade de encontrar um terreno com essas características.

Na extremidade inferior, de menor elevação da megaparcela, é necessário construir uma estrutura de monitoramento da vazão e de sedimentos de forma que todo o escoamento superficial seja direcionado para essa seção de monitoramento. Esse direcionamento pode ser feito por meio da delimitação da área da megaparcela com a construção de camalhões de terra em desnível. Uma estratégia de alocação desses camalhões é colocá-los com uma angulação mínima de desnível e supervisioná-los durante os eventos de chuva, observando o direcionamento do fluxo superficial. Esse fluxo deve ser lento o suficiente para conduzir os sedimentos para a estrutura de monitoramento sem causar erosão no canal de condução e ter velocidade suficiente para evitar áreas de depósito de sedimentos ao longo do canal. É importante enfatizar que não existem regras ou cálculos para determinação do desnível do camalhão de condução do escoamento superficial.

Após a identificação da encosta com potencial para instalação das megaparcelas, deve-se realizar a análise dos atributos topográficos dessa encosta. O procedimento pode ser feito com o auxílio de imagens geoprocessadas disponibilizadas gratuitamente em locais especializados, como o California Institute of Technology. Nesse instituto é possível adquirir modelos digitais de elevação com resolução de, aproximadamente, 30 metros. Com base nesses modelos, outros atributos topográficos primários e secundários são derivados, os quais auxiliarão na escolha do local de construção das megaparcelas. O objetivo dessa análise é observar o potencial de formação de fluxo superficial convergente na encosta para a instalação da estrutura de monitoramento da vazão e da concentração de sedimentos.

A identificação do potencial de formação de fluxo superficial convergente na encosta é realizada, inicialmente, por meio da derivação dos atributos topográficos primários e secundários do modelo digital de elevação, como a declividade, o plano e a forma de curvatura, o direcionamento do escoamento superficial, o fluxo superficial acumulado e outros atributos topográficos que auxiliem na identificação da ocorrência de uma região de acúmulo de escoamento superficial, onde poderá ser instalada a seção de monitoramento.

Após a observação dos mapas desses atributos na encosta, deve-se definir o polígono da área de contribuição das megaparcelas. Essa área deve contemplar toda a encosta agrícola ou a maior parte dela. Definido o polígono, devem ser derivados os atributos topográficos primários e secundários. Uma análise estatística descritiva de centralização e dispersão dos dados topográficos deve ser realizada, buscando-se uma distribuição normal gaussiana dentro da encosta e a maior homogeneidade possível quando existirem duas ou mais megaparcelas em uma mesma encosta. Caso a distribuição de frequência seja diferente entre as megaparcelas, novos polígonos devem ser gerados, e a frequência dos atributos topográficos deve ser novamente analisada até que a homogeneidade entre as megaparcelas seja alcançada. Pequenas diferenças topográficas entre as megaparcelas podem ocorrer.

Para os estudos da Rede Agropesquisa, foram priorizadas áreas agrícolas, com solos predominantes e culturas comumente utilizadas em cada mesorregião do Estado. As características topográficas e as diferentes classes de solos presentes em cada mesorregião se encontram descritas no Capítulo 3. Em todas as bacias, foram instaladas no mínimo duas megaparcelas, sendo uma com e outra sem terraços. O uso e o manejo dos solos nas megaparcelas são representativos de cada região:

- **Mesorregião Campos Gerais:** as megaparcelas foram instaladas em uma bacia hidrográfica no município de Ponta Grossa, em área de produção comercial, na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), onde todas as operações de semeadura, colheita e manejo fitotécnico são realizadas pela equipe técnica da administração da fazenda. O sistema de manejo do solo empregado é de plantio direto, com cultivo de soja ou milho na safra de verão e de trigo ou aveia na safra de inverno. Os terraços de infiltração (em nível) foram instalados em uma das megaparcelas.
- **Mesorregião Centro-Sul:** as megaparcelas foram instaladas numa bacia hidrográfica rural no distrito de Entre Rios, município de Guarapuava, em área particular de um produtor rural, onde todas as operações de semeadura, tratos culturais e colheita são realizadas pela equipe do projeto. Nessa mesorregião, três megaparcelas foram instaladas com diferentes sistemas de manejo e conservação do solo no sistema de plantio direto, denominadas de megaparcela-padrão, megaparcela com terraço e megaparcela com boas práticas de manejo (BPM).
 - » Megaparcela-padrão: o manejo do solo e o processo de cultivo é baseado no sistema utilizado pela maioria dos produtores da região, com cultivo na direção da inclinação da encosta (morro abaixo). A rotação de culturas na megaparcela-padrão é utilizada pela maioria dos agricultores da região e consiste no cultivo de culturas de grãos em sistema de plantio direto, com a rotação principal constituída de 3/4 de soja e 1/4 de milho, seguida do cultivo de cereais de inverno. A sequência de culturas estabelecida para a rotação foi aveia/milho/cevada/soja/trigo/soja/trigo/soja.
 - » Megaparcela com terraço: o manejo do solo e o processo de cultivo são iguais aos da megaparcela-padrão, porém associados a práticas mecânicas de controle do escoamento, com terraços em nível. O programa Terraço for Windows foi utilizado para definição do espaçamento entre terraços, com adequação do método de Lombardi Neto, sendo a velocidade de infiltração determinada por meio de um infiltrômetro de pressão com anéis concêntricos.
 - » Megaparcela com boas práticas de manejo (BPM): conjunto de práticas conservacionistas (“boas práticas de manejo”) são empregadas nessa megaparcela, visando principalmente à me-

lhoria das condições físicas do solo. Uma rotação de culturas igual à da megaparcela-padrão é utilizada, ou seja, 1/4 de milho e 3/4 de soja, no entanto, com cultivo de plantas de cobertura outonal (PC) visando à formação de uma cobertura permanente do solo, principalmente nos períodos pós-cultura de verão e no início da semeadura dos cereais de inverno. Além disso, todas as práticas agrícolas, como semeadura e pulverização para tratamentos culturais, são realizadas em nível, o que favorece a conservação do solo. A sequência de culturas estabelecida na megaparcela BPM para a rotação foi aveia/milho (PC)/cevada/soja (PC)/trigo/soja (PC)/trigo/soja (PC), em que PC representa o cultivo outonal de plantas de cobertura, realizado entre a cultura de verão e antes da semeadura da cultura de inverno. As PC variam conforme o ano, sendo que em 2019 e 2020 foi cultivado nabo forrageiro e em 2021 foi realizado um policultivo com várias plantas de cobertura (aveia-preta, ervilhaca, centeio, aveia-branca).

- **Mesorregião Sudoeste:** as megaparcelas foram instaladas em uma bacia hidrográfica no município de Dois Vizinhos, em uma área da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A área estava terraçada com terraços de infiltração (em nível) de base larga. Os terraços foram mantidos em uma das megaparcelas, enquanto na outra megaparcela foram retirados quatro terraços. Todas as operações de semeadura, colheita e manejo fitotécnico são realizadas pela equipe do projeto. O sistema de manejo do solo adotado é de plantio direto, com cultivo de soja na safra de verão, de milho ou feijão na segunda safra ou de trigo ou aveia na safra de inverno.
- **Mesorregião Norte:** as megaparcelas foram instaladas em uma bacia hidrográfica no município de Cambé, em área particular de um produtor rural, na qual ele mesmo realiza todas as operações de semeadura, colheita e manejo fitotécnico. O sistema de manejo do solo adotado é de plantio direto, com cultivo de soja na safra de verão e de milho na segunda safra. Os terraços de infiltração (em nível) foram instalados em uma das megaparcelas.
- **Mesorregião Oeste:** as megaparcelas foram instaladas em uma bacia hidrográfica no município de Toledo, em área particular de um produtor rural, na qual ele mesmo realiza todas as operações de semeadura, colheita e manejo fitotécnico. O sistema de manejo do solo adotado é de plantio direto, com cultivo de soja na safra de

verão e de milho na segunda safra ou de trigo na safra de inverno. Os terraços de infiltração (em nível) foram instalados em uma das megaparcelas.

- **Mesorregião Noroeste:** as megaparcelas foram instaladas em duas bacias hidrográficas nos municípios de Cianorte e de Presidente Castelo Branco, em áreas de produtores rurais nas quais eles mesmos realizam todas as operações de semeadura, colheita e manejo fitotécnico. O sistema de manejo do solo adotado nas megaparcelas em Cianorte é de plantio direto de soja na safra de verão e de milho na segunda safra. Nas megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Presidente Castelo Branco, o sistema de manejo do solo adotado pela usina para o cultivo da cana-de-açúcar é com preparo convencional do solo, aração e gradagem e o plantio em sulcos. Ambas as áreas estavam terraçadas com terraços de infiltração (em nível). Assim, em cada bacia hidrográfica, os terraços de infiltração (em nível) foram mantidos em uma das megaparcelas, enquanto na outra os terraços foram retirados.

2 INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIAS DE MONITORAMENTO EM MEGAPARCELAS

2.1 Métodos de dimensionamento das seções de monitoramento na encosta (Calha H)

Os principais dados a serem utilizados na avaliação do efeito do manejo do solo na escala de encosta (megaparcela) são a vazão e a produção de sedimentos. O monitoramento hidrossedimentométrico para obtenção dessas variáveis na encosta pode ser realizado por meio da instalação da megaparcela, conforme polígono definido no item 5.1, com uma estrutura aferida, como calhas do tipo “H” (Figuras 1 a 7), instalada em uma região de acúmulo ou concentração de escoamento superficial.

A delimitação da megaparcela pode ser feita por meio da construção de camalhões de terra em seus limites superior, inferior e laterais, para isolar a área interna da megaparcela do restante da área da encosta. Isso garante que os processos hidrológicos, como precipitação e escoamento superficial, e os processos erosivos que ocorrem fora da megaparcela não influenciem os mesmos processos dentro dela, permitindo, assim, delimitar a área de contribuição dos fluxos de água e sedimentos que ocorrerão na megaparcela.

O dimensionamento das megaparcelas é dividido em cinco etapas, sendo: escolha da área; levantamento topográfico e posicionamento das megaparcelas na vertente; definição da chuva de projeto; cálculo da vazão máxima do escoamento superficial; escolha do tamanho da calha H a ser instalada na vertente.

A megaparcela é delimitada por camalhões, conforme já mencionado, e na extremidade inferior da mesma os dois camalhões provenientes das laterais são construídos de forma a direcionar o fluxo superficial para a calha H, onde é realizado o monitoramento e a determinação da vazão e do transporte e concentração de sedimentos na encosta.

A calha H tem a vantagem de ser pré-calibrada, ou seja, tem equações que variam conforme sua dimensão. Assim, com o uso do linígrafo se obtém a altura do escoamento e por meio desse se chega à vazão. Para aferição, o terço final da calha H tem formato trapezoidal, de área conhecida. Dessa forma, por meio de um molinete é possível determinar a velocidade do escoamento superficial que atravessa esse trapézio e, assim, multiplicando a área do terço final da calha H (m^2) pela velocidade do fluxo que atravessa esse trapézio ($m\ s^{-1}$) tem-se a vazão do fluxo superficial da megaparcela de estudo.



Figura 1 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Ponta Grossa-PR

Fonte: Elizeu Jonas Didoné (2022).



Figura 2 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Guapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2022).



Figura 3 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR (2022).



Figura 4 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).



Figura 5 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Toledo-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).



Figura 6 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Cianorte-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa ICETI – Unicesumar, Maringá-PR (2022).



Figura 7 – Calha H instalada em uma megaparcela na bacia hidrográfica de Presidente Castelo Branco-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa ICETI – Unicesumar, Maringá-PR (2022).

A escolha do local e a observação da similaridade topográfica entre as megaparcelas, para o dimensionamento das calhas H, foram realizadas com o uso de cartas topográficas para definição de atributos primários (altitude, declividade, plano e forma de curvatura da rampa, comprimento de rampa, entre outros) e secundários (fluxo acumulado, direcionamento de fluxo, índice de umidade, entre outros).

A definição da vazão máxima de projeto pode ser calculada por meio do método racional ou do método SCS-TR55 do Serviço de Conservação de Solo Americano. Esses métodos são exemplificados na subseção a seguir.

2.1.1 Exemplo de dimensionamento e instalação de megaparcelas no Estado do Paraná

2.1.1.1 Definição do local de instalação das megaparcelas

Uma área particular de um produtor rural, representativa da região Norte do Paraná, município de Cambé, foi utilizada como exemplo de instalação das megaparcelas na região (Figura 8). Essa área é constituída por uma pequena bacia hidrográfica localizada na Bacia do Ribeirão Vermelho, rio de primeira ordem que deságua no Ribeirão Vermelho, afluente indireto do Rio Paranapanema 3.

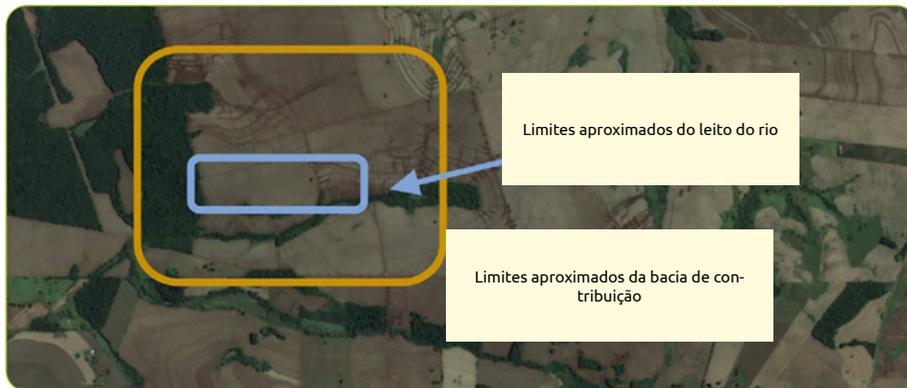


Figura 8 – Área da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho onde foram instaladas as seções de monitoramento hidrossedimentométrico

Fonte: Google Earth®.

A bacia hidrográfica escolhida é essencialmente rural, sem influência urbana. Um caminhamento foi realizado na encosta da bacia, onde foi observada a presença de pontos de convergência do fluxo superficial da água no terreno, o que indicou a possibilidade de instalação das megaparcelas (Figura 9).

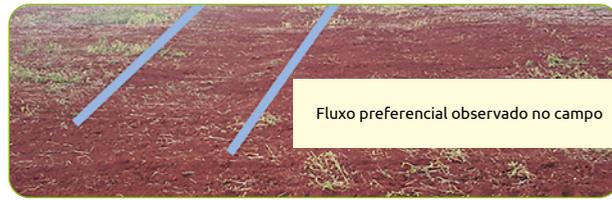


Figura 9 – Área da bacia hidrográfica onde foram instaladas as seções de monitoramento hidrossedimentométrico, na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).

Nota: Com observação do fluxo convergente do escoamento superficial, como suporte para a escolha do local de instalação da megaparcela e da calha H.

Com base no modelo digital de elevação, conforme descrito no Capítulo 4, um modelo digital de terreno foi gerado, e os mapas de declividade e fluxo acumulado do escoamento superficial foram derivados para identificação do possível local de instalação das megaparcelas.

A área de contribuição do fluxo superficial da seção de monitoramento do rio também deve ser considerada na escolha do local das megaparcelas. Com essa medida se evita alguma influência do escoamento das parcelas na seção de monitoramento no rio. Dessa forma, a área das megaparcelas fica restrita à jusante da estrutura de monitoramento do rio (Figura 10).

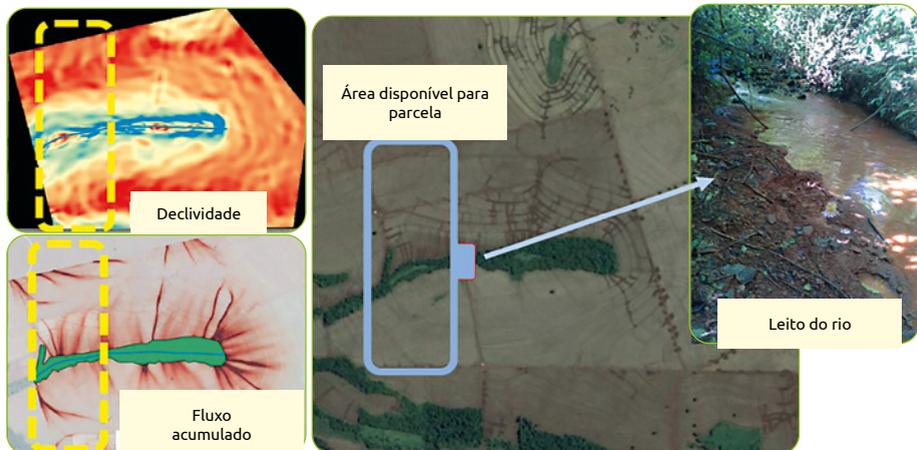


Figura 10 – Local, no rio, onde foi instalada a seção de monitoramento hidrossedimentométrico, na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2017).

Nota: Área disponível para alocação das megaparcelas, declividade e fluxo acumulado de água da bacia para escolha da alocação das parcelas na encosta.

Com base na área delimitada para a escolha das megaparcelas, observou-se um local com potencial de instalação, que apresentava maior similaridade entre ambas (Figura 11).

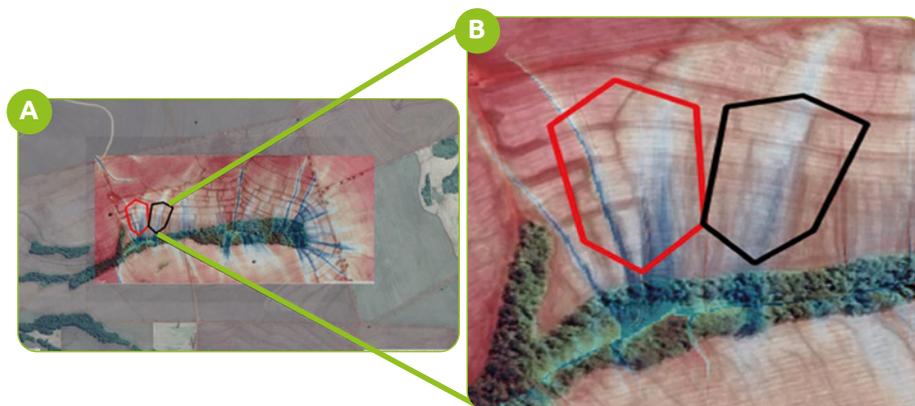


Figura 11 – Área da bacia hidrográfica considerando a direção do fluxo acumulado de água, na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2017).

Nota: (A) área de estudo; e (B) indicação da localização das parcelas.

Um levantamento topográfico com pontos equidistantes de 5 m foi realizado na área com possibilidade de instalação das megaparcelas, utilizando-se um RTK para melhorar as análises dos atributos topográficos (Figura 12).

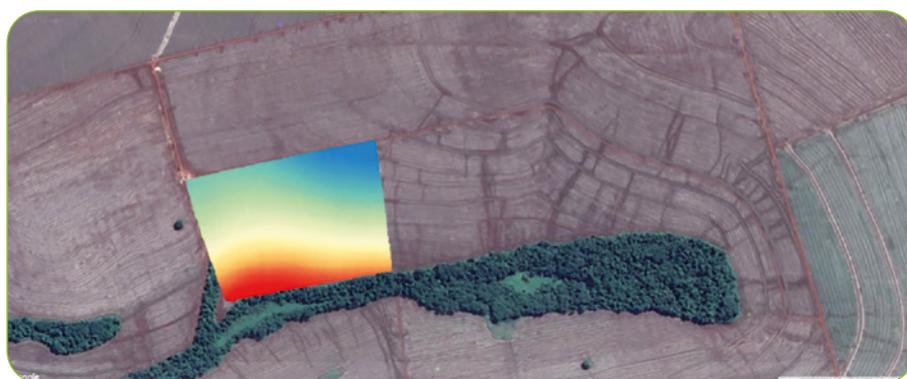


Figura 12 – Detalhe da área definida como local de instalação das megaparcelas na bacia hidrográfica de Cambé-PR, por meio do geoprocessamento com RTK (Real Time Kinematic)

Fonte: Google Earth®.

Por meio do levantamento realizado por geoprocessamento, buscou-se alocar as megaparcelas de forma pareada com a maior similaridade possível de solo, área de contribuição, declividade, comprimento e forma de rampa e outros atributos topográficos. Assim, diversas tentativas de alocação das megaparcelas foram realizadas (Figura 13).

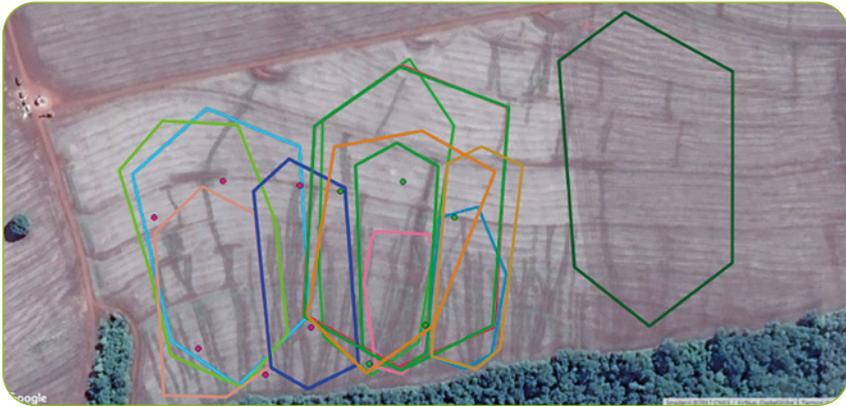


Figura 13 – Tentativas de alocação das megaparcelas na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Google Earth®.

Em Cambé-PR, em todas as tentativas de similaridade, a declividade (atributo primário) não foi semelhante entre as megaparcelas, uma vez que uma teve declividades média, máxima e mínima de 11 ($\pm 2,2$), 15 e 7%, respectivamente, enquanto a outra teve declividades média, máxima e mínima de 10 ($\pm 3,0$), 15 e 5%, respectivamente.

Além do desvio-padrão e da declividade mínima, as frequências de declividade das parcelas foram diferentes, com três grupos de declividade para a megaparcela Leste e quatro grupos para a Oeste (Figura 14), o que inviabilizou o uso dessas parcelas para a instalação da calha H e para os estudos em encosta, evidenciando a dificuldade de localização das megaparcelas.

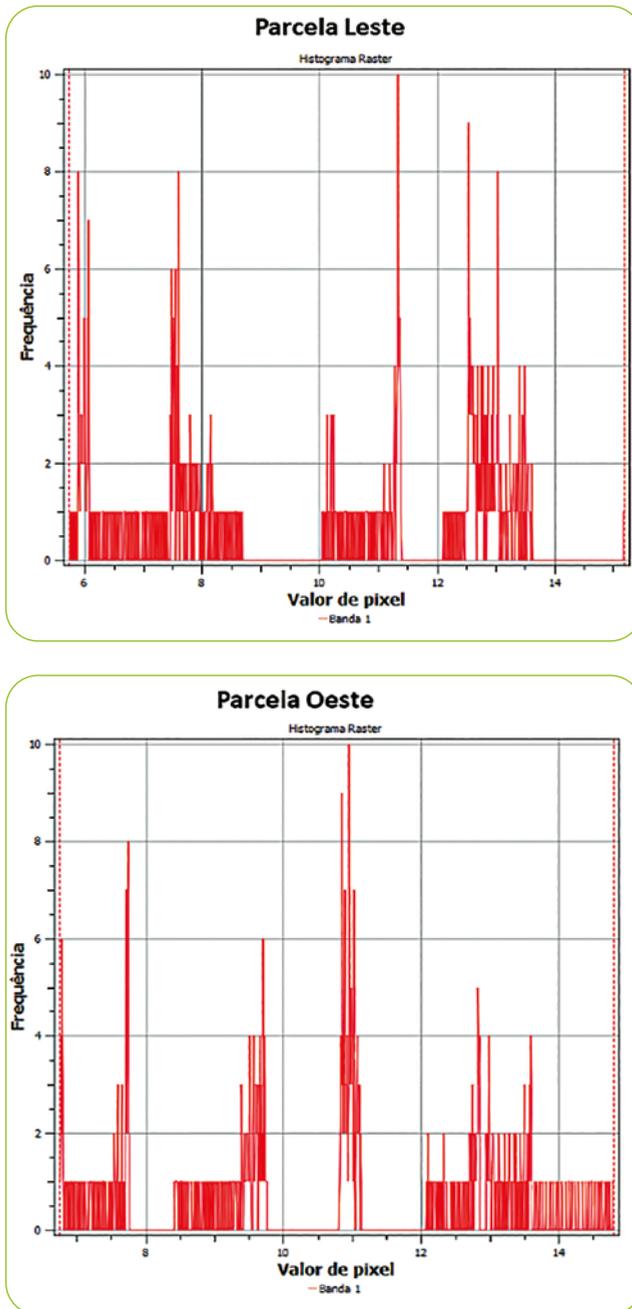


Figura 14 – Frequência de declividade de duas das possíveis megaparcelas para estudos na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2017).

Após as tentativas de alocação com falhas de homogeneidade, observou-se a necessidade de deslocar as megaparcelas para uma parte do terreno com menor amplitude de declividade e ausência de sulcos de erosão. Assim, foi possível obter maior homogeneidade na distribuição de frequência da declividade e dos atributos secundários, como o fator LS (comprimento de rampa e declividade), a linha de fluxo e o fluxo acumulado de drenagem entre as megaparcelas, ficando o local da Figura 15 como o definitivo para as megaparcelas da bacia hidrográfica da mesorregião de Cambé-PR.

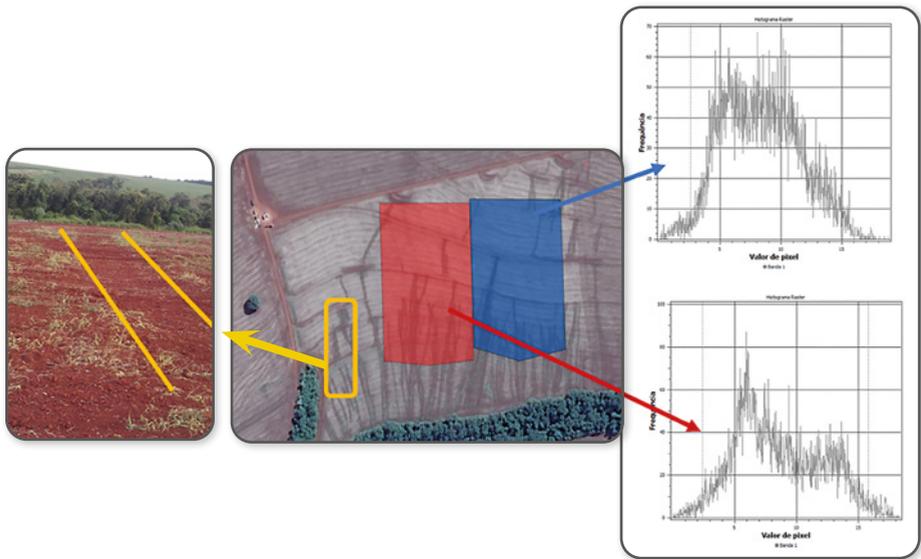


Figura 15 – Área na bacia hidrográfica de Cambé-PR com sulcos de erosão, que foi descartada, com local para instalar as megaparcelas e a similaridade na distribuição de frequência de declividade entre as megaparcelas

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2017).

Nota: Sulcos de erosão (em amarelo); local para instalar as megaparcelas (em vermelho e azul) e a similaridade na distribuição de frequência de declividade entre as megaparcelas (gráficos à direita).

Assim, na bacia hidrográfica de Cambé-PR, a megaparcela na posição Leste (em azul, Figura 15) tem declividade de 2,5% no terço superior, 9% no terço médio e 14% no terço inferior. A megaparcela da posição Oeste (em vermelho, Figura 15), tem declividade de 2,9% no terço superior, 10% no terço médio e 15% no terço inferior. Esses dados são indicadores da semelhança entre as megaparcelas.

2.1.2 Definição da vazão máxima de projeto

Antes de determinar a vazão máxima da megaparcela para o dimensionamento da calha H, é preciso conhecer a chuva máxima que pode ocorrer na área de estudo (chuva de projeto). Também é necessário ter informações das características físicas da área de contribuição do escoamento superficial.

Os métodos utilizados para definição da vazão máxima foram o SCS TR-55 e o método racional, descritos no Capítulo 4 e, por isso, tratados aqui de forma resumida. No método SCS TR-55, a chuva de projeto corresponde ao valor da lâmina de precipitação máxima (P) que pode ocorrer para um período de tempo preestabelecido, sendo o valor obtido por meio das equações IDF determinadas para cada região de interesse ou por meio dos dados de chuva máxima diária registrados por estações meteorológicas. Na mesorregião Norte, o município de Cambé tem as equações IDF determinadas por Fendrich (2011) e apresentadas na Tabela 1 do Capítulo 4.

Para a mesorregião exemplificada, seguiu-se o mesmo pressuposto de cálculo do dimensionamento dos terraços, ou seja, um tempo de retorno de 10 anos para uma chuva com duração de 24 horas. Esse é o mesmo procedimento descrito no Capítulo 4 para o dimensionamento da calha Parshall. Dessa forma, para o exemplo da área de Cambé, a lâmina total da chuva de projeto em 24 horas foi de 106,6 mm.

Após a chuva de projeto, o próximo passo é definir a lâmina máxima de escoamento superficial (Q) dentro da megaparcela. Para determinar o Q, utilizou-se o método do SCS Curva Número (SCS, 1986) (Equação 1):

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

P = chuva máxima esperada (mm);

S = diferença potencial máxima entre a chuva e o escoamento superficial (mm).

A diferença máxima entre a chuva e o escoamento superficial (S) é calculada por meio da Equação 2:

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 2}$$

em que:

CN = valor da curva número.

É importante ressaltar que a determinação do valor de vazão de pico unitária (q_u), do índice de abstração (Ia) e do tempo de concentração (T_c), também é necessário para o cálculo da vazão máxima de escoamento superficial (q) pelo método SCS TR-55. As equações utilizadas para determinação dessas variáveis foram descritas no Capítulo 4.

Outra maneira de calcular a vazão máxima (q) é pelo método racional, conforme descrito no Capítulo 4, no qual a chuva de projeto corresponde ao valor da intensidade máxima da chuva com duração igual ao tempo de concentração (i), no tempo de concentração da área de contribuição (T_c) para um período de tempo preestabelecido. Os dados de precipitação também são obtidos por meio das equações IDF determinadas para cada região de interesse. Adicionalmente, de posse das informações do coeficiente de escoamento superficial (C) e da área de contribuição (A), obtém-se a vazão máxima esperada (q).

Normalmente, na megaparcela com terraço, a área de contribuição será muito menor, o que possibilitaria projetar uma calha H de menor tamanho em relação à megaparcela sem terraço. Isso seria possível tendo em vista que a área de contribuição corresponde ao espaço entre o último terraço e a calha H, o que altera o tempo de concentração, pois diminui o comprimento da rampa. No entanto, não é recomendável tal medida, pois caso ocorra algum evento extremo de escoamento superficial, poderá haver transbordamento ou rompimento dos diques dos terraços, e a calha de menor dimensão poderá não ser suficiente para mensurar as maiores vazões.

2.1.3 Características das megaparcelas e das calhas H nas regiões do Estado do Paraná

As características das megaparcelas e das calhas H foram dimensionadas para o estudo hidrossedimentológico para cada região do estado do Paraná (Tabela 1).

Tabela 1 – Características das megaparcelas e das calhas H instaladas nas diferentes regiões do Estado do Paraná

Local	Área de cada megaparcela (ha)	Declividade média da área (%)	Tipo da calha	Vazão máxima (m ³ h ⁻¹)
Cambé	2,56	9	H 2 pés	1,119
Cianorte	2,56	13	H 2 pés	1,119
Dois Vizinhos	1,92	9	H 1 pé (PCT)	195,6
			H 2 pés (PST)	1,119
Guarapuava	1,10	4	H 2 pés	1,119
Pres. Castelo Branco	2,56	19	H 2 pés	1,119
Ponta Grossa	1,54	9	H 2.5 pés	1,980
Toledo	0,80	6	H 1 pés (PCT)	195,6
			H 1,5 pés (PST)	543,1

Nota: PCT: megaparcela com terraços; PST: megaparcela sem terraços.

Fonte: Os autores (2022).

As Figuras 16 a 22 indicam a posição das megaparcelas nas bacias hidrográficas estudadas pela Rede Agropesquisa nas mesorregiões.



Figura 16 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).



Figura 17 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Toledo-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).



Figura 18 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Ponta Grossa-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Conservação do Solo e da Água – UEPG (2022).



Figura 19 –Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Guarapuava-PR

Fonte: Leandro Rampim (2022).

Nota: Manejo-padrão (esquerda); boas práticas de manejo no centro e com terraços (direita).



Figura 20 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR-DV (2022).

Nota: Terraços retirados (direita); e com terraços (esquerda).



Figura 21 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Cianorte-PR

Fonte: Edson Schmidt Filho (2022).



Figura 22 – Localização das megaparcelas instaladas na bacia hidrográfica de Presidente Castelo Branco-PR

Fonte: Edson Schmidt Filho (2022).

2.2 Metodologias e instrumentação de monitoramento na calha H

2.2.1 No campo

As variáveis mais importantes para descrição dos processos hidrossedimentológicos que são obtidas por meio do monitoramento são a precipitação, a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão para a quantificação da produção de sedimentos.

A presença de um colaborador no local da seção de monitoramento no momento da chuva é parte fundamental desse escopo de estudo. Uma equipe deve ficar disponível para ir à campo quando há previsão de chuva de grande volume e/ou alta intensidade, passível de gerar escoamento superficial. A possibilidade de chuva na megaparcela é acompanhada, principalmente, por plataformas de previsão do tempo que informam o deslocamento das massas de ar, como o Simepar, o Windy e o Ipmet.

O monitoramento da precipitação é realizado por meio de uma estação meteorológica instalada em cada bacia hidrográfica de estudo, além de um pluviógrafo acoplado a um *datalogger* (que realiza a leitura a cada 2 a 5 minutos) e pluviômetros próximos das megaparcelas (Figura 23). Em cada estação de monitoramento foi construído um abrigo para instalação dos equipamentos (*datalogger*, linígrafo, amostrador de sedimentos, entre outros), para guardar materiais e servir de refúgio ao colaborador que estará no local durante a coleta de eventos. O princípio de funcionamento, a forma de instalação e a obtenção dos dados são os mesmos descritos no Capítulo 4.



Figura 23 – Estação meteorológica, pluviógrafo e pluviômetro utilizados para o monitoramento da precipitação e demais dados meteorológicos da bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR-DV (2022).

O monitoramento da vazão na calha H é realizado, principalmente, por meio da leitura do nível da água na régua linimétrica. A régua é colocada próximo da calha H, e um colaborador presente no momento do escoamento superficial registra o horário e a altura da lâmina de água (cm) atingida na régua, para posterior tabulação (Figura 24).

Quando há escoamento superficial, a altura do fluxo na régua linimétrica é anotada sistematicamente. Uma forma adequada de determinação é o registro da altura de cota do escoamento superficial na calha H. A altura na régua linimétrica pode ser anotada, por exemplo, a cada centímetro de variação da lâmina de água, para mais ou para menos.

Além disso, as calhas H podem ser equipadas com sensores de medição de altura da lâmina de água (linígrafos), que possibilitam discretizar o hidrograma de escoamento superficial das megaparcelas. O linígrafo de pressão utilizado pela Rede Agropesquisa envia um sinal em milivolt (mV), em função da variação na altura da lâmina de água, que é armazenado em um *datalogger*. Como o tempo de resposta do escoamento superficial na calha H é rápido, o intervalo de registro das cotas no *datalogger* deve ser de alta frequência. Um intervalo de 2 a 5 minutos pode ser adequado para o registro desses dados. O procedimento de calibração do linígrafo é semelhante ao procedimento descrito no Capítulo 4.



Figura 24 – Régua linimétrica instalada na calha H da seção de monitoramento hidrossedimentométrico de uma megaparcela da bacia hidrográfica de Cambé-PR
Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).

A coleta de amostras para determinação da concentração de sedimentos em suspensão é realizada de forma concomitante ao monitoramento da lâmina de água na régua. Iniciado o escoamento superficial, as amostras deste (mistura de água + sedimentos) geradas durante eventos pluviais devem ser coletadas nas estruturas aferidas (calha H) instaladas no exutório das megaparcelas (Figura 25A), em função da variação no nível da lâmina de água, para representar a concentração de sedimentos na ascensão e recessão do escoamento.

O número de eventos é condicionando à ocorrência natural dos mesmos es, contudo a frequência de amostragem ao longo de um evento deve ser tanto maior quanto mais rápida a variação na altura da lâmina de água.

A amostragem do escoamento superficial de ser realizada posicionando os recipientes de coleta, com capacidade de 0,5 L (Figura 25B) e identificados, junto à extremidade da calha, em ângulo de 45° em relação ao fluxo. As amostras coletadas devem ter um volume de, aproximadamente, 75% da capacidade máxima do recipiente, o que é suficiente para a realização das análises. Durante a amostragem, é necessário evitar que ocorra extravasamento da água dentro do recipiente de amostragem para que a amostra seja representativa. Caso ocorra, essa amostra deve ser descartada e a amostragem deve ser realizada novamente. Planilhas de campo devem ser utilizadas para registrar os horários de início e de término do escoamento, identificar cada amostra e anotar simultaneamente a data e o horário da coleta e da altura da lâmina de escoamento, que deve ser verificada na régua linimétrica instalada na calha H.



Figura 25 – escoamento superficial nas bacias hidrográficas

Fonte: (A, B) Cristiano Andre Pott (2022); e (C, D) Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).

Nota: (A) evento de chuva com escoamento superficial na megaparcela; (B) coleta de amostras do escoamento superficial na calha H, no exutório de uma megaparcela; (C) coleta manual de amostras de água e sedimentos de escoamento superficial durante evento de chuva nas bacias hidrográficas.

Um amostrador automático de sedimentos também pode ser instalado na calha H (Figura 26). Ele pode ser programado para coleta de uma amostra de sedimentos em função das mudanças de cota na régua linimétrica ou por intervalo de tempo previamente definidos pelo usuário. O acionamento do amostrador é realizado pelo linígrafo. As amostras coletadas pelo amostrador automático de sedimentos devem ser calibradas com as amostras de sedimentos oriundas do monitoramento presencial. Reitera-se, com essa observação, que o amostrador automático de forma alguma substitui a presença de um colaborador no local no momento da chuva.



Figura 26 – Amostrador automático de sedimentos instalado próximo à calha H na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).

2.2.2 No laboratório

A análise da concentração de sedimentos na mistura água + sedimento do escoamento superficial deverá ser realizada em cada evento de chuva coletado. A análise deve ser feita em cada amostra coletada referente às diferentes cotas observadas na régua linimétrica. Portanto, não poderá ser formada amostra composta. Assim, será possível determinar o sedimentograma de cada área de estudo.

A determinação da concentração de sedimentos pode ser realizada pelos métodos de filtração ou evaporação (GUY, 1969; SHREVE; DOWNS, 2005), conforme procedimentos descritos no Capítulo 4.

3 CONJUNTO DE DADOS GERADO

Com a instalação das megaparcelas e dos equipamentos previamente calibrados e a ocorrência das chuvas, inicia-se o monitoramento hidrossedimentométrico e a geração de um banco de dados das variáveis hidrossedimentológicas oriundas dos eventos pluviais.

Conforme mencionado no item 5.2.2.1, os principais dados levantados pelo monitoramento são a precipitação, a vazão e a produção de sedimentos. Com base na precipitação, algumas das variáveis importantes a serem analisadas são a altura total precipitada (mm), as intensidades máxima e média da chuva (mm h^{-1}), a intensidade em diferentes tempos (10, 30, 45 ou 60 minutos), a energia cinética total da chuva (MJ há^{-1}) e sua erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$). Também é possível construir o hietograma da chuva, que é o registro gráfico da precipitação em função do tempo. Essas variáveis deverão ser relacionadas com a vazão e a quantidade de sedimentos produzidos durante os eventos de chuva nas megaparcelas.

Após as coletas dos dados das cotas da altura do escoamento na calha H, a cota é transformada para vazão. Definidos os dados de vazão, é possível obter algumas variáveis hidrológicas, como vazão máxima, volume total escoado, infiltração aparente e coeficiente de escoamento superficial. Já com os dados de concentração de sedimentos é possível obter a produção de sedimentos e os valores médios e máximos (exemplo apresentado na Tabela 2). As informações de vazão e concentração de sedimentos discretizadas no tempo são representadas na forma gráfica por meio de hidrogramas e sedimentogramas, respectivamente (exemplo apresentado na Figura 27).

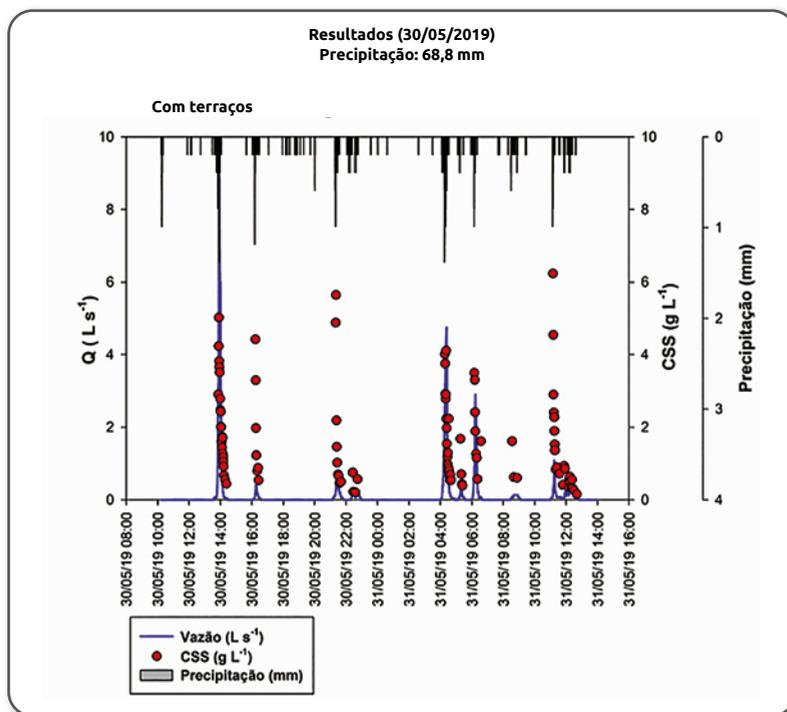
Tabela 2 – Variáveis do escoamento superficial e da produção de sedimentos nas megaparcelas com terraço (PCT) e sem terraço (PST) em um evento ocorrido em 16/12/2019, com precipitação total de 42,8 mm e intensidade máxima de $47,18 \text{ mm h}^{-1}$, na bacia hidrográfica de Cambé-PR

Variáveis	PST	PCT
$Q_{\text{máx}}$ (L s^{-1})	9,73	11,43
$Q_{\text{máx}}$ ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	35,05	41,15
Q_{total} (L)	17.018,37	18.794,17
Q_{total} (m^3)	17,02	18,79
Q_{total} (mm)	0,66	0,74

Variáveis	PST	PCT
la (mm)	42,14	42,06
C (%)	1,54	1,72
CSS _{máx} (g L ⁻¹)	2,99	1,21
CSS _{média} (g L ⁻¹)	1,44	0,51
PS (kg)	26,65	10,24

Nota: Vazão máxima ($Q_{máx}$); volume total de escoamento (Q_{total}); infiltração aparente (la); coeficiente de escoamento superficial (C); concentração de sedimentos em suspensão (CSS); produção de sedimentos (PS).

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).



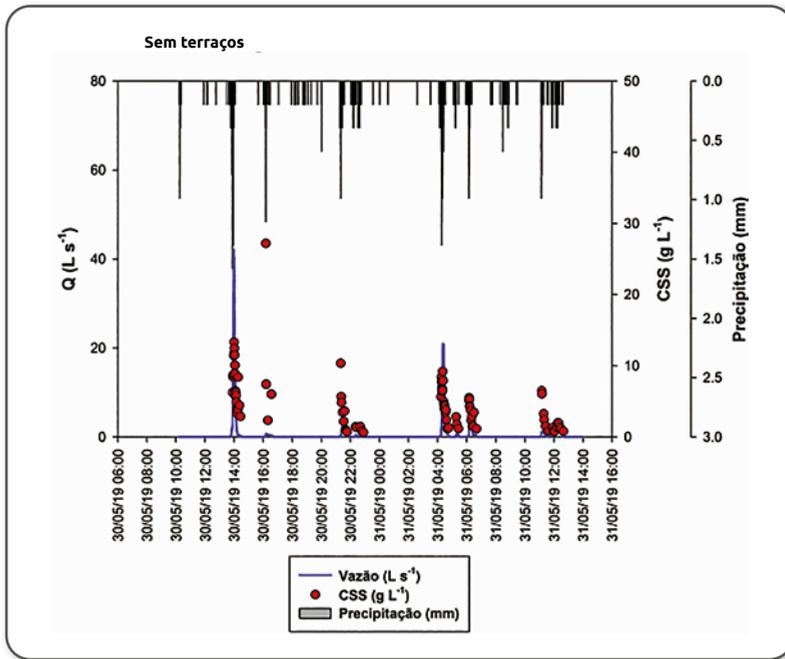


Figura 27 – Hietogramas, hidrogramas e concentração de sedimentos em suspensão no evento ocorrido em 30/05/2019 nas megaparcels com e sem terraços, na bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR

Fonte: Grupo de pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR-DV (2022).

Um dos primeiros eventos pluviais que possibilitou a geração de dados de escoamento e de concentração de sedimentos nas megaparcels da bacia hidrográfica de Dois Vizinhos-PR ocorreu em 30/05/2019 (Figura 27). Esse evento teve altura total precipitada de 68,6 mm. Na megaparcela sem terraço, o pico de vazão foi de 40 L s⁻¹, o que totalizou 45 m³ de volume escoado, ou seja, 3,4% do volume da chuva. Na megaparcela com terraços, a vazão de pico foi apenas de 6 L s⁻¹, o que totalizou 11 m³ de volume escoado e coeficiente de escoamento de 0,8%. A produção de sedimentos no evento foi de 305 kg na área sem terraços e de 27 kg na área com terraços.

A análise conjunta do hietograma e do hidrograma permite derivar diversos tempos de resposta da megaparcela à formação do processo erosivo (exemplo apresentado na Tabela 3). Um dos tempos de resposta que pode ser obtido é a diferença do tempo de início da vazão até a vazão máxima, que é uma variável importante para a descrição do processo erosivo.

Tabela 3 – Tempos de resposta entre as variáveis da chuva e da vazão de um evento ocorrido nas megaparcelas com terraços (PCT) e sem terraços (PST) da bacia hidrográfica de Cambé-PR

Características da chuva	Tempo de resposta			
	PCT		PST	
	hora	min	hora	min
Duração da chuva – T_p	6:12	372	6:12	372
Tempo entre início da chuva até início da q (vazão) – T_r	0:36	36	0:41	41
Tempo de início da q até $q_{máx}$ – T_r	0:28	28	0:27	27
Tempo entre o início da chuva até $q_{máx}$ – T_{lp}	1:04	64	1:08	68
Tempo entre o centro de massa da chuva e $q_{máx}$ – T_{lpc}	0:14	14	0:29	29
Tempo entre os centros de massa – T_{lc}	0:00	0	0:00	0
Tempo de base – T_b	1:28	88	2:11	131
Tempo entre fim da chuva até fim da q – T_c	4:08	248	3:20	200
Tempo para equilíbrio – T_{eq}	4:08	248	3:20	200
Tempo do início da chuva ao centro de massa do hietograma	1:18	78	1:37	97
Tempo do início do escoamento superficial ao centro de massa do hidrograma	0:42	42	0:56	56
Tempo do início da chuva ao centro de massa do hidrograma	1:04	64	1:08	68

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná (2022).

Além do levantamento e monitoramento de todas essas variáveis hidrosedimentológicas, também é necessário, na área das megaparcelas, o levantamento das propriedades químicas (pH, carbono, entre outros) e físico-hídricas do solo (densidade do solo e de partículas, granulometria, porosidade, resistência à penetração, agregação, taxa de infiltração, condutividade hidráulica, entre outros).

Por fim, para aplicação dos modelos matemáticos para cada mesorregião do Estado do Paraná são necessários diversos eventos com condições distintas de precipitação, umidade do solo, cobertura e culturas agrícolas. Prima-se que o tempo de monitoramento corresponda a uma normal climatológica para a representatividade dos dados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a geração do banco de dados das propriedades físico-hídricas e químicas do solo, do levantamento topográfico das áreas, dos dados hidrossedimentológicos e da caracterização do uso e manejo das megaparcelas, será possível partir para a definição de critérios regionais de implantação de sistemas conservacionistas de solo e água. Os dados permitirão a discussão, no Estado do Paraná, do impacto do manejo do solo sobre os processos hidrológicos e erosivos e da necessidade de reconstrução ou manutenção de terraços nas áreas de produção agrícola.

O funcionamento hidrossedimentológico, em resposta aos eventos coletados e às lacunas do manejo do solo e da água, poderão servir de pauta de discussão entre pesquisa e extensão, sobretudo com intuito de melhorar a cobertura e a estrutura da camada superficial do solo, buscando reduzir a produção de sedimentos e aumentar a rugosidade superficial e a infiltração de água no solo.

A integração dessas informações poderá ser utilizada na modelagem matemática de processos para simulação de diversos cenários de manejo de solo e água nas diferentes regiões do Paraná. Esses cenários poderão conter, por exemplo, diferentes espaçamentos entre terraços em diversas classes de solos e quantidade de cobertura vegetal. Isso será possível por meio da modelagem matemática utilizando o banco de dados da Rede Agropesquisa e permitirá desenvolver, para cada mesorregião do Estado, uma combinação de práticas conservacionistas com potencial máximo de redução do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

- GUY, H. P. **Laboratory theory and methods for sediment analysis**: techniques of water-resources investigations of the US Geological Survey. Washington, DC: US Government Printing Office, 1969. v. 5. 58p.
- FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Autor, 2011. v. 300. 89p.
- SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U.S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory**. Denver: USGS, 2005.

06

**Atributos químicos
do solo e erosão
hídrica***Autores***Marcelo Marques Lopes Müller****Nerilde Favaretto****Adriel Ferreira da Fonseca****Ana Lúcia Londero****Carlos Alberto Casali****Danilo Bernardino Ruiz****Edson Schmidt Filho****Luciane Lemos do Prado****Lutécia Beatriz dos Santos Canalli****Edson Lucas Camilo**

A qualidade química do solo e da água, em escalas de megaparcelas e de bacias hidrográficas, objeto de estudo da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada (Rede Agropesquisa), será abordada neste capítulo. Aspectos teóricos de qualidade, assim como as metodologias (protocolo) de coleta e análise e os dados preliminares serão aqui apresentados. Por fim, também serão apresentados alguns resultados e recomendações dos subprojetos conduzidos na Rede Agropesquisa que não estão diretamente inseridos nas áreas das megaparcelas e bacias hidrográficas.

1 QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO E DA ÁGUA

A atividade agrícola tem grande potencial de degradação ambiental, por isso, nas últimas décadas, sistemas de uso e manejo com vistas à conservação do solo e da água têm sido recomendados (PALM *et al.*, 2014). Dentre esses sistemas, destaca-se o SPD, utilizado no cultivo de mais de 32 milhões de hectares no Brasil (FUENTES-LLANILLO *et al.*, 2013, 2018, 2021), dos quais, aproximadamente, 36% estão na região Sul (IBGE, 2017). O Paraná foi pioneiro na introdução do SPD no Brasil e o utiliza em mais de 75% da área de cultivos anuais (FUENTES-LLANILLO *et al.*, 2013; 2018; 2021), o que totaliza aproximadamente 3,7 milhões de hectares (IBGE, 2019).

Embora o SPD reduza o escoamento superficial, sua eficiência é maior na redução das perdas de solo (MERTEN *et al.*, 2015) studies have shown that no-till is not as efficient in controlling surface runoff losses as it is in reducing soil loss. The objective of this study is to evaluate soil and surface runoff los-

ses on small and large plots with differing slope lengths, cropping sequences and tillage systems in southern Brazil. Surface runoff and soil losses under natural rainfall erosion plots (3.5. × 11. m, 3.5. × 22. m, 50. × 100. m, and 100. × 100. m e, portanto, precisa estar associado a práticas complementares, como terraços e rotação de culturas (LONDERO *et al.*, 2018; DEUSCHLE *et al.*, 2019). O escoamento superficial gerado em áreas agrícolas transporta sedimento (HARROD; THEURER, 2002) e poluentes associados na forma solúvel ou particulada (adsorvido às partículas sólidas minerais ou orgânicas do solo), o que compromete a qualidade da água e do solo (KAY; EDWARDS; FOULGER, 2009; ALBUQUERQUE *et al.*, 2016).

O fósforo (P) e o nitrogênio (N) são nutrientes amplamente utilizados em sistemas agrícolas, porém podem se tornar poluentes em ambiente aquático, quando em altas concentrações. A eutrofização é o principal problema associado ao P na água (LEINWEBER; TURNER; MEISSNER, 2002; SHARPLEY; WANG, 2014). Existem evidências que, além do P, o N também pode ser outro importante causador da eutrofização (POIKANE *et al.*, 2019). As preocupações relacionadas ao N na água são referentes à saúde humana, quando este se encontra na forma de nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-), e à vida aquática, quando na forma de amônia (NH_3). A transformação entre amônia e sua forma ionizada, amônio (NH_4^+), depende do pH (HATCH; GOULDING; MURPHY, 2002).

O risco de transporte de poluentes via escoamento superficial depende de uma série de fatores, dentre esses a qualidade do solo. A qualidade do solo, conceituada como a capacidade de sustentar a produtividade agrícola, manter a qualidade ambiental e garantir a saúde humana, animal e das plantas (DORAN; PARKIN, 1994), é fortemente influenciada pelo uso e pelo manejo do solo. A avaliação da qualidade do solo, considerada de maior aplicação, inclui a análise e a interpretação de um conjunto mínimo de atributos químicos, físicos e biológicos do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Esses indicadores devem incluir os atributos e os processos do solo que têm maior sensibilidade às mudanças de manejo e que representem as funções do solo (ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; CARDOZO *et al.*, 2013). Algumas funções do solo, como a promoção do crescimento das plantas e da ciclagem de elementos na biosfera, são subsidiadas por um solo com boa qualidade química (KARLEN *et al.*, 1997). Os principais indicadores utilizados na avaliação da qualidade química do solo são o teor de nutrientes, a matéria orgânica do solo, a capacidade de troca catiônica e a acidez do solo (ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; CARDOZO *et al.*, 2013).

Os atributos químicos do solo selecionados pela Rede Agropesquisa foram pH-CaCl₂, pH-SMP, teores de Ca, Mg e Al trocáveis, P e K disponível por

Mehlich-1 e carbono orgânico para o solo; e os indicadores de qualidade de água foram pH, condutividade elétrica e teores totais de N, P, K, Ca e Mg para o escoamento superficial e água-sedimento do rio.

2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

A amostragem de solo na bacia hidrográfica deve ser realizada em transectos e pode variar nos diferentes locais em função da extensão da área e características de relevo. A seção-padrão, estabelecida para o levantamento e a classificação dos solos, foi de 0 a 2,0 metros de profundidade, com estratos a cada 20 cm.

O procedimento amostral para estudo dos atributos químicos dos solos foi estabelecido com, no mínimo, 30 pontos amostrais por megaparcela, sendo as coletas realizadas ao menos uma vez por ano e após a safra de verão. A entrelinha de cultivo foi estabelecida como posição da amostragem do solo, a fim de diminuir a variabilidade horizontal dos atributos e evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo, em detrimento dos efeitos da adubação em sulco da cultura anterior.

A coleta de solo, em cada ponto amostral, deve ser realizada nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com auxílio de pá de corte ou de trado. Considerando a dinâmica de alteração dos atributos químicos no solo, definiu-se a amostragem até 40 cm de profundidade para o primeiro e para o quarto ano de estudo, coleta de caracterização inicial e de término da avaliação quadrienal. Para o segundo e para o terceiro ano, definiu-se como obrigatória a coleta até 10 cm de profundidade, podendo chegar a 40 cm.

As rotinas laboratoriais para realização das análises químicas do solo foram padronizadas considerando métodos amplamente descritos na literatura, calibrados para uso em condições brasileiras e já utilizados nos laboratórios de ensino e pesquisa e demais laboratórios no Estado do Paraná, empregando-se os métodos propostos por Pavan *et al.* (1992). O registro das rotinas analíticas aqui detalhadas serve de orientação geral a ser seguida pelos laboratórios participantes da Rede Agropesquisa, e permitirá maior confiabilidade dos dados e comparação entre resultados obtidos pelas diferentes mesorregiões.

O preparo de soluções e os métodos instrumentais de análise estão descritos nos manuais de Pavan *et al.* (1992), EMBRAPA (1999) e Van Raij *et al.* (2000). Os reagentes analíticos devem ter alta qualidade (PA), sobretudo o cloreto de potássio (KCl), que pode afetar diretamente a determinação de Al trocável. Outro aspecto importante a ser considerado é a utilização do branco nas determinações para eliminar possíveis erros causados por impureza de reagentes.

2.1 Acidez ativa e potencial

A acidez ativa será obtida por meio do pH em solução salina de cloreto de cálcio ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e, opcionalmente, pode-se agregar o pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$). Para tanto, serão utilizados 10 cm^3 de cada amostra de solo, avolumados por meio do uso de cachimbo amostrador e espátula (Figura 1).



Figura 1 – Cachimbos amostradores usados para obter alíquotas das amostras de solo conforme os métodos de determinação. pH (10 cm^3), P e K+ extraídos por Mehlich-1 e Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos por KCl (5 cm^3), e carbono orgânico por Walkley-Black (1 ou $0,5 \text{ cm}^3$).

Fonte: I Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Unicentro (2022), foto de Luiz Henrique de Lima, bolsista técnico de projeto na Mesorregião Centro-Sul do Paraná (MR-3).

Nota: Espátulas, de plástico ou metal, são utilizadas no bordo superior do cachimbo para eliminar o excedente de amostra.

Cada alíquota de solo será transferida para erlenmeyer de 125 mL ou frasco plástico reutilizável, com ou sem tampa, ou ainda copo plástico descartável, com capacidade de até 300 mL , conforme a rotina estabelecida em cada laboratório. No caso de recipientes de plástico, recomenda-se utilizar material incolor e com o mínimo de porosidade. Serão adicionados 25 mL de solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, e as amostras seguirão para mesa orbital, onde serão agitadas por 15 minutos a $200\text{-}220$ oscilações por minuto (Figura 2).



Figura 2 – Mesa agitadora orbital com suportes de madeira e isopor para fixação de frascos ou copos plásticos

Fonte: Edson Lucas Camilo (2022).

Nota: A rotação-padrão determinada para esse equipamento foi de 200 oscilações por minuto.

Após decantação por pelo menos 30 minutos, o pH será determinado com pHmetro de bancada previamente calibrado. O tempo de contato do eletrodo com as suspensões deve ser padronizado em cada laboratório, com foco na estabilização dos valores antes das leituras, o que varia conforme o conjunto eletrodo e potenciômetro. Após a leitura do $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, deve-se proceder a determinação da acidez potencial (H+Al). Serão adicionados para isso 5 mL de solução-tampão SMP e realizada nova agitação por 20 minutos a 200-220 oscilações por minuto na mesa orbital. As amostras devem ficar em repouso por 14-18 horas, motivo pelo qual essa e outras etapas com esse mesmo período de repouso devem ser feitas à tarde. Na manhã seguinte, será feita nova agitação por 10 minutos a 200-220 oscilações por minuto, seguida de decantação por, pelo menos, 30 minutos antes de proceder à leitura com o pHmetro. Os valores de pH_{SMP} serão convertidos em teores de H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) por meio de equação obtida para o Estado do Paraná (PAVAN *et al.*, 1992).

2.2 Ca, Mg e Al trocável

A extração de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis deve ser realizada com solução de KCl 1 mol L^{-1} mantendo-se a relação solo:solo de 10:1 (PAVAN *et al.*, 1992). A alíquota de solo sugerida é de 5 cm^3 , com adição de 50 mL da solução e, após a agitação em mesa orbital durante 15 minutos a 200-220 oscilações por minuto, as amostras devem permanecer em repouso por 14-18 horas. O número de amostras a ser processada em cada bateria deve ser determinado de forma que da primeira para a última amostra não haja diferença de tempo maior que 3 horas, tendo em vista que o processo de retirada de alíquota no dia seguinte é demorado.

A quantificação do Al^{3+} , na manhã seguinte, deve ser realizada por meio de pipetagem de 15 mL do extrato (sobrenadante) em recipiente com capacidade maior do que 100 mL, seguida de adição de três gotas de solução azul de bromotimol a 0,5% e 25 mL de água deionizada e titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,015 \text{ mol L}^{-1}$, cuja concentração deve ser padronizada por meio de titulação com solução de biftalato de potássio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) com indicador fenolftaleína. O processo deve ser encerrado quando ocorrer a mudança de cor da solução de amarelo para verde-claro, na qual o gasto de base (mL) é proporcional à quantidade de Al^{3+} no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A quantificação de Ca^{2+} e Mg^{2+} pode ser feita de duas formas: (i) a primeira é por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) com transferência de 0,1 mL do extrato para tubos de ensaio (ex. 10 mL) e posterior adição de 4,9 mL de solução de lantânio (La) a 0,1%. As amostras assim diluídas devem ser levadas ao EAA previamente calibrado para leitura. Na construção das curvas de calibração, devem ser utilizadas soluções contendo as mesmas concentrações de La e KCl dos extratos, sendo sugeridas as concentrações de 0, 5, 10, 15 e 20 mg L^{-1} de Ca^{2+} ; 0,2, 0,4, 0,8 e $1,6 \text{ mg L}^{-1}$ de Mg^{2+} ; (ii) a segunda forma é por meio da determinação das concentrações de Ca+Mg trocáveis com EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético).

Os reagentes para determinação de Ca+Mg são:

- Solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$: transferir 74,5 g de KCl para um frasco de 1,0 L e completar o volume com água deionizada;
- Solução-tampão pH 10,0: transferir 67,5 g de cloreto de amônio (NH_4Cl) para um frasco de 1,0 L contendo, aproximadamente, 100 mL de água deionizada e agitar para dissolver. Em seguida,

adicionar 600 mL de hidróxido de amônio (NH_4OH) concentrado, 0,616 g de sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e 0,93 g de $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, agitar para homogeneizar e, depois, completar o volume com água deionizada. Para controlar a neutralidade em relação ao Mg^{2+} e ao EDTA, é necessário colocar 3 mL da solução-tampão, 30 mL de água deionizada e três gotas do indicador negro de eriocromo T (NET). A adição de uma gota de solução EDTA 0,025 N deve mudar a mistura de róseo para azul puro;

- Solução de cianeto de potássio (KCN) a 10%: pesar 100 g de KCN, passar para balão volumétrico de 1,0 L e completar o volume com água deionizada;
- Solução coquetel: em proveta graduada de 1,0 L, adicionar 600 mL da solução-tampão pH 10,0 e 300 mL de trietanolamina, seguidos de 100 mL da solução de KCN a 10%, homogeneizar com bastão de vidro e guardar em frasco âmbar tampado;
- Solução de EDTA 0,1 N: pesar 18,613 g de EDTA com pureza 100%, transferir para balão aferido de 1,0 L contendo água deionizada, agitar e completar o volume; corrigir a normalidade da solução colocando 10 mL da solução de CaCO_3 0,1 N em erlenmeyer de 125 mL, adicionar 4 mL do coquetel, 30 mL de água deionizada e três gotas de NET; titular essa solução com EDTA 0,1 N, devendo ser gastos, exatamente, 10 mL; acertar a normalidade adicionando pequenas quantidades de EDTA (+) ou água destilada (-), conforme sejam gastos mais ou menos do que 10 mL;
- Solução EDTA 0,025 N: pipetar 250 mL da solução de EDTA 0,1 N já aferida, passar para balão volumétrico de 1,0 L e completar o volume com água deionizada;
- Indicador negro de eriocromo T: dissolver 0,2 g de NET em 20 mL de metanol e adicionar 20 mL de trietanolamina.

O procedimento analítico consiste em transferir 25 mL do extrato para erlenmeyer de 125 mL, adicionar 4 mL do coquetel, 20 mL de água deionizada e quatro gotas do indicador NET e, em seguida, titular com solução EDTA 0,025 N. A viragem ocorre do róseo para o azul, sendo necessário anotar o volume (mL) gasto na bureta digital. O teor de $\text{Ca}+\text{Mg}$ é obtido por igualdade, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Na sequência, determina-se apenas o Ca^{2+} .

Os reagentes para determinação de Ca^{2+} são:

- Solução de KCN a 5%: pesar 50 g de KCN, transferir para balão volumétrico de 1,0 L e completar com água deionizada;
- Solução de NaOH a 10%: pesar 100 g de NaOH, transferir para balão volumétrico de 1,0 L e completar com água deionizada;
- Trietanolamina: deve ser utilizada concentrada;
- Calcon: pesar 0,1 g de calcon, adicionar 10 mL de álcool metílico e 10 mL de trietanolamina.

O procedimento consiste em pipetar 25 mL do extrato da determinação de Ca+Mg, transferir para erlenmeyer de 125 mL, adicionar 2 mL de solução NaOH a 10%, 2 mL de KCN 5%, quatro gotas de trietanolamina e quatro gotas de calcon; titular com EDTA 0,025 N. A viragem ocorre do róseo para o azul, sendo necessário anotar o volume (mL) gasto na bureta digital. O teor de Ca^{2+} é obtido por igualdade, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O teor de Mg^{2+} é obtido pela diferença entre os valores de Ca+Mg e Ca^{2+} .

2.3 P e K disponíveis

A extração de P e K^+ disponíveis deve ser realizada por meio da transferência de alíquotas de 5 cm^3 de solo para recipientes com capacidade maior do que 100 mL e adição de 50 mL da solução Mehlich-1[0,0125 mol L^{-1} ácido sulfúrico (H_2SO_4) + 0,05 mol L^{-1} ácido clorídrico (HCl)]. A amostra deve ser agitada em mesa orbital por 5 minutos a 200-220 oscilações por minuto e, em seguida, mantida em repouso por uma noite. O teor de P deve ser determinado por meio de pipetagem de 5 mL do extrato transferido para tubos de ensaio (ex. 20 mL) com adição de uma pitada de ácido ascórbico e 10 mL de solução “B” de molibdato. Os frascos devem ser agitados manualmente até a dissolução do ácido ascórbico, e os teores são determinados em espectrofotômetro a 630 nm após 30 minutos (PAVAN *et al.*, 1992), ou 660 nm após 60 minutos (EMBRAPA, 1999). A curva de calibração deve ser construída com padrões de P diluídos com a solução de Mehlich-1, sendo sugeridas as concentrações de 0, 1, 2, 3 e 4 mg dm^{-3} de P. A determinação do teor de K^+ deve ser realizada em fotômetro de emissão em chama previamente calibrado, sendo os padrões utilizados na curva de calibração diluídos com solução Mehlich-1, nas concentrações de 0, 5, 10, 20 e 40 mg dm^{-3} de K^+ .

2.4 Carbono orgânico

O carbono orgânico do solo (C_{org}) deve ser quantificado pelo método Walkley-Black modificado, sendo mantida a relação solução:solo de 10:1 (PAPANICOLAOU *et al.*, 1992). O procedimento consiste em utilizar uma alíquota de 0,5 cm³ de solo e adicionar 5,0 mL da solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,167 mol L⁻¹ + 10 mL de H_2SO_4 , mantendo-se a relação 1:2 de $K_2Cr_2O_7$ e H_2SO_4 (VAN RAIJ *et al.*, 2001).

Os procedimentos dessa rotina analítica devem ser realizados utilizando EPIs adequados e em capela com exaustão de gases. Importante ressaltar que, além dos cuidados com os procedimentos analíticos, deve-se descartar de forma adequada o resíduo dessa análise considerando que o dicromato de potássio é um contaminante ambiental. Apesar dos volumes de reagentes serem pequenos, recomenda-se utilizar erlenmeyer de 250 mL devido à efervescência inicial da reação que, tão logo diminua, deve ser seguida por agitação manual lenta e resfriamento por 30 minutos. Conforme as proporções de reagentes indicadas por Van Raij *et al.* (2000), devem ser adicionados 100 mL de água destilada, 5 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4 PA) e 0,5 mL de solução indicadora de difenilamina a 1%, procedendo-se à titulação no prazo de até um minuto sem filtragem.

Os volumes de reagentes sugeridos foram proporcionalmente reduzidos da recomendação original (VAN RAIJ *et al.*, 2000), mas são maiores do que os indicados por Papanicolaou *et al.* (1992) e visam melhorar a visualização da viragem de cor durante a titulação, que é, na prática, difícil. A coloração alaranjada do $K_2Cr_2O_7$ (Figura 3A) prevalece no início, mas, após a reação com a amostra de solo, o extrato fica turvo e escurece ainda mais após a adição do indicador difenilamina, aproximando-se do marrom enegrecido (Figura 3B). A solução titulante de sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] 0,4 mol L⁻¹ deve ser adicionada até que a coloração marrom-esverdeado do extrato se torne azul intenso e depois verde (Figura 3C). Essa solução deve ser feita no momento da titulação e não deve ser armazenada, pois sofre oxidação.

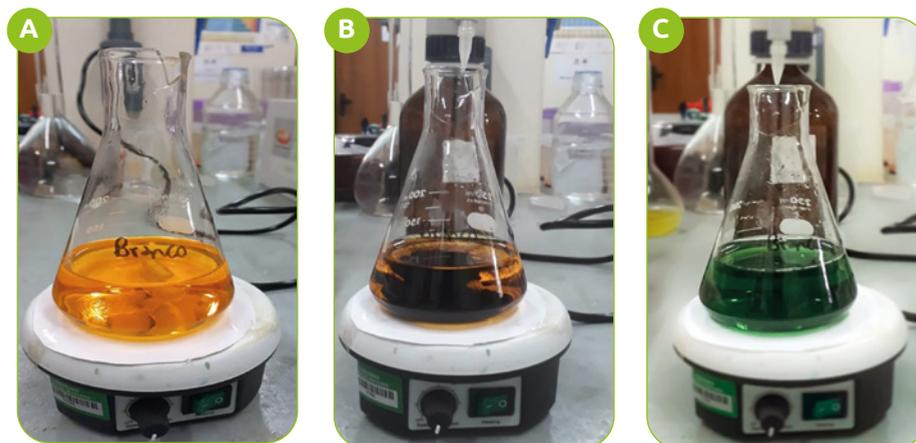


Figura 3 – Mudanças de cor na prova em branco durante a determinação do carbono orgânico do solo

Fonte: I Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Unicentro (2022), foto de Luiz Henrique de Lima, bolsista técnico de projeto na Mesorregião Centro-Sul do Paraná (MR-3).

Nota: (A) O extrato tem, inicialmente, a cor alaranjada do dicromato de potássio; (B) depois da adição da difenilamina, o extrato escurece; e (C) dificulta a visualização do ponto de viragem, que ocorre no surgimento da cor verde-azulada pela adição do sulfato ferroso.

3 ANÁLISE QUÍMICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (MEGAPARCELAS) E ÁGUA DO RIO

3.1 Procedimento imediatamente após a coleta de campo

Após a limpeza e organização das amostras coletadas na calha Parshall (Capítulo 4) e na calha H (Capítulo 5), deve-se proceder da seguinte forma:

- **Passo 1:** determinar o pH.
Princípio: medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H^+ .
Procedimento:
 - » Agitar o frasco de coleta com a mistura água-sedimento;
 - » Mergulhar o eletrodo na suspensão homogeneizada e efetuar a leitura do pH.
 Reagentes:
 - » Solução-padrão pH 4,00 e pH 7,00.

Observações: Utilizar o potenciômetro com eletrodos combinados, os quais devem permanecer mergulhados em solução saturada de KCl ($3,0 \text{ mol L}^{-1}$) quando não estiverem em uso. Ligar o potenciômetro por 30 minutos antes de iniciar a leitura. Aferir o potenciômetro com as soluções-padrão pH 4,00 e pH 7,00.

- **Passo 2:** determinar a condutividade elétrica.
Princípio: a medição eletroquímica da condutividade elétrica é uma medida indireta que indica a quantidade de íons presentes numa solução.
Procedimento:
 - » Agitar o frasco de coleta com a mistura água-sedimento;
 - » Mergulhar o eletrodo na suspensão homogeneizada e efetuar a leitura da condutividade elétrica.
 Reagentes:
 - » Solução-padrão $1.413 \mu\text{S cm}^{-1}$.
 Observações: Ligar o condutímetro por 30 minutos antes de começar a leitura e aferi-lo com a solução-padrão $1.413 \mu\text{S cm}^{-1}$.

- **Passo 3:** separar uma alíquota para análise dos elementos químicos e sedimentos em suspensão.
Procedimento:
 - » Retirar uma alíquota de 100 mL do frasco de coleta (vindo do campo) e armazenar em frasco plástico para análise química. Não se recomenda fazer a preservação ácida. Caso não seja possível realizar as análises químicas imediatamente, recomenda-se congelar as amostras. Caso as análises químicas sejam imediatamente processadas, as amostras devem ser mantidas sob refrigeração. Para amostras com sólidos suspensos de rápida sedimentação é recomendado que a alíquota seja pipetada durante agitação da amostra. O restante da amostra deve ser encaminhado para determinação da concentração de sedimentos em suspensão, conforme descrito no Capítulo 4.

3.2 Análise dos elementos químicos

As metodologias de extração e determinação dos elementos químicos das amostras de escoamento superficial e água de rio foram adaptadas de APHA (1999) e EMBRAPA (1999) e são descritas de acordo com o protocolo estabelecido pela Rede Agropesquisa.

As amostras devem ser, inicialmente, descongeladas, caso tenham sido congeladas, e homogeneizadas para posterior extração e determinação dos elementos (Figura 4).

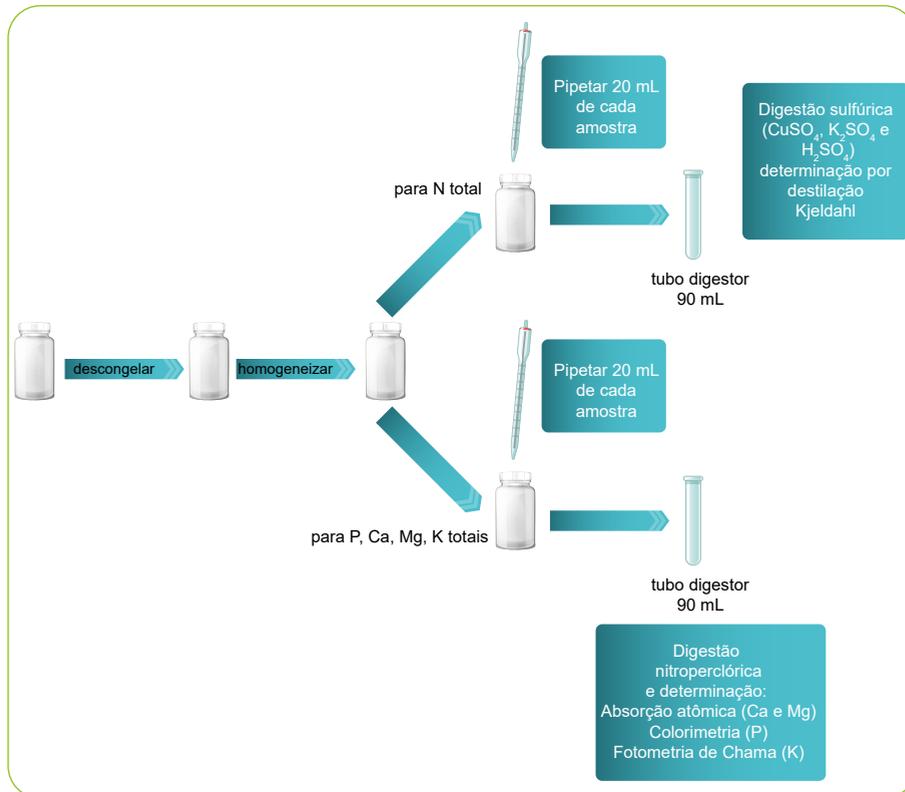


Figura 4 – Organograma para análise química do teor total de N, P, K, Ca e Mg das amostras de escoamento superficial (megaparcelas) ou da água do rio
Fonte: Danilo Ruiz (2022).

3.2.1 Etapa da extração

A extração total dos nutrientes deve ser realizada por meio de digestão sulfúrica para o teor total de nitrogênio Kjeldahl e nitroperclórica para o teor total de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Cabe ressaltar que mesmo não sendo uma extração com ácido fluorídrico, será utilizado aqui o termo *teor total* em vez de *pseudototal*.

a) Digestão sulfúrica para determinação do nitrogênio total Kjeldahl (NTK)

Princípio: o nitrogênio na forma orgânica é transformado em amônio (NH_4^+). Considerando que não será adicionado à liga de Devarda, o teor de NTK exclui as concentrações de NO_3^- e NO_2^- , e, portanto, refere-se ao nitrogênio amoniacal total.

Procedimento:

- » Pipetar 20 mL da amostra não filtrada (água-sedimento) homogeneizada. Para amostras com sólidos suspensos de rápida sedimentação é recomendado que a alíquota seja pipetada durante agitação da amostra. Esse procedimento minimiza erros analíticos. Para amostras límpidas ou com poucos sólidos em suspensão, é recomendado que seja utilizado um volume maior. Iniciar o procedimento de digestão conforme o método recomendado. Assim que o volume for reduzido pela metade, deve-se interromper a rampa de aquecimento. Aguardar a temperatura baixar e adicionar mais 20 mL de amostra (homogeneizada). Continuar o processo de digestão. Deve-se anotar o volume total de amostra para utilizar no cálculo final;
- » Transferir para tubo de digestão de 90 mL;
- » Adicionar 1,0 g da mistura de catalisador ($\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$);
- » Adicionar 2,0 mL de H_2SO_4 PA;
- » Iniciar a rampa de aquecimento em bloco digestor, a 100°C por uma hora; em seguida, aumentar gradativamente a cada 30 minutos, em patamares de 80°C , até 350°C ; manter temperatura final por uma hora;
- » Esfriar em temperatura ambiente;
- » Completar o volume para 25 mL com água destilada e reservar para determinação de N total via destilação Kjeldahl;
- » Fazer no mínimo dois brancos, seguindo a mesma metodologia utilizada para as amostras.

Observações: Em algumas situações, a digestão é muito efusiva, podendo extravasar material pela extremidade dos tubos. Nesses casos, é recomendado utilizar esferas de vidro para equilibrar a energia cinética no momento da ebulição ou realizar uma pré-digestão no dia anterior, iniciando com uma rampa mais lenta até $130\text{-}135^\circ\text{C}$ (próximo ao ponto de ebulição). Essa temperatura é mantida durante o dia para evaporar a água e diminuir o volume das amostras, desligando-se o bloco digestor no fim da tarde. No dia seguinte,

retoma-se a rampa de aquecimento, se necessário com patamares de 50°C, até atingir 350°C, temperatura que deve ser mantida até se atingir a coloração verde-acobreada no extrato de digestão.

Reagentes:

- » Mistura de catalisador $\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$; esse reagente deve ser preparado pesando-se os dois sais na proporção 1:10 (ou seja 1,0 g de CuSO_4 para 10,0 g K_2SO_4). Cabe ressaltar que, caso se necessite de um volume maior, a proporção deve ser mantida. O montante pesado deve ser macerado e peneirado em peneira com abertura de malha de 20 mesh. Deve-se repetir o processo de maceração e peneiramento até que se obtenha um material finamente particulado.

Equipamentos:

- » Bloco digestor;
- » Capela de exaustão.

b) Digestão nitroperclórica para determinação de P, K, Ca e Mg total

Princípio: pela ação da força oxidante desse composto, os elementos serão extraídos, e o teor total, determinado.

Procedimento:

- » Pipetar 20 mL da amostra não filtrada (água-sedimento) homogeneizada. Para amostras com sólidos suspensos de rápida sedimentação é recomendado que a alíquota seja pipetada durante a agitação da amostra. Esse procedimento minimiza erros analíticos. Para amostras límpidas ou com poucos sólidos em suspensão, é recomendado que seja utilizado um volume maior. Iniciar o procedimento de digestão conforme o método recomendado. Assim que o volume for reduzido pela metade, interromper a rampa de aquecimento. Aguardar a temperatura baixar e adicionar mais 20 mL de amostra (homogeneizada). Continuar o processo de digestão. Deve-se anotar o volume total de amostra para utilizar no cálculo final;
- » Transferir para tubo de digestão de 90 mL;
- » Adicionar 4,0 mL de solução nitroperclórica ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$, 4:1 v/v);
- » Aquecimento lento em bloco digestor com rampa de temperatura em patamares de 50°C, a cada 30 minutos, até 190°C; manter na temperatura final por aproximadamente duas horas;
- » Esfriar em temperatura ambiente;

- » Transferir o volume digerido para balão volumétrico de 50 mL. Lavar as paredes do tubo de digestão com pequenas porções de água deionizada e transferir para o balão. Adicionar uma gota de indicador fenolftaleína. Adicionar solução de NaOH 10 N, gota a gota, até mudança para coloração rosa (indicando que a solução está em pH básico). Adicionar H_2SO_4 5 N, gota a gota, até que a solução retorne ao transparente. Nesse momento se considera que o pH da solução esteja entre 5 e 6. Após o ajuste de pH, completa-se o volume com água deionizada até o menisco para volume final de 50 mL;
- » Após completar o volume para 50 mL com água deionizada, homogeneizar, filtrar toda a amostra em filtro faixa azul de filtragem lenta e reservar a amostra para determinação de P (UV-VIS), Ca e Mg (EAA) e K (fotometria de emissão em chama). Para amostras com baixas concentrações de elementos, o volume final pode ser de 25 mL, e não de 50 mL;
- » Fazer o branco conforme recomendação do método, inclusive o procedimento de ajuste de pH. É recomendado que os padrões para calibração da curva analítica para determinação do P passem pelo processo de digestão supracitado.

Observações: Da mesma forma que na digestão sulfúrica, em algumas situações a digestão é muito efusiva, podendo extravasar material pela extremidade dos tubos. Nesses casos, é recomendada a utilização de esferas de vidro para equilibrar a energia cinética no momento da ebulição ou realizar uma pré-digestão no dia anterior. No dia seguinte, retoma-se a rampa de aquecimento, com patamares de 50°C, até atingir 170°C e assim permanecer até obter completa dissolução. Se as concentrações de sedimentos nas amostras forem muito baixas, as concentrações dos elementos químicos também serão. Nesse caso, recomenda-se não diluir muito os extratos, completando-se o volume com menos água destilada (ex. 25 mL) a fim de beneficiar as determinações, sobretudo em equipamentos como UV-VIS e fotômetro de chama, cujo limite de detecção é baixo.

Reagentes:

- » Solução nitroperclórica ($\text{HNO}_3 + \text{HCl/O}_4$): essa solução deve ser preparada de acordo com o volume final desejado, mantendo-se a proporção de 4:1 (ou seja, para um volume final de 500 mL deve-se misturar 400 mL de HNO_3 e 100 mL de HCl/O_4).

Observação: Todo procedimento deve ser realizado utilizando-se os EPI's adequados e em capela com exaustão. Ainda, caso necessite um volume maior, a proporção deve ser mantida.

Equipamentos:

- » Bloco digestor;
- » Capela de exaustão.

Observação: A maior limitação desse método ocorre devido ao desprendimento de gases tóxicos durante a digestão, havendo possibilidade de explosão pelo acúmulo de HClO_4 na capela.

3.2.2 Etapa da determinação

a) NTK – Destilação Kjeldahl

Princípio: O NH_4^+ produzido na digestão sulfúrica é destilado em meio alcalino, sendo posteriormente condensado e coletado em uma solução de H_3BO_3 e titulado com HCl .

Procedimento:

- » Transferir todo volume digerido para tubo destilador (300 mL);
- » Adicionar 25 mL de NaOH 40%, liberando aos poucos para evitar reação brusca. O NaOH fica armazenado acima do tubo de destilação;
- » Iniciar a destilação. Receber o destilado em erlenmeyer (125 mL) contendo a mistura de 25 mL de H_3BO_3 2% e quatro gotas (0,25 mL) de indicador verde de bromocresol 0,1% + vermelho de metila 0,04%;
- » Titular com HCl 0,01 mol L^{-1} .

Observação: É comum verificar a cor vermelha intensa na solução de ácido bórico quando da adição dos indicadores, o que significa que o meio está ácido, fora do ponto de viragem dos indicadores (verde azulado). Assim, deve-se verificar o pH e realizar o ajuste com HCl diluído até que a solução se torne violeta (Figura 5).

Reagentes:

- » Solução de NaOH 40%: deve ser preparada de acordo com o volume final desejado, mantendo-se a proporção de 40% (ou seja, para um volume de 100 mL de solução, deve-se dissolver 40 g de NaOH). A solução deve ser preparada com água destilada;
- » Solução de H_3BO_3 2%: deve ser preparada de acordo com o volume final desejado, mantendo-se a proporção de 2% (ou seja, para um volume de 100 mL de solução, deve-se dissolver 2 g de H_3BO_3). A solução deve ser preparada com água destilada;

- » Indicador verde de bromocresol 0,1% + vermelho de metila 0,04%: essa solução é obtida dissolvendo-se 0,1 g de verde de bromocresol e 0,04 g de vermelho de metila em 100 mL de álcool etílico. Guardar em frasco âmbar.

Equipamentos:

- » Destilador Kjeldahl;
- » Titulador automático.

b) P total – Espectroscopia de absorção na região do UV-VIS

Princípio: O íon H_2PO_4^- reage com o molibdato (MoO_4^{2-}) em meio fortemente ácido, formando um complexo de cor azul, sendo que sua intensidade é proporcional à concentração de P.

Procedimento:

- » Transferir 5 mL da alíquota digerida (digestão nitroperclórica) para um tubo de ensaio (com o pH da solução já corrigido para 5-6), e adicionar os reagentes;
- » Adicionar 10 mL de solução diluída de molibdato de amônio;
- » Adicionar de duas a três gotas de ácido ascórbico;
- » Homogeneizar;
- » Deixar em repouso por uma hora para o desenvolvimento de cor característica (azul);
- » Realizar leitura em espectrômetro de absorção na região do UV-VIS a 660 nm.

Observação: É recomendado que os padrões para calibração da curva analítica para determinação do P passem pelo processo de digestão.

Reagentes:

- » Solução concentrada de molibdato de amônio: pesar 20 g de molibdato de amônio PA, transferir para becker de 500 mL e dissolver em 200 mL de água destilada. Em outro becker (1.000 mL), pesar 2 g de subcarbonato de bismuto, adicionar 500 mL de água destilada e 150 mL de H_2SO_4 PA. Após esfriar, misturar as duas soluções em um balão volumétrico de 1.000 mL e completar o volume com água destilada;
- » Solução diluída de molibdato de amônio: transferir 300 mL da solução concentrada para um balão volumétrico de 1.000 mL e completar o volume com água destilada;
- » Solução de ácido ascórbico: dissolver 2,0 g de ácido ascórbico em 20 mL de água destilada;

- » Solução indicadora de fenolftaleína: dissolver 1,0 g de fenolftaleína $C_6H_4COOC(C_6H_4OH)_2$, PA, em 60 mL de álcool etílico PA (C_2H_5OH). Aferir com água deionizada para 100 mL em balão volumétrico. Armazenar a solução indicadora em frasco âmbar;
- » Solução para ajuste do pH da solução H_2SO_4 5N: em balão volumétrico de 500 mL, adicionar cerca de 300 mL de água deionizada e, transferir lentamente, com auxílio de pipeta, 70 mL de H_2SO_4 PA. Avolumar com água deionizada, tampar o balão, aguardar entrar em temperatura ambiente (será necessário completar o volume para 500 mL) e homogeneizar. Transferir a solução para frasco âmbar. Utilizar conta-gotas ou pipeta Pasteur para o ajuste do pH;
- » Solução para ajuste de pH NaOH 10 N: pesar 400 g de NaOH lentilha e transferir para balão volumétrico de 1 L, contendo cerca de 800 mL de água deionizada e homogeneizar. Aguardar entrar em temperatura ambiente e, assim que dissolver todo o NaOH, avolumar para 1 L com água deionizada e homogeneizar. Armazenar a solução em frasco plástico. Utilizar conta gotas ou pipeta Pasteur para o ajuste do pH.

Equipamento:

- » Espectrofotômetro UV-VIS.

c) Ca e Mg Total – Espectrofotometria de absorção atômica

Princípio: Ao serem submetidos à chama com temperatura de 2.000 a 2.500°C, os elementos absorvem a energia em um comprimento de onda definido pela lâmpada de cátodo oco, e a quantidade de energia absorvida é proporcional à concentração do elemento.

Procedimento:

- » Pipetar 0,1 mL da alíquota digerida (digestão nitroperclórica) e transferir para um tubo de ensaio;
- » Adicionar 4,9 mL da solução de La 0,1%;
- » Homogeneizar o conjunto;
- » Realizar leitura em espectrômetro de absorção atômica (EAA).

Reagentes:

- » Solução estoque de lantânio a 10%: pesar 117,30 g de La_2O_3 e dissolver em água destilada. Lentamente, adicionar 250 mL de ácido clorídrico concentrado e completar o volume a exatamente 1.000 mL com água deionizada;

- » Solução de lantânio a 0,1%: pipetar, para balão volumétrico de 1.000 mL, 10 mL de solução-estoque de lantânio a 10% e completar o volume com água destilada.

Equipamento:

- » EAA com chama de ar-acetileno e lâmpada de cátodo oco de Ca e Mg.

Observação: A adição do La tem como objetivo minimizar a formação de composto refratário de Ca na chama.

d) K total – Fotometria de emissão chama

Princípio: A quantidade de energia emitida ao voltar ao estado fundamental após ser submetido à chama ar-GLP é proporcional à concentração do elemento.

Procedimento:

- » Pipetar 3,0 mL da alíquota digerida (digestão nitroperclórica) e transferir para um tubo de ensaio;
- » Realizar leitura em fotômetro de emissão chama.

Reagentes:

- » Solução de K 1.000 mg L⁻¹: dissolver 1,9067 g de KCl PA em 500 mL de água deionizada e completar o volume até 1.000 mL;
- » Solução-padrão de K: diluir nas concentrações de 10,0 mg L⁻¹; 20,0 mg L⁻¹ e 40,0 mg L⁻¹ utilizando HCl 0,1 mol L⁻¹.

Equipamentos:

- » Fotômetro de emissão em chama.



Figura 5 – Ajuste do pH da solução de ácido bórico e coloração das amostras

Fonte: I Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Unicentro (2022), foto de Luiz Henrique de Lima, bolsista técnico de projeto na Mesorregião Centro-Sul do Paraná (MR-3).

4 IMPACTO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA ÁGUA

4.1 Síntese dos Subprojetos

4.1.1 Subprojeto: Aplicação de dejetos líquido bovino de longo prazo em plantio direto: implicações nas perdas de solo, água e nutrientes

A aplicação de resíduos orgânicos de origem animal proporciona diversos benefícios ao solo, influenciando direta ou indiretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos. No entanto, a aplicação desses resíduos sem critérios pode caracterizar um potencial poluidor do solo e d'água. Os principais poluentes de ambientes aquáticos associados à aplicação de dejetos de animais no solo são o nitrogênio, o fósforo, a matéria orgânica, os metais pesados, os organismos patogênicos e os fármacos (HOODA *et al.*, 2000; CHADWICK; CHEN, 2002).

Nesse subprojeto foram realizados estudos para auxiliar no manejo da adubação orgânica em sistemas conservacionistas sem prejudicar a qualidade ambiental, especialmente dos recursos hídricos. Os estudos foram baseados em dois experimentos com aplicação de dejetos líquido bovino em plantio direto com rotação de soja, milho, trigo e aveia-preta, instalados em 2005 em duas estações experimentais da Fundação ABC, em condições representativas da região dos Campos Gerais do Paraná (Mesorregião 2).

A região dos Campos Gerais do Paraná representa um importante polo de produção leiteira em sistema de confinamento e semiconfinamento, sendo responsável por significativa produção de dejetos. Nessa mesma região, o solo vem sendo manejado sob o sistema de plantio direto por mais de 30 anos e, em muitas áreas, recebe aplicações intensivas de dejetos oriundo das leiterias. Aliado à aplicação intensiva de dejetos, os produtores têm removido os terraços, o que intensifica o potencial poluidor dos recursos hídricos. Resultados de produtividade das culturas agrícolas conduzidas nesses experimentos indicaram o efeito positivo da aplicação de dejetos como fonte complementar ao fertilizante mineral (BARTH *et al.*, 2020; 2021).

A aplicação de dejetos contribuiu positivamente para os atributos químicos (ABBOUD *et al.*, 2018; BARTH *et al.*, 2020; 2021) e físicos do solo (MELLEK *et al.*, 2010), especialmente na camada superficial (0-10 cm), propiciando incrementos no estoque e na taxa de acúmulo de carbono e nitrogênio do solo (CAVALCANTE *et al.*, 2019). O aumento na concentração de sedimentos e nutrien-

tes na água ocorreu, mas em geral houve redução no volume de escoamento e nas perdas de solo e nutrientes com aplicação de até $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos líquidos bovinos, em um estudo de avaliação dos efeitos da aplicação em plantio direto de dejetos líquidos, ao longo de nove anos, nas perdas de água, solo, fósforo e nitrogênio via escoamento superficial com chuva natural (FAVARETTO *et al.*, 2021).

Esses resultados indicam que os possíveis efeitos negativos da aplicação de dejetos foram menores que os efeitos positivos. No entanto, o efeito positivo sobre os atributos do solo, proporcionado pela aplicação de dejetos durante 12 anos, não foi suficiente para reduzir as perdas de solo e nutrientes, conforme estudo para avaliar o escoamento superficial com chuva simulada de alta intensidade (60 mm h^{-1}) (ZANON *et al.*, 2020).

A aplicação de dejetos líquidos causa selamento superficial do solo e, por consequência, reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial. Resultados de estudos com aplicação de dejetos líquidos bovinos indicam que o intervalo entre a aplicação e a ocorrência de chuva influenciou a capacidade de infiltração de água no solo (CHEROBIM *et al.*, 2015). A menor infiltração de água ocorreu no intervalo de 24 horas após a aplicação do dejetos e, em termos práticos, um intervalo mínimo de cinco dias entre a aplicação e o evento de precipitação é recomendado para que esse efeito de selamento seja minimizado e não influencie negativamente a infiltração de água no solo (CHEROBIM *et al.*, 2015).

O índice de selamento superficial promovido pela aplicação de dejetos líquidos foi maior em 24 horas após a aplicação do dejetos com alto teor de sólidos totais em solo sem presença de palhada. Além disso, a aplicação de dejetos líquidos bovinos promoveu o selamento superficial principalmente pelo mecanismo físico (93%), sendo apenas 7% devido ao mecanismo químico (CHEROBIM *et al.*, 2018). A porosidade do solo, quantificada para cada camada de 1 mm do solo por meio de tomografia de raio-X, indicou que o selamento ocorreu principalmente nos primeiros 5 mm e no intervalo de 24 horas após a aplicação do dejetos líquidos em solo sob plantio direto (CHEROBIM *et al.*, 2019). Assim, não se recomenda dose superior a $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos em uma única aplicação. Se a dose a ser aplicada, de acordo com a recomendação, for maior, recomenda-se dividir essa aplicação. Além disso, é necessário observar a previsão de chuva e realizar a aplicação de dejetos líquidos com um intervalo de, aproximadamente, sete dias antes do evento de precipitação.

Aplicações sucessivas de dejetos promovem o aumento de fósforo no solo e, conseqüentemente, o risco de transporte para o sistema hídrico é maior, com possibilidade de eutrofização. O limite crítico ambiental de fósforo após

o qual o solo deixa de ser um dreno e passa a ser fonte de fósforo, para o solo de textura franco argilo arenosa, foi de 188 mg kg⁻¹ de fósforo com resina e 103 mg kg⁻¹ de fósforo com Mehlich-1 (ABBOUD *et al.*, 2018). Esses valores são recomendados como nível crítico ambiental de fósforo, sendo superiores ao limite agronômico; portanto, manter o teor de fósforo no solo menor que o limite crítico ambiental diminui o risco de poluição dos recursos hídricos sem causar problemas agronômicos.

No Estado do Paraná, o fósforo Mehlich-1 superior a 24 mg kg⁻¹ de solo é classificado como muito alto para culturas anuais em solo com argila menor que 25% (SBCS-NEPAR, 2017). Ainda de acordo com a SBCS-NEPAR (2017), o teor de fósforo Mehlich-1 a ser evitado nesse solo é superior a 120 mg kg⁻¹. Aplicações sucessivas de dejetos líquido bovino maior que 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante 10 anos pode resultar em valores de fósforo Mehlich-1 no solo superior ao limite crítico ambiental (ABBOUD *et al.*, 2018).

O manejo adequado do dejetos líquido é fundamental para que efeitos positivos da aplicação sejam superiores aos negativos. No entanto, mesmo com o manejo adequado da fertilização, é imprescindível a adoção de práticas complementares de conservação do solo no sistema de plantio direto para evitar que o escoamento superficial alcance o sistema aquático, minimizando possíveis problemas ambientais.

4.1.2 Subprojeto: Indicadores químicos do solo, crescimento de raízes, produtividade e rentabilidade de sistemas de manejo e conservação do solo sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná

O Paraná investiu em terraceamento nos anos 1970-1980 devido aos graves problemas de erosão hídrica, o que melhorou o manejo do solo e da água, tratando propriedades rurais como partes interdependentes de bacias hidrográficas, e com a forte adesão ao sistema de plantio direto em 1980-1990 se tornou referência em agricultura conservacionista. Sob SPD com rotação de culturas, adubação verde, cultivo em nível e sistematização das estradas rurais com os terraços, os níveis de produtividade aumentaram de forma sustentável. Entretanto, com o tempo os produtores passaram a identificar os terraços como entraves à mecanização (DE MARIA, 1999), o que, aliado à crença de que a palha na superfície do solo é preponderante no controle da erosão em SPD, levou os produtores a diminuir o número de terraços nas lavouras (DENARDIN *et al.*, 2008). Na sequência, o cultivo em nível foi abandonado em favor da maior distância entre manobras, e os terraços tiveram suas dimensões reduzidas ao receber o tráfego

das máquinas. A erosão então se intensificou e, mais recentemente, tem-se repensado o papel do terraceamento e das práticas de manejo.

Esse projeto estuda diferentes sistemas de manejo e conservação do solo e da água em escala de megaparcelas, por meio da avaliação dos efeitos em atributos químicos do solo, crescimento de raízes, nutrição e produtividade das culturas, e visa relacionar esses resultados à hidrosedimentologia da bacia hidrográfica de inserção.

Os Latossolos Brunos dos altiplanos do Centro-Sul do Paraná são bem representados na região de Guarapuava, que tem clima Subtropical Mesotérmico Úmido – Cfb (Köppen-Geiger), com temperatura média inferior a 18°C no mês mais frio e inferior a 22°C no mês mais quente (IAPAR, 2000).

As principais culturas agrícolas são soja e milho no verão, como em outras regiões, mas as safras de inverno contam com a cevada, além do trigo, como um diferencial de cultivo, sendo que todas contam com altos níveis de investimento e alta produtividade, condizentes com a realidade local, que corresponde a um dos maiores índices de adoção do SPD no estado.

A bacia hidrográfica do estudo encontra-se na área de abrangência da Cooperativa Agrária, parceira deste projeto e que, por meio de sua Fundação de Pesquisa Agropecuária (FAPA), contribui para níveis mais altos de adoção de SPD e de emprego de tecnologias desde os anos 1980. No entanto, o terraceamento também tem sofrido alguns retrocessos na região, o que torna oportuno o estudo da erosão e de seus efeitos no médio e longo prazo.

Uma encosta (5-6% de declive) foi selecionada em uma propriedade rural localizada no Distrito de Entre Rios, em Guarapuava-PR, onde foram instaladas três megaparcelas (MEGA) pareadas, todas com 62 m de largura (em nível) e 192 m de comprimento (em declive), o que totalizou 11.904 m² por megaparcela, a fim de constituir três sistemas de manejo e conservação do solo e da água.

Na MEGA 1 manteve-se o manejo do proprietário (padrão do produtor), sem terraços ou práticas mecânicas de controle da erosão, cultivo no sentido do maior comprimento da gleba (morro a baixo, no caso da parcela). Na primeira fase do estudo, a sequência de culturas nessa MEGA foi milho (2018/2019); cevada (2019); soja (2019/2020); trigo (2020); soja (2020/2021).

Na MEGA 2, foram adicionadas Boas Práticas de Manejo (BPM) ao padrão do produtor, com cultivo de plantas de cobertura entre o final da safra de verão e o início da safra de inverno, e com operações mecanizadas realizadas em nível. Nessa MEGA, a sequência de culturas foi milho (2018/2019); nabo forrageiro (2019); cevada (2019); soja (2019/2020); nabo forrageiro (2020); trigo (2020); soja (2020/2021); *mix* de plantas de cobertura (2021) composto por aveia+centeio+ervilhaca+chícharo.

Na MEGA 3, manteve-se a sequência de culturas do padrão do produtor, porém com adoção de terraços e operações mecanizadas em nível (Figura 6).



Figura 6 – Vista aérea das megaparcelsas (MEGA) durante a safra 2020 de trigo na bacia hidrográfica de Guarapuava-PR

Fonte: Leandro Rampim (2020).

Nota: À esquerda, a MEGA 1 com o padrão de cultivo do produtor; ao centro, a MEGA 2 com cultivo em nível visível pelo rastro do pulverizador; à direita, a MEGA 3 com os terraços e cultivo em nível.

Os resultados de atributos químicos do solo e de crescimento radicular, nutrição e produtividade das espécies já cultivadas (Tabelas 1 e 2) indicam não haver, até o momento, efeito significativo dos manejos, não sendo verificadas diferenças estatísticas entre os resultados das MEGAS. Estes são decorrentes, principalmente, do curto espaço de tempo entre a implantação dos sistemas de manejo e as avaliações, sobretudo se considerada a ausência de aplicação diferenciada de manejos de rápido efeito, como corretivos de acidez e fertilizantes solúveis, no que tange às propriedades químicas, ou operações de preparo do solo, quanto às propriedades físicas.

As práticas de manejo consideradas fatores de variação no presente estudo têm, no curto prazo, potencial relativamente pequeno de causar acúmulo diferenciado de matéria orgânica e nutrientes no solo, considerando-se a textura muito argilosa e os teores caracteristicamente altos de matéria orgânica dos solos da região, o que se deve principalmente ao clima Cfb e à altitude

acima dos 1.000 m. Esses fatores fazem com que o solo seja, naturalmente, bastante tamponado e rico em nutrientes, com grandes reservas nas frações mineral e orgânica, sobretudo na condição de manejo sob SPD de longa duração (30-40 anos) estabelecida antes do estudo.

A ausência inicial de diferenças entre os manejos também pode ser atribuída ao início de condução do estudo, que ocorreu em meio a um período de restrição de chuvas no Paraná, o que reduziu o número e a intensidade dos eventos erosivos desde 2019, inclusive culminando na emissão do Decreto Estadual nº 4.626/2020, de Emergência Hídrica no Paraná. Essa crise se prolongou e o decreto foi prorrogado até o início de 2022. Além de afetar o abastecimento de água para consumo público, a crise causou quedas consecutivas da produção agrícola.

No verão 2021/2022, a frustração da safra geral de grãos do estado foi de, aproximadamente, 42% em relação à previsão inicial, que era de 25,5 milhões de toneladas e passou para 14,7 milhões de toneladas, segundo o relatório de fevereiro de 2022 do Departamento de Economia Rural (DERAL), da Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento do Paraná (DERAL, 2022). Considerando a atual situação, o escoamento superficial das MEGAS nos eventos de precipitação com escoamento monitorados e do rio da bacia hidrográfica do estudo teve baixos teores totais dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) na água.

4.1.3 Subprojeto: Sistemas de produção e rotação de culturas em plantio direto na região Centro Sul do Paraná

Sistemas de produção diversificados, com uso de rotação de culturas, são fundamentais para a sustentabilidade da agricultura, com benefícios ambientais e econômicos para o produtor rural e para a sociedade. Os sistemas de produção mais usuais na região Centro-Sul do Estado do Paraná, trigo/soja e aveia-preta/soja, têm relativa fragilidade por serem pouco diversificados, com sucessão em vez de rotação de culturas, muitas vezes mal manejados e com períodos de pousio de 60 a 90 dias entre a colheita de verão e o cultivo de inverno.

Com objetivo de gerar opções de rotações de culturas mais sustentáveis sob o ponto de vista agrônomo, conservacionista e econômico, adaptadas à região Centro-Sul do Estado do Paraná, foi estabelecido um experimento de longa duração com estudo comparativo de rotações de culturas no Polo Regional de Pesquisa do IDR-Paraná em Ponta Grossa. Nesse experimento estão sendo avaliadas as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, a produção de fitomassa, a decomposição dos resíduos vegetais e a ciclagem de nutrientes, plantas daninhas, nematoides, produtividade das culturas, viabilidade econômica e riscos.

O solo é manejado em sistema de plantio direto e espera-se obter resultados que indiquem sistemas de produção com rotações de culturas que melhorem os indicadores de qualidade do solo, mantenham ou aumentem a produtividade das culturas e que tenham viabilidade econômica para a região Centro-Sul do Paraná. O conhecimento do efeito de diferentes arranjos de plantas em sistemas de rotação de culturas nos atributos do solo, na capacidade de proteção do solo pelos resíduos, na ciclagem de nutrientes por meio da decomposição dos diferentes materiais depositados sobre o solo no SPD e, por fim, na produtividade das culturas, é fundamental. Uma vez que o carbono orgânico do solo é um indicador sensível da qualidade do solo, neste estudo, além do carbono orgânico total do solo, é determinado também o carbono orgânico lábil e o carbono orgânico associado aos minerais com objetivo de identificar a contribuição dos resíduos vegetais e da diversificação de cultivos para o aumento dos compartimentos de carbono orgânico do solo.

O fracionamento granulométrico das amostras de solo é realizado de acordo com metodologia descrita por Sá (2001) para obtenção do carbono orgânico lábil (COL, fração > 53 μm) e carbono associado aos minerais (COAM, fração < 53 μm) nas amostras coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. A determinação do carbono orgânico total (COT), COL e COAM no solo é feita pelo método de combustão úmida de Walkley-Balck, conforme (PAVAN *et al.*, 1992). O cálculo do estoque de C para as amostras integrais é realizado com os dados do conteúdo de carbono orgânico total (COT) em g kg^{-1} , transformados para kg Mg^{-1} ; da densidade do solo (DS), determinada em g cm^{-3} e transformada para Mg m^{-3} ; do volume da camada de amostragem (VPA) em m^3 . Os resultados serão expressos em Mg ha^{-1} para cada camada amostrada, conforme a seguinte equação:

$$\text{Estoque de C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{COT (kg Mg}^{-1}\text{)} \times \text{DS (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{VPA (m}^3\text{)} \times 1.000$$

Com base nos valores do estoque de C e N calculados para as amostras integrais é determinado o estoque de C e N para as frações granulométricas (COL e COAM) e para as classes de agregados, considerando a porcentagem correspondente a cada fração e a cada classe de agregado.

Não houve diferença significativa para carbono entre as rotações de culturas no curto espaço de tempo de três anos (CANALLI *et al.*, 2020a, b, c), o que indica que há necessidade de estudos de longa duração para se obter diferenças mais expressivas entre as rotações de culturas. Apesar disso, sistemas mais diversificados, com a inclusão de plantas de cobertura nas rotações de culturas, proporcionaram aumento da produtividade das culturas e da renda-

bilidade dos sistemas de rotação (CANALLI *et al.*, 2020a, b, c). Neste estudo, a cultura da soja, posicionada ao fim do ciclo de três anos nas seis rotações consideradas, teve maior produtividade na rotação de culturas com maior diversidade de plantas comparativamente ao sistema mais simplificado do produtor.

A recuperação de C e N em relação à mata nativa, em um experimento de 26 anos, foi mais influenciada pelo sistema de plantio direto associado às plantas de cobertura em comparação ao sistema de plantio convencional, principalmente na camada superficial de 0-0,05 m, o que indica um sinergismo quando do uso de plantas de coberturas associado ao sistema de plantio direto na promoção de uma mais rápida recuperação do C e do N originalmente contidos no solo sob floresta nativa (TIECHER *et al.*, 2020).

Mudanças no estoque de C na camada 0-0,05 cm de um Argisolo no Sul do Brasil ocorreram somente após cinco anos (BAYER; MIENIELCZUK, 1997); após nove anos o efeito dos tratamentos foi notado na camada de 0-0,10 m (BAYER *et al.*, 2000); e depois de 13 anos se atingiu a camada de 0-0,175 m (LOVATO *et al.*, 2004). O carbono orgânico total, particulado e associado aos minerais em diferentes rotações de culturas e sistemas de preparo do solo após 19 anos, teve as maiores adições no solo em sistemas de rotação de culturas intensivos sob plantio direto, e na sucessão de culturas, as menores (CAMPOS *et al.*, 2011).

O monitoramento da qualidade do solo por meio de suas propriedades químicas, físicas e biológicas é importante para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas de produção, e somente com experimentos de longa duração sob sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas podemos obter resultados mais conclusivos (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2011). O sistema de sucessão de culturas promove, ao longo do tempo, alterações negativas para o sistema produtivo, levando à degradação química, física e biológica do solo (GONÇALVES *et al.*, 2007).

O uso de plantas de cobertura em SPD melhora a proteção do solo e pode contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes ao longo dos anos de cultivo, o que evidencia a importância de sua inclusão na rotação de culturas (CANALLI *et al.*, 2020a, b, c). O tempo de meia-vida para o consórcio de poáceas com fabáceas foi mais curto que para poáceas solteiras, entretanto, o uso do consórcio de poáceas com fabáceas nas rotações de culturas pode ser uma boa estratégia para produzir biomassa e ao mesmo tempo, diversidade do sistema de produção, além da fixação biológica de nitrogênio proporcionada pelas fabáceas (CANALLI *et al.*, 2020a, b, c).

O estabelecimento de rotação de culturas diversificadas no SPD proporciona o aporte contínuo de resíduos em quantidade e qualidade diferentes, o

que se traduz em contribuições variadas de nutrientes sendo reciclados no solo, favorecendo os cultivos posteriores. Quando o solo não está sendo usado para o cultivo de grãos ou cereais, deve ser cultivado com plantas de cobertura (adubos verdes) para que estas cumpram a função de proteger o solo contra a erosão e trazer uma série de outros benefícios, como a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio, a reestruturação do solo (agregação), a ativação da microbiota do solo, sendo esta responsável pela decomposição dos resíduos e consequente liberação de nutrientes dos tecidos vegetais e pelo aumento da matéria orgânica e da fertilidade do solo. Atualmente, vivencia-se uma crise no fornecimento de fertilizantes, o que torna mais importante ainda saber usar os adubos verdes como aliados no sistema de produção.

4.1.4 Subprojeto: Indicadores químicos e biológicos do solo e produtividade das culturas em áreas agrícolas com e sem controle mecânico de erosão

Com a consolidação do SPD, difundiu-se equivocadamente a retirada de terraços, sendo que a ausência de preparo do solo e a cobertura permanente não são suficientes para conter a erosão hídrica (DENARDIN *et al.*, 2008), especialmente em eventos de chuvas de alta intensidade e em áreas com rampas longas ou de declividade acentuada. Nessas situações, inclusive, pode ocorrer a remoção da palhada pelo escoamento superficial, o que agrava a perda de água, nutrientes e matéria orgânica (RESCK, 2002), podendo refletir negativamente sobre a densidade e a diversidade biológica do solo e na distribuição das propriedades químicas em suas camadas superficiais.

Com isso, torna-se necessário estudar também os aspectos químicos do solo, pois essa perda de nutrientes, além de diminuir a produtividade e a eficiência econômica do sistema de produção, pode proporcionar danos ao ambiente em que será depositado. A intensidade de alteração na qualidade de solos agrícolas é usualmente mensurada por uma série de propriedades químicas, físicas e biológicas (ARATANI *et al.*, 2009), contudo os estudos foram baseados principalmente em investigações dos indicadores físicos e químicos, subestimando-se a importância das propriedades biológicas no funcionamento do solo (MELLONI *et al.*, 2008; SCHLOTER; DILLY; MUNCH, 2003). Muitos estudos comprovam a capacidade responsiva de variáveis biológicas, promovendo respostas mais rápidas às mudanças no ambiente em relação a outros indicadores (ZATORRE, 2008). Entre os indicadores biológicos, a fauna edáfica se destaca em virtude das atividades por ela desempenhadas no solo e de sua influência sobre processos que contribuem para seu funcionamento (LAVELLE *et al.*, 2006).

Neste subprojeto avaliamos o componente biológico do solo representado pela fauna edáfica e pelos microrganismos e parâmetros químicos a fim de verificar as respostas ao longo de quatro anos em solo submetidos ao SPD com e sem terraceamento. Este subprojeto está diretamente ligado ao grande projeto da Mesorregião Sudoeste – Dois Vizinhos (Figura 7).



Figura 7 – Instalação das 24 microparcelas, em maio de 2019

Fonte: Carlos Alberto Casali (2019).

Nota: Instalação de forma que elas ficassem encaixadas na área experimental das megaparcelas, o que favorece as atividades de ensino, pesquisa e extensão

As amostragens para avaliar a fauna e os atributos microbiológicos e químicos do solo seguirão o mesmo cronograma a fim de correlacionar propriedades químicas do solo com variáveis da biologia de solo. Para isso serão coletadas 32 amostras de solo por megaparcela, com e sem terraceamento, além de uma área de mata como referência. A meso e macrofauna edáfica estão sendo coletadas com armadilha de queda e são avaliados o C e N microbiano, a respirometria, os esporos micorrízicos e a fosfatase ácida do solo. O projeto também monitora as propriedades químicas do solo de rotina e o fracionamento químico e físico da matéria orgânica do solo. Como resultados preliminares, pode-se comentar que até o momento não ocorreram diferenças significativas nas propriedades químicas e microbiológicas do solo, enquanto a fauna do solo tem variado entre áreas com e sem terraço.

4.1.5 Subprojeto: Monitoramento hidrossedimentológico em microparcelas com aplicação de dejetos de animais na Mesorregião Sudoeste do Paraná

O Paraná é o maior produtor e abatedor de aves, o 2º maior produtor de suínos, com 6,9 milhões de cabeças (20,3%) e o 2º produtor de leite, com 1,3 milhão de vacas ordenhadas (8,0%) e 4,6 bilhões de litros de leite (IBGE, 2020). O Sudoeste do Paraná tem destaque nesses números, sendo o 2º maior produtor de aves (18%), com cinco plantas industriais de abate, a maior bacia leiteira, com 1 bilhão de litros produzidos, e o 2º maior rebanho suíno (8,5%) do estado (IPARDES, 2021).

Essa especialização dos empreendimentos de produção avícola, suinícola e leiteira tem como consequência a geração e concentração de grande quantidade de dejetos de animais, que se torna uma alternativa de fertilizante em sistemas de produção de grãos ou pastagem, dada sua riqueza em nutrientes e matéria orgânica, que permite a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, auxiliando na melhoria das propriedades do solo. Contudo, os dejetos de animais são utilizados, na maioria das vezes, sem critérios técnicos, aumentando os teores de nutrientes do solo, principalmente nas camadas superficiais. Essa situação, associada a um relevo ondulado e à maior pluviosidade do Estado do Paraná, faz com que, no Sudoeste do Paraná, a transferência de nutrientes por escoamento superficial até os recursos hídricos (lagos, rios) seja um problema generalizado.

O monitoramento das perdas de nutrientes, principalmente o P, e de sedimentos de áreas com aplicação de dejetos de animais é fundamental a fim de nortear o uso racional desses materiais e de minimizar os efeitos negativos sobre os recursos hídricos superficiais dessa região. Assim, por meio de um experimento de campo a ser conduzido ao lado das megaparcels da Mesorregião Sudoeste, este subprojeto busca avaliar o efeito da aplicação de dejetos de criações intensivas de animais sobre propriedades do solo e as perdas de água e sedimentos. Este subprojeto integra-se ao projeto das megaparcels, pois ambos os experimentos estarão na mesma condição edafoclimática e serão monitoradas as mesmas propriedades de solo, água e sedimentos. Além disso, este subprojeto e o projeto das megaparcels são complementares, pois o subprojeto busca validar o efeito da aplicação de dejetos nas perdas de solo e água de áreas agrícolas, algo que não está previsto nas megaparcels.

O experimento foi instalado em maio de 2019, na fazenda experimental da UTFPR, *Campus Dois Vizinhos*, sobre um Nitossolo Vermelho manejado sob sistema plantio direto há 20 anos. Nessa área foram instaladas microparcelas de 2 x 6 metros, circundadas por calhas de aço galvanizado, e os tratamentos estabelecidos foram: a) cama de aves; b) dejetos líquidos de suíno; c) dejetos líquidos de bovino de leite; d) adubação mineral; e) adubação mineral a lanço; e f) sem adubação, sob delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, o que totalizou 24 microparcelas. Os tratamentos são aplicados antes do cultivo das culturas anuais, geralmente em outubro e em maio para as culturas de verão e inverno, respectivamente. As doses de fertilizante mineral e dos dejetos de animais são definidas com base no teor de P do solo e dos dejetos, conforme recomendação de adubação para os cultivos seguindo o manual de adubação e calagem do Estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017).

Durante o período de monitoramento do experimento foram conduzidos seis cultivos agrícolas, sendo aveia no inverno de 2019, soja no verão 2019-20, centeio no inverno de 2020, soja no verão 2020-21, trigo no inverno 2021 e soja no verão 2021-22. O centeio não recebeu adubação, pois foi apenas cultivo de cobertura. A avaliação da produtividade das culturas, amostragem e avaliação do solo e do escoamento superficial ocorreu nos cultivos de soja e trigo, pois são cultivos comerciais. Os primeiros resultados obtidos nesse estudo mostraram que, comparativamente à adubação mineral, o uso de dejetos de animais, independentemente da origem, aumentou a produtividade das culturas comerciais, os teores de nutrientes e a atividade microbiana do solo. Contudo, esse aumento não foi suficiente para interferir nas perdas de água e sedimentos por erosão.

4.2 Resultados preliminares dos químicos do solo e dos indicadores de qualidade de água

Os atributos químicos de solo das amostras coletadas para caracterização das bacias hidrográficas (Tabela 1) e de monitoramento dos efeitos dos diferentes manejos adotados nas megaparcels (Tabela 2) dos projetos foram avaliadas em todas as mesorregiões. As propriedades químicas de qualidade da água dos rios (Tabela 3) e do escoamento superficial das megaparcels (Tabela 4) foram avaliadas nas diferentes áreas de estudo nas mesorregiões do estado representadas na Rede Agropesquisa.

Tabela 1 – Propriedades químicas do solo na bacia hidrográfica, na camada de 0-20 cm, nas mesorregiões de estudo – Rede Agropesquisa

Meso ⁽¹⁾	Área (ha)	Amostras ⁽²⁾	Argila (g kg ⁻¹)	C org (g dm ⁻³)	CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	pH CaCl ₂	V (%)	P _{Mehlich;1} (mg dm ⁻³)
MR2	67	40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR3	118	66	773	30,0	21,1	5,4	73	17,1
MR4	63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR5	135	140	720	16,3	14,7	6,2	49	11,5
MR6	108	22	645	24,4	15,6	5,0	59	22,6
MR71	192	25	120	11,9	5,1	5,9	61	8,3
MR72	195	25	120	13,5	5,57	5,2	60	11,0

Nota: ND = não determinado.

(1) MR2: Centro-Oriental-Ponta Grossa; MR3: Centro Sul-Guarapuava; MR4: Sudoeste-Dois Vizinhos; MR5: Norte-Cambé; MR6: Oeste-Toledo; MR71: Noroeste-Cianorte; MR72: Noroeste-Presidente Castelo Branco.

(2) Número de amostras analisadas.

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 2 – Propriedades químicas do solo nas megaparcelas, na camada de 0-20 cm, nas mesorregiões de estudo – Rede Agropesquisa

Meso ⁽¹⁾	Megaparcela sem terraço							
	Área (ha)	Amostras ⁽²⁾	Argila (g kg ⁻¹)	C org (g dm ⁻³)	CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	pH CaCl ₂	V (%)	P _{Mehlich;1} (mg dm ⁻³)
MR2	1,54	72	290	20,7	10,6	4,9	42	37,2
MR3	1,10	31	762	26,9	20,3	4,7	64	6,6
MR4	ND	32	ND	21,0	ND	4,5	ND	ND
MR5	2,58	179	720	16,5	12,4	5,0	55	12,0
MR6	0,81	18	633	20,1	15,9	6,5	85	28,7
MR71	2	36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72	2	32	ND	ND	4,5	4,8	58	3,8

Meso ⁽¹⁾	Megaparcela com terraço							
	Área (ha)	Amostras ⁽²⁾	Argila (g kg ⁻¹)	C org (g dm ⁻³)	CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	pH CaCl ₂	V (%)	P _{Mehlich;1} (mg dm ⁻³)
MR2	1,53	72	318	19,0	10,2	4,8	41	24,2
MR3	1,10	31	787	24,8	19,7	4,8	64	8,7
MR4	ND	32		22,2	ND	4,8	ND	ND
MR5	2,55	179	719	14,7	11,9	5,0	53	10,0
MR6	0,80	18	633	14,8	13,8	6,5	80	9,5
MR71	ND	36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72	2	32	ND	ND	6,6	5,1	67	1,5

Nota: ND = não determinado.

(1) MR2: Centro-Oriental-Ponta Grossa; MR3: Centro Sul-Guarapuava; MR4: Sudoeste-Dois Vizinhos; MR5: Norte-Cambé; MR6: Oeste-Toledo; MR71: Noroeste-Cianorte; MR72: Noroeste-Presidente Castelo Branco.

(2) Número de amostras analisadas.

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 3 – Resultados preliminares dos parâmetros de qualidade da água do rio nas mesorregiões de estudo – Rede Agropesquisa

Meso ⁽¹⁾	Fluxo de base					
	Sedim. (g L ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	pH	NTK (mg L ⁻¹)	P Total	Amostras ⁽²⁾
MR2	0,03	0,04	6,9	0,23	0,02	4
MR3	0,01	0,020	6,0	0,82	0,05	15
MR4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR5	0,20	0,038	5,6	0,55	0,12	3
MR6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR71	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72						

Meso ⁽¹⁾	Evento de precipitação						Amostras ⁽²⁾
	Data do evento	Sedim. (g L ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	pH	NTK	P Total (mg L ⁻¹)	
MR2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR3		0,05	0,022	6,3	0,31	0,07	15
MR4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR5	18/08/2020	0,64	0,0378	5,9	3,32	0,59	7
MR6	22/05/2020	2,31	ND	6,5	2,75	0,15	7
MR71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Nota: ND = não determinado.

(1) MR2: Centro-Oriental-Ponta Grossa; MR3: Centro Sul-Guarapuava; MR4: Sudoeste-Dois Vizinhos; MR5: Norte-Cambé; MR6: Oeste-Toledo; MR71: Noroeste-Cianorte; MR72: Noroeste-Presidente Castelo Branco.

(2) Número de amostras analisadas.

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 4 – Resultados preliminares dos parâmetros de qualidade da água do escoamento nas megaparcelsas sem e com terraço nas mesorregiões de estudo – Rede Agropesquisa

Meso ⁽¹⁾	Data do evento	Megaparcelsa sem terraço					Amostras ⁽²⁾
		Sedim. (g L ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	pH	NTK (mg L ⁻¹)	P Total	
MR2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR3	03/10/2021	0,30	0,036	7,2	0,85	0,19	6
MR4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR5	18/08/2020	0,36	0,038	5,4	7,55	2,05	14
MR6	22/05/2020	2,09	ND	6,7	4,47	0,95	11
MR71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Meso ⁽¹⁾	Data do evento	Megaparcela com terraço					Amostras ⁽³⁾
		Sedim. (g L ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	pH	NTK (mg L ⁻¹)	P Total	
MR2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR3	03/10/2021	-	-	-	-	-	0 ³
MR4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR5	18/08/2020	0,30	0,038	5,4	4,92	1,08	25
MR6	22/05/2020	0,62	ND	6,7	4,62	0,85	6
MR71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR72	ND						

Nota: ND = não determinado.

(1) MR2: Centro-Oriental-Ponta Grossa; MR3: Centro Sul-Guarapuava; MR4: Sudoeste-Dois Vizinhos; MR5: Norte-Cambé; MR6: Oeste-Toledo; MR71: Noroeste-Cianorte; MR72: Noroeste-Presidente Castelo Branco.

(2) Não houve escoamento na parcela com terraço.

(3) Número de amostras analisadas no evento.

Fonte: Os autores (2022).

5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA AS MESORRÉGIÕES DO PARANÁ

As informações obtidas sobre as propriedades químicas de solo e água serão trabalhadas sob dois aspectos importantes: o de produção e de conservação do solo e da água, visando à sustentabilidade da produção nas mesorregiões do Paraná ao longo dos anos, e o de conservação do ambiente nos agrossistemas e promoção da saúde humana.

Com o monitoramento, será possível, no médio e no longo prazo, conhecer o impacto dos manejos na promoção ou degradação do potencial produtivo dos solos no que tange às propriedades químicas, bem como quantificar o descaminho dos nutrientes por erosão, monetizar tais perdas em relação à reposição dos nutrientes na forma de fertilizantes e/ou corretivos e avaliar o potencial impacto ambiental dos sistemas de manejo avaliados.

Complementado pelos resultados dos estudos dos atributos físicos e biológicos do solo, o conhecimento obtido na área química servirá como base para construção de recomendações técnicas de adoção de terraceamento e outras práticas conservacionistas, como os cultivos de cobertura do solo, desenhadas com fundamento científico e objetivo produtivo, de forma eficiente, responsável e sustentável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira preocupação da Rede Agropesquisa com relação à qualidade química do solo e da água foi definir metodologias (protocolo) de coleta de amostras e de procedimento analíticos, a fim de padronizar efetivamente o banco de dados na escala estadual. Foi um grande desafio logístico, de execução física e financeira e de treinamento dos recursos humanos envolvidos, mas essa etapa foi concluída e apresentada neste capítulo.

Como objetivo geral, os dados dos atributos químicos do solo obtidos na escala de megaparcels e de bacias hidrográficas irão nortear, de forma integrada com os demais atributos monitorados, as boas práticas de manejo do solo. Os indicadores de qualidade de água, por sua vez, altamente correlacionados aos atributos químicos do solo, irão nortear a conservação da água, a qual, em meio agrícola, depende inteiramente das práticas de conservação do solo.

A etapa de obtenção de dados analíticos está em andamento, e apenas alguns dados foram obtidos, o que possibilita sua apresentação e caracterização das situações nas áreas de estudo das diferentes mesorregiões do estado, porém não permite discussões ou comparações aprofundadas.

Por fim, este capítulo também apresentou alguns resultados e recomendações dos subprojetos conduzidos na Rede Agropesquisa que não estão diretamente inseridos nas áreas das megaparcels e bacias hidrográficas, dentre estes alguns com resultados já consolidados em outros em fase de execução.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in Oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 177, p. 45-53, 2018.
- ALBUQUERQUE, A. F.; RIBEIRO, J. S.; KUMMROW, F.; NOGUEIRA, A. J. A.; MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A. Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review. **Environmental Science: Processes & Impacts**, Londres, v. 18, n. 7, p. 779-787, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington DC: American Public Health Association, 1999.
- ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, Nova Iorque, v. 68, p. 1.945-1.962, nov. 2004.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 677-687, jun. 2009.
- BARTH, G.; GOTZ, L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. Does dairy liquid manure complementary to mineral fertilization increase grain yield due to changes in soil fertility. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 63, p. e20190537, 2020.
- BARTH, G.; GOTZ, L. F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MELO, L. Long-term dairy manure application in a no-tillage system: crop yield and soil fertility. **Soil Research**, Clayton, v. 60, n. 1, p. 1-10, out. 2021.
- Bayer, C.; Mienelczuk, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 235-238, 1997.
- Bayer, C.; Mienelczuk, J.; Amado, T. J. C.; Martin-Neto L.; Fernandes, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdã, v. 54, p. 101-109, 2000.
- CAMPOS, B. C. de; Amado, T. J. C.; Bayer, C.; Nicoloso, R. S.; Fiorin, J. E. Carbon stocks and its compartments in a subtropical Oxisol under long term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 805-817, 2011.
- CANALLI, L. B.; Santos, J. B. dos; Andrade e Silva, A.; MUCHINSKI, A.; Feliciano, E.; Penteado, D. Residues decomposition in crop rotations under no-till system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 63, p. e20190609, 2020a.
- Canalli, L. B.; Santos, J. B. dos; Benassi, D.; de Francisco, A. L. O.; Cordeiro, E.; Mendes, R. S. Soil carbon and structural quality in crop rotations under no-tillage system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 6, p. e20190603, 2020b.
- Canalli, L. B.; Santos, J. B. dos; da Costa, G. V.; Volsi, B.; Leocádio, A. L. M.; Neves, C. S. V. J.; Telles, T. S. Production and profitability of crop rotation systems in Southern Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, p. 41, p. 2.541-2.554, 2020c.

- CARDOZO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 7, p. 274-289, 2013.
- CAVALCANTE, J. S.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; CHEROBIM, V. F.; BARTH, G. Long-term surface application of dairy liquid manure to soil under no-till improves carbon and nitrogen stocks. **European Journal of Soil Science**, Londres, v. 70, p. 1.109, nov. 2019.
- CHADWICK, D. R.; CHEN, S. Manures. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Wallingford: CABI, 2002. p. 57-82.
- CHEROBIM, V. F.; FAVARETTO, N.; ARMINDO, R. A.; BARTH, G.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V. Water infiltration post-liquid manure application in no-till Oxisol of Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 153, p. 104-111, nov. 2015.
- CHEROBIM, V. F.; FAVARETTO, N.; MELO, V. F.; BARTH, G.; HUANG, C. Soil surface sealing by liquid dairy manure affects saturated hydraulic conductivity of Brazilian Oxisols. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 203, p. 193-196, abr. 2018.
- CHEROBIM, V. F.; FAVARETTO, N.; MELO, V. F.; RUMBELSPERGER, A. M. B.; HUANG, C. Soil surface sealing by liquid dairy manure as analysed by X-ray computed tomography. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 213, p. 742-748, mar. 2019.
- DE MARIA, I. C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.17-22, 1999.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; MANHAGO, D. D. “Vertical mulching” como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2.847-2.852, dez. 2008.
- DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL DA SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ (DERAL). **Relatório de Safra, fevereiro 2022**. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>. Acesso em: 20 mar. 2022.
- DEUSCHLE, D.; MINELLA, J. P. G.; HÖRBE, T. A. N.; LONDERO, A. L.; SCHNEIDER, F. J. A. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdã, v. 340, p.157-163, 2019.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994, p. 1-20.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 1999. 370p.
- FAVARETTO, N.; CHEROBIM, V. F.; SILVEIRA, F. M.; TIMOFIECSYK, A.; SKALITZ, R.; BARTH, G.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M. Can application of liquid dairy manure onto no-tillage oxisols reduce runoff, sediment, phosphorus, and nitrogen losses over 9 years of natural rainfall? **Geoderma**, Amsterdã, v. 405, p. 115.406, jan. 2021.

- Franchini, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa, 2011. 52p.
- GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO, C. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; GARCIA, A. **Rotação de culturas**. Londrina: Embrapa, 2007. 10p. (Circular Técnica n° 45).
- HARROD, T. R.; THEURER, F. D. Sediment. *In*: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CABI Publishing, 2002. p. 155-170.
- HATCH, D.; GOULDING, K.; MURPHY, D. Nitrogen. *In*: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CABI Publishing, 2002. p. 7-27.
- HOODA, P. S.; EDWARDS, A. C.; ANDERSON, H. A.; MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Science of Total Environment**. Amsterdã, v. 250, p. 143-147, 2000.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. (1 CD-ROM, Versão 1.0.)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017: resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. p. 1-180.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal, 1990-2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>. Acesso em: 16 out. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 12p.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Perfil das regiões geográficas do Estado do Paraná**. 2021. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Perfil-das-Regioes>. Acesso em: 16 out. 2022.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Nova Iorque, v. 61, p. 4-10, jan. 1997.
- KAY, P.; EDWARDS, A. C.; FOULGER, M. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. **Agricultural Systems**, Amsterdã, v. 99, n. 2-3, p. 67-75, fev. 2009.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Londres, v. 42, p. 3-15, 2006.
- LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R. Phosphorus. *In*: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CABI Publishing, 2002. p. 29-55.
- FUENTES-LLANILLO, R.; SOARES JÚNIOR, D.; TELLES, T. S. **Superfície sob plantio direto, Brasil e Estados**. 2018. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.
- FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JÚNIOR, D.; MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 208, p. 104.877, abr. 2021.

- FUENTES-LLANILLO, R. F.; TELLES, T. S.; SOARES JÚNIOR, D.; PELLINI, T. Tillage systems on annual crops in Brazil: figures from the 2006 Agricultural Census. **Semina**, Passo Fundo, v. 34, p. 3.691-3.697, 2013.
- LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; DEUSCHLE, D.; SCHNEIDER, F. J. A.; BOENI, M.; MERTEN, G. H. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils And Sediments**, Nova Iorque, v. 18, p. 1.159-1.175, 2018.
- Lovato, T.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. M. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento de milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.
- MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a cambisol of Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 110, p. 69-76, 2010.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.6, p. 2.461-2.470, dez. 2008.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 152, p. 85-93, set. 2015.
- PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems And Environment**, Amsterdã, v. 187, p. 87-105, abr. 2014.
- PARANÁ. **Decreto nº 4.626, de 07 de maio de 2020**. Decreta situação de emergência hídrica no Estado do Paraná pelo período de 180 dias. Disponível em: <https://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe/consultaPublicaPDF.do?action=pgLocalizar>. Acesso em: 20 mar. 2022.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40p. (Circular 76).
- POIKANE, S.; KELLY, M. G.; SALAS HERRERO, F.; PITT, J.-A.; JARVIE, H. P.; CLAUSSEN, U.; LEUJAK, W.; LYCHE SOLHEIM, A.; TEIXEIRA, H.; PHILLIPS, G. Nutrient criteria for surface waters under the European water framework directive: current state-of-the-art, challenges and future outlook. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 695, p. 133-888, dez. 2019.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 30-48, mar. 2003.
- RESCK, D. V. S. **A conservação da água via terraceamento em sistemas de plantio direto e convencional no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. (Circular Técnica nº 22). 8p.
- SÁ, J. C. M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. 2001. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdã, v. 98, n. 1-3, p. 255-262, set. 2003.
- SHARPLEY, A. N.; WANG, X. Managing agricultural phosphorus for water quality: lessons from the USA and China. **Journal Environmental Science**, Amsterdã, n. 9, v. 26, p. 1.770-1.782, set. 2014.

- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ (SBCS-NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS-NEPAR, 2017. 482p.
- Tiecher, T.; Gubiani, E.; Santanna, M. A.; Veloso, M. G.; Calegari, A.; Canalli, L. B. dos S.; Finckh, M. R.; Caner, L.; Rheinheimer, D. dos S. Effect of 26-years of soil tillage systems and winter cover crops on C and N stocks in a Southern Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 44, p. e0200029, nov. 2020.
- VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 285p.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.
- ZANON, J. A.; FAVARETTO, N.; GOULARTE, G. D.; DIECKOW, J.; BARTH, G. Manure application at long-term in no-till: effects on runoff, sediment and nutrients losses in high rainfall events. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105-908, 2020.
- ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 2, n. 1, p. 9-13, 2008.

07

Atributos físicos do solo e erosão hídrica em solos cultivados

*Autores***Neyde Fabiola Balarezo Giarola****Cristiano Andre Pott****Eduardo Augusto Agnellos Barbosa****Fabício Tondello Barbosa****Leandro Rampim****José Francirlei de Oliveira****Miriam Fernanda Rodrigues****Smaylla El Kadri Ceccatto****Maria de Fátima Guimarães****Júlio César Franchini**

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o manejo e uso inadequados das terras potencializam a degradação dos atributos físicos do solo e, por sua vez, alteram o balanço da água, comprometendo a produção agrícola e a sustentabilidade ambiental das bacias hidrográficas. O objetivo deste capítulo é apresentar o estudo realizado pela Rede Paranaense de Agropesquisa referente à avaliação dos atributos físicos do solo que regulam parte dos componentes do ciclo hidrológico e influenciam o processo de erosão hídrica e o desenvolvimento das plantas cultivadas em bacias hidrográficas rurais. Também serão apresentados os protocolos utilizados para a coleta de amostras e de análises físicas do solo, bem como alguns resultados preliminares dos projetos em andamento.

2 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUALIDADE DOS SOLOS UTILIZADOS PARA AGRICULTURA

A qualidade do solo é uma combinação de atributos que fornece os meios para viabilizar a produção vegetal, para regular os fluxos de água no ambiente e atuar como filtro de componentes ambientalmente danosos ou perigosos (LARSON; PIERCE, 1994). Nos sistemas agrícolas, o manejo do solo deve ser conduzido para aumentar a qualidade desse recurso natural, com intuito de incrementar a produção sem degradar os solos e o ambiente (ARSHAD; MARTIN, 2002). Assim, um sistema de manejo é considerado sustentável se

manter ou melhorar, em longo prazo, a qualidade do solo e do ambiente e a produtividade das culturas.

A qualidade física do solo integra, principalmente, a resistência e as características de transmissão e armazenamento de água na zona radicular das plantas. Um solo agrícola com boa qualidade física deve ter estrutura suficientemente resistente para dar suporte ao crescimento das plantas e para resistir à compactação, ao cisalhamento e à erosão. No entanto, essa resistência não pode inibir ou restringir o crescimento e a expansão das raízes e a atividade da flora e da fauna (TOPP *et al.*, 1997).

Os processos fisiológicos e o desenvolvimento das plantas dependem diretamente da disponibilidade de água, de oxigênio e da resistência mecânica do solo. Esses atributos dependem, por sua vez, das características genéticas do solo (textura e mineralogia) e da densidade, estrutura e porosidade do solo (LETEY, 1985). A interação desses fatores, que afetam a produtividade das culturas agrícolas, implica a necessidade de entender, medir e manejar o ambiente físico do solo (LETEY, 1985).

A água tem papel fundamental no desenvolvimento das culturas. O suprimento de água adequado ao pleno desenvolvimento vegetal decorre das múltiplas funções que desempenha nos processos fisiológicos. A disponibilidade de água e a formação das enxurradas são dependentes da infiltração e da redistribuição de água no solo, as quais são influenciadas pelos atributos físicos do solo, pelas características da paisagem e pela vegetação ou pelos resíduos culturais presentes na superfície do solo (BERTOL *et al.*, 2007).

A aeração do solo está relacionada a sua capacidade de armazenar e transmitir ar, particularmente oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2). Esses gases participam do processo de respiração das raízes das plantas, que gera a energia necessária à absorção de nutrientes minerais. Em solos mal arejados, as raízes esvanecem porque não conseguem respirar corretamente. A aeração do solo também é essencial para a respiração dos microrganismos que atuam nos diferentes ciclos biogeoquímicos do agroecossistema. A porosidade de aeração (macroporosidade) de 10% ($0,10 \text{ m}^3$ de poros por m^3 de solo) é considerada como o limite mínimo para garantir uma taxa de difusão de oxigênio adequada para o desenvolvimento dos vegetais (MCKENZIE; MCBRATNEY, 2001; BARETA JÚNIOR *et al.*, 2022). Solos com porosidade de aeração menor do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem induzir o fechamento dos estômatos, o murchamento das plantas, a necrose das raízes, a obstrução do xilema à água e o desequilíbrio nutricional e hormonal das plantas (SOJKA, 1992).

A resistência do solo à penetração (*RP*) é a medida da reação do solo à ação da força requerida para introduzir no solo uma ponteira cônica, dividida

pela área da seção transversal ou sua base (GAMERO; LANÇAS, 1996). A *RP* simula a reação do solo à elongação radicular ou indica a capacidade do solo de resistir à penetração das raízes das plantas e às escavações feitas pela fauna do solo (TOPP *et al.*, 1997).

A *RP* é considerada um indicador sensível da compactação do solo, pois é afetada pelo uso e pelo manejo. O aumento da *RP* até níveis considerados restritivos pode limitar o crescimento das raízes e a absorção de água e de nutrientes e, por consequência, diminui a produtividade das culturas. Valores de *RP* superiores a 2,5 MPa limitam severamente o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas cultivadas (HAMZA; ANDERSON, 2005; IMHOFF; DA SILVA; TORMENA, 2000).

No entanto, esses níveis podem variar de acordo com a condição estrutural do solo, de modo que a interpretação dos resultados deve levar em consideração o conteúdo de água, o teor de argila e a densidade do solo (BUSSCHER *et al.*, 1997). A *RP* varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água no solo (BUSSCHER *et al.*, 1997), o que dificulta a interpretação dos resultados, caso esses fatores não sejam considerados. A *RP* acima do limite crítico de cada solo (indicativo de compactação no solo) contribui para a redução da permeabilidade do solo à água, o que pode favorecer o escoamento superficial e as perdas de solo por erosão.

A textura é uma característica do solo que expressa a proporção relativa das classes de tamanho de partículas inorgânicas (areia, silte e argila) em uma amostra de terra fina seca ao ar (*TFSA*), definida por meio de uma análise granulométrica. A textura é considerada indicador de qualidade física do solo porque influencia a estrutura, a retenção, o movimento e a disponibilidade de água (REICHERT *et al.*, 2009), bem como o teor de nutrientes e de matéria orgânica essenciais ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas (KLEIN, 2012).

A textura também influencia a suscetibilidade dos solos à erosão (erodibilidade), que tende a aumentar quando os teores de areia muito fina e silte são elevados, e a diminuir, com a elevação dos teores de argila e matéria orgânica (WISCHMEIER; SMITH, 1978). As argilas comportam-se como elemento agregante do solo devido a sua alta atividade eletroquímica. A areia é transportada com dificuldade devido a seu peso. Por outro lado, o silte é a porção textural mais suscetível aos agentes erosivos, pois não tem a característica agregante da argila nem o peso da areia (BOUYOUCOS, 1935).

A estrutura do solo se refere ao padrão de organização dos componentes sólidos do solo, que resulta na formação de agregados (unidades estruturais) e de poros, por meio da interação entre atributos do próprio solo (composição mineral, textura, carbono orgânico, umidade), fatores ambientais e manejo do

solo (KAY, 1990). A qualidade do solo é comumente avaliada por sua estrutura, pois ela reflete, de forma imediata, os efeitos do manejo e controla a magnitude com que os demais atributos físicos interferem no crescimento das plantas (TOPP *et al.*, 1997).

Frequentemente, a estrutura do solo é expressa em termos de estabilidade de agregados (BRONICK; LAL, 2005). A preservação de agregados estáveis é um dos principais objetivos do manejo para a obtenção da qualidade do solo para a agricultura. Unidades estruturais estáveis favorecem o aumento da porosidade do solo, bem como da retenção, infiltração e permeabilidade de água no solo (REICHERT *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2003). Por consequência, o solo torna-se mais resistente ao desprendimento de partículas de sua massa original provocado pela energia da chuva e da enxurrada, e as taxas de perdas de solo por erosão hídrica são minimizadas (HERNANI *et al.*, 1997).

A estabilidade de agregados (EA) representa a capacidade de agregados de determinado tamanho resistirem à energia aplicada sobre eles, permanecendo intactos ao fim da prova (BEARE; BRUCE, 1993). A EA depende das forças que ligam as partículas do solo e da natureza e magnitude de forças externas desagregantes aplicadas ao sistema (BEARE; BRUCE, 1993; KEMPER; ROSENAU, 1986). A EA é um indicador físico sensível aos processos envolvidos na degradação da estrutura e essencial aos estudos de erosão do solo (TIPPKÖTTER, 1994). A EA é o atributo que mais se correlaciona com a erodibilidade do solo e influencia a infiltração e a retenção de água, a aeração e a resistência do solo, o selamento superficial e a erosão hídrica e eólica. Com o cultivo, normalmente há redução nos teores da matéria orgânica e, por consequência, na estabilidade de agregados, o que resulta no aumento da proporção relativa de microagregados no solo, cuja estabilidade não é influenciada pelo manejo (TISDALL; OADES, 1982).

A densidade (D_s) e a porosidade do solo (P) são consideradas atributos indicadores de qualidade do solo, porque são afetadas pelo uso e manejo do solo. A D_s e a P são de fácil determinação e estão relacionadas à compactação e à restrição ao crescimento radicular (ARSHAD; LOWER; GROSSMAN, 1997). A D_s representa a relação entre a massa de solo seco em estufa por unidade de volume de solo, incluindo o espaço poroso, de modo que alterações da D_s refletem em mudanças na porosidade. Solos com alta densidade, associados à alta resistência à penetração, limitam o desenvolvimento das raízes devido à restrição causada pela resistência mecânica e pelo reduzido suprimento de oxigênio (GREGORY, 2006). No entanto, níveis críticos de D_s são difíceis de serem definidos, porque variam com a textura, mineralogia da fração argila, teor de matéria orgânica, uso e manejo dos solos (REICHERT *et al.*, 2009).

A porosidade do solo compreende a fração de seu volume ocupada por poros e passível de ser ocupada por água e/ou ar, sendo responsável pelo armazenamento e fluxo de água e ar no solo. A porosidade total é subdividida em microporosidade (poros < 0,05 mm de diâmetro) e macroporosidade (poros > 0,05 mm de diâmetro) (FERREIRA, 2010). O crescimento de raízes ocorre nos macroporos, que também são responsáveis pelo fluxo de água, calor, gases e solutos, além da infiltração, condutividade e drenagem de água no solo. Os microporos são responsáveis pela retenção e pelo armazenamento de água e pela difusão de nutrientes no solo, além de comportarem bactérias, fungos, pelos absorventes e pequenas raízes laterais (WEIL; BRADY, 2017).

Os atributos físicos do solo são interdependentes, e a ocorrência de modificações em um deles, normalmente, leva a mudanças em todo o complexo do sistema solo. A deformação da estrutura pode promover incremento da D_s , que por sua vez influencia os atributos que afetam diretamente o crescimento das plantas, como a resistência do solo à penetração de raízes (COSTA *et al.*, 2009; NUNES *et al.*, 2015). Altos níveis de resistência do solo à penetração de raízes são indesejáveis, pois, além de limitarem o crescimento das plantas, acarretam maior dificuldade de infiltração de água no solo, maior escoamento superficial e erosão hídrica.

3 IMPACTO DOS SISTEMAS DE PREPARO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS CULTIVADOS

Os sistemas de preparo do solo têm a finalidade de criar condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas a fim de maximizar a produção (LETEY, 1985). Para tanto, a estrutura do solo deve ser preservada, de modo que os atributos físicos fundamentais para o crescimento e desenvolvimento radicular não sejam limitantes.

O preparo convencional (PC) envolve o revolvimento intensivo das camadas superficiais do solo com arados e grades. Esse tipo de preparo promove, em curto prazo, aumento da porosidade total, da macroporosidade e da capacidade de aeração, em comparação aos sistemas de manejo sem revolvimento do solo (COSTA *et al.* 2009). Contudo, as práticas agrícolas que contemplam o PC utilizam operações de preparo primário e secundário com inversão das camadas do solo e, por consequência, incorporação dos resíduos vegetais, mantendo, aproximadamente, menos de 5% da superfície do solo coberta com resíduos.

O PC promove pulverização da camada superficial do solo (0-0,20 m de profundidade), o que resulta em destruição dos agregados e oxidação acelerada da matéria orgânica que, associadas ao tráfego do trator nos sulcos do

arado e à ação dos discos dos arados e grades, formam camadas compactadas conhecidas como “pé-de-arado” e “pé-de-grade”. As camadas compactadas podem impedir o fluxo de água e gases através do perfil, o que aumenta a suscetibilidade ao encharcamento e à erosão em sulcos e entre sulcos. As camadas compactadas são difíceis de ser penetradas pelas raízes e podem restringir o crescimento vertical e induzir o crescimento lateral daquelas, o que reduz a capacidade do sistema radicular de absorver água e nutrientes.

O sistema plantio direto (SPD) pressupõe que o preparo do solo seja restrito apenas aos sulcos abertos para semeadura e adubação, e os resíduos da cultura antecessora sejam mantidos sobre a superfície do solo. O acúmulo de resíduos na superfície incrementa a atividade biológica e, por consequência, maximiza o processo de agregação das partículas e de estabilização dos agregados do solo, o que favorece a aeração do solo e a retenção e o movimento de água no perfil (COSTA *et al.*, 2003).

A rotação de culturas, o manejo da palhada e o tipo de solo também colaboram, direta ou indiretamente, com o aumento da estabilidade dos agregados (CASTRO FILHO *et al.*, 2002). A preservação da estrutura do solo no SPD promove incremento da retenção de água. Por outro lado, o tráfego de máquinas em períodos nos quais os solos apresentam conteúdo de água ótimo para a compactação e o não revolvimento do solo, associados ao aporte reduzido de palha e à ausência de rotação de culturas, podem levar à compactação de camadas de solo próximas à superfície (0,05-0,20 m) (BARETA JÚNIOR *et al.*, 2022). A compactação do solo afeta uma série de fatores que influencia o crescimento radicular das plantas, como aeração, retenção e disponibilidade de água, resistência à penetração de raízes, resultando em menor produtividade. Além disso, a redução da porosidade e infiltração de água no solo promove aumento do escoamento superficial de água e, por sua vez, das taxas de perdas de solo por erosão.

4 EROÇÃO HÍDRICA E DEGRADAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A erosão acelerada pelas atividades antrópicas e a degradação dos atributos físicos do solo são estritamente relacionadas e não podem ser dissociadas, pois a ocorrência de uma potencializa a outra. A erosão hídrica consiste na desagregação, no transporte e na sedimentação de partículas de solo. A desagregação e o transporte são resultantes do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do terreno e do escoamento superficial. Ao fim do processo, o material perdido é depositado em algum local ou chegará aos cursos de água. Com

isso, a erosão pode ser caracterizada como um processo gradual de degradação física e de perda dos horizontes do solo.

A degradação física do solo pode ser compreendida pelas alterações negativas de sua estrutura, que comprometem as principais funções do solo, como o suporte para produção vegetal, regulação do ciclo hidrológico, o sequestro de carbono, a ciclagem de nutrientes e o abrigo de biodiversidade. Dentre as alterações mais significativas estão: (i) redução do volume de poros e, por sua vez, aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração de raízes; (ii) diminuição do tamanho e da estabilidade dos agregados; (iii) aumento da dispersão das argilas e (iv) redução da infiltração de água e da condutividade hidráulica dos solos.

4.1 A erosão leva à degradação física do solo

A fase de desagregação, durante o processo erosivo, ocorre principalmente pela ação das gotas de chuva, com o rompimento de agregados e o desprendimento de partículas de solo da massa original, que ficam soltas e suscetíveis ao transporte pelo escoamento superficial. Parte das partículas desagregadas e dispersas obstrui os poros da superfície do solo e promove a formação de crostas ou selos superficiais. As crostas são resultado do rearranjo e da reorientação do material desagregado e disperso em uma fina camada superficial que altera sua estrutura para uma forma laminar, compacta e pouco porosa. Com isso, a capacidade de infiltração de água no solo é reduzida, o que aumenta o escoamento superficial. Na camada encrostada também ocorre aumento da densidade e da resistência mecânica do solo.

A redução do impacto das gotas de chuva no solo é proporcional à porcentagem de cobertura do solo. Por outro lado, em muitas áreas de cultivo sob manejo inadequado, mesmo em plantio direto, é comum a ocorrência de quantidade reduzida de resíduos vegetais na superfície ou, em alguma época do ano, parte da superfície do solo fica descoberta e mais suscetível ao impacto de gotas de chuva. O solo desagregado pode ser transportado por salpicamento para cotas inferiores do terreno ou se depositar nos sulcos de erosão e ser removido pelo fluxo concentrado de água da erosão em sulcos.

O escoamento concentrado é o principal responsável por remover o solo das áreas agrícolas na fase de transporte. O material transportado é basicamente solo desagregado e prontamente disponível, mas também solo desprendido pela própria energia do escoamento superficial. Essa observação é importante porque, mesmo com a presença de resíduos vegetais na superfície do solo, o escoamento é capaz de desagregar e transportar grandes massas de solo

devido à alta tensão cisalhante do fluxo concentrado, que induz à formação e ao aumento de sulcos de erosão. Em determinadas situações, os sulcos podem evoluir para voçorocas.

Os efeitos da chuva e do escoamento superficial no processo erosivo reduzem a profundidade efetiva do solo e removem as camadas mais férteis, detentoras de maiores teores de matéria orgânica e de melhor qualidade estrutural para o desenvolvimento vegetal. Os horizontes subsuperficiais expostos pela erosão são pobres quimicamente e têm maior restrição física ao desenvolvimento das plantas, com maiores densidade e resistência mecânica ao desenvolvimento radicular e menor volume de poros, principalmente macroporos. Com a diminuição da espessura do solo, a quantidade de água disponível para as plantas é menor, enquanto o potencial de infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo são reduzidos. Nos locais de deposição dos sedimentos erodidos, pode ocorrer o encharcamento excessivo do solo por má drenagem, provocada pelo acúmulo de sedimentos argilosos, ou o excesso de drenagem pelo acúmulo de sedimentos mais grossos, como a areia, o que compromete essas áreas para produção agrícola.

4.2 A degradação física do solo leva a erosão

As mudanças na estrutura causadas pela mobilização fragilizam o solo fisicamente degradado e reduzem sua resistência contra a energia das gotas de chuva e do escoamento superficial, enquanto o solo fisicamente degradado pela compactação tem menor capacidade de infiltração de água no solo, o que aumenta o escoamento superficial. Com isso, o solo fica mais suscetível à desagregação, que é a fase inicial e primordial para ocorrência de erosão, e partículas de solo dispersas favorecem a formação das crostas superficiais.

O preparo com mobilização do solo que, em um primeiro momento, reduz a densidade e aumenta a porosidade da camada preparada, tem efeitos negativos em médio e longo prazo sobre o escoamento superficial e a erosão. A mobilização mecânica fragmenta os agregados do solo (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004), efeito esse semelhante ao produzido pelo impacto das gotas de chuva, deixando o solo suscetível ao transporte. Alguns implementos agrícolas têm maior capacidade de pulverizar o solo, como as grades

leves e a enxada rotativa. No entanto, toda mobilização mecânica resulta em algum grau de desagregação de solo, sendo que, quanto maior a intensidade e a frequência das operações mecânicas, maior é a incorporação dos resíduos vegetais e menor é a proteção física da superfície contra o impacto das gotas de chuva.

A quebra dos agregados do solo pelo preparo acelera a decomposição da matéria orgânica, que é importante condicionadora de solo. Como consequência, o solo tende a se reorganizar em um arranjo cada vez mais compacto, aumentando os valores de densidade e resistência mecânica do solo. Além disso, o revolvimento favorece a formação de duas camadas de solo restritivas, compactadas e com baixos valores de condutividade hidráulica. Uma delas é aquela abaixo da zona de atuação do implemento agrícola, enquanto a outra é na superfície do solo, onde ocorrem as crostas. Assim, a porosidade total, a macroporosidade do solo e a infiltração de água são reduzidas (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004), e o resultado é o aumento do escoamento superficial (RASOULZADEH *et al.*, 2019). O escoamento em maior volume adquire maior velocidade e energia, aumentando as taxas de desagregação e de transporte de solo pelo fluxo superficial (WAGENBRENNER; ROBICHAUD; BROWN, 2016; RASOULZADEH *et al.*, 2019).

A compactação do solo provocada pelo tráfego de máquinas também favorece a erosão e o escoamento superficial (CAPELLO *et al.*, 2019). Esse tipo de degradação é cada vez mais comum e pode ser considerado um dos maiores problemas físicos do solo em áreas manejadas no sistema plantio direto. No SPD, áreas trabalhadas por longo período em condições inadequadas de umidade do solo comumente apresentam camadas compactadas entre 0,08m e 0,20m de profundidade (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004; NUNES *et al.*, 2015), constatadas pelo aumento da resistência do solo à penetração e da densidade do solo. Nesse caso, a compactação do solo ocorre pela combinação entre a pressão exercida pelo maquinário e uma condição de umidade do solo ótima para que ocorra a deformação do solo. Camadas compactadas próximas à superfície do solo em áreas cultivadas sob semeadura direta favorecem a formação de sulcos de erosão pouco profundos (Figura 1).



Figura 1 – Camada de solo compactada exposta em sulco de erosão em área cultivada no sistema plantio direto, sem práticas mecânicas de conservação do solo – Guaruapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2014).

O processo de compactação afeta a continuidade dos poros no perfil do solo porque danifica os bioporos formados pelas raízes e pela fauna do solo e reduz a macroporosidade interagregados (PAGLIAI *et al.*, 2000). Com isso, a condutividade hidráulica da camada compactada fica seriamente comprometida (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004; BERISSO *et al.*, 2012), prejudicando a transmissão de água no solo e reduzindo a infiltração de água em superfície (CAPELLO *et al.*, 2019). Dessa forma, o escoamento é potencializado e o acúmulo de volume e energia do fluxo aumentam as taxas de erosão do solo (WAGENBRENNER; ROBICHAUD; BROWN, 2016; BIDDOCU *et al.*, 2017; RASOULZADEH *et al.*, 2019; CAPELLO *et al.*, 2019). Isso esclarece o porquê da ocorrência de grandes volumes de escoamento superficial em áreas de plantio direto, mesmo com altas taxas de cobertura do solo.

5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO AVALIADOS PELA REDE PARANAENSE DE AGROPESQUISA

Os atributos físicos do solo avaliados nas diferentes regiões de estudo da Rede Paranaense de Agropesquisa são: textura do solo, densidade do solo, porosidade, conteúdo de água do solo, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica do solo saturado, infiltração de água no solo, curvas de retenção de água no solo e estabilidade de agregados. A determinação da textura, da estabilidade de agregados do solo e das curvas de retenção de água foi

proposta para ser realizada no primeiro e último ano da pesquisa, enquanto os demais atributos físicos, avaliados anualmente, no período de entressafra das culturas agrícolas.

Os procedimentos e métodos utilizados na coleta de amostras e na determinação dos atributos físicos do solo são descritos a seguir.

5.1 Coleta de amostras de solo

A coleta de amostras de solo para determinação dos atributos físicos é realizada nas megaparcelas experimentais e nas bacias hidrográficas, em esquema de grade regular de pontos georreferenciados, em duas camadas: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. Amostras de solo com estrutura não preservada são coletadas, com auxílio de trado holandês ou trado tipo calador, para avaliação da textura e do conteúdo gravimétrico de água. Já para determinação da densidade do solo (D_s), da porosidade do solo (total, macro e microporos), da retenção de água (CRA) e da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) são utilizadas amostras de solo com estrutura preservada, coletadas em cilindros metálicos de 100 cm³ (5,0 cm de altura × 5,0 cm de diâmetro) (Figura 2A), inseridos em amostrador específico (Figura 2B). As amostras utilizadas para determinação da estabilidade de agregados (EA) são extraídas de monólitos ou blocos de solos, coletados com pá reta. A resistência do solo à penetração, a infiltração de água no solo e o conteúdo volumétrico de água são quantificados diretamente nas áreas experimentais (métodos de campo), sem necessidade de amostragem.



Figura 2 – Coleta de amostras de solo com estrutura preservada – Ponta Grossa-PR
Fonte: Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (2020).

Nota: (A) amostra de solo em anel cilíndrico metálico; e (B) amostrador tipo *Uhland* adaptado.

A coleta de amostras com estrutura preservada é trabalhosa e requer cuidado durante a retirada do perfil do solo. Essas amostras devem ser envoltas por filme plástico ou alumínio, armazenadas em caixas de isopor, e encaminhadas para o laboratório o mais rápido possível para evitar o ressecamento e a desestruturação do solo. No laboratório, o filme plástico e o excesso de solo dos cilindros são retirados com auxílio de uma faca ou um estilete, de modo que não ocorra perda de solo do interior deles. Depois da limpeza da amostra, uma das bases do cilindro é envolta com tecido semipermeável (voal ou similar), que é preso ao cilindro por um elástico de borracha, com intuito de impedir a perda de material de solo durante a realização das análises (Figura 3).



Figura 3 – Colocação do tecido de proteção na parte inferior do cilindro metálico, durante a fase de preparação das amostras com estrutura preservada

Fonte: Neyde Fabiola Balarezo Giarola (2020).

5.2 Textura do solo

A textura do solo foi determinada em amostras de solo secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2,0 mm (terra fina seca ao ar). De maneira geral, a metodologia inclui duas etapas: i) dispersão das partículas primárias das amostras de solos; ii) quantificação das frações do solo. O objetivo da fase de dispersão é desagregar as unidades estruturais e individualizar as partículas primárias do solo (areia, silte e argila), que serão quantificadas na segunda etapa. Para realizar a dispersão, amostras de solo (de 40 a 50 g) são submetidas à ação de um dispersante químico (hidróxido de sódio e/ou

hexametáfosfato de sódio) associada à agitação mecânica. Preferencialmente, a agitação deve ser realizada durante 16 horas em agitador com movimento recíprocante a 130 rpm (Figura 4) (TEIXEIRA *et al.*, 2017).



Figura 4 – Mesa agitadora com movimento recíprocante utilizada na etapa de dispersão da terra fina seca ao ar, durante a análise granulométrica do solo – Ponta Grossa-PR
Fonte: Ariane Lentice de Paula (2022).

Depois de concluída a primeira fase, a amostra é transferida para uma peneira com abertura de malha de 0,053 mm de diâmetro para separação da fração areia, e a suspensão aquosa restante, transferida para uma proveta com capacidade de 1.000 mL para sedimentação das frações silte e argila. A areia é acondicionada em recipiente, levada para secagem em estufa a 105°C por 24 horas e pesada em balança semi-analítica para determinação da massa da areia total (M_{areia} , g). Depois de transcorrido o tempo necessário para estabilização da suspensão e sedimentação das partículas maiores que 0,002 mm (Figura 5), conforme sugere a Lei de Stokes, a massa de argila (M_{argila} , g) existente em uma alíquota retirada da suspensão é quantificada em balança com precisão de 0,0001 g (método da pipeta – Figura 6) ou com base na medida da densidade da suspensão que se admite ser a concentração total de argila (método do hidrômetro ou densímetro de *Bouyoucos* – Figura 7) (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A massa de silte é obtida por meio da diferença entre a massa de solo inicial e a soma das massas de areia e argila. Por fim, os resultados são expressos em fração da terra fina seca ao ar, em g kg^{-1} .



Figura 5 – Suspensão aquosa acondicionada em provetas de 1.000 mL aguardando o tempo de sedimentação das frações silte e argila – Guarapuava-PR
Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).



Figura 6 – Pipetagem da fração argila depois de transcorrido o tempo de sedimentação da fração silte, durante a realização da análise granulométrica do solo – Guarapuava-PR
Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).



Figura 7 – Leitura da concentração da suspensão aquosa com o densímetro de Bouyocos, depois de transcorrido o tempo de sedimentação da fração silte, durante a realização da análise granulométrica do solo – Ponta Grossa-PR
Fonte: Neyde Fabíola Balarezo Giarola (2022).

5.3 Estabilidade de agregados por via úmida

A estabilidade de agregados foi avaliada em amostras de solo com estrutura preservada (monólitos ou blocos) coletadas das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nos pontos de observação previamente definidos nas megaparcelas experimentais e na bacia hidrográfica. A metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017) foi utilizada para determinação da porcentagem de agregados em diferentes classes de tamanho e da porcentagem de macroagregados.

Inicialmente, as amostras foram secas ao ar e manualmente desagregadas, respeitando as linhas de fraqueza da estrutura do solo, até que atingissem cerca de 10 mm de diâmetro e, em seguida, foram passadas em peneira com abertura de malha de 9,52 mm. Fragmentos de plantas e cascalhos retidos na peneira foram descartados. A separação dos agregados em classes de tamanho foi realizada por peneiramento em meio úmido. Partículas individuais simples foram excluídas. Cada amostra de agregados e de solo pulverizado foi tamisada em água, durante 15 minutos, dentro de peneiras com 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm e 0,25 mm de abertura de malha (Figura 8A), em um agitador mecânico vibratório com oscilação vertical regulado a 42 oscilações por minuto (Figura 8B). Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para recipientes de massa conhecida e, então, secados em estufa a 105°C por 24 horas, para obtenção da massa e do percentual de agregados em relação à amostra total, dando destaque aos que apresentavam diâmetro superior a 2,0 mm. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo do Diâmetro Médio Ponderado por via úmida (DMPu) (Equação 1). Com o DMPu efetuou-se o cálculo do percentual de agregados de diferentes classes de tamanho e do percentual de macroagregados estáveis em água.

$$\text{DMPu} = \sum (\text{Xiu} \cdot \text{Wiu}) \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

DMPu = diâmetro médio ponderado, por via úmida, em mm;

Xiu = diâmetro médio de cada classe, por via úmida, em mm;

Wiu = proporção de agregados em cada classe/peneira (i), por via úmida, em %.



Figura 8 – Instrumentais utilizados no peneiramento úmido de agregados para determinação da estabilidade de agregados do solo

Fonte: Heverton Fernando de Melo (2021).

Nota: (A) Peneiras; e (B) agitador tipo *Yoder*.

5.4 Densidade e porosidade do solo

A densidade e a porosidade do solo foram determinadas em amostras de solo com estrutura preservada, coletadas em cilindros metálicos. Inicialmente, as amostras foram, gradualmente, saturadas com água por capilaridade por 48 horas. Depois, foram pesadas em balança analítica centesimal (Figura 9A) e imediatamente colocadas em mesa de tensão (Figura 9B).

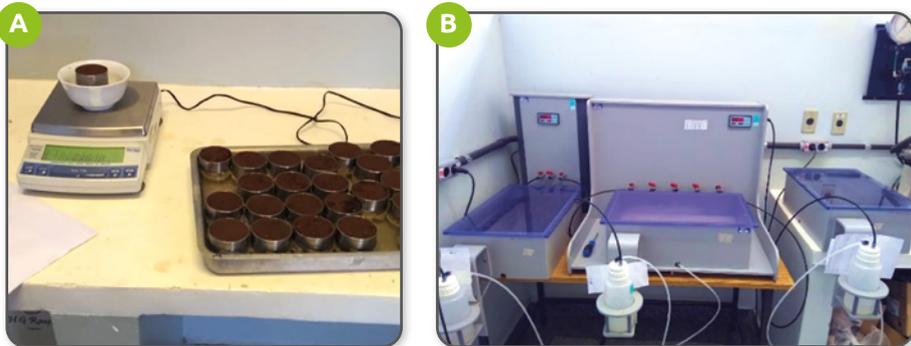


Figura 9 – Pesagem em balança semianalítica das amostras de solo saturadas para colocação em mesa de tensão – Ponta Grossa-PR

Fonte: Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (2021).

Nota: (A) balança semianalítica; e (B) mesa de tensão automatizada.

A primeira tensão aplicada às amostras foi de 6 kPa (coluna de água de 0,60 m), o que equivale à retirada de água do solo equivalente ao diâmetro > 0,05 mm. Considerando que a densidade da água é igual a 1 g cm⁻³, o volume drenado de água é igual à massa de água drenada. Depois de determinar a massa das amostras na tensão de 6 kPa, as amostras foram levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105°C, por 48 h, com intuito de determinar a massa de solo seco. A porosidade total (m³ m⁻³) foi obtida pela diferença entre a massa de solo saturado menos a massa de solo seco dividida pelo volume da amostra. A microporosidade (m³ m⁻³) foi obtida pela diferença entre a massa de solo na tensão de 6 kPa e a massa de solo seco, dividida por seu volume. A macroporosidade (m³ m⁻³) foi calculada pela diferença entre a massa de solo saturado e a massa de solo na tensão de 6 kPa, dividida pelo volume do cilindro metálico. Por fim, a *D_s* (Mg m⁻³) foi obtida pela divisão da massa de solo seco pelo volume da amostra.

5.5 Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo (*CRA*) expressa a relação entre o potencial matricial da água no solo (Ψ_m) e seu conteúdo de água, expresso em unidade de massa (*U*) ou de volume (θ). A umidade do solo na capacidade de campo (*CC*) e no ponto de murcha permanente (*PMP*) são atributos físico-hídricos qualitativos obtidos a partir da *CRA*. Por meio dela é possível obter a umidade crítica para o desenvolvimento das culturas, estimar a distribuição do sistema poroso do solo, calcular índices de qualidade física do solo, parâmetros físicos de lixiviação de solutos e balanço de água no solo, entre outros estudos que podem ser realizados em sistemas agrícolas, áreas hidrológicas, ambientais e geotécnicas relacionadas à zona vadosa (BRUNING *et al.*, 2019; ZHOU; CHEN, 2021).

A água retida no solo entre a capacidade de campo (*CC*) e o ponto de murcha permanente (*PMP*) representa a capacidade de armazenamento de água no solo para o desenvolvimento das plantas, salvo algumas exceções, como as espécies cultivadas em meio saturado, a exemplo do arroz irrigado por inundação. A *CC* representa o limite superior de retenção de água no solo após sua saturação e livre drenagem por um período de 2 a 3 dias, a depender da textura do solo. Na prática, adota-se como *CC* o conteúdo de água no solo no potencial mátrico de -10 ou de -33 kPa, sendo o valor de -10 kPa o mais indicado para solos brasileiros (REICHARDT, 1988). O *PMP* representa o limite inferior de água no solo para o desenvolvimento das plantas, e o potencial matricial relacionado a esse conteúdo de água é 1.500 kPa. Quando atingido o conteúdo

de água do solo no *PMP*, a planta não terá mais capacidade de retirar a água do solo, tendo como resultado o murchamento permanente das folhas. A água disponível para as plantas consiste no conteúdo de água entre a *CC* e *PMP*.

Para determinação da *CRA*, o conteúdo de água no solo é obtido, geralmente, nos potenciais matriciais de 0, -1, -6, -10, -33, -100, -500, -1.000 e -1.500 kPa. Os maiores potenciais são determinados em mesas de tensão (Figura 9B) ou em colunas de areia. As mesas de tensão que operam sem bomba auxiliar a vácuo são empregadas para determinar a umidade volumétrica até o potencial matricial de 10kPa. Já as mesas de tensão com bomba auxiliar a vácuo (mesas automatizadas) possibilitam a determinação da umidade do solo a potenciais matriciais menores, atingindo, em média, tensões de até 75 kPa. Os potenciais matriciais intermediários e inferiores (-1.500 kPa) são aplicados nas amostras de solo em extratores de Richards (Figuras 10A e 10B) ou em determinador do ponto de orvalho – psicrômetro (Figura 10C).

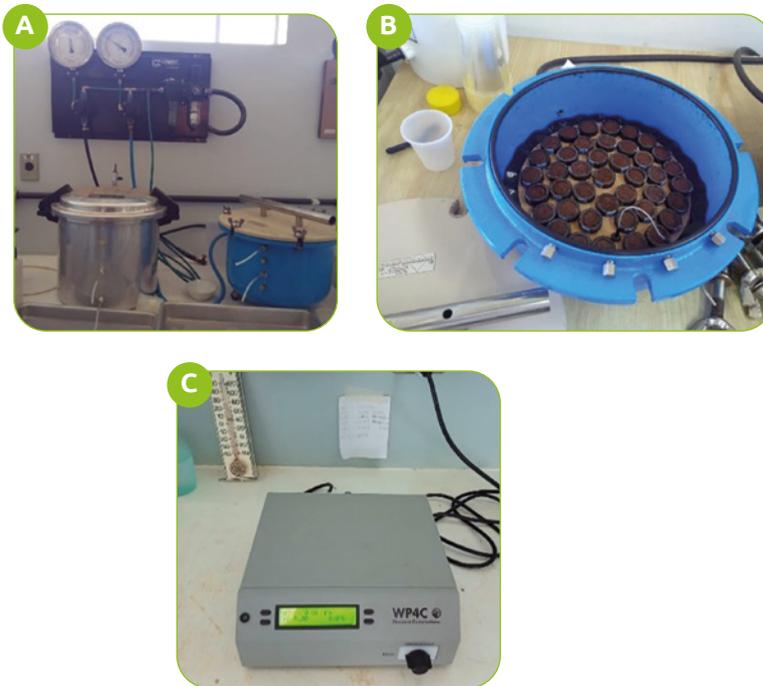


Figura 10 – Equipamentos utilizados na determinação das Curvas de Retenção de Água no solo

Fonte: Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (2021).

Nota: (A e B) Extratores de Richards; e (C) analisador de potencial hídrico na temperatura do ponto de orvalho – WP4-C .

O modelo preferencial para descrever o comportamento da curva de retenção de água no solo é o de Van Genuchten (1980) (Equação 2). Esse modelo é uma função matemática com ajuste da curva no formato sigmoidal (curva em forma de S) utilizada para descrever uma ampla gama de solos com estrutura preservada e não preservada.

O ajuste dos parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) pode ser realizado com auxílio de *softwares*, sendo que atualmente há uma variedade de programas, tais como SWRC versão 2.00 (DOURADO-NETO *et al.*, 2000), SWRC-Fit (SEKI, 2007) e pacotes do *software* R, como o Soil Physics (LIMA *et al.*, 2016).

$$\theta = \theta_r + \left[\frac{\theta_s - \theta_r}{1 + (\alpha \Psi_m^n)} \right]^m \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

θ = umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em determinado potencial;

Ψ_m = potencial matricial (kPa);

θ_r = umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s = umidade na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

α , n e m = coeficientes de ajuste da equação, sendo $m = 1 - \frac{1}{n}$ (MUALEM, 1976).

A Figura 11 ilustra uma CRA obtida para um dos pontos amostrais da megaparcela experimental localizada em Ponta Grossa-PR (textura franco-argilo-arenosa), ajustada pelo modelo de Van Genuchten (1980). Os pontos destacados em vermelho representam a umidade do solo na capacidade de campo (CC; 10 kPa) e no ponto de murcha permanente (PMP; 1.500 kPa).

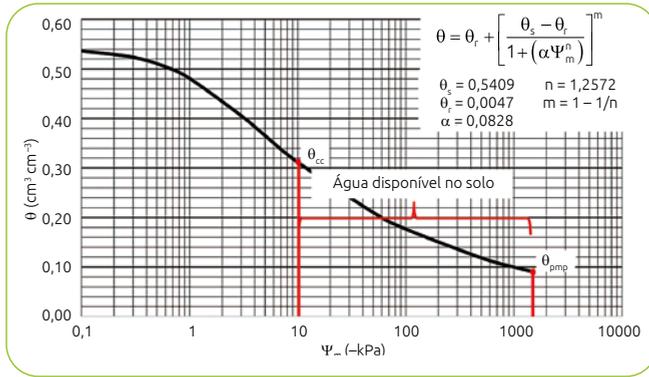


Figura 11 – Curva de retenção de água no solo da megaparcela experimental com terraço, localizada em Ponta Grossa-PR, no ano de 2019

Fonte: Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (2020).

Nota: Ajuste realizado pelo modelo de Van Genuchten (1980). Linhas vermelhas representam a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp})

5.6 Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) é um atributo do solo que descreve a capacidade da água em se movimentar no solo quando saturado, sendo o parâmetro hidráulico mais crítico para refletir e controlar o processo de infiltração (DEXTER; CZYŻ; GAŹE, 2004; ZHANG *et al.*, 2020), com importante papel nos processos hidrológicos do solo (JARVIS, 2020). A K_{sat} é dependente do sistema poroso (quantidade, tamanho, tortuosidade, geometria e conectividade dos poros) e das propriedades do fluido (viscosidade e densidade) (REICHARDT, 1990). As alterações na estrutura do solo promovem rápida modificação da K_{sat} , além de proporcionar grande variação espacial.

A K_{sat} pode ser estimada por meio de ensaios em campo e laboratório. No laboratório, ela é determinada por meio da percolação de água em uma amostra de solo com estrutura preservada e saturada, contida em um cilindro metálico de volume conhecido (100 cm^3), sobre o qual é aplicada uma carga de água constante, utilizando o permeâmetro de carga constante (Figura 12) (TEIXEIRA *et al.*, 2017), ou por meio da aplicação de uma carga variável com o uso de um permeâmetro de carga variável.

Conforme Teixeira *et al.* (2017), a cada hora, o volume de água percolado através da amostra de solo é recolhido em frascos de vidro e, posteriormente, medido. O tempo de avaliação com o permeâmetro de carga constante é de

oito horas. Depois dessa etapa, divide-se o volume percolado a cada intervalo de tempo pela área interna do anel, obtendo a densidade de fluxo. A K_{sat} (cm h^{-1}) é obtida por meio da aplicação da equação de Darcy (TEIXEIRA *et al.*, 2017).



Figura 12 – Permeômetro de carga constante utilizado na determinação da condutividade hidráulica saturada em amostras de solo com estrutura preservada – Guaruapuava-PR

Fonte: Cristiano Andre Pott (2020).

Em condições de campo, a K_{sat} é determinada com permeômetros, havendo uma gama de equipamentos que buscam, com auxílio de equações específicas, descrever esse processo. Dentre os permeômetros de campo, um dos mais utilizados é o de Guelph, de carga hidráulica constante, desenvolvido e aperfeiçoado por Elrick; Reynolds e Tan (1989) na University of Guelph, Canadá. Esse permeômetro utiliza um frasco de Mariotte embutido para medir a taxa de fluxo de água necessária para manter uma altura de lâmina de água constante em um fosso não revestido. Em relação ao infiltrômetro de pressão (anéis concêntricos), o permeômetro de Guelph é um aparelho mais leve e de mais fácil operação em campo. Além disso, permite a determinação de outros atributos físico-hídricos do solo, como velocidade de infiltração, condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) e potencial matricial (Ψ_m). A estrutura do solo na abertura do fosso pode interferir na movimentação de água no perfil do solo analisado. Além disso, a restrita área de amostragem aumenta a variabilidade das medidas.

Nos estudos da Rede Paranaense de Agropesquisa, outro equipamento que vem sendo utilizado para determinação da K_{sat} é o permeômetro de Philip-Dunne Modificado (PMD) (AHMED; GULLIVER, 2010). O método de Philip-Dunne é

de baixo custo, pois o permeâmetro pode ser confeccionado com tubos e conexões em policloreto de vinila (PVC) e mostrou-se aceitável para aquisição rápida de um grande conjunto de dados de K_{sat} em campo (AHMED *et al.*, 2014).

Para obtenção das informações básicas necessárias para o cálculo da K_{sat} pelo método PMD, um tubo de 10 cm de diâmetro e 50cm de altura (permeâmetro) é inserido a uma profundidade de 5,0 cm no solo. Com o permeâmetro inserido no solo é determinada a umidade do solo ao lado do equipamento. Posteriormente, o tubo é preenchido com água até atingir a carga hidráulica inicial de 35 cm de altura e inicia-se a determinação do rebaixamento de água no tubo em função do tempo. O intervalo de medição dependerá do tempo de rebaixamento do primeiro centímetro de água no permeâmetro (AHMED; GULLIVER, 2010). Após o teste, é tomada a umidade final do solo no ponto de instalação do permeâmetro. Por meio das informações de raio do permeâmetro, profundidade de instalação, carga hidráulica inicial e taxa de rebaixamento da água no permeâmetro em função do tempo, obtém-se a K_{sat} por meio do procedimento de cálculo descrito em Ahmed *et al.* (2014), com uso do *software* desenvolvido por Ahmed e Gulliver (2010).

5.7 Infiltração de água no solo

A infiltração de água é um processo hidrológico pelo qual a água atravessa a superfície do solo. A capacidade de infiltração de água de determinado solo influencia diretamente a alimentação das reservas de águas subterrâneas, a disponibilidade de água na zona radicular das culturas, o escoamento superficial e o escoamento subsuperficial. A redução da infiltração pode resultar em erosão hídrica do solo (POTT *et al.*, 2019).

A taxa de infiltração é um dos parâmetros mais sensíveis para detectar alterações na qualidade da estrutura do solo, sendo diretamente relacionada às perdas de água e de sedimentos em encostas. A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água que atravessa a superfície do solo por unidade de tempo, geralmente expressa em milímetros por hora (mm h^{-1}). Essa taxa decresce com o tempo, em função do umedecimento do perfil do solo e assume um valor mínimo constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB). A VIB é um atributo influenciado pela K_{sat} , a qual é afetada pelas práticas de preparo e manejo do solo, sendo dependente da estrutura, da textura, do teor de matéria orgânica, da densidade e da porosidade do solo, especialmente da macroporosidade (SUN *et al.*, 2018).

A taxa de infiltração de água pode ser determinada por meio de diferentes métodos, como: 1) infiltrômetro de aspersão (simulador de chuva de braços

rotativos e simulador de chuva tipo Cornell); 2) infiltrômetro de tensão; 3) permeâmetro; 4) infiltrômetro de duplo anel concêntrico e 5) infiltrômetro de duplo anel concêntrico com carga constante (Figura 13). Embora ainda não haja consenso sobre o método mais adequado a ser utilizado em áreas agrícolas, o infiltrômetro de duplo anel é um dos mais utilizados na Ciência do Solo, sendo preconizado pela ASTM D3385-03 (2010) e pelo Departamento de Geologia Americano, na sessão de suprimento de água (JOHNSON, 1963) the infiltration rate, is usually determined in the field by flooding basins or furrow's, sprinkling, or measuring water entry from cylinders (infiltrometer rings).



Figura 13 – Infiltrômetro de duplo anel com carga constante em funcionamento nas megaparcelas de Guarapuava-PR
Fonte: Cristiano Andre Pott (2019).

A taxa de infiltração determinada pelo método do duplo anel concêntrico (infiltrômetro de pressão) é obtida pela relação entre a quantidade de água que infiltra no solo pela área superficial ocupada pelo anel interno do equipamento, em função da unidade de tempo. A principal razão da presença do anel externo é reduzir o efeito da movimentação lateral da água e potencializar o predomínio de um fluxo vertical unidimensional no anel interno, onde as leituras de altura da lâmina de água são realizadas. O método de duplo anel demanda grande volume de água e árduo trabalho no campo, por outro lado é um método de baixo custo. A infiltração acumulada e a velocidade de infil-

tração de água no solo, obtidas pelo método do infiltrômetro de duplo anel, podem ser ajustadas por meio da equação potencial de Kostiakov. Por ser uma equação que tende a zero para tempos muito longos, sugere-se a adoção do modelo de Kostiakov-Lewis, também conhecida como equação de Mezencev's (DASHTAKI *et al.*, 2009; DUAN; FEDLER; BORRELLI, 2011). Esses modelos são empíricos, e a curva gerada depende da umidade antecedente à realização do teste em campo, não devendo ser aplicável a outros valores de umidade do solo. Porém, esses modelos permitem estimar a *VIB* do solo, parâmetro útil no dimensionamento de estruturas hidráulicas em sistemas agrícolas.

Entre os vários modelos disponíveis para estimar a infiltração da água no solo, o modelo de Green-Ampt é um dos que tem maior potencial de utilização devido a sua simplicidade e por estar fundamentado no processo físico da infiltração (CAO *et al.*, 2019). Esse modelo, proposto por Green e Ampt (1911), demonstra o processo de infiltração como função da K_{sat} , do potencial matricial na frente de umedecimento e das umidades inicial e de saturação do solo. Dessa forma, é possível estimar o processo de infiltração para as diferentes condições de umidade antecedente do solo, o que permite a modelagem do processo de infiltração nos diversos eventos de precipitação que ocorrem nas áreas cultivadas.

A infiltração de água no solo possui alta variabilidade espacial, em especial em terrenos inclinados, uma vez que a capacidade de infiltração de água no solo é regida pelo sistema poroso (MORBIDELLI *et al.*, 2018). A realização de estudos em campo possibilita descrever o comportamento do processo de infiltração e de formação do escoamento superficial. Um prognóstico mais correto desses processos depende da determinação da infiltração em uma ampla cobertura amostral da área.

5.8 Resistência do solo à penetração

Nas diferentes mesorregiões de estudo, a resistência do solo à penetração (*RP*) foi avaliada em campo, na entressafra das culturas (maio a junho), nos pontos previamente alocados nas megaparcelas experimentais e nas bacias hidrográficas. As leituras de *RP* foram efetuadas nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade, em condições de solo úmido, próximo à capacidade de campo.

A *RP* foi medida com um penetrômetro eletrônico modelo PLG 1020 da Falker® Automação Agrícola (Figura 14). A aquisição dos dados a campo ocorreu de forma manual, com o mesmo operador do início ao fim do processo. Utilizou-se agulha com ponta cônica com área basal de $7,74 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ e ângulo de 30° , presa a uma haste cilíndrica de inox com 0,40m de comprimento e $6 \times 10^{-3} \text{ m}$ de diâmetro.



Figura 14 – Penetrômetro eletrônico utilizado para medir a resistência do solo à penetração
Fonte: Cristiano Andre Pott (2021).

O conteúdo volumétrico de água no solo (θ , m^3m^{-3}) foi determinado nos mesmos pontos, camadas e momentos de leitura da *RP*. Para essa avaliação utilizou-se um sensor modelo Delta-T Devices (ML2x ThetaProbe) (Figura 15), que detecta o conteúdo volumétrico de água por meio de medições de mudanças na constante dielétrica aparente. Os dados de *RP* foram descarregados em computador e organizados em planilha eletrônica. As medidas registradas a cada 0,01 m foram, posteriormente, transformadas em médias a intervalos regulares de 0,10 m de profundidade.



Figura 15 – Sensor utilizado na determinação do conteúdo volumétrico de água no momento das leituras da resistência do solo à penetração – Ponta Grossa-PR
 Fonte: Neyde Fabíola Balarezo Giarola (2021).

6 RESULTADOS PRELIMINARES DA PESQUISA

Os resultados preliminares obtidos para os atributos físicos do solo, no âmbito dos projetos e subprojetos associados à Rede Paranaense de Agropesquisa são relatados a seguir.

6.1 Projetos

Os atributos físicos do solo avaliados nas megaparcelas experimentais e nas bacias hidrográficas das diferentes mesorregiões paranaenses são demonstrados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Os resultados obtidos (Tabelas 1 e 2) demonstraram diferenças entre as mesorregiões estudadas em relação aos atributos físicos dos solos. Nas regiões Centro-Sul, Sudoeste, Norte e Oeste, os teores de argila superaram os 600g kg^{-1} de solo nas duas camadas avaliadas. Nessas regiões, os solos são derivados de rochas magmáticas efusivas, o que justifica os resultados obtidos. Nas regiões Centro-Oriental e Noroeste, onde os solos são derivados, respectivamente, de arenitos das Formações Furnas e Caiuá, os teores de argila variam de 200 a 300 g kg^{-1} de solo.

Tabela 1 – Média dos atributos físico-hídricos dos solos das megaparcelas experimentais (camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20m de profundidade), para as diferentes mesorregiões geográficas do estado do Paraná, Brasil

Local/ Sistema de manejo	Camada (m)	n	Frações granu- lométricas g kg ⁻¹			Porosidade (m ³ m ⁻³)			Ds (Mg m ⁻³)	RP (MPa)
			Areia	Silte	Argila	Ma	Mi	T		
Ponta Grossa										
PDC	0,00 - 0,10	36	612	93	295	0,09	0,40	0,49	1,30	1,41
	0,10 - 0,20	36	615	67	318	0,10	0,39	0,49	1,31	2,16
PDS	0,00 - 0,10	36	641	83	276	0,10	0,39	0,49	1,31	1,26
	0,10 - 0,20	36	646	64	290	0,09	0,38	0,47	1,32	2,09
Guarapuava										
PDC	0,00 - 0,10	31	47	160	793	0,17	0,50	0,67	1,07	0,93
	0,10 - 0,20	31	41	177	782	0,12	0,47	0,59	1,07	1,81
PDS	0,00 - 0,10	31	55	206	739	0,16	0,49	0,65	1,08	0,88
	0,10 - 0,20	31	50	165	785	0,12	0,48	0,60	1,09	1,93
Dois Vizinhos										
PDC	0,00 - 0,10	32	22	304	675	0,13	0,46	0,59	1,21	1,10
	0,10 - 0,20	32	18	275	707	0,11	0,46	0,57	1,27	2,33
PDS	0,00 - 0,10	32	24	312	664	0,14	0,44	0,58	1,21	1,12
	0,10 - 0,20	32	20	294	686	0,11	0,46	0,56	1,25	2,38
Cambé										
PDC	0,00 - 0,10	30	150	120	730	0,17	0,42	0,59	1,23	1,05
	0,10 - 0,20	30	150	120	730	0,09	0,45	0,54	1,40	2,41
PDS	0,00 - 0,10	30	150	120	730	0,14	0,43	0,57	1,26	1,21
	0,10 - 0,20	30	150	120	730	0,09	0,45	0,55	1,37	2,46
Toledo										
PDC	0,00 - 0,10	9	90	130	780	0,07	0,46	0,52	1,33	ND
	0,10 - 0,20	9	90	130	780	0,05	0,48	0,53	1,33	ND
PDS	0,00 - 0,10	9	90	130	780	0,06	0,47	0,50	1,41	ND
	0,10 - 0,20	9	90	130	780	0,08	0,47	0,53	1,31	ND
Cianorte										
PDC	0,00 - 0,10	32	840	40	120	ND	ND	ND	ND	0,78
	0,10 - 0,20	32	740	70	190	ND	ND	ND	ND	2,19
PDS	0,00 - 0,10	32	840	40	120	ND	ND	ND	ND	0,53
	0,10 - 0,20	32	740	70	190	ND	ND	ND	ND	1,96

Local/ Sistema de manejo	Camada (m)	n	Frações granu- lométricas g kg ⁻¹			Porosidade (m ³ m ⁻³)			Ds (Mg m ⁻³)	RP (MPa)
			Areia	Silte	Argila	Ma	Mi	T		
Pres. Castelo Branco										
PDC	0,00 - 0,10	32	760	70	170	ND	ND	ND	ND	1,02
	0,10 - 0,20	32	640	80	280	ND	ND	ND	ND	1,68
PDS	0,00 - 0,10	32	760	70	170	ND	ND	ND	ND	0,50
	0,10 - 0,20	32	640	80	280	ND	ND	ND	ND	2,39

Nota: n = número de repetições; Ma = volume de macroporos; Mi = volume de microporos; T = volume total de poros; Ds = densidade do solo; RP = resistência do solo à penetração; PDC = plantio direto com terraços; PDS = plantio direto sem terraços; ND = dado não determinado.

Fonte: Neyde Fabiola Balarezo Giarola (2022).

Tabela 2 – Média dos atributos físico-hídricos dos solos das bacias hidrográficas (camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade), para as diferentes mesorregiões geográficas do estado do Paraná, Brasil

Local/Mesor- região	Camada (m)	n	Frações granu- lométricas g kg ⁻¹			Porosidade (m ³ m ⁻³)			Ds (Mg m ⁻³)	RP (MPa)
			Areia	Silte	Argila	Ma	Mi	T		
Ponta Grossa										
Centro-Oriental	0,00 - 0,10	40	726	64	210	ND	ND	ND	ND	0,78
	0,10 - 0,20	40	724	57	219	ND	ND	ND	ND	2,70
Guarapuava										
Centro-Sul	0,00 - 0,10	66	57	214	729	ND	0,50	0,65	1,00	ND
	0,10 - 0,20	66	43	147	810	ND	0,51	0,61	1,14	ND
Dois Vizinhos										
Sudoeste	0,00 - 0,10	17	51	501	448	0,18	0,45	0,63	1,23	0,96
	0,10 - 0,20	17	28	420	552	0,16	0,44	0,60	1,28	1,74
Cambé										
Norte	0,00 - 0,10	91	140	140	720	0,16	0,43	0,58	1,25	0,78
	0,10 - 0,20	91	140	140	720	0,09	0,45	0,54	1,38	2,77
Toledo										
Oeste	0,00 - 0,10	42	90	130	780	0,18	0,43	0,60	1,13	ND
	0,10 - 0,20	42	90	130	780	0,13	0,44	0,57	1,20	ND

Local/Mesor-região	Camada (m)	n	Frações granulométricas g kg ⁻¹			Porosidade (m ³ m ⁻³)			Ds (Mg m ⁻³)	RP (MPa)
			Areia	Silte	Argila	Ma	Mi	T		
Cianorte										
Noroeste	0,00 - 0,10	34	840	40	120	ND	ND	ND	ND	0,65
	0,10 - 0,20	34	740	70	190	ND	ND	ND	ND	2,07
Pres. Castelo Branco										
Noroeste	0,00 - 0,10	34	760	70	170	ND	ND	ND	ND	0,76
	0,10 - 0,20	34	640	80	280	ND	ND	ND	ND	2,03

Nota: n = número de repetições; Ma = volume de macroporos; Mi = volume de microporos; T = volume total de poros; Ds = densidade do solo; RP = resistência do solo à penetração; ND = dado não determinado.

Fonte: Neyde Fabiola Balarezo Giarola (2022).

A maior média do volume total de poros (*T*) nas megaparcelas foi verificada na área de Guarapuava, e a menor, em Ponta Grossa. Nas megaparcelas de Ponta Grossa, Cambé e Toledo, a macroporosidade se manteve abaixo do limite crítico para a adequada aeração do solo (0,10 m³ m⁻³), o que sugere a ocorrência do processo de compactação e de elevado potencial para diminuir a infiltração de água no solo e aumentar o escoamento superficial de água. Embora nas áreas de Guarapuava e Dois Vizinhos a macroporosidade tenha permanecido acima do limite crítico, o volume de macroporos ainda é considerado baixo e também pode limitar a entrada e o fluxo de água dentro do perfil do solo e aumentar o escoamento superficial.

Ponta Grossa, Cambé e Toledo apresentaram os maiores valores de *Ds*, e Guarapuava, os menores. Essas diferenças devem estar relacionadas às diferenças texturais, estruturais, mineralógicas e nos teores de carbono do solo entre as mesorregiões. Em todas as regiões, a resistência do solo à penetração (RP) aumentou da camada superficial (0,00-0,10 m) para a subsuperficial (0,10-0,20 m), atingindo limitação ao crescimento das raízes das plantas (RP > 2,0 MPa). Em Cambé, a RP superou 2,4 MPa na camada 0,10-0,20 m de profundidade. Esse comportamento da RP é comumente observado em áreas cultivadas em sistema plantio direto, em decorrência de falhas na condução do sistema de manejo.

6.2 Subprojetos

6.2.1 Manejo, estrutura e condutividade hidráulica do solo (Norte)

A velocidade de infiltração básica (*VIB*) é sensível às alterações de manejo do solo e, portanto, pode ser considerada um indicador da qualidade física do solo. Na mesorregião Norte, município de Cambé, a velocidade de infiltração básica foi determinada para avaliar o efeito da reconstrução e da retirada de terraços em área cultivada com lavouras anuais. Os locais de determinação da *VIB* nas megaparcelas foram georreferenciados (Figura 16).

A *VIB* nas megaparcelas com terraços (PCT) e sem terraços (PST) foi determinada utilizando-se o método do duplo anel concêntrico. Além disso, foram coletadas amostras para determinação da distribuição das classes de agregados e a estabilidade de agregados em água.

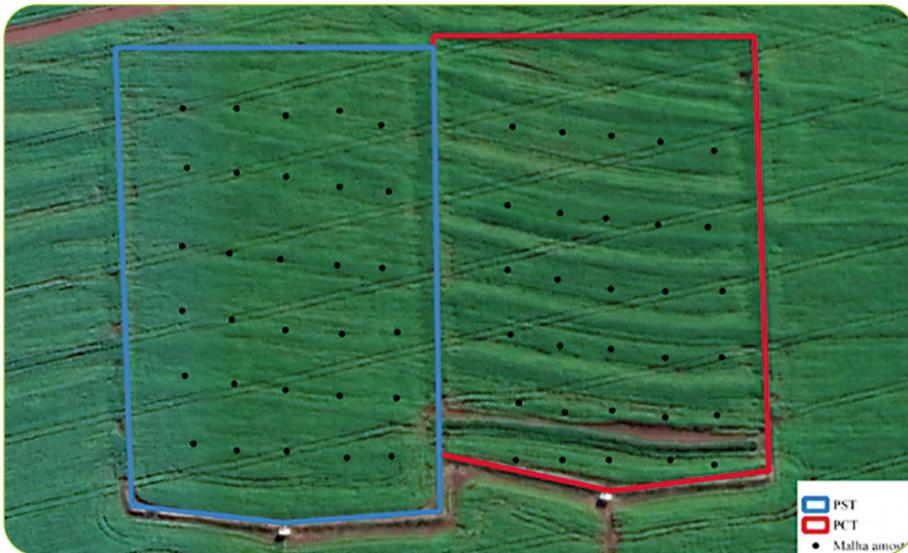


Figura 16 – Malha de pontos para coleta de amostras de solo e para determinação da velocidade de infiltração básica do solo – Cambé-PR

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná.

Nota: Parcelas com terraços (PCT – vermelho); e sem terraços (PST – azul).

A *VIB* obtida pelo método de duplo anel concêntrico apresentou mediana de 175 mm h^{-1} , mínima de 23 mm h^{-1} e máxima de 557 mm h^{-1} . Na Figura 17 são demonstrados os pontos georreferenciados da microbacia de Cambé-PR. O método de Cornell foi utilizado para determinação da velocidade de infiltração básica (*VIB*) em dois momentos, na parte sul da bacia (retângulo amarelo na Figura 17): em 2018, logo após uma gradagem e em 2019, após a integração de milho com braquiária.



Figura 17 – Delimitação da microbacia hidrográfica do município de Cambé com a localização das megaparcelas e os pontos georreferenciados

Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – IDR-Paraná.

Nota: O retângulo amarelo delimita a área onde a *VIB* foi determinada pelo método do Cornell

A *VIB* determinada logo após o preparo do solo, no ano de 2018, foi de aproximadamente 20 mm h^{-1} e dobrou no ano de 2019, chegando a 40 mm h^{-1} após o primeiro ano de integração entre milho e braquiária (Figura 18). Esse resultado ratifica o efeito da desestruturação do solo por meio da mecanização sobre a *VIB* e a eficiência do consórcio na recuperação e manutenção da estrutura do solo, uma vez que as megaparcelas com e sem terraços possuem os mesmos tipos de solos.

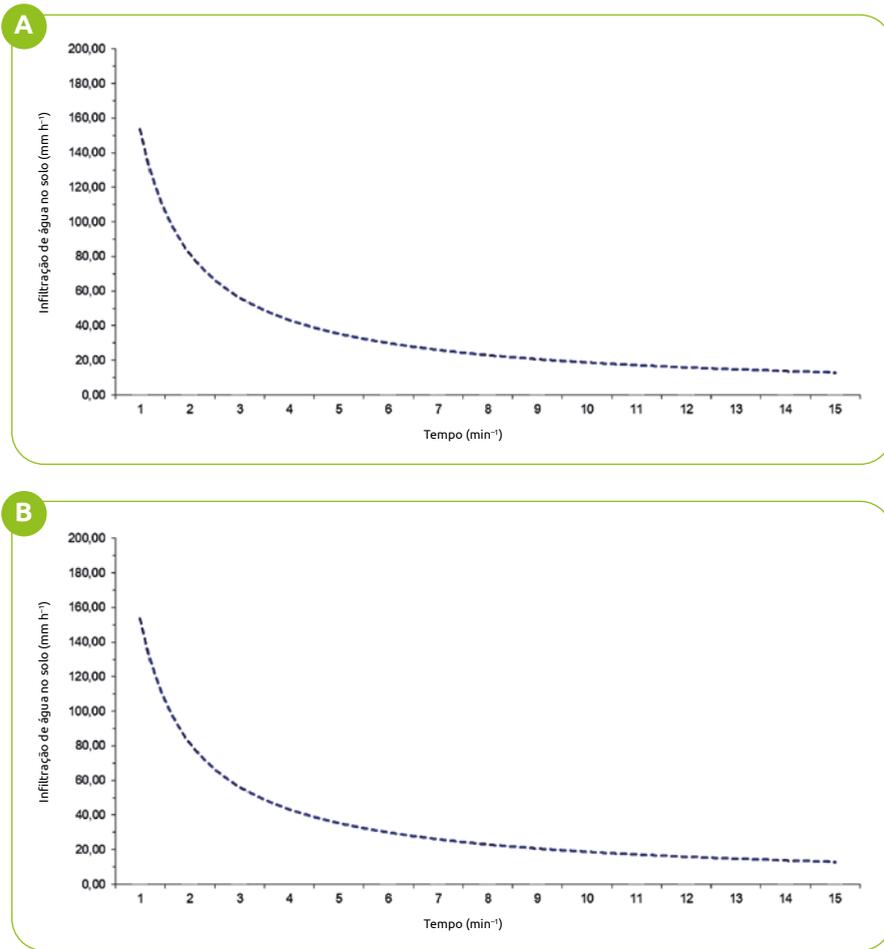


Figura 18 – Curva de infiltração de água no solo determinada pelo método de Cornell

Fonte: Smaylla El Kadri Ceccatto (2021).

Nota: (A) Após gradagem (ano de 2018); e (B) após o primeiro ano de consórcio entre milho e braquiária (ano de 2019).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste capítulo foi apresentar o estudo realizado pela Rede Paranaense de Agropesquisa referente à avaliação dos atributos físicos do solo que regulam parte dos componentes do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas rurais e influenciam o processo de erosão hídrica e o desenvolvimento das plantas cultivadas. Também foram apresentados os protocolos utilizados para coleta de amostras e de análises físicas do solo.

Os resultados preliminares demonstraram diferenças entre os atributos físicos do solo determinados nas mesorregiões paranaenses. Essas diferenças devem estar relacionadas à variação dos tipos de solos e a sistemas de uso e manejo. Em algumas mesorregiões foram constatados níveis elevados de resistência e densidade do solo e volume de macroporos próximo ao crítico estabelecido para drenagem e aeração adequadas aos solos cultivados. As diferenças constatadas entre os atributos físicos provavelmente implicarão diferenças nos componentes do ciclo hidrológico e, por sua vez, nos processos hidrossedimentológicos de cada região estudada. Os dados gerados viabilizarão o desenvolvimento de modelos hidrossedimentológicos fundamentais para simular diferentes cenários climáticos, de uso e manejo do solo para as bacias e regiões hidrográficas paranaenses.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, jun. 2004.
- AHMED, F.; GULLIVER, J. S. **Manual for the Modified Philip-Dunne (MPD) Infiltrometer**. Minneapolis: St. Anthony Falls Laboratory, 2010.
- AHMED, F.; NESTINGEN, R.; NIEBER, J. L.; GULLIVER, J. S.; HOZALSKI, R. M. A modified Philip-Dunne infiltrometer for measuring the field-saturated hydraulic conductivity of surface soil. **Vadose Zone Journal**, Nova Iorque, v. 13, n. 10, p. 1-14, out. 2014.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America, Madison, 1997. p. 123-141. (SSSA Special Publication 49).
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdã, v. 88, n. 2, p. 153-160, fev. 2002.
- ASTM. D3385-03. Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. **ASTM**, 31 dez. 2010. Disponível em: www.astm.org. Acesso em: 15 out. 2022.
- BARETA JÚNIOR, E.; GENÚ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; POTT, C. A. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 53, 2022.
- BEARE, M. H.; BRUCE, R. R. A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: implications for determining environmental effects on soil structure. **Geoderma**, Amsterdã, v. 56, n. 1-4, p. 87-104, mar. 1993.
- BERISSO, F. E.; SCHJØNNING, P.; KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; ETANA, A.; DE JONGE, L. W.; IVERSEN, B. V.; ARVIDSSON, J.; FORKMAN, J. Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 122, p. 42-51, jun. 2012.
- BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. 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**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 781-792, ago. 2007.
- BIDDOCCU, M.; FERRARIS, S.; PITACCO, A.; CAVALLO, E. Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 165, p. 46-58, jan. 2017.
- BOUYOUCOS, G. J. The Clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. **American Society of Agronomy Journal**, v. 27, p. 738-741, set. 1935.
- BRONICK, C. J. C.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, jan. 2005.

- BRUNING, J.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BOSCAINI, R.; DA CONCEIÇÃO, C. G.; GOLLO, E. A. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de pedotransferência. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 28, n. 1, p. 97, 2019.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 43, n. 3-4, p. 205-217, nov. 1997.
- CAO, D. F.; SHI, B.; ZHU, H. H.; INYANG, H.; WEI, G. Q.; ZHANG, Y.; TANG, C. S. Feasibility investigation of improving the modified Green-Ampt model for treatment of horizontal infiltration in soil. **Water Resources Management**, Nova Iorque, v. 11, n. 4, p. 645, 2019.
- CAPELLO, G.; BIDDOCU, M.; FERRARIS, S.; CAVALLO, E. Effects of tractor passes on hydrological and soil erosion processes in tilled and grassed vineyards. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2.118, 2019.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 65, n. 1, p. 45-51, abr. 2002.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 235-244, abr. 2009.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, jun. 2003.
- DASHTAKI, S. G.; HOMAEI, M.; MAHDIAN, M. H.; KOUCHAKZADEH, M. Site-dependence performance of infiltration models. **Water Resources Management**, Nova Iorque, v. 23, p. 2.777-2.790, 2009.
- DEXTER, A. R.; CZYŻ, E. A.; GAŹE, O. P. Soil structure and the saturated hydraulic conductivity of subsoils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 79, n. 2, p. 185-189, dez. 2004.
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, mar. 2000.
- DUAN, R.; FEDLER, C. B.; BORRELLI, J. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. **Irrigation Science**, Nova Iorque, v. 29, n. 5, p. 379-389, 2011.
- ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Groundwater Monitoring & Remediation**, Nova Iorque, v. 9, p. 184-193, jun. 1989.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa: SBCS, 2010. p. 12-24.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

- GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. *In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaio e certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 463-514.
- GREEN, W. H.; AMPT, G. A. Studies in soil physics. I. The flow of water and air through soils. **The Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 4, p. 1-24, 1911.
- GREGORY, P. J. Roots, rhizosphere and soil: the route to better understanding of soil science? **European Journal of Soil Science**, Londres, v. 57, n. 1, p. 2-12, fev. 2006.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, n. 2, v. 82, p. 121-145, jun. 2005.
- HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 667-676, dez. 1997.
- IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1.493-1.500, jul. 2000.
- JARVIS, N. J. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 3, p. 279-302, 2020.
- JOHNSON, A. I. **A field method for measurement of infiltration**: geological survey water-supply paper. Washington DC: United States Government Printing Office, 1963.
- KAY, B. D. Rates of changes of soil structure under different chopping systems. **Advances in Soil Science**, Stuttgart, v. 2, p. 1-51, 1990.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. *In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1. p. 425-442.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1994. v. 35. p. 37-51.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, Stuttgart, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LIMA, R. P.; SILVA, A. R.; SILVA, A. P. da; LEÃO, T. P.; MOSADDEGHI, M. R. Soilphysics: An R package for calculating soil water availability to plants by different soil physical indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdã, v. 120, p. 63-71, jan. 2016.
- MCKENZIE, D. C.; MCBRATNEY, A. B. Cotton root growth in a compacted Vertisol (Grey Vertisol). I. Prediction using strength measurements and 'limiting water ranges'. **Australian Journal of Soil Research**, Nova Iorque, v. 39, p. 1.157-1.168, 2001.
- MORBIDELLI, R.; SALTALIPPI, C.; FLAMMINI, A.; GOVINDARAJU, R. S. Role of slope on infiltration: A review. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 878-886, fev. 2018.

- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, jun. 1976.
- NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 148, p. 119-126, 2015.
- PAGLIAI, M.; PELLEGRINI, S.; VIGNOZZI, N.; ROUSSEVA, S.; GRASSELLI, O. The quantification of the effect of subsoil compaction on soil porosity and related physical properties under conventional to reduced management practices. **Advances in Geocology**, Stuttgart, v. 32, p. 305-313, 2000.
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 79, n. 2, p. 131-143, dez. 2004.
- POTT, C. A.; BARBOSA, E. A. A.; SPLIETHOFF, J.; FOGAÇA, A. M. Métodos para determinação de infiltração de água no solo. In: BERTOL, O. J.; BARBOSA, G. M. C.; SANTOS, J. B.; GUIMARÃES, M. F. **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. Curitiba: Nepar-SBCS, 2019. p. 201-208.
- RASOULZADEH, A.; AZARTAJ, E.; ASGHARI, A.; GHAVIDEL, A. Effects of plant residue management on soil properties, surface runoff, and soil loss under rainfall simulation in a semi-arid region in Iran. **Arid Land Research and Management**, Londres, v. 33, n. 2, p. 200-2011, 2019.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 221-216, 1988.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 102, n. 2, p. 242-254, mar. 2009.
- SEKI, K. SWRC fit: a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 4, p. 407-437, fev. 2007.
- SOJKA, R. E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science Society of American Journal**, Nova Iorque, v. 154, p. 269-280, 1992.
- SUN, D.; YANG, H.; GUAN, D.; YANG, M.; WU, J.; YUAN, F.; JIN, C.; WANG, A.; ZHANG, Y. The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v. 626, p. 1394-1401, 2018.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p.
- TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60200 l/m). **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v. 157, p. 99-104, 1994.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, jun. 1982.
- TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Chapter 2 Physical attributes of soil quality. **Developments in Soil Science**, Londres, v. 25, p. 21-58, 1997.

- VAN GENUCHTEN, M. T. A. closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Nova Iorque, v. 44, p. 892-898, 1980.
- WAGENBRENNER, J. W.; ROBICHAUD, P. R.; BROWN, R. E. Rill erosion in burned and salvage logged western montane forests: effects of logging equipment type, traffic level, and slash treatment. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 541, p. 889-901, 2016.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15. ed. Harlow: Pearson, 2017. 1.104p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington DC: USDA, 1978. 60p. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- ZHANG, X.; WENDROTH, O.; MATOCHA, C.; ZHU, J.; REYES, J. Assessing field-scale variability of soil hydraulic conductivity at and near saturation. **Catena**, v. 187, abr. 2020, artigo 104335.
- ZHOU, C.; CHEN, R. Modelling the water retention behavior of anisotropic soils. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 599, p. 126-361, ago. 2021.

08

Atributos biológicos

Autores

Arnaldo Colozzi Filho**Adriana Knob****Andrea Scaramal Menoncin****Carlos Alberto Casali****Carolina Weigert Galvão****Dinéia Tessaro****Eder da Costa dos Santos****Edneia Aparecida de Souza Paccola****Francielli Gasparotto****Gabriela Machneski****Rosilaine Carrenho**

1 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E QUALIDADE DO SOLO

O solo é um sistema dinâmico e heterogêneo, que resulta da ação simultânea e integrada do material de origem, do relevo, do clima, do tempo e dos organismos (TEIXEIRA; MOREIRA, 2019). A complexidade desse sistema proporciona a formação de diferentes habitats que geram condições para que uma grande diversidade de organismos metabolicamente distintos desempenhe suas funções, garantindo a manutenção da qualidade do solo (BÜNEMANN *et al.*, 2018).

Nos últimos anos, especial atenção tem sido dirigida à avaliação da qualidade do solo, em razão de preocupações com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e com a manutenção da qualidade ambiental (CHEN *et al.*, 2016; PAGE; DANG; DALAL, 2020). A qualidade do solo é um conceito amplo e se refere ao equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo. Esse termo se refere à capacidade do solo de sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, de forma que seja mantido o equilíbrio ambiental, além de promover a saúde de plantas e de animais (BÜNEMANN *et al.*, 2018). Em um entendimento mais amplo, assume-se que não basta apenas o solo ter alta fertilidade, mas também deve apresentar uma boa estruturação, além de abrigar grande diversidade de organismos (KARLEN *et al.*, 2019).

A indagação de como avaliar a perda de qualidade de determinado solo em função do manejo agrícola é antiga, controversa e pertinente. A resposta mais adequada parece ser a utilização de características, presentes nos agroecossistemas, que sejam indicativas de seu estado de qualidade (MAURYA; ABRAHAM; SOMASUNDARAM, 2020).

A qualidade dos solos deve ser avaliada por meio da utilização de bons indicadores, sensíveis às modificações que ocorram no sistema, de forma a responder com rapidez e acurácia a um distúrbio, capazes de refletir os aspectos do funcionamento do ecossistema, além de serem de fácil determinação e interpretação (ROUSSEAU *et al.*, 2013; AZEVEDO JUNIOR *et al.*, 2017).

A necessidade de dispor de indicadores sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo do solo promoveu a proposição de alguns modelos, baseados em um conjunto mínimo de atributos químicos, físicos e biológicos do solo que pudessem ser relacionados com suas funções (CARDOSO *et al.*, 2013; MAURYA; ABRAHAM; SOMASUNDARAM, 2020). Nesse sentido, há um longo debate sobre quais indicadores biológicos melhor refletem a qualidade do solo (SANTOS *et al.*, 2018).

Os indicadores biológicos são os constituintes vivos, presentes nas camadas mais superiores do solo, representados por uma grande diversidade de espécies que desempenham diversas e complexas funções no ecossistema. A ampla funcionalidade e sensibilidade dos indicadores biológicos permite a detecção de alterações resultantes de perturbações naturais ou antrópicas no ecossistema solo (HEGER; IMFELD; MITCHELL, 2012). Por se tratar da parte mais viva e mais ativa da matéria orgânica do solo e por atuar em importantes processos bioquímicos, os indicadores biológicos, quando comparados aos indicadores químicos e físicos, são capazes de detectar com maior antecedência as alterações que ocorrem no solo em função de seu uso e manejo (PAZ-FERREIRO; FU, 2016).

Os indicadores biológicos do solo podem ser avaliados por meio dos processos realizados pela comunidade microbiana. O solo é povoado por comunidades microbianas altamente diversas, que medeiam processos e funções importantes. A distribuição dos microrganismos, entretanto, não é uniforme nem aleatória. Em vez disso, é ditada por processos e pelas condições físicas, químicas e biológicas do solo, tornando suas comunidades microbianas um sistema auto-organizado, capaz de adaptar-se às condições ambientais constantemente em alteração (KÖNIG *et al.*, 2020).

Os microrganismos, que são responsáveis pela decomposição de compostos orgânicos, pelos processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na matéria orgânica e pelo fluxo de energia do solo, têm grande importância

para a sustentabilidade dos sistemas de produção, sendo capazes de responder rapidamente às alterações no solo (CARDOSO *et al.*, 2013). A comunidade microbiana é altamente responsiva às alterações no ambiente ocasionadas por variáveis bióticas, abióticas e antrópicas (ESCH; LIPSON; CLELAND, 2017, FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017). Ainda, os microrganismos são capazes de responder sensivelmente a distúrbios provocados por diferentes manejos e usos do solo (CARDOSO *et al.*, 2013, BISWAS *et al.*, 2017). Muitas vezes, mudanças nos atributos microbiológicos do solo precedem modificações nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal em sua melhoria ou degradação (BISWAS *et al.*, 2017).

Porém, apenas uma pequena parte desses microrganismos é cultivável, o que torna impraticável isolá-los para avaliar sua atividade no solo e permitir inferências sobre o sistema (ŠTURSOVÁ *et al.*, 2016). Para atender a essa necessidade, não apenas organismos que contribuem para processos que apoiam a provisão de serviços ecossistêmicos são comumente avaliados, mas também avaliações indiretas da atividade de microrganismos que contribuem para a qualidade do solo são realizadas, como a mensuração da atividade enzimática e a respiração basal do solo (SANTOS *et al.*, 2018; ŠTURSOVÁ *et al.*, 2016).

A manutenção da qualidade do solo também é proporcionada pela fauna edáfica, que consiste em um componente biológico do solo. Representada por organismos invertebrados, a fauna edáfica tem estreita relação com o componente microbiano, pois atua em diversos processos edáficos (BARETTA *et al.*, 2011), estabelecendo uma complexa teia trófica em cuja base normalmente estão as raízes, a serapilheira e a matéria orgânica do solo (BROWN *et al.*, 2015), o que pode modificar funcional e estruturalmente o solo, induzindo efeitos abaixo e acima de sua superfície (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2018) por meio da decomposição e ciclagem de nutrientes e da modificação de suas características físicas e químicas (LAVELLE, 1996).

Além dos aspectos funcionais diretamente ligados à manutenção das características do solo, a fauna edáfica é sensível a modificações no ambiente e pode ser utilizada como bioindicadora, tendo em vista que vários grupos desses organismos têm se mostrado sensíveis às mudanças de variáveis ambientais (GÓES *et al.*, 2021), sejam elas físicas, sejam biológicas ou químicas, bem como aquelas oriundas do manejo do solo e de cultivo (BARETTA *et al.*, 2011). Associado a essa capacidade, esses organismos podem ser facilmente amostrados por métodos simples (BARETTA *et al.*, 2011) e de fácil interpretação (PAOLO *et al.*, 2010), o que permite que sejam utilizados nas mais diversas situações e possibilita avaliar a sustentabilidade dos agroecossistemas em longo prazo (BATISTA *et al.*, 2018).

2 O IMPACTO DOS SISTEMAS DE MANEJO E EROÇÃO DOS SOLOS SOBRE OS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM ÁREAS CULTIVADAS

O solo é a principal reserva microbiana do planeta, onde uma quantidade enorme de processos biofísicos e bioquímicos ocorrem e são necessários para sustentar todos os outros níveis tróficos da biosfera (YOUNG; CRAWFORD, 2004). Ao mesmo tempo, a fauna do solo, que possui estreita relação com os microrganismos e atua em diversos processos edáficos (BARETTA *et al.*, 2011; BROWN *et al.*, 2015) cria uma complexa cadeia trófica de interações biológicas essenciais para a sustentabilidade dos ecossistemas (BATISTA *et al.*, 2018), sendo que quanto maior a riqueza de espécies e a complexidade dessas relações, maior a resiliência do solo (KRAFT *et al.*, 2021).

A capacidade dos microrganismos (ESCH; LIPSON; CLELAND, 2017; KÖNIG *et al.*, 2020) e da fauna do solo (ALVES *et al.*, 2008; BARETTA *et al.*, 2014) de responder às alterações no solo em função de práticas de manejo possibilita a utilização desses organismos como indicadores de qualidade ambiental. A diferença no regime alimentar e no hábitat da fauna do solo define como ela responde ao manejo agrícola (BATISTA *et al.* 2018), enquanto os microrganismos, por serem parte viva da MOS e atuar em processos biogeoquímicos, são capazes de detectar com antecedência alterações no solo em função de seu uso e manejo (PAZ-FERREIRO; FU, 2016).

A distribuição dos microrganismos no solo é norteadada por processos e condições físicas, químicas e biológicas do solo, tornando as comunidades microbianas um sistema auto-organizado que consegue se adaptar às condições ambientais, constantemente em alteração (KÖNIG *et al.*, 2020). O complexo solo-microrganismos é auto-organizado, pois enquanto a atividade microbiana é moldada pelas condições físicas, químicas e biológicas em nível de microescala, a atividade microbiana altera essas mesmas propriedades químicas e físicas (YOUNG; CRAWFORD, 2004). Muitas vezes, mudanças nas propriedades microbiológicas do solo precedem modificações nas propriedades químicas e físicas, refletindo em sua melhoria ou degradação (BISWAS *et al.*, 2017).

Da mesma forma, a fauna edáfica tem potencial para ser usada na avaliação da qualidade do solo, pois alguns grupos são sensíveis às alterações nas variáveis ambientais, ao preparo e ao manejo do solo (BARETTA *et al.*, 2014). Em geral, as populações de minhocas e colêmbolos aumentam no SPD, com a ausência de preparo do solo e a presença de cobertura verde, matéria orgânica em decomposição e sistema radicular densamente distribuído (BROWN *et al.*, 2015). Assim, as práticas de manejo podem afetar diretamente a dinâmica

biológica do solo, o que pode estimular ou comprometer os processos biogeoquímicos e físicos que acontecem nesse complexo sistema.

Os sistemas de cultivo podem alterar as condições de umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes e compostos orgânicos no solo, o que interfere diretamente na sobrevivência da biologia do solo. Os sistemas de manejo com menor revolvimento do solo, como Sistema Plantio Direto (SPD) e cultivo mínimo, proporcionam melhores condições de solo e permanência da cobertura na superfície do solo, o que diminui a amplitude térmica e aumenta a umidade (BARETTA *et al.*, 2014; BROWN *et al.*, 2015).

A mobilização do solo impactou negativamente as populações de minhocas, enquanto houve relações positivas entre a abundância de minhocas, a idade dos SPD e o teor de C do solo (BROWN *et al.*, 2003). Os sistemas de manejo e preparo do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica, sendo que sistemas agroflorestais propiciam melhores características químicas do solo e aumento na abundância e riqueza de espécies (LIMA *et al.*, 2010).

A seleção de espécies cultivadas, além do sistema de preparo do solo, também pode interferir na dinâmica da biologia do solo. A rotação de culturas em SPD possibilitou maior diversidade edáfica, atividade respiratória e teor de carbono (C) da biomassa microbiana em comparação à sucessão de culturas, pois a diversificação do material remanescente do solo constitui um fator para a efetividade da atividade dos microrganismos (BARETTA *et al.*, 2014). A manutenção da diversidade de plantas nos ecossistemas e, por consequência, da biota do solo diversificada, junto a uma permanente cobertura da superfície do solo, são essenciais para manter o solo potencialmente ativo e dinâmico, resultando em produção qualitativa mais sustentável (BROWN *et al.*, 2015).

A disponibilidade de nutrientes no solo é um dos fatores que também podem interferir na dinâmica microbiana (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010; BOECHAT *et al.*, 2012) e da fauna do solo (LIMA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2014; BARETTA *et al.*, 2014; NADOLNY *et al.*, 2020). As comunidades microbianas no solo são estimuladas pela adição de resíduos orgânicos, especialmente devido à presença de nutrientes e compostos de carbono prontamente disponíveis (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010). A aplicação de iodo (I) de esgoto urbano e industrial aumentou o quociente metabólico, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, levando ao crescimento da população microbiana (BOECHAT *et al.*, 2012). O uso de composto orgânico aumentou a eficiência no uso de energia pela comunidade microbiana, pois aumentou a respiração microbiana, o carbono da biomassa microbiana, a atividade de β -glicosidase e fosfatase no solo, além de diminuir o qCO_2 (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010).

A importância da disponibilidade de nutrientes no solo é tão grande para a fauna edáfica que Nadolny *et al.* (2020) recomendam que futuros estudos de populações de minhocas também avaliem o pH, a CTC e os teores de Ca, Mg, K, P, C e N dos solos. Os teores de MOS, Al trocável, P e K disponíveis afetam a distribuição dos grupos edáficos da fauna em área sob SPD (KRAFT *et al.*, 2021). O aumento do teor de macronutrientes do solo favoreceu a abundância da macrofauna edáfica (LIMA *et al.*, 2010). Em conjunto, a maior diversidade da macrofauna do solo foi encontrada com adubação organomineral comparada às adubações isoladas, o que demonstra que ela foi beneficiada pela adição do fertilizante mais balanceado (ALVES *et al.*, 2008). O aumento das doses de dejetos líquidos de suínos (DLS) elevou o número de colêmbolos no SPD, com a dose de 80 m³ ha⁻¹ de DLS diferindo da adubação mineral (SILVA *et al.*, 2014). Contudo, as doses de 40 e 80 m³ ha⁻¹ de DLS reduziram a diversidade microbiana, avaliada pelo índice de Shannon, e aumentaram a dominância de alguns grupos de microrganismos medida pelo índice de Simpson no SPD, em relação ao cultivo mínimo (SILVA *et al.*, 2014).

A dose de dejetos de 60 m³ ha⁻¹, normalmente utilizada pelos produtores em áreas de SPD na região dos Campos Gerais do Paraná, está contribuindo para a diminuição das perdas de COT por escoamento, pois o uso do dejetos melhora as condições estruturais e hidráulicas, como macroporosidade, estabilidade de agregados, taxa de infiltração de água e sortividade do solo (SILVEIRA *et al.*, 2011). Em conjunto, as ordens Oligochaeta, Chilopoda, Collembola, Trichoptera e Diplopoda estiveram relacionadas com a diminuição da resistência do solo à penetração na camada de 0-10 cm, onde a maior atividade deles pode melhorar a estrutura do solo, aumentando os fluxos de água e ar (KRAFT *et al.*, 2021).

A fauna do solo pode afetar profundamente sua estrutura e arquitetura, influenciando as taxas de escoamento e infiltração de água e a capacidade de armazenar água no perfil edáfico. Isso ocorre devido à criação de rugosidade com o depósito de coprólitos superficiais, que muda a taxa de escoamento da água e de erosão do solo, e ao aumento da porosidade e de bioporos na superfície, o que melhora a infiltração de água (BROWN *et al.*, 2015). Assim, a adição de dejetos em áreas de SPD pode contribuir com a diminuição de processos erosivos, também, por estimular a produção de biomassa vegetal, que acaba por melhorar as condições de vida da biologia do solo, servindo de alimento e amenizando amplitude térmica.

3 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os indicadores biológicos representam um enorme potencial para o monitoramento da qualidade do solo, pois refletem o *status quo* ambiental e a condição de sustentabilidade de um ecossistema. A capacidade de um solo sustentar a produção agrícola é conhecida, e simplificada, como fertilidade do solo (PATZEL; STICHER; KARLEN, 2000), o que, durante muito tempo, foi subestimado e exclusivamente associado às propriedades químicas e físicas do solo.

A qualidade do solo deve estar relacionada à função vital de manutenção da biosfera, capaz de sustentar as plantas, os animais e os humanos (BÜ-NEMANN *et al.*, 2018). Embora a qualidade do solo não possa ser mensurada diretamente, todos os atributos do solo que puderem ser medidos servirão de indicadores de qualidade (ZORNOZA *et al.*, 2015). Logo, as informações de vários indicadores analisados podem ser simplificadas em um índice de qualidade do solo, que suportaria a tomada de decisão nas práticas agrícolas (KLADIVKO *et al.*, 2014).

Diferentemente dos indicadores físicos e químicos, os indicadores biológicos têm respostas rápidas, sensíveis e dinâmicas a estímulos bióticos e abióticos, cujas intensidade e diversidade são moduladas em escala temporal e espacial. Todo e qualquer distúrbio em consequência das práticas agrícolas será reverberado, e amplificado, na forma de respostas celulares e bioquímicas no agroecossistema solo. Alterações na população e na atividade metabólica normalmente precedem mudanças nas propriedades químicas e físicas (WU *et al.*, 2015).

A biomassa microbiana é a parte viva e ativa da matéria orgânica, diretamente envolvida nas transformações biogeoquímicas nesse sistema. É sobre esse parâmetro que está baseada a divisão dos organismos que colonizam um ecossistema, procariotos ou eucariotos, unicelulares ou multicelulares. Os índices de diversidade, riqueza e equitabilidade de espécies em comunidades são a base para o entendimento da ecologia e também são baseados na biomassa dos diferentes microrganismos presentes no solo. Assim, torna-se possível calcular os índices de diversidade genética e funcional, correlacionando-os aos fatores ambientais, sejam bióticos, sejam abióticos (GE; THOMASSON; SUI, 2011).

A dinâmica de espécies reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes no solo. Em síntese, a estruturação, a formação de húmus, a fixação biológica de nitrogênio, as associações micorrízicas, a solubilização de nutrientes, o antagonismo de patógenos e pragas, a degradação de compostos persistentes e mui-

tas outras alterações nas propriedades do solo que afetam o crescimento vegetal são fruto da dinâmica da diversidade funcional (capacidade biocatalítica intrínseca) de organismos vivos no solo, que são a base dos parâmetros celulares.

Os parâmetros bioquímicos estão baseados nas respostas metabólicas em nível molecular. A informação da presença e/ou da atividade de moléculas específicas é utilizada para prever reações bioquímicas que estão ocorrendo no solo. Considerando que toda e qualquer reação de síntese (anabólica) e/ou degradação (catabólica) de compostos orgânicos e/ou inorgânicos é mediada por enzimas, logo, determiná-las quali e quantitativamente representa estimar as transformações bioquímicas que estão ocorrendo no solo. Assim, a análise conjunta de parâmetros celulares e bioquímicos serve como um índice referencial de qualidade bioquímica do solo (GE; THOMASSON; SUI, 2011).

As enzimas fornecem uma indicação do potencial de transformações da matéria orgânica e demais compostos presentes no solo, onde se destacam as reações biogeoquímicas (VELMOUROUGANE, 2016). A mensuração da atividade de enzimas permite a estimativa da atividade bioquímica global e/ou de grupos específicos de organismos presentes no ambiente. A atividade metabólica da biomassa microbiana do solo é mensurada, indiretamente, pela liberação de dióxido de carbono (CO_2) ou pelo consumo de oxigênio (O_2), frequentemente expressos em μg de carbono por grama de solo seco ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) ou mg de carbono por quilograma de solo seco (g kg^{-1} solo), e fornecem uma medida da atividade de enzimas intracelulares envolvidas no metabolismo primário. A respiração microbiana serve como um bom indicador indireto do metabolismo, uma vez que representa o produto metabólico do conjunto de reações bioquímicas essenciais à obtenção de energia e a oxidação enzimática da matéria orgânica pelos organismos aeróbios do solo.

Não obstante, a atividade de enzimas extracelulares, diretamente relacionadas às transformações biogeoquímicas, permite inferir sobre as reações de oxirredução e de mineralização, predominantes no solo, em escala espacial e temporal (VELMOUROUGANE, 2016). Dentre as enzimas extracelulares que podem servir como indicador bioquímico de qualidade do solo estão: -glucosidase, urease, fosfatase e arilsulfatase.

Como a extração de uma enzima do solo é extremamente difícil, sua presença costuma ser caracterizada pela avaliação de sua atividade sob um conjunto de condições previamente estipuladas (pH, temperatura, umidade, concentração de substrato). Assim, as determinações enzimáticas do solo costumam medir sua atividade potencial, e não sua atividade *in situ* (DICK, 1994). Aqui serão abordadas somente as enzimas que estão sendo utilizadas como indicadores de qualidade do solo nos ensaios a campo, das quais podemos destacar:

- a) Arilsulfatase (EC 3.1.6.1):** hidrolase encontrada tanto em procariotos (bactérias e arqueias) quanto em eucariotos (fungos filamentosos e leveduras) (Figura 1). Essa enzima catalisa a reação de hidrólise de ésteres de sulfatos presentes nos resíduos orgânicos do solo, tendo grande importância no processo de mineralização de enxofre e, por consequência, na ciclagem desse elemento essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

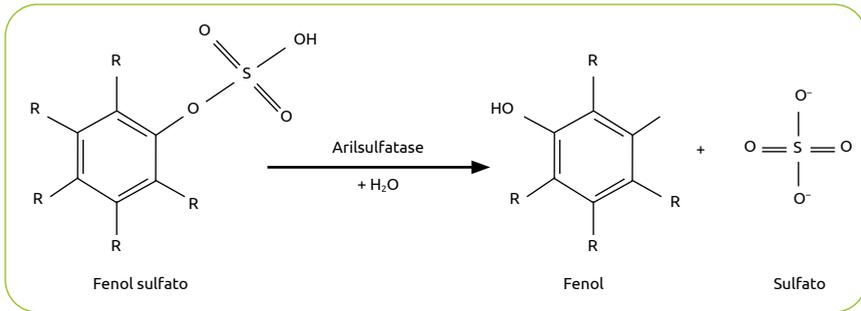


Figura 1 – Representação gráfica da reação de hidrólise mediada pela arilsulfatase
Fonte: Brenda(a) [S. d.].

- b) β -glicosidase (EC 3.2.1.21):** hidrolase que catalisa a reação de hidrólise da celobiose, um dissacarídeo de glicose, constituído por uma ligação β -glicosídica, resultante da hidrólise parcial da celulose. Assim, como celobiose é o produto da degradação parcial da celulose, a atividade da β -glicosidase indica a etapa final de degradação do polissacarídeo e, por consequência, na ciclagem do carbono orgânico no solo, o que permite fazer inferências acerca da ciclagem dos resíduos orgânicos à matéria orgânica estável no solo.

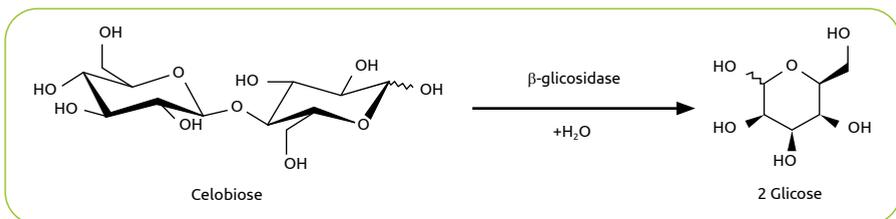


Figura 2 – Representação gráfica da reação de hidrólise da celobiose mediada pela β -glicosidase

Fonte: Adaptada pelos autores de: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Celobiose>.

- c) Fosfatase ácida (EC 3.1.3.2):** hidrolase classificada como fosfomonoesterase, que catalisa a reação de hidrólise de ésteres e anidros de fósforo (P), tendo grande importância no processo de mineralização do P orgânico do solo. Essa hidrolase é especificada como ácida por ter maior estabilidade química e funcional em ambientes com o pH ácido. Entre os fatores que limitam a atividade dessa enzima está a presença de ortofosfatos encontrados em fertilizantes fosfatados industrializados. Assim, é esperado que em solos com adição frequente de adubação mineral fosfatada, a atividade dessa enzima seja baixa ou nula.

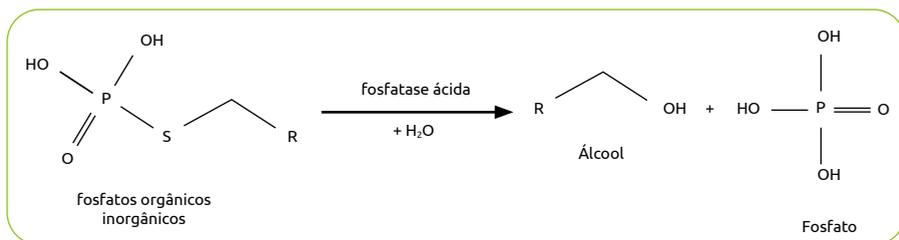


Figura 3 – Representação gráfica da reação de hidrólise mediada pela fosfatase ácida
Fonte: Brenda(b) [S. d.].

- d) Urease (EC 3.5.1.5):** hidrolase que catalisa a reação de hidrólise completa da ureia, envolvendo duas etapas. A primeira catalisa a hidrólise da ureia, liberando amônia e carbamato. Na sequência, o carbamato é convertido em bicarbonato, com a liberação de outra molécula de amônia. Dessa forma, essa enzima tem grande importância na mineralização do nitrogênio, na forma de ureia e, por consequência, na ciclagem global do nitrogênio (N) disponível às plantas.

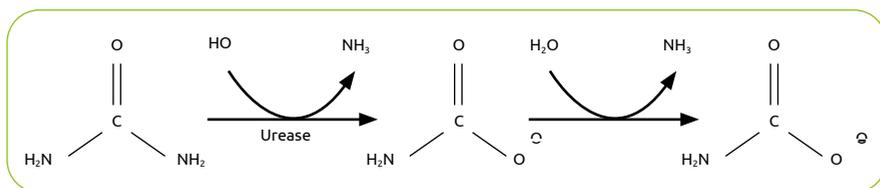


Figura 4 – Representação gráfica da reação de hidrólise da ureia mediada pela β-glucosidase
Fonte: Mazzei, Musiani e Ciurli (2020).

Essas enzimas controlam a liberação de nutrientes para o crescimento dos microrganismos da biomassa, trocas de gases entre o solo e a atmosfera e propriedades físicas do solo. A avaliação da atividade das enzimas pode ser

útil para indicar em que medida um solo está desempenhando seu potencial de ciclagem de nutrientes, nitrificação, oxidação e outros processos vitais à sustentabilidade dele, implicando diretamente a escolha do manejo adequado (DICK, 1994).

Assim, a mensuração da atividade de determinadas enzimas, correlacionada a informações de propriedades químicas e físicas do solo, em escala espacial e temporal, representa uma expansão do conjunto de dados multidimensional que suporta inferências robustas sobre a interação e a iteração dos atributos que constituem o sistema solo. E, como em todo sistema aberto, a interdependência das propriedades que o compõem é tão complexa e dinâmica que representa um sistema caótico, altamente sensível, no qual uma pequena mudança nas condições iniciais pode ter grandes implicações em sua homeostase.

Nesse contexto, a mensuração da atividade biológica no sistema solo representa um aprofundamento da análise preditiva do comportamento homeostático agroecológico. Logo, o solo é um arranjo de partículas granulares, interconectadas, que resulta nas propriedades químicas e físicas, previsíveis, à exceção das propriedades biológicas. Ao inserir essas propriedades, a imprevisibilidade das interações resulta em uma aleatoriedade caótica, aumentando significativamente a dificuldade de se inferir sobre qualquer fenômeno observado a campo, principalmente quando empregando modelos determinísticos. Todavia, no contexto aplicado, a inserção de variáveis biológicas vislumbra o emprego de modelos estocásticos e, por consequência, a formulação de hipóteses e predição de cenários que jamais seriam obtidos pela análise exclusiva dos atributos químicos e físicos do solo.

4 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM E METODOLOGIAS DE ANÁLISES ADOTADAS PELA REDE

A estratégia de amostragem do solo está descrita no Capítulo 6, que detalha como as amostras de solo estão sendo coletadas em toda a rede. Para as análises microbiológicas são utilizadas amostras de solo coletadas nos mesmos pontos, na profundidade de 0-10 cm.

4.1 Biomassa microbiana

A determinação da biomassa microbiana do solo (BMS) nos estudos realizados pela Rede Agropesquisa: monitoramento da atividade biológica no solo estão sendo realizadas segundo o método de fumigação-extração proposto por

Vance, Brookes e Jenkinson (1987). Esse método envolve a eliminação da microfauna do solo pelo clorofórmio e a quantificação do carbono e do nitrogênio liberados pela morte dos microrganismos por meio da extração química, conforme proposto por Tate, Ross e Feltham (1988). O carbono da biomassa microbiana liberado no processo de extração está sendo quantificado por meio de titulação, empregando-se o íon dicromato de potássio como agente oxidante (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987).

O nitrogênio da biomassa microbiana está sendo determinado por reação colorimétrica após a digestão sulfúrica de uma alíquota do extrato e leitura em espectrofotômetro a 630 nm. Os compostos orgânicos de N, quando digeridos com H_2SO_4 , são convertidos em NH_4^+ e, ao reagirem com hipoclorito de sódio em meio alcalino, formam uma solução de coloração azul (FEIJE; ANGER, 1972).

A biomassa microbiana de C e N foi estimada com base na diferença entre os teores de C e N presentes no extrato da amostra fumigada e da amostra não fumigada, usando como fatores de correção KC e KN de 0,33 e 0,54, respectivamente (SPARLING; WEST, 1988; BROOKES *et al.*, 1985).

4.2 Atividade microbiana

A atividade microbiana presente no solo está sendo avaliada pela determinação da respiração basal (RB), do quociente metabólico (qCO_2) e da atividade enzimática.

A respiração basal (RB) está sendo avaliada incubando-se 50 g de solo de cada amostra em frascos hermeticamente fechados, contendo 10 mL de uma solução de NaOH 0,5 N em béquer para capturar o CO_2 liberado (ALEF, 1995). Após sete dias, o NaOH remanescente é quantificado pela titulação com HCl na mesma concentração, com auxílio do indicador fenolftaleína. A razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana de C fornece o quociente metabólico ou qCO_2 (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

4.3 Atividade enzimática do solo

A atividade enzimática do solo está sendo avaliada pela determinação da atividade das enzimas β -glicosidase, urease, fosfatase ácida e arilsulfatase, relacionadas ao ciclo biogeoquímico do carbono, do nitrogênio, do fósforo e do enxofre, respectivamente.

As amostras de solo foram homogeneizadas e armazenadas em baixa temperatura (4°C) para inativação metabólica. O solo foi então destorroado e peneirado em peneira com abertura de malha de 2 mm, selecionando-se a fração mais fina do solo, pois é onde se observa aumento na atividade enzimática (SPEIR *et al.*, 1980). Nas análises desse monitoramento da Rede de Agropesquisa não foram utilizados inibidores de crescimento microbiano, como o tolueno (C₇H₈), em função do curto período de incubação.

A metodologia empregada para as enzimas β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase seguiu o protocolo de avaliação descrito por Tabatabai (1994). Esse método se baseia na quantificação do corante fluorescente *p*-nitrofenol, liberado pela ação da enzima, quando o solo é incubado com um substrato específico. O método analítico é fundamentado na teoria de ação enzimática proposta por Michaelis e Menten (1913), que se baseia no conceito de que uma enzima atua formando um composto ou um complexo com o substrato. Assim, a atividade de qualquer enzima é geralmente observada medindo-se a taxa da reação química que está sendo catalisada pela enzima e o composto formado (TABATABAI, 1994).

Os substratos utilizados são específicos para cada enzima a ser analisada. Para a β-glicosidase é utilizado o *p*-nitrofenil -D-glucopyranoside, C₁₂H₁₅NO₈; para a fosfatase é utilizado o *p*-nitrofenil fosfato de (di)sódio tetra hidratado, C₆H₄NO₆P₂Na 4H₂O; e para a arilsulfatase é utilizado o *p*-nitrofenil sulfato de potássio, C₆H₄NO₆SK. As análises em laboratório normalmente são realizadas sob condições em que o substrato se encontra em concentração ótima para saturar o sítio ativo da enzima a fim de obter a velocidade máxima da reação, em temperaturas que favorecem a máxima taxa de formação de produtos, o que permite maior facilidade de determinação da atividade enzimática e baixa alteração na taxa de reação, conferindo maior confiabilidade, repetibilidade e reprodutibilidade aos dados (TABATABAI, 1994).

A atividade enzimática foi avaliada pela quantificação de *p*-nitrofenol formado na reação por meio de determinação colorimétrica e da comparação com a curva-padrão construída com concentrações conhecidas de *p*-nitrofenol.

As etapas do procedimento utilizado para determinação analítica da atividade das enzimas β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase estão ilustradas na Figura 5. Para determinação da atividade enzimática foi utilizada a Equação 1, e os resultados são expressos em µg *p*-nitrofenol g solo⁻¹ hora⁻¹.

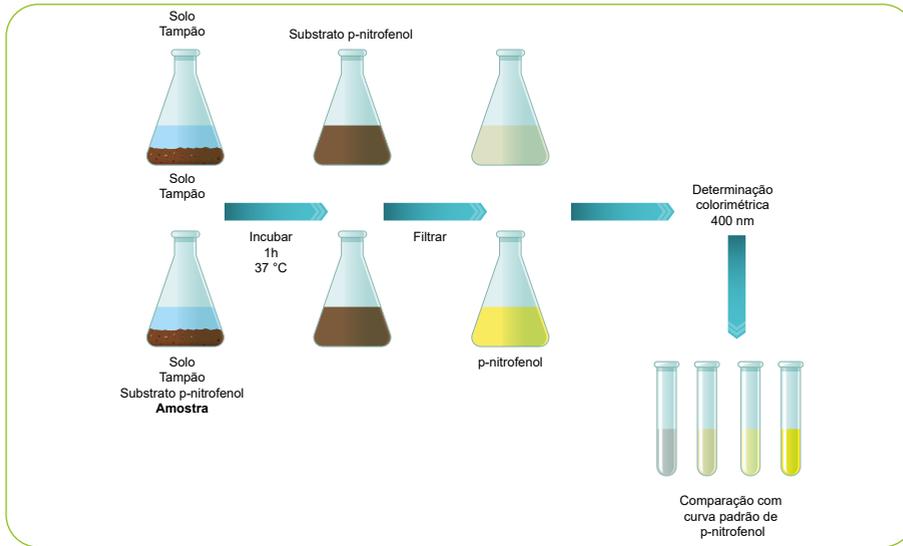


Figura 5 – Fluxograma do procedimento utilizado para determinação analítica da atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase do solo
 Fonte: Adaptado de Tabatabai (1994) por Gabriela Machineski.

Processos: Preparo de amostra e branco com solo, tampão (acetato para a arilsulfatase e tampão universal modificada – MUB para as fosfatases e β -glicosidase) e substratos específicos apenas nas amostras; incubação em estufa para formação de p-nitrofenol; adição de substrato no branco e paralisação da reação (CaCl_2 e NaOH para fosfatases e arilsulfatase e CaCl_2 e tris-hidrox-amino-metano para β -glicosidase); filtragem das amostras; determinação colorimétrica em espectrofotômetro a 400 nm; construção de curva-padrão com solução de p-nitrofenol e obtenção de equação linear.

Equação para o cálculo da atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase:

$$A_e = \frac{[(A - B) \cdot F \cdot D]}{(M_{su} \cdot M_{ss})}$$

em que:

Ae: Atividade enzimática em μg p-nitrofenol g solo^{-1} hora $^{-1}$;

A: valor obtido para amostra;

B: valor obtido para o branco;

F: diluição do método;

D: fator de diluição da amostra filtrada;

M_{su}: massa do solo úmido;

M_{ss}: Massa do solo seco.

A metodologia empregada para determinação da atividade da enzima urease seguiu o protocolo descrito por Kandeler e Gerber (1988). Esse método se baseia na quantificação colorimétrica da amônia, produto da reação catalisada pela urease: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (ureia) + $2\text{H}_2\text{O}$ → 2NH_3 (amônia) + CO_2 + H_2O .

O procedimento utilizado para determinação da atividade da enzima urease está ilustrado na Figura 6, e a equação usada para quantificação da amônia formada $\mu\text{g NH}_3 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ é apresentada a seguir.

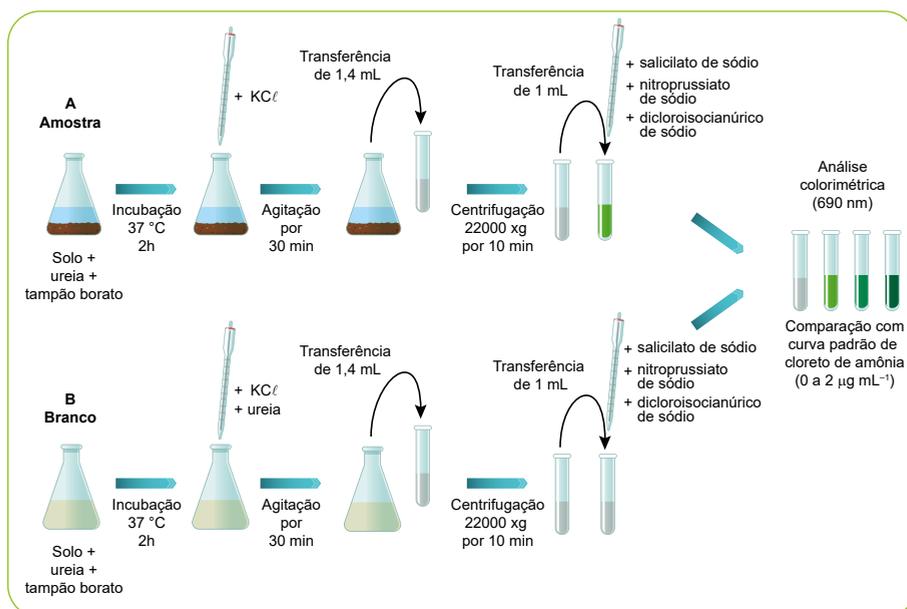


Figura 6 – Procedimento utilizado para determinação da atividade da enzima urease do solo

Fonte: Adaptado de Kandeler e Gerber (1988) por Carolina Weigert Galvão.

Nota: (A) (1) Amostras contendo solo, ureia e solução-tampão borato pH10; (2) Incubação a 37°C por 2 horas para permitir a ação da urease; (3) Adição de KCl para extrair a amônia produzida pela atividade da enzima; (4) Agitação; (5) Centrifugação para coleta do sobrenadante livre de solo; (6) Adição de salicilato de sódio, nitroprussiato de sódio e dicloroisocianúrico de sódio, para ocorrer a reação do salicilato, que é um composto fenólico, com produção de amônia e a consequente formação de um produto de cor verde (indofenol); (7) Determinação colorimétrica em espectrofotômetro a 690 nm e comparação com a curva-padrão de cloreto de amônia; (B) (1) Branco contendo água destilada e a solução-tampão borato pH10; (2) Incubação a 37°C por 2 horas; (3) Adição de KCl e ureia; (4 a 7) Etapas coincidentes às apresentadas para a amostra (A).

Equação para a determinação da atividade da enzima urease

$$\text{Atividade de urease} = \frac{[(A - B) \cdot F] \cdot V \cdot D}{M_{su} \cdot M_{ss}}$$

Em que:

a atividade de urease é expressa por $\mu\text{g NH}_3 \text{ g solo}^{-1} \text{ hora}^{-1}$;

A: valor obtido para amostra;

B: valor obtido para o branco;

F: diluição do método;

D: fator de diluição da amostra (se for o caso);

M_{su}: Massa do solo úmido;

M_{ss}: Massa do solo seco.

4.4 Extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares

A extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares FMA segue a metodologia de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) seguida de centrifugação e flutuação em sacarose (JENKINS, 1964) e está exemplificada na Figura 7. Os esporos são extraídos de 50 g de solo da camada superficial (0-10 cm). Na determinação analítica, o solo é lavado por 10 vezes e peneirado em jogo de peneiras com abertura de malha de 710 e 37 μm , em que na primeira são retidas sujeiras para descarte e na segunda são retidos os esporos e as demais partículas menores. O material retido na peneira de 37 μm é então ressuspensionado em uma solução de sacarose 48% para separação de solo e outras partículas presentes. Os esporos são então observados, contados e separados em microscópio estereoscópio com aumento de 400 \times .

Para a identificação, os esporos são fixados em lâminas contendo duas preparações, álcool polivinílico em lactoglicerol (PVLG) e PVLG acrescido de Melzer. Após a secagem das resinas, parte dos esporos tem suas paredes quebradas em microscópio estereoscópio.

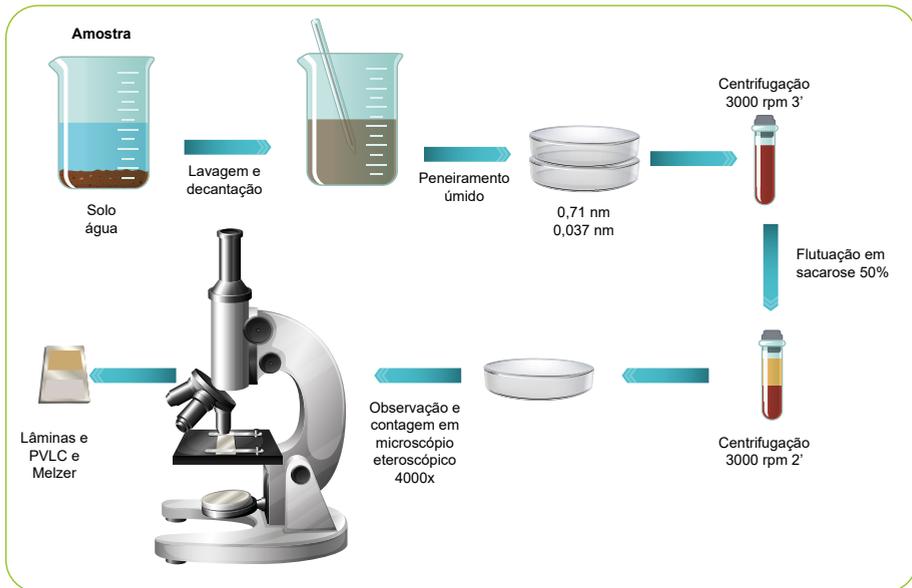


Figura 7 – Fluxograma da extração de esporos de FMA do solo e montagem em resinas preservantes

Fonte: Adaptado de Gerdemann e Nicolson (1963) e Jenkins (1964) por Gabriela Machineski.

4.5 Identificação dos fungos micorrízicos arbusculares

A identificação morfológica dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é feita com base em características dos esporos, produzidos principalmente fora das raízes. Esse grupo de fungos pertence ao filo Glomeromycota (WIJAYAWARDENE *et al.*, 2018), cujas espécies (exceto *Geosiphon piriformis*) compartilham a necessidade de se associar com as raízes de plantas hospedeiras para completar seu ciclo de vida.

A observação dos esporos é realizada sob microscopia de luz, e caracteres morfológicos como tamanho, forma, cor, número, estrutura e ornamentação das paredes, tipo de formação (isolados, em agregados ou em esporocarpos) e respostas histoquímicas das paredes ao Melzer são avaliados e mensurados (se pertinente) (MORTON; BENTIVENGA; WHEELER, 1993). Algumas dessas características podem ser observadas na Figura 8.

A identificação taxonômica é feita por meio da comparação dos esporos com as descrições originais e as fornecidas pelo *site* do International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (<http://invam.caf.wvu.edu>). O sistema de classificação a ser adotado o proposto por Redecker *et al.* (2013).

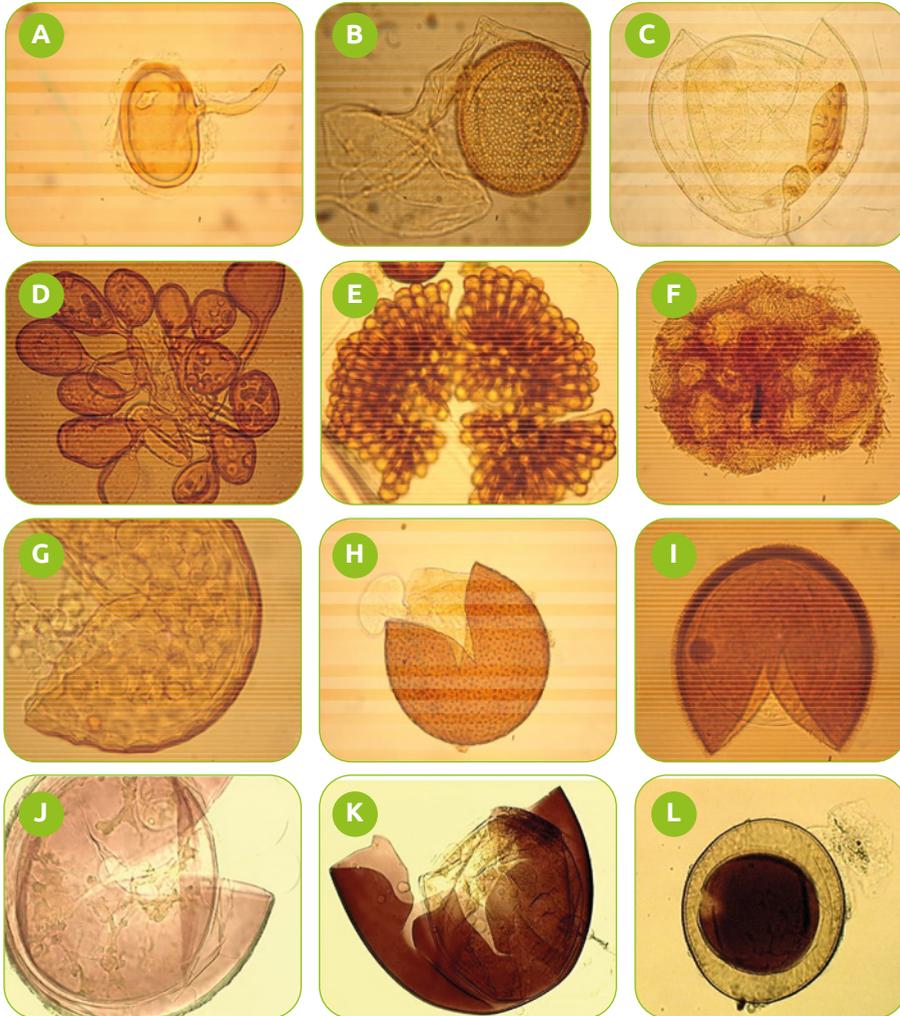


Figura 8 – Caracteres dos esporos importantes para identificação taxonômica

Fonte: Rosilaine Carrenho.

Nota: (A-C) gênese do esporo: glomoide (A), acaulosporoide (B), gigasporoide (C); (D-F) formação: agregado (D), esporocarpo sem perídio (E), esporocarpo com perídio (F); (G-I) ornamentação: parede interna escavada (G), parede externa escavada (H), parede externa espinosa (I); (J-L) reação ao Melzer: reação fraca da última camada da parede externa (J), reação forte da parede externa (K), reação forte da parede interna (L).

4.6 Extração e quantificação de proteínas relacionadas à glomalina

Na extração da glomalina total (GT) e da fração facilmente extraível (GFE) do solo, utiliza-se a metodologia proposta por Rillig *et al.* (2003). Para a quantificação da GT, pesa-se aproximadamente 1 g de solo em tubo Falcon e adicionam-se 8 mL de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0). O conteúdo adicionado aos tubos é submetido a cinco ciclos de autoclavagem (o extrato passa da cor característica, castanho-avermelhado, para a cor amarela) a 121°C, cada ciclo com duração de uma hora, sendo que no intervalo de cada autoclavagem as soluções são centrifugadas a 5.000 rpm, durante 20 minutos, para separação do extrato do solo.

A extração da GFE é semelhante à da GT, mas com algumas variações, tais como na concentração e no pH do citrato de sódio adicionado (20 mM; pH 7,0), no tempo de autoclavagem (30 minutos) e no número de ciclos de autoclavagem (apenas um ciclo).

A quantificação da glomalina é realizada segundo a metodologia de Bradford (1976). Esse método utiliza o corante Comassí Brilliant Blue G-250 (CBB ou Reagente de Bradford), que tem a capacidade de formar complexos com as proteínas da solução, causando uma modificação na absorvância, que é equivalente à quantidade de proteína presente (BRADFORD, 1976). Utiliza-se a albumina de soro bovino como padrão, sendo a leitura determinada em um espectrofotômetro a 595 nm.

4.7 Fauna edáfica

A coleta da fauna edáfica é realizada seguindo a metodologia de armadilhas de queda (*pitfall traps*) (MOLDENKE, 1994), objetivando amostrar organismos epiedáficos, ou seja, representantes da meso e macrofauna com comportamento ecológico epigeico (BIGNEL *et al.*, 2010). As armadilhas foram confeccionadas com frascos plásticos de 500 mL, preenchidos em 1/3 de sua capacidade com solução conservante de formol a 4%, enterradas ao nível do solo e permaneceram em campo durante sete dias.

As armadilhas são cobertas com pratos plásticos sustentados por palitos de madeira a uma distância mínima de 2,5 cm acima do substrato, para impedir a entrada de água da chuva e, por consequência, o transbordo e a diluição da solução conservante, evitando o comprometimento da qualidade das amostras. A metodologia vem sendo aplicada em dois subprojetos da rede com esforço amostral compatível à extensão das áreas de estudo. Sendo assim,

a metodologia vem sendo empregada para avaliar a fauna edáfica em áreas de sistema de plantio direto com controle de erosão, solos submetidos ao uso de diferentes fertilizantes orgânicos animais, tomando uma área de floresta nativa com vegetação de ecótono entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual como área referência. Após o período de campo, as armadilhas são removidas do campo, identificadas e levadas ao laboratório, onde seu conteúdo é lavado em água corrente, e os espécimes, acondicionados em solução de álcool 70% com posterior classificação dos indivíduos amostrados ao menor nível taxonômico possível, com o auxílio de lupa binocular e posterior análise estatística dos dados.

5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA AS MESORREGIÕES DO PARANÁ

Os bioindicadores permitem avaliar a qualidade do solo e são ferramentas de monitoramento, auxiliando na tomada de decisões em função das intervenções realizadas nos sistemas de cultivo. Sendo assim, a ação dos microrganismos no solo pode ser utilizada para avaliar, controlar e mitigar os impactos negativos decorrentes das atividades antrópicas nos agroecossistemas.

Na agricultura, por exemplo, o monitoramento do solo por meio de bioindicadores é uma ferramenta para obter indicativos da ocorrência de degradação ou recuperação do solo em função do sistema de manejo utilizado para a produção. Neste projeto, serão monitorados indicadores biológicos relacionados à fauna edáfica, à biomassa microbiana do solo e a sua atividade, à atividade de enzimas do solo relacionadas à ciclagem da matéria orgânica, aos principais fluxos de nutrientes e também ao potencial de inóculo natural e à diversidade de fungos micorrízicos arbusculares, que são de interesse agrícola.

Esses bioindicadores serão avaliados em escala regional nas megaparcels e proporcionarão a geração de um banco de dados sobre a presença e a atividade da biota do solo. Esse banco de dados regionalizado poderá ser analisado em conjunto com os dados referentes às propriedades físico-hídricas e químicas do solo, de levantamento topográfico e da caracterização do manejo e uso de solos das áreas, que possibilitarão uma visão abrangente dos fenômenos físico-químicos e biológicos decorrentes da implantação ou não de sistemas conservacionistas de produção, e poderão contribuir com a definição de critérios regionais para a implantação de sistemas de cultivo agrícola conservacionistas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da biota do solo no contexto deste projeto permitirá uma análise do impacto do manejo do solo e das culturas sobre os processos hidrológicos e erosivos do solo e a necessidade de reconstrução ou manutenção de terraços nas áreas de produção agrícola, em consonância com a atuação da biota no funcionamento desse sistema.

Compreender regionalmente o papel da biota no funcionamento dos agrossistemas é fundamental para seu manejo, sobretudo com intuito de melhorar a cobertura, a fertilidade natural e a estrutura da camada superficial do solo, buscando reduzir a produção de sedimentos, aumentar a infiltração e a retenção de água no solo e reduzir a aplicação de fertilizantes químicos por meio da maximização da ocorrência dos processos naturais de mineralização da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes promovida pela biota ativa e diversificada.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. V.; SANTOS, J. C. P.; DE GOIS, D. T.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 589-598, abr. 2008.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 25, n. 3, p. 393-395, mar. 1993.
- AZEVEDO JUNIOR, R. R.; SANTOS, J. B.; BARETTA, D.; RAMOS, A. C.; CARDOSO, E. J. B. N. Chemical and microbiological soil properties in organic and conventional management systems of *Coffea arabica* L. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 40, n. 14, p. 2.076-2.086, 2017.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, C. J.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I. de.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade de solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Embrapa, 2011. p. 119-170.
- BARETTA, D.; BARTZ, M. L.; FACHINI, I.; ANSELMINI, R.; ZORTÉA, T.; BARETTA, C. R. D. M. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agro-nômica**, v. 45, n. 5, p. 871-879, 2014.
- BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. A. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D. de et al (org.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. v. 1. p. 71-90.
- BIGNEL, D.; CONSTANTINO, R.; CSUZDI, C.; KARYANTO, A.; KONATÉ, S.; LOUZADA, J. N. C.; SUSILO, F. X.; TONDOH, J. E.; ZANETTI, R. Macrofauna. In: MOREIRA, F. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 79-129.
- BISWAS, S.; HAZRA, G. C.; PURAKAYASTHA, T. J.; SAHA, N.; MITRAN, T.; SINGHA ROY, S.; BASAK, N.; MANDAL, B. Establishment of critical limits of 36 indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. **Geoderma**, Amsterdã, v. 292, p. 34-48, 2017.
- BOECHAT, C. L.; SANTOS, J. A. G.; ACCIOLY, A. M. A.; BOMFIM, M. R.; SANTOS, A. C. Industrial and urban organic wastes increase soil microbial activity and biomass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1.629-1.636, 2012.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Nova Iorque, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- BRENDA. **Information on EC 3.1.3.2 – acid phosphatase**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://www.brenda-enzymes.org/enzyme.php?ecno=3.1.3.2>. Acesso em: 16 out. 2022.
- BRENDA. **Information on EC 3.1.6.1 – arylsulfatase (type I)**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://www.brenda-enzymes.org/enzyme.php?ecno=3.1.6.1>. Acesso em: 16 out. 2022.

- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.
- BROWN, G. G.; BENITO, N. P.; PASINI, A.; SAUTTER, K. D.; GUIMARÃES, M. F.; TORRES, E. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná State, Brazil. **Pedobiologia**, Amsterdã, v. 47, n. 5, p. 764-771, dez. 2003.
- BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. p. 122-154.
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENINGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – a critical review. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 120, p. 105-125, maio 2018.
- CARDOSO E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. E.; BINI, D.; MIYAUCHI, M.Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, ago. 2013.
- CHEN, M.; QIN, X.; ZENG G.; LI, J. Impacts of human activity modes and climate on heavy metal “spread” in groundwater are biased. **Chemosphere**, Amsterdã, v. 152, p. 439-445, mar. 2016.
- DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. v. 35. p. 107-124.
- ESCH, E. H.; LIPSON, D.; CLELAND, E. E. Direct and indirect effects of shifting rainfall on soil microbial respiration and enzyme activity in a semi-arid system. **Plant and Soil**, Nova Iorque, v. 411, p. 333-346, 2017.
- FAUCON, M-P; HOUBEN, D; LAMBERS, H. Plant functional traits: soil and ecosystem services. **Trends in Plant Science**, Amsterdã, v. 22, p. 385-394, 2017.
- FEIJE, F.; ANGER, V. Spot tests in inorganic analysis. **Analytical Chemistry Acta**, Netherlands, v. 149, p. 363-367, 1972.
- GE, Y.; THOMASSON, J. A.; SUI, R., Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review. **Frontiers of Earth Science**, Nova Iorque, v. 5, n. 3, p. 229-238, set. 2011.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 235-246, 1963.

- GÓES, Q. R.; FREITAS, L. R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021.
- HEGER, T. J.; IMFELD, G.; MITCHELL, E. A. D. Special issue on "Bioindication in soil ecosystems": Editorial note. **European Journal of Soil Biology**, Londres, v. 49, p. 1-4, mar. 2012.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.
- KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, Nova Iorque, v. 6, p. 68-72, 1988.
- KARLEN, D. L.; VEUM, S. K.; SUDDUTH, K.; OBRYCKI, J. F.; NUNES, M. R. Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 195, p. 104-365, dez. 2019.
- KLADIVKO, E. J.; HELMERS, M. J.; ABENDROTH, L. J.; HERZMANN, D.; LAL, R.; CASTELLANO, M. J.; MUELLER, D. S.; SAWYER, J. E.; ANEX, R. P.; ARRITT, R. W.; BASSO, B.; BONTA, J. V.; BOWLING, L. C.; CRUSE, R. M.; FAUSEY, N. R.; FRANKENBERGER, J. R.; GASSMAN, P. W.; GASSMANN, A. J.; KLING, C. L.; KRAVCHENKO, A.; LAUER, J. G.; MIGUEZ, F. E.; NAFZIGER, E. D.; NKONGOLO, N.; O'NEAL, M.; OWENS, L. B.; OWENS, P. R.; SCHARE, P.; SHIPITALO, M. J.; STROCK, J. S.; VILLAMIL, M. B. Standardized research protocols enable transdisciplinary research of climate variation impacts in corn production systems. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 69, n. 6, p. 532-542, 2014.
- KÖNIG, S.; HANS-JÖRG, V.; HAUKE, H.; ANJA, W. Physical, chemical and biological effects on soil bacterial dynamics in microscale models. **Frontiers in Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 8, p. 53, mar. 2020.
- KRAFT, E.; OLIVEIRA FILHO, L. C.; CAMEIRO, M. C.; KLAUBERG-FILHO, O.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Edaphic fauna affects soybean productivity under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, n. 2, e20190137, 2021.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, [S. l.], v. 33, p. 3-16, jan. 1996.
- LIMA, S. S. de.; AQUINO, A. M. de.; LEITE, L. F. C.; VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 322-331, 2010.
- MAURYA, S.; ABRAHAM, J. S.; SOMASUNDARAM, S. Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. **Environmental Monitoring and Assessment**, Nova Iorque, v. 192, p. 604, ago. 2020.
- MAZZEI, L.; MUSIANI, F.; CIURLI, S. The structure-based reaction mechanism of urease, a nickel dependent enzyme: tale of a long debate. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, Nova Iorque, v. 25, p. 829-845, ago. 2020.
- MICHAELIS, L.; MENTEN, M. L. **Die kinetik der investinwirkung bioch.** [S. l.], v. 49, p. 333, fev. 1913.
- MOLDENKE, A. R. Arthropods. *In*: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: SSSA, 1994. Part 2. p. 517-539. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

- MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germ plasm in the International Collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, [S. l.], v. 48, p. 491-528, 1993.
- NADOLNY, H.; SANTOS, A.; DEMETRIO, W.; FERREIRA, T.; MAIA, L. dos S.; CONRADO, A. C.; BARTZ, M.; GARRASTAZU, M.; SILVA, E. da; LAVELLE, P.; BARETTA, D.; PASINI, A.; VEZZANI, F.; SOUSA, J. P.; CUNHA, L.; MATHIEU, J.; RÖMBKE, J.; BROWN, G. Recommendations for assessing earthworm populations in Brazilian ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01006, 2020.
- OLIVEIRA FILHO, L. C.; BARETTA, D.; PEREIRA, J. M.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; POMPEO, N. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em ecossistemas florestais. In: FORTES, N. L. P.; FORTES NETO, P. (eds.). **Ciências Ambientais**. Taubaté: EdUnitau, 2018. p. 10-48.
- PAGE, K. L.; DANG, Y. P.; DALAL, R. C. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield front. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 4, p. 31, mar. 2020.
- PAOLO, A. G.; RAFAELLA, B.; DANIO, A.; DEL RE ATTILIO, A. M.; ETTORE, C. Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation Vin Northern Italy. **Ecological Indicators**, Amsterdã, v. 10, p. 129-135, 2010.
- PATZEL, N.; STICHER, H.; KARLEN, D. L. Soil fertility – phenomenon and concept. **Z. Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 163, n. 2, p. 129-142, abr. 2000.
- PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 1, p. 14-25, jan. 2016.
- REDECKER, D.; SCHÜßLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S. L.; MORTON, J. B. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). **Mycorrhiza**, Nova Iorque, v. 23, p. 515-531, 2013.
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, Nova Iorque, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003.
- ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; VAN DER HOEK, R.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, Amsterdã, v. 27, p. 71-82, abr. 2013.
- SANTOS, J. V. dos; VARÓN-LÓPEZ, M.; SOARES, C. R. F. S.; LEAL, P. L.; SCHLOTTER, M.; NANNIPIERI, P.; SØRENSEN, S. J.; VAN ELSAS, J. D. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, Nova Iorque, v. 54, p. 1-10, 2018.
- SILVA, R. F.; BERTOLLO, G. M.; CORASSA, G. M.; COCCO, L. B.; STEFFEN, R. B.; BASSO, C. J. Doses de dejetos líquido de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 418-424, 2014.
- SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SILVA, E. D. B. da. Dejetos líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1.759-1.767, out. 2011.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

SPEIR, T. W.; LEE, R.; PANSIER, E. A.; CAIRNS, A. A comparison of sulfatase, urease and protease actives in planted and in follow soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 12, p. 281-291, 1980.

ŠTURSOVÁ M.; BÁRTA J.; ŠANTRŮČKOVÁ, H.; BALDRIAN, P. Small-scale spatial heterogeneity of ecosystem properties, microbial community composition and microbial activities in a temperate mountain forest soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 12, p. 185, 2016.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P. S.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. **Methods of Soil Analysis: Part 2 – Microbiological and Biochemical Properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 778-833.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimative soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 20, p. 329-335, 1988.

TEIXEIRA, A. F. S.; MOREIRA, F. M. S. Microbiological indicators of soil quality under native forests are influenced by topographic factors. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 4, 2019.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VINHAL-FREITAS, I. C.; WANGEN, D. R. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, B. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 757-764, jun. 2010.

VELMOURUGANE, K. Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. **Scientifica**, [S. l.], v. 2016, artigo 3.604.026, mar. 2016.

WIJAYAWARDENE, N. N.; PAWŁOWSKA, J.; LETCHER, P. M.; KIRK, P. M.; HUMBER, R. A.; SCHUSLER, A.; WRZOSEK, M.; MUSZEWSKA, A.; OKRASINSKA, A.; ISTEL, L.; GESIORSKA, A.; MUNGAI, P.; LATEEF, A. A.; RAJESHKUMAR, K. C.; SINGH, R. V.; RADEK, R.; WALTHER, G.; WAGNER, L.; WALKER, C.; WIJESUNDARA, D. S. A.; PAPIZADEH, M.; DOLATABADI, S.; SHENOY, B. D.; TOKAREV, Y. S.; LUMYONG, S.; HYDE, K. D. Notes for genera: basal clades of Fungi (including *Aphelidiomycota*, *Basidiobolomycota*, *Blastocladiomycota*, *Calcarisporiellomycota*, *Caulochytriomycota*, *Chytridiomycota*, *Entomophthoromycota*, *Glomeromycota*, *Kickxellomycota*, *Monoblepharomycota*, *Mortierellomycota*, *Mucoromycota*, *Neocallimastigomycota*, *Olpidiomycota*, *Rozellomycota* and *Zoopagomycota*). **Fungal Diversity**, Nova Iorque, v. 92, p. 43-129, 2018.

WU, T. H.; MILNER, H.; DIAZ-PEREZ, J. C.; JI, P. S. Effects of soil management practices on soil microbial communities and development of southern blight in vegetable production. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 91, p. 58-67, jul. 2015.

YOUNG, I. M.; CRAWFORD, J. W. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. **Science**, Washington DC, v. 304, n. 5.677, p. 1.634-1.637, 2004.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 173-185, 2015.

09

Rede agropesquisa em conservação do solo: dificuldades, avanços e expectativas

Autores

André Pellegrini

Graziela Moraes de Cesare Barbosa

Cristiano Andre Pott

Miriam Fernanda Rodrigues

A Rede Agropesquisa passou por diversas fases, desde o diagnóstico dos problemas gerados pela erosão hídrica no Estado do Paraná até seu pleno funcionamento, em que culmina o presente livro.

A erosão hídrica no Estado do Paraná sempre existiu, mas os impactos negativos gerados pelo processo erosivo atingiram grande magnitude no ano de 2014 devido ao efeito combinado da retirada dos terraços das áreas de produção, da baixa qualidade do sistema plantio direto e da ocorrência do fenômeno *El Niño*, ocasionando altos índices pluviiais no sul do Brasil.

Com base nisso, a elaboração do edital para seleção de projetos considerou os problemas enfrentados pelos agricultores com a erosão hídrica e a busca de estratégias para a solução desses problemas por meio de pesquisa científica aplicada. Assim, o edital lançado teve como eixo central as melhorias do sistema plantio direto e a adequação do espaçamento e dimensionamento de terraços para o Estado do Paraná.

A fase inicial, descrita no Capítulo 1, foi caracterizada como de formação e estruturação da Rede Agropesquisa. Nessa fase, o edital foi elaborado e contemplou o delineamento do problema, o aporte de recursos, a seleção das mesorregiões, o delineamento experimental, as principais análises e variáveis hidrossedimentológicas a serem analisadas e as formas de divulgação dos resultados.

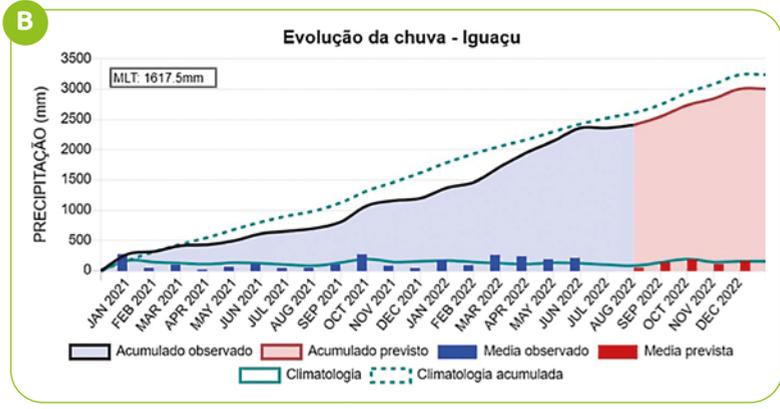
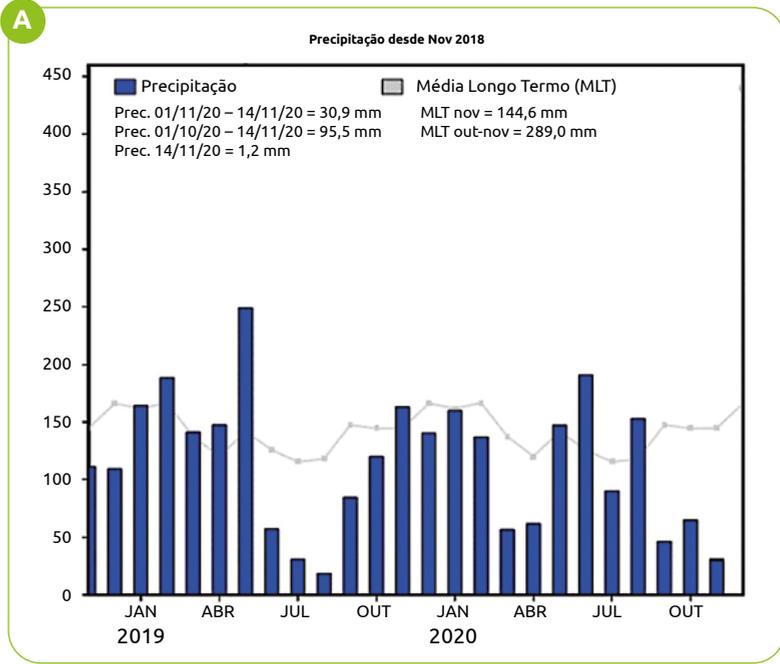
Muitas foram as dificuldades para a implantação e execução das atividades contempladas no Edital, iniciando com a liberação dos recursos e os processos de compra/aquisição dos equipamentos e materiais. Os processos de compras necessitam de pelo menos três orçamentos, justificativas para dis-

pensa de licitação dependendo dos casos, documentos de conformidade de orçamento, pareceres jurídicos, além de outros documentos específicos de cada Instituição, o que gera um processo burocrático lento e com etapas, muitas vezes, desconhecidas por alguns pesquisadores e, inclusive, pelas instituições de apoio ou do setor de compras de cada instituição.

Outro atraso que houve durante a execução dos projetos se deveu ao início da pandemia de covid-19 em 2020, o que levou ao isolamento social e ao impedimento abrupto de acesso presencial às instituições, em um primeiro momento, mas que foi possível, posteriormente, por meio do acesso controlado. A maioria das atividades de campo foram realizadas, porém as análises químicas, físicas e microbiológicas, executadas em laboratórios, tiveram atrasos.

Outra questão a ser destacada é o descompasso no período do monitoramento hidrossedimentométrico em cada mesorregião. As mesorregiões de Cambé e Toledo, por terem projetos financiados pela ITAIPU Binacional, iniciaram o monitoramento em 2018 e, portanto, têm mais tempo de monitoramento e maior banco de dados coletados. As megaparcelas nas mesorregiões de Dois Vizinhos e Guarapuava foram instaladas no primeiro semestre de 2019, e o monitoramento das bacias hidrográficas foi iniciado em 2020. A instalação das megaparcelas na mesorregião de Ponta Grossa foi finalizada no primeiro semestre de 2020, e da bacia hidrográfica no fim de 2021. A mesorregional do Noroeste (Cianorte e Presidente Castelo Branco) concluiu as instalações em 2020 e, efetivamente, iniciou o monitoramento em 2021.

Todavia, a principal dificuldade ocorrida na execução dos projetos da Rede Agropesquisa foi a falta de eventos de chuva que gerassem escoamentos nas megaparcelas e aumento de vazão nos rios monitorados. A precipitação média mensal das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Paranapanema, que ocupam grande parte do território do Paraná, esteve abaixo da média histórica delimitada pela linha em cinza nas Figuras 1 e 2, respectivamente.



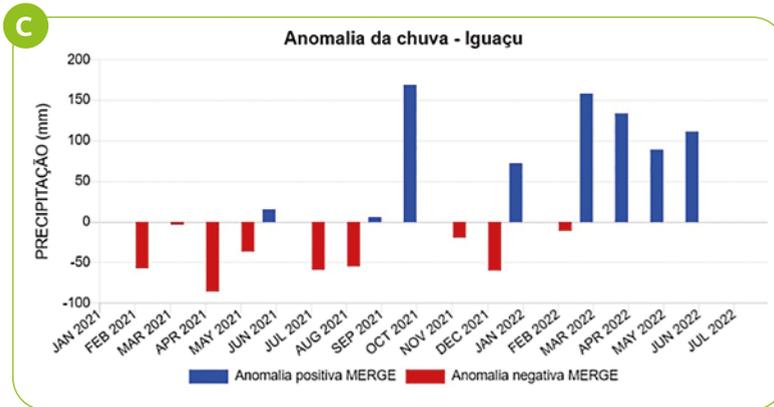
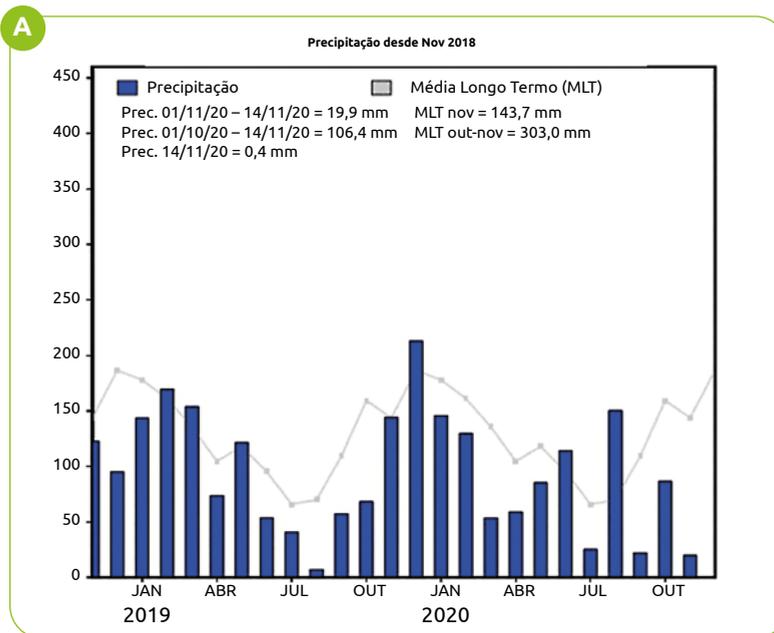


Figura 1 – Precipitação média mensal e média de longo prazo entre os períodos de outubro de 2018 e novembro de 2020 (A) e evolução da chuva acumulada (B) e anomalia das chuvas de janeiro de 2021 a julho de 2022 (C) na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu

Fonte: CPETEC/INPE (2022a).



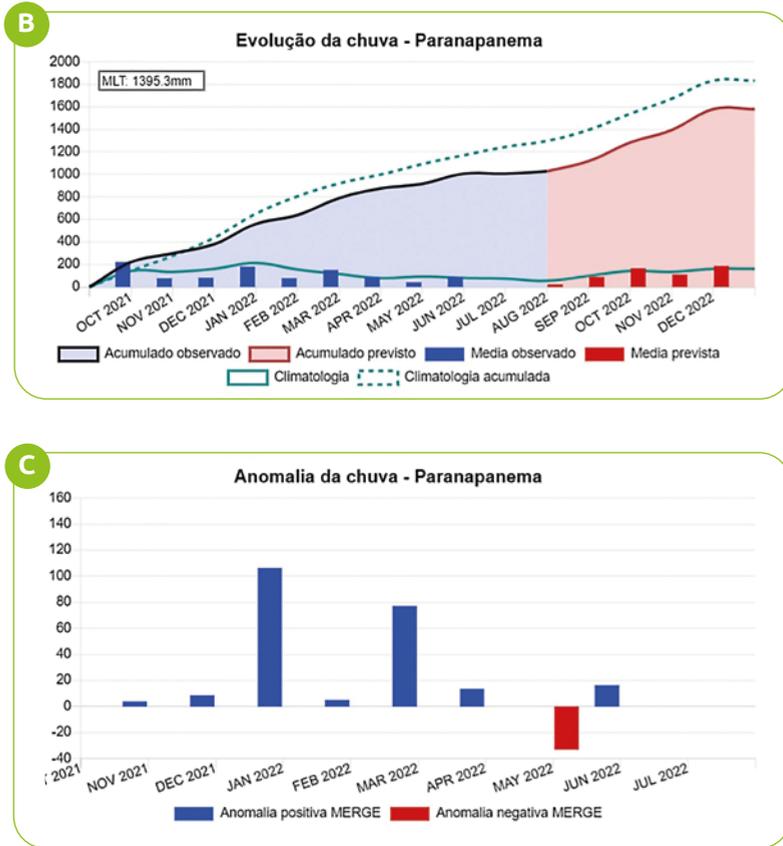


Figura 2 – Precipitação média mensal e média de longo prazo entre os períodos de outubro de 2018 e novembro de 2020 (A) e evolução da chuva acumulada (B) e anomalia das chuvas de janeiro de 2021 a julho de 2022 (C) na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema

Fonte: CPETEC/INPE (2022b).

Esse cenário de déficit hídrico limitou a geração de escoamento superficial para obtenção das informações e as análises de qualidade e concentração de sedimentos na maioria das mesorregiões de estudo. Conforme estabelecido no Edital, seriam necessários aproximadamente 15 (quinze) eventos anuais para compor um conjunto de dados com qualidade para análises e consistência das informações geradas. Porém, mesmo para as megaparcelas já instaladas há mais tempo, não ocorreram eventos de chuva com geração de escoamento superficial suficientes para atingir esse número de eventos, o que ficou muito aquém da previsão inicial. Adicionalmente, para estudos de hidrologia

de conservação de solo e planejamento de obras hidráulicas rurais (terraçamento), o tempo mínimo de monitoramento e obtenção de dados deve ser de dez anos, para que ocorram grandes eventos de precipitação, o que normalmente acontece com a incidência do fenômeno *El niño* com alta intensidade.

Dadas as informações acerca das dificuldades, principalmente pela ausência de eventos de chuva significativos, foi necessária a prorrogação do Edital por mais três anos para dar continuidade ao monitoramento e às demais atividades inerentes a cada mesorregião. Mesmo assim, é possível analisar os objetivos do edital, pontuar os recursos aplicados e prestar contas à sociedade paranaense.

No primeiro objetivo, “Apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento em redes colaborativas ligadas à agropesquisa paranaense”, a Rede Agropesquisa está consolidada na área de manejo e conservação do solo e da água (agosto/2022). Os resultados contemplam desde a formação de estudantes de graduação e pós-graduação capacitados na área e com amplo entendimento dos impactos gerados pelo processo erosivo, pois as estruturas de monitoramento são utilizadas em aulas práticas e os dados coletados são, também, utilizados no treinamento dos estudantes diante de aplicação prática. Similarmente ocorre com os agricultores, para os quais os pesquisadores da Rede Agropesquisa transferem conhecimento e resultados em palestras e dias de campo, o que transforma dados quantitativos em linguagem acessível. Nesses dias de campo, as estruturas instaladas pelo projeto facilitam a visualização e o entendimento do problema erosivo. A participação dos pesquisadores em eventos técnicos/científicos abrange o território nacional e internacional, levando a experiência e os avanços obtidos pela Rede Agropesquisa. Essa condição atende ao segundo objetivo estabelecido no edital, “Fortalecer o Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná por meio da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada”.

O terceiro objetivo é atingido, em parte, com a elaboração e publicação deste livro, pois se almejou “Promover a produção e sistematização de conhecimentos e de metodologias ou meios processuais inovadores, bem como o desenvolvimento de novos procedimentos que orientem práticas agrícolas no Estado do Paraná”. Neste volume se buscou organizar e publicar as metodologias utilizadas pela Rede, não só para desenvolver novos procedimentos, mas também para avaliar se as práticas utilizadas atualmente pelos agricultores estão adequadas e permitem a produção agrícola com sustentabilidade.

Para atingir o quarto objetivo, “Propiciar a definição de critérios técnicos de sistemas conservacionistas para redução de perdas em solo e água nos diversos solos, manejos, climas e cultivos regionais do Paraná”, será realiza-

do um trabalho de longo prazo, mas que vem sendo conduzido nas condições edafoclimáticas descritas no edital. Para isso, a continuidade da Rede Agropesquisa é primordial, com contínuo investimento na estrutura de pesquisa e, principalmente, na contratação de colaboradores para realizar o levantamento e monitoramento de dados e informações necessárias para a definição do dimensionamento e do espaçamento entre terraços.

Com a publicação deste livro – volume I e do próximo volume, almeja-se atingir o quinto objetivo, “Promover a elaboração de novas literaturas técnicas sobre o tema e o desenvolvimento de programas e cursos de formação profissional de técnicos das ciências agrárias e demais áreas correlatas, produtores e trabalhadores rurais sobre as técnicas e os sistemas conservacionistas para redução de perdas em solo e água em áreas de produção agrícola, pecuária e florestal”.

Outra importante contribuição da Rede Agropesquisa consiste nos resultados gerados pelos diversos subprojetos, sendo que uma parte deles se encontra descrita neste volume. Os resultados também estão sendo publicados em trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, resumos em eventos científicos e dias de campo, cujos resultados serão contemplados no próximo volume. Os subprojetos contribuem com a geração de informações primordiais para o sucesso da Rede Agropesquisa e foram selecionados para contemplar as linhas temáticas do edital, descritas da seguinte forma:

- i. Espaçamento e dimensão de terraços em solos, manejo, clima e cultura regionais;
- ii. Infiltração de água em diferentes manejos regionais no plantio direto para pontuar adequadamente o nível de implantação do sistema;
- iii. Alternativas de diferentes rotações regionais considerando a cobertura do solo e o manejo de resíduos culturais;
- iv. Alternativas técnicas para minimizar os problemas de compactação em diferentes solos, manejos e climas.

A divulgação dos resultados por meio de atividades de extensão vem sendo realizada pelos pesquisadores da Rede Agropesquisa e visa atingir o maior número de técnicos e agricultores nas diferentes mesorregiões do Paraná. Com isso, busca-se consolidar um cenário de melhorias na conservação de solo e da água nos sistemas produtivos Paranaenses. A continuidade da Rede Agropesquisa é necessária, uma vez que o processo de conscientização deve ser constante e contínuo, visto os retrocessos que houveram no passado, que ocasionaram o aumento significativo da erosão do solo.

REFERÊNCIA

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CPETEC/INPE). 2022. Disponível em: <https://bacias.cptec.inpe.br/#http://clima.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 16 out. 2022.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Agricultura sustentável..... 25
- Amostrador automático de sedimentos..... 138, 180
- Amostragem do escoamento superficial..... 178
- Arilsulfatase..... 275
- Atributos do solo..... 230, 238
- Atributos físico-hídricos dos solos..... 251

B

- Bacia hidrográfica..... 53
- Bacia hidrográfica do Rio Lopeí..... 99
- Bioindicadores 286
- Biomassa microbiana..... 273
- Biomassa microbiana do solo (BMS)..... 277

C

- Cálculo de espaçamento entre terraços..... 58
- Calha H..... 159
- Calha Parshall..... 118, 123
- Calibração do turbidímetro 134
- Camalhão 57, 64, 155
- Canal do tipo triangular..... 66, 69
- Características fisiográficas naturais..... 87
- Chamada pública 15/2018 40, 94
- Clima subtropical úmido (Cfa)..... 96
- Clima subtropical úmido mesotérmico (Cfb)..... 93
- Coleta de sedimentos 136
- Compactação do solo 237
- Condições hidrossedimentológicas 139
- Condutividade hidráulica do solo..... 238, 248

D

- Degradação física do solo..... 235
- Densidade do solo (ds)..... 212, 244
- Determinação da concentração de cálcio e magnésio..... 192
- Determinações enzimáticas do solo..... 274
- Domínios fitogeográficos do estado do paraná..... 93

E

- Editais e chamadas públicas de pesquisa..... 37
- Equação universal de perdas de solo (USLE)..... 62
- Equações do tipo EV..... 60
- Erosão do solo..... 31, 49
- Erosão hídrica..... 49, 70, 208, 229, 234, 293
- Escoamento concentrado..... 235
- Espaçamento entre terraços 57, 71
- Espaçamento horizontal (EH) 71, 79
- Espaçamento vertical (EV) 71, 79
- Estabilidade de agregados (EA) 232
- Estimativa de vazões 118
- Estrutura agrária regional do Paraná..... 94
- Estrutura do solo..... 231
- Extração de esporos de FMA do solo..... 283
- Extração de fósforo e potássio no solo..... 194

F

- Fauna do solo..... 270
- Fauna edáfica..... 269, 285
- Financiamento de pesquisa..... 35
- Fosfatase ácida..... 276
- Fósforo mehlich-1 208
- Fracionamento granulométrico..... 212

G

Gênese do esporo 284
 Geometria do canal..... 64, 68

H

Hietograma da chuva..... 181

I

Indicadores biológicos do solo..... 268
 Infiltração de água..... 235, 250
 Intensidade de chuva..... 116

L

Lâmina máxima..... 170
 Latossolo vermelho..... 98
 Lei de Stokes..... 143, 241

M

Manejo do solo 113, 149
 Manejo e conservação do solo..... 208
 Megaparcela 26,33, 89, 155
 Mesorregiões do Paraná..... 87, 221
 Método walkley-black 195
 Metodologias e protocolo de coleta e análise química do solo..... 187
 Modelagem matemática da erosão..... 62
 Modelo RUSLE..... 77
 Monitoramento da precipitação..... 176
 Monitoramento da vazão..... 155
 Monitoramento hidrossedimentométrico..... 113, 126, 153,
 Montagem em resinas preservantes283
 Mudanças no estoque de C..... 213

N

Natural Resource Conservation Service (NRCS)..... 59
 Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação (NAPIs)..... 44
 Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS)..... 30
 Nutrientes do solo..... 189

P

Paraná 2022 42
 Pesquisa e conservação do solo..... 26
 Pluviometria..... 127
 Política de ciência e tecnologia e inovação Paranaense..... 42
 Porosidade do solo (P)..... 233, 244
 Práticas mecânicas..... 55
 Precipitação no Paraná..... 103
 Preparo convencional (PC)..... 233
 Processos e dinâmicas hidrológicas do solo..... 51
 Produção avícola, suinícola e leiteira..... 216
 Produtividade do agronegócio paranaense..... 42
 Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná (PROSOLO)..... 29
 Programas de conservação de solo no Paraná..... 49
 Propriedades químicas do solo..... 218

Q

Qualidade do solo..... 188
 Qualidade física do solo..... 230
 Quociente metabólico..... 278

R

Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada..... 27, 38, , 114

Resíduos orgânicos de origem animal..... 206

Resistência do solo à penetração (RP) 231, 252

Respiração basal (RB)..... 278

Rio de primeira ordem..... 115

Rotação de culturas..... 157, 208

S

Selamento superficial 207

Sistema plantio direto (SPD)..... 25, 187, 206,, 234

Sistemas conservacionistas 38

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS)..... 30

Sub-bacia hidrográfica do Rio dos Índios..... 101

Sudoeste paranaense..... 99

T

Taxa de infiltração 250

Terceiro planalto..... 99

Terraço de drenagem 71

Terraço de retenção..... 71

Terraço misto 71

Terraços..... 56

Terraços em desnível..... 67

Terraços em nível..... 64

Textura do solo..... 231, 240

Turbidez da água..... 133

U

Unidades geológicas do estado do Paraná..... 91

Urease..... 276, 281

V

Vazão de pico 68, 119,

Vazão máxima..... 170

Vazão mínima..... 121

Velocidade de infiltração básica (VIB)..... 250

W

Workshop da Rede Paranaense de Agropesquisa de Formação Aplicada..... 32

β

β-glicosidase 275, 279

