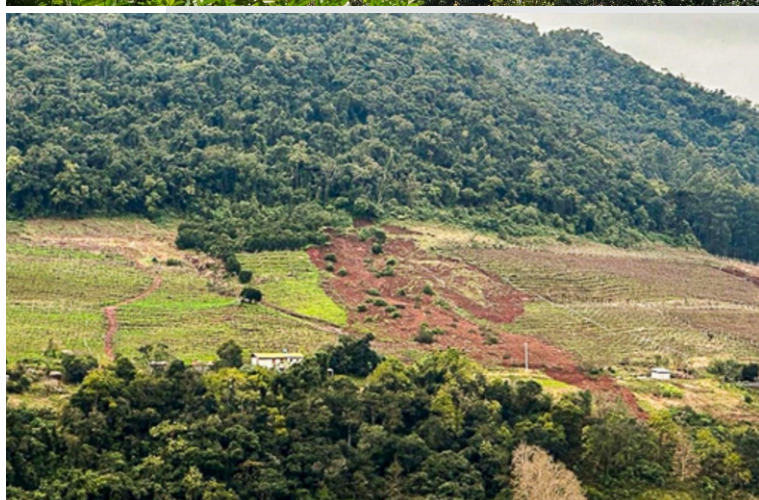


Diagnóstico e proposições para mitigar riscos de chuvas extremas na Serra Gaúcha



Henrique Pessoa dos Santos
José Fernando da Silva Protas
Joelsio José Lazzarotto
Editores técnicos

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Uva e Vinho
Ministério da Agricultura e Pecuária***

Diagnóstico e proposições para mitigar riscos de chuvas extremas na Serra Gaúcha

*Henrique Pessoa dos Santos
José Fernando da Silva Protas
Joelsio José Lazzarotto*

Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2025

Embrapa
Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e editoração

Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, n° 515
Caixa Postal 130
95701-008 Bento Gonçalves, RS
www.embrapa.br/uva-e-vinho

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Henrique Pessoa dos Santos*

Secretária-executiva: *Renata Gava*

Membros: *Fernando José Hawerth, Mauro Celso Zanús, Joelsio José Lazzarotto, Jorge Tonietto, Thor Vinicius Martins Fajardo, Alessandra Russi, Edgardo Aquiles Prado Perez, Fábio Ribeiro dos Santos, Luciana Elena Mendonça Prado, Michele Belas Coutinho Pereira e Rochelle Martins Alvorcem*

Revisão de texto: *Renata Gava*

Normalização bibliográfica: *Francisca Rasche*

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Luciana Elena Mendonça Prado*

Fotos da capa: George Wellington Bastos de Melo e Gustavo Ribas Curcio

1ª edição

Publicação digital (2025): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Uva e Vinho

Diagnóstico e proposições para mitigar riscos de chuvas extremas na Serra Gaúcha
/ Henrique Pessoa dos Santos, José Fernando da Silva Protas, Joelsio José Lazzarotto,
editores técnicos. – Embrapa, 2025.

PDF (101 p.) : il. color.

ISBN 978-65-5467-092-0

1. Desastres naturais. 2. Impacto socioeconômico. 3. Viticultura. 4. Políticas públicas.
5. Rio Grande do Sul. I. Santos, Henrique Pessoa dos. II. Protas, José Fernando da
Silva. III. Lazzarotto, Joelsio José.

CDD (21. ed.) 363.3498165

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© 2025 Embrapa

Editores técnicos e autores

Adilson Luis Bamberg

Engenheiro-agrícola, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Amanda Heemann Junges

Engenheira-agrônoma, doutora em Agrometeorologia, pesquisadora da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, Veranópolis, RS

Annete Bonnet

Bióloga, doutora em Ciências Florestais e Conservação da Natureza, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Carlos Augusto Posser Silveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Diovane Freire Moterle

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, RS

Eduardo Girotto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, RS

Emiliano Santarosa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, Fisiologia e Manejo Vegetal, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

George Wellington de Melo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

Gustavo Ribas Curcio

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Florestais e Conservação da Natureza, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Henrique Pessoa dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

João Bosco Vasconcellos Gomes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Joelsio José Lazzarotto

Veterinário, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

José Fernando da Silva Protas

Economista, doutor em Desenvolvimento Rural, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

Larissa Hadassa Rodrigues de Queiroz

Geógrafa, bolsista na Embrapa Florestas, Colombo, PR

Rosemary Hoff

Geóloga, doutora em Geociências, pesquisadora da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

Vinicius Ide Franzini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS

Como organizadores desta iniciativa multi-institucional de colaboração técnica, registramos os nossos sinceros agradecimentos a uma série de instituições, listadas a seguir, que foram decisivas para viabilizar a mobilização articulada e convergente dos atores envolvidos. Isso porque constituiu-se uma ampla e complexa rede, essencial para efetuar os levantamentos e as análises de fatores, causas e interesses, que, direta ou indiretamente, se mostraram sensivelmente vulneráveis aos impactos causados pela catástrofe climática de abril e maio de 2024. Agradecemos à Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (Emater-RS), ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), à Associação da Comissão Interestadual da Uva (Aciu), à União Brasileira de Vitivinicultura (Uvibra), à Associação Gaúcha de Vinicultores (Agavi), à Federação das Cooperativas Vinícolas do Rio Grande do Sul (Fecovinho), ao Sindicato Rural da Serra Gaúcha e ao Instituto de Gestão, Planejamento e Desenvolvimento da Vitivinicultura do Estado do Rio Grande do Sul (Consevitis).

Apresentação

É com grande satisfação que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) publica o livro *Diagnóstico e proposições para mitigar riscos de chuvas extremas na Serra Gaúcha*. Este documento é disponibilizado ao público em um momento em que as mudanças climáticas aumentam e os eventos extremos se tornam cada vez mais frequentes, com efeitos e comprometimentos expressivos para a manutenção da vida e de inúmeras atividades produtivas nos meios rural e urbano, bem como para o equilíbrio do ecossistema como um todo.

Por iniciativa da Diretoria Executiva de Pesquisa e Desenvolvimento, em conjunto com as Unidades da Embrapa da região Sul do Brasil, antes mesmo da calamidade que assolou o estado do RS em abril e maio de 2024 vinha sendo construída uma Plataforma Colaborativa regional, tendo como desafio a integração de tecnologias e esforços para o enfrentamento aos extremos climáticos. Essa construção foi fundamental para que a Embrapa rapidamente concebesse o “Programa Recupera Rural RS”, prevendo um conjunto de ações solidárias, emergenciais e estruturantes, operacionalizado em conjunto com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (Emater-RS) e outras instituições parceiras, com destaque para o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), a Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção, Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul, o Serviço Geológico do Brasil e a Superintendência Federal do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) do Rio Grande do Sul, com

recursos do Sistema Embrapa de Gestão e, especialmente, do Governo Federal. Idealizada para ser um guia orientador das futuras ações temáticas a serem desenvolvidas, espera-se que esta publicação possa auxiliar, direta e indiretamente, na revisão e reestruturação da temática e do conteúdo programático de várias instituições públicas e privadas atuantes, especialmente, na região da Serra Gaúcha, bem como subsidiar futuras políticas públicas com enfoque regional e ou territorial.

A obra liderada pelas Unidades da Embrapa Uva e Vinho, Embrapa Clima Temperado e Embrapa Florestas, contempla o diagnóstico e a caracterização das relações causais e os impactos gerados pela “tragédia climática de abril e maio de 2024”. Importante ressaltar que, para essa elaboração, foram feitas reuniões e visitas a campo contemplando diversas entidades e produtores ligados ao setor vitivinícola da Serra Gaúcha. A partir de descrições técnico-analíticas, o documento avança para a proposição de ações de natureza técnica e de políticas públicas, capazes de auxiliar e orientar autoridades competentes, instituições representativas e demais atores envolvidos no referido setor, no sentido de resgatar e reincluir produtivamente os agricultores agora afetados, bem como aumentar, com estas ações e providências, a resiliência da viticultura de encostas na Serra Gaúcha frente a outros potenciais eventos climáticos extremos. Boa leitura.

Clenio Nailto Pillon

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa

Prefácio

A Serra Gaúcha está entre as regiões mais impactadas pela catástrofe climática registrada em grande parte do estado do Rio Grande do Sul nos meses de abril e maio de 2024. Os impactos observados são muito variados e expressivos sob as óticas ambiental, econômica e social, especialmente em áreas de encosta, ou seja, naquelas que apresentam relevos e topografias com altas declividades.

Neste contexto, a partir de um esforço coletivo contando com a participação de diversas instituições públicas e privadas, produziu-se este livro com o objetivo de identificar e caracterizar as relações causais e os problemas e prejuízos gerados pela referida catástrofe na região. Adicionalmente, são apresentadas proposições que contribuem para a resiliência regional e a mitigação de potenciais riscos decorrentes de novos eventos climáticos similares.

Para estruturação e elaboração desta obra, foi envolvida uma equipe multidisciplinar e interinstitucional, abordando diversas temáticas, associadas, principalmente, ao clima, à meteorologia, à geologia, à geomorfologia, à pedologia, ao manejo e uso do solo e à socioeconomia. Trabalhando de forma coordenada e interativa, a partir de expedições a campo e mediante contatos e discussões com diferentes atores ligados a instituições públicas e privadas da Serra Gaúcha, a equipe envolvida analisou e detalhou um amplo conjunto de causas e fatores, que foram determinantes de vários danos à paisagem rural regional.

Abordando resultados diversos, apresentados nos primeiros cinco capítulos, o livro representa um importante referencial para análises diagnósticas sobre eventos climáticos extremos. Agrega, portanto, abordagens e conteúdos de grande interesse, que podem atender inúmeros públicos, como: produtores rurais, técnicos de serviços de assistência técnica e extensão rural, secretários de agricultura, gestores de bacias hidrográficas, agentes de política agrícola e de crédito rural e representantes de entidades diversas (ex.: sindicatos e cooperativas rurais, associações de produtores, prefeituras municipais e instituições de ensino e pesquisa).

Além disso, se constitui num guia orientador para o planejamento e a implementação de ações diversas buscando a resiliência e a sustentabilidade de áreas de encosta. Isso porque traz uma série de apontamentos e proposições, que compõem o sexto capítulo, fundamentais para o planejamento, a gestão e a exploração das paisagens associadas com essas áreas.

Pela magnitude e relevância da obra, ela pode assumir o protagonismo de um marco referencial para aprimorar inúmeras políticas voltadas ao desenvolvimento, à competitividade e à sustentabilidade de grande parte de áreas rurais da Serra Gaúcha, território em que viticultura representa a principal atividade para a manutenção e a geração de renda de amplo número de pequenos produtores rurais familiares.

Os Editores Técnicos

Sumário

1. Análise dos dados meteorológicos na catástrofe climática de abril e maio de 2024	13
Introdução	13
Condições meteorológicas registradas em abril e maio de 2024	13
Descrição dos sistemas que atuaram no estado no final de abril a início de maio	16
Climatologia, variabilidade, tendências e mudanças climáticas	17
Considerações finais	21
Referências	21
 2. Avaliação do relevo, identificação de áreas de risco geológico e áreas impactadas pela catástrofe climática em 2024	23
Introdução	23
Técnicas utilizadas e detalhamento do relevo e das áreas impactadas pelos escorregamentos	24
Disponibilização de dados do GeolInfo	38
Considerações finais	38
Referências	39
 3. Aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, processos erosionais e suas interatividades	41
Introdução	41
Províncias geomórficas	42
Transmissividade de fluxos hidrológicos	47
Impactos das chuvas de abril e maio de 2024	50
Considerações finais	58
Referências	58

4. Histórico de uso, ocupação e manejo do solo para viticultura nas áreas de encosta da Serra Gaúcha	61
Introdução	61
Fatores antrópicos e seus impactos na paisagem	63
Impactos dos fatores antrópicos no solo	64
Cenários observados após o evento extremo de abril e maio de 2024	64
Considerações finais	76
Referências	77
 5. Impactos socioeconômicos da catástrofe climática sobre a viticultura da Serra Gaúcha	79
Introdução	79
A agricultura da Serra Gaúcha	80
Caracterização e importância socioeconômica da viticultura na Serra Gaúcha	83
Investimentos e custos na viticultura da Serra Gaúcha	86
Representatividade da viticultura da Serra Gaúcha para a indústria vinícola	87
A viticultura de encosta na Serra Gaúcha	88
Estimativas de impactos decorrentes de áreas vitícolas diretamente afetadas e sob riscos	89
Outros impactos diretos vinculados ao setor vitivinícola	91
Considerações finais	92
Referências	92
 6. Proposições para os impactos de chuvas extremas na Serra Gaúcha	95
Introdução	95
Políticas públicas	95
Transferência de tecnologia para a resiliência e sustentabilidade de áreas de encosta	100
Desenvolvimento de sistema de produção para áreas de encosta	102
Considerações finais	106

Capítulo 1

Análise dos dados meteorológicos na catástrofe climática de abril a maio de 2024

Amanda Heemann Junges
Henrique Pessoa dos Santos

Introdução

Valores de precipitação pluvial extremamente elevados registrados no Rio Grande do Sul no final de abril e início de maio de 2024 provocaram em diversas regiões a ocorrência de enchentes, inundações e deslizamentos de terra, no que ficou conhecida como a maior catástrofe climática do estado até o momento (Conselho Permanente de Agrometeorologia do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). O evento teve maior impacto sobre a Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, que engloba as bacias hidrográficas dos rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, Alto e Baixo Jacuí, Pardo, Caí, Taquari-Antas, dos Sinos, Gravataí e Lago Guaíba (Base Cartográfica 1:25.000, Rio Grande do Sul, 2018). A catástrofe climática, que causou perdas de vidas (humanas e animais de criação), desalojou e desabrigou pessoas e provocou danos a diversas infraestruturas (habitacional, industrial e de transportes), também impactou negativamente as atividades agropecuárias do estado. Na região da Serra Gaúcha foram perdidas áreas produtivas inteiras ou parciais (lavouras, pomares, pastagens), além de ocorrer erosão da camada agricultável do solo. Apesar desta situação sem precedentes, é fundamental que se busque caracterizar esse evento extremo como forma de auxiliar na proposição de estratégias que visem reduzir os danos que possam ser causados por eventuais eventos futuros similares.

Dentre os objetivos deste capítulo, destacam-se:

- Descrição das condições meteorológicas registradas em dois municípios da região da Serra Gaúcha, Bento Gonçalves e Veranópolis, durante a catástrofe climática de abril a maio de 2024.
- Caracterização da climatologia, variabilidade e tendências da precipitação pluvial.
- Associação com as mudanças climáticas e a importância do estabelecimento de estratégias para redução do risco climático.

Condições meteorológicas registradas em abril e maio de 2024

Para caracterização das condições meteorológicas foram empregados dados diários de precipitação pluvial (chuva) dos meses abril e maio de 2024 registrados pelas estações meteorológicas automáticas de Veranópolis (28°53'17" S e 51°32'32" W, 707 m de altitude) e de Bento Gonçalves (29°09'44"S e 51°31'50"W, 640 m de altitude), municípios localizados na região ecoclimática Planalto Superior — Serra do Nordeste, também conhecida como Serra Gaúcha. A estação meteorológica de Veranópolis está localizada no Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (Cefruti), estação experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (Seapi).

A estação meteorológica de Bento Gonçalves pertence à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e está localizada na Embrapa Uva e Vinho. O clima na região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfb (temperado úmido, sem estação seca definida e com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C). Todos os meses apresentam precipitação pluvial mensal acima de 60 mm, com variação entre 127 e 201 mm (em Veranópolis) e 126 e 181 mm (em Bento Gonçalves) (Junges; Tonietto, 2022). A temperatura média do mês mais quente (janeiro) é 22 °C em ambos os locais, sendo esse o limiar entre os climas Cfb e Cfa (Junges; Tonietto, 2022).

Os dados diários foram empregados na definição de:

- Precipitação pluvial mensal — soma da chuva ocorrida do dia 1° ao dia 30 ou 31.
- Número de dias de chuva — número de dias em que houve registro de chuva ≥ 1 mm.

- Valor máximo diário — maior volume de chuva ocorrido em um dia.
- Distribuição temporal das chuvas por decêndios — soma das chuvas ocorridas nos decêndios 1 (dias 1 a 10), 2 (dias 11 a 20) e 3 (dias 21 a 30 ou 31).
- Intensidade da chuva (mm/h).

Os totais mensais registrados em abril e maio de 2024 foram comparados à normal climatológica padrão (NCP) 1991 a 2020 de Veranópolis e de Bento Gonçalves, disponível em Junges e Tonietto (2022).

A precipitação pluvial mensal de abril de 2024 foi de 325 mm em Veranópolis e 409 mm em Bento Gonçalves (Figura 1.1), valores equivalentes a 2,4 vezes (Veranópolis) e 3,1 vezes (Bento Gonçalves) às médias históricas do mês (NCP 1991 a 2020). Considerando que os desvios padrão (DP) de precipitação pluvial em abril correspondem a 64 mm em Veranópolis e 62 mm em Bento Gonçalves (Junges; Tonietto, 2022), os totais mensais registrados em 2024 foram superiores à média + 4DP no caso de Bento Gonçalves e média + 3DP para Veranópolis, configurando os valores como extremos na climatologia. Além disso, considerando a série que define a normal climatológica padrão 1991 a 2020, a maior precipitação pluvial mensal de abril, tanto em Veranópolis quanto em Bento Gonçalves, havia sido registrada em 2016 (respectivamente, 296 e 260 mm).

Em maio de 2024, a precipitação pluvial mensal atingiu 951 mm em Veranópolis e 684 mm em Bento Gonçalves, valores muito superiores às médias históricas (Figura 1.1). Para Veranópolis, o total mensal foi equivalente a 7 vezes a normal climatológica e, no caso de Bento Gonçalves, 5,5 vezes. Considerando-se os desvios-padrão (DP) de 74 mm em Veranópolis e 64 mm em Bento Gonçalves na NCP 1991 a 2020, os totais registrados em 2024 foram superiores à média + 11DP em Veranópolis e média + 8DP em Bento Gonçalves, configurando os valores como muito extremos na climatologia do mês. Até então, os maiores totais mensais de maio haviam sido 313 mm para Bento Gonçalves e 366 mm para Veranópolis, registrados em 2017, e 425 mm para Veranópolis, em maio de 2022. Na série histórica de Veranópolis (1956 a 2024), maio de 2024 configurou-se como o maior valor mensal de precipitação pluvial já registrado, ultrapassando setembro de 2023 (542 mm), que era, até então, o valor máximo do banco de dados.

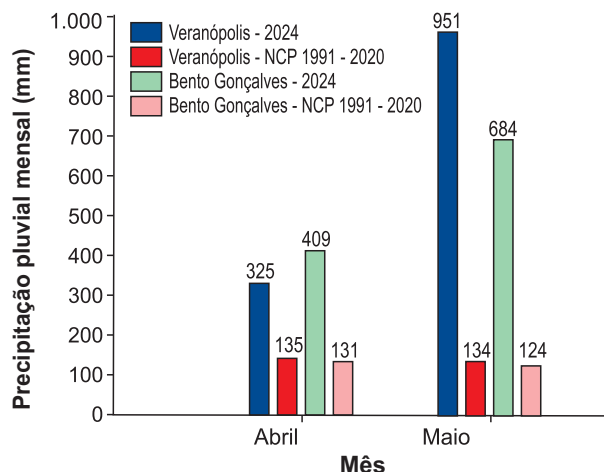


Figura 1.1. Precipitação pluvial mensal de abril e maio de 2024 em Veranópolis e em Bento Gonçalves e médias na normal climatológica padrão (NCP) 1991 a 2020.

Em abril, foram registrados 13 dias de chuva (≥ 1 mm) em Veranópolis e 15 dias em Bento Gonçalves. Destaque para 30/04/2024 quando ocorreram os maiores volumes de chuva em um dia: 149,6 mm em Bento Gonçalves e 72 mm em Veranópolis. Em termos de distribuição temporal, observou-se que a maior parte da precipitação mensal ocorreu no terceiro decêndio, especialmente em Bento Gonçalves (74,5% do total mensal; Veranópolis 54,5%) e que apenas a soma da precipitação pluvial do terceiro decêndio já superou a média histórica de abril (Figura 1.2A).

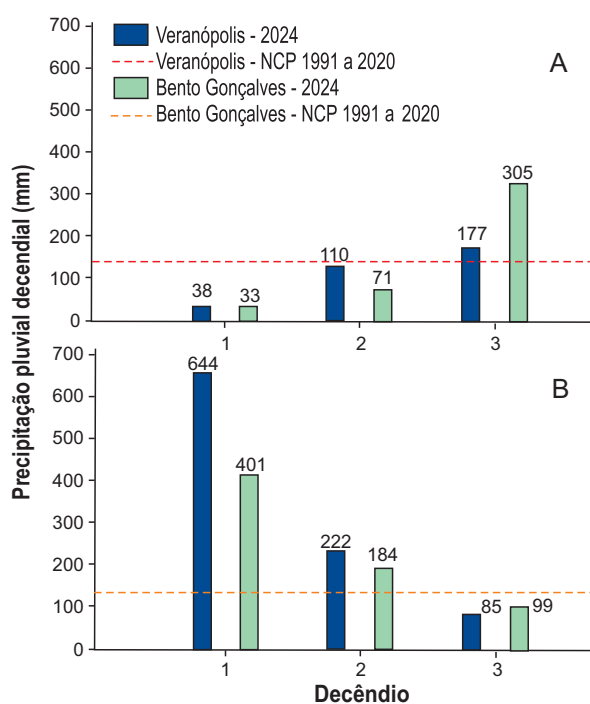


Figura 1.2. Precipitação pluvial decenal de abril (A) e maio (B) de 2024 de Veranópolis e Bento Gonçalves e médias mensais na normal climatológica padrão (NCP) 1991–2020.

Em maio, chuvas (≥ 1 mm) foram registradas em quase dois terços dos dias do mês (19 dias, tanto em Veranópolis quanto em Bento Gonçalves). Destacaram-se pelos elevados valores de precipitação pluvial ocorrida em um único dia, registrados em 01/05/2024 (260 mm em Veranópolis e 178 mm em Bento Gonçalves) e 02/05/2024 (152 mm em Veranópolis e 125 mm em Bento Gonçalves). É importante considerar que, em cada um destes dias, choveu mais do que a média histórica do mês. Para Veranópolis, o registro de 260 mm em 1º/maio se configurou como um valor recorde, sendo o maior volume de chuva ocorrido em um único dia desde o início da coleta de dados em 1956. Até então, o maior volume registrado havia sido 188,4 mm, em 19/07/2001.

Em termos de distribuição temporal, observou-se que todos os decêndios registraram valores relativamente elevados de chuva (variando de 85 a 644 mm), com totais que ultrapassaram inclusive a média histórica do mês (1º e 2º decêndios) ou ficaram muito próximos deste valor (3º) (Figura 1.2B). O maior total ocorreu no primeiro decêndio, quando foram registrados 644 mm em Veranópolis (equivalente a 67,7% do total mensal) e 401 mm em Bento Gonçalves (58,6%).

Veranópolis e Bento Gonçalves registraram em abril e, especialmente, em maio de 2024, valores extremamente elevados de precipitação pluvial, com totais mensais que ultrapassaram várias vezes a média histórica. A soma das precipitações pluviais mensais de abril e maio de 2024 totalizaram 1.276 mm em Veranópolis e 1.093 mm em Bento Gonçalves, o que equivalem, respectivamente, a 69 e 62% da média anual.

Analisando-se a distribuição temporal das chuvas, destaca-se especialmente o período compreendido pelos dias 26/04/2024 a 05/05/2024 (10 dias), considerado o mais crítico na catástrofe climática em função da sequência de dias de chuva (todos os dias registraram chuva), dos valores diários expressivos e do total ocorrido neste período (728 mm em Veranópolis e 654 mm em Bento Gonçalves) (Figura 1.3).

Uma série de eventos meteorológicos, ocorridos desde o final de abril ao início de maio, contribuíram para que fossem registrados elevados volumes de precipitação pluvial em poucos dias, especialmente na faixa centro-norte do estado (Conselho Permanente de Agrometeorologia do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). Na última semana de abril e

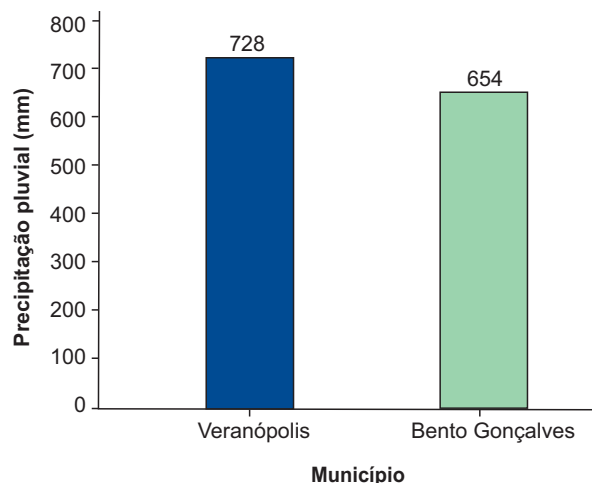


Figura 1.3. Soma da precipitação pluvial ocorrida em Veranópolis e em Bento Gonçalves entre 26 de abril e 5 de maio de 2024.

no início de maio, a configuração atmosférica sobre a América do Sul apresentava um intenso anticiclone migratório atuando no Oceano Atlântico Sul. Esse sistema de alta pressão contribuiu para o fluxo de ar quente e úmido para o continente. No decorrer dos dias, a alta pressão se intensificou e, nessa configuração, os sistemas meteorológicos que avançavam de sul em direção ao norte da América do Sul permaneceram estacionários sobre o Rio Grande do Sul. Além disso, o corredor que transportava umidade da Região Amazônica contornava o bloqueio, resultando na concentração dessa umidade sobre o estado, o que favoreceu ainda mais a formação de instabilidades e as consequentes precipitações intensas. Também não pode ser descartado o efeito do fenômeno *El Niño*, que, mesmo em fase final, ainda estava ativo no período, favorecendo uma atmosfera mais quente, o que potencializa estes eventos climáticos extremos.

No Rio Grande do Sul, diversos trabalhos têm demonstrado que precipitações pluviais acima da média estão associadas a eventos *El Niño* (situação contrária, no caso de *La Niña*), especialmente na primavera e no início do verão (trimestre de outubro, novembro e dezembro do ano de início do fenômeno) e em um período secundário, no final do outono até o início do inverno do ano seguinte ("repique") (Berlato; Fontana, 2003; Matzenauer et al., 2017).

Os dados de intensidade de chuva indicaram que, considerando o período de 26/04/2024 a 05/05/2024, os valores máximos ocorreram no dia 01/05/2024, quando foram registrados 37,2 mm/h (no final da manhã) e no dia 02/05/2024 quando ocorreram, em sequência, 36 e 36,4 mm/h (durante a ma-

drugada) (Figura 1.4). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), intensidades de chuvas inferiores a 2,5 mm/h são classificadas como leves; entre 2,5 e 10 mm/h são classificadas como moderadas; entre 10,1 e 50 mm/h são fortes; e, no caso de ocorrência de intensidades acima de 50 mm/h, considera-se a chuva como violenta (World Meteorological Organization, 2024). Dessa maneira, as maiores intensidades de chuva ocorridas no período da catástrofe climática enquadraram-se na categoria de chuvas fortes.

Nos últimos dias de abril (26 a 30), embora as

maiores intensidades de chuva tenham ocorrido nos dias 27/04/2024 (25,8 mm/h) e 29/04/2024. (23 mm/h), e possam, ambas, ser classificadas como fortes, foi no dia 30/04/2024. que houve o maior número de ocorrências (horas) com intensidade de chuva maiores ou iguais a 10 mm/h (quatro, variando entre 12,4 mm/h e 17,4 mm/h, ou seja, todas de intensidade forte) (Figura 1.4A). Nos primeiros 5 dias de maio destacaram-se, além dos valores máximos, o número de ocorrências (horas) com chuvas de intensidade forte (maiores ou iguais a 10 mm): dez no dia 01/05/2024, três no dia 02, duas no dia 04 e duas no dia 05 (Figura 1.4B).

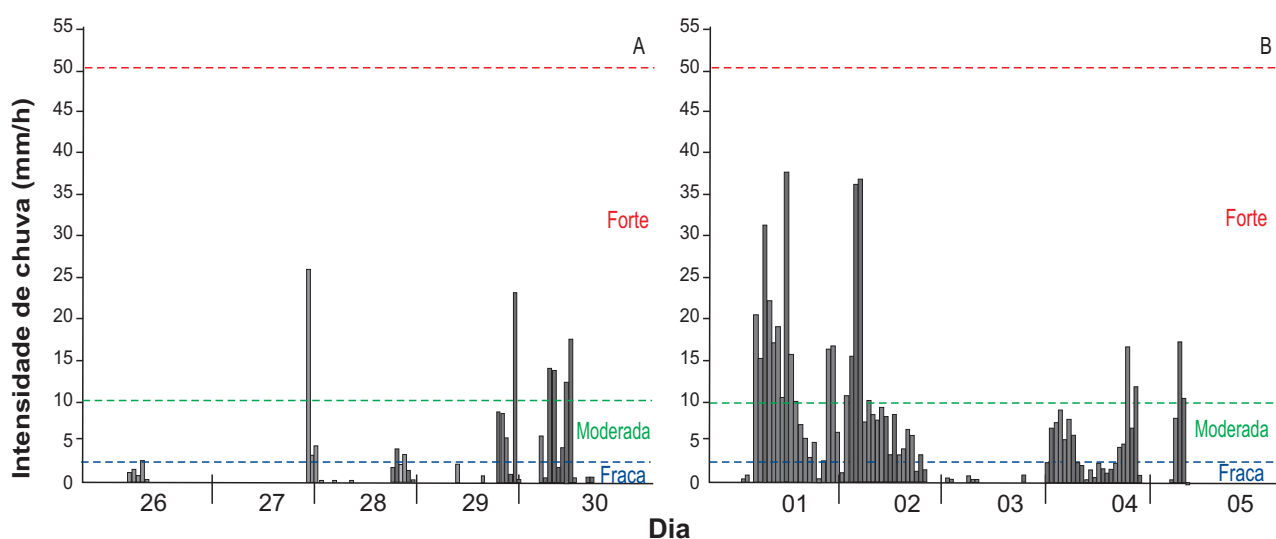


Figura 1.4. Intensidade das chuvas (mm/h) ocorridas em Veranópolis nos dias 26 de abril a 5 de maio de 2024: (A) em Abril; (B) em Maio.

Descrição dos sistemas que atuaram no estado no final de abril a início de maio

No sábado (27/04/2024), havia ar quente sobre boa parte do estado, influenciado pela massa de ar quente e seca (onda de calor) que predominava sobre o Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, enquanto que, na metade sul do estado, a frente fria já avançava. Tal frente fria provocou chuva forte, com registro de ocorrência de dois tornados, um em São Martinho da Serra e outro em Tupanciretã. Ou seja, a condição atmosférica já estava bastante instável e ao longo do domingo (28/04/2024) a frente fria avançou mais sobre o Rio Grande do Sul.

Na segunda-feira (29/04/2024), uma configuração de baixa pressão se formou no oeste gaúcho, devido à divergência de escoamento em níveis atmosféricos mais altos. Essas chuvas se concentraram principalmente ao norte do estado, na divisa

com Santa Catarina e na Fronteira Oeste.

Na terça-feira (30/04/2024), o sistema se intensificou, resultando em tempestades generalizadas com volumes acima de 100 mm em 24 horas em diversos pontos do Rio Grande do Sul. As regiões dos Vales, Serra, Metropolitana, Depressão Central e Planalto Médio passaram a registrar totais mais expressivos, como em Bento Gonçalves (149,2 mm), Rio Pardo (146,6 mm) e Canela (144,6 mm).

Na quarta-feira (01/05/2024), a condição meteorológica do dia anterior persistiu, mantendo as instabilidades e propiciando a ocorrência de novas tempestades, o que elevou ainda mais os totais acumulados de precipitação. No município de Santa Maria foram registrados 213,6 mm em 24 horas, enquanto em Veranópolis registraram-se 260 mm no mesmo período.

Na quinta-feira (02/05/2024), a condição meteorológica que atuava a oeste do estado, transportando

umidade da região amazônica para o Rio Grande do Sul, somada ao sistema frontal sobre o oceano, resultou em altos volumes de chuva em todo estado. Os setores norte e nordeste foram os mais afetados. Nessas regiões foram registrados volumes superiores a 100 mm, sendo que em Soledade foram registrados 249,4 mm. Em Ibirubá e Caxias do Sul, os valores foram superiores a 190 mm.

Na sexta-feira (03/05/2024), o sistema frontal ainda atuava sobre o norte e nordeste do estado e os maiores volumes de chuva foram registrados nas cidades de Frederico Westphalen e Erechim (127,4 e 128,6 mm, respectivamente).

No sábado (04/05/2024), mesmo após a passagem do sistema frontal, instabilidades permaneceram sobre o estado devido ao cavado situado a oeste, associado à baixa pressão do Chaco. O cavado é uma área de baixa pressão “alongada”, na qual os ventos são no sentido horário mas não completam 360° (como em um centro de baixa pressão tradicional). Ao persistir sobre uma determinada região, o cavado pode causar chuva e nebulosidade frequentes. E foi justamente esse sistema que manteve as chuvas nas faixas norte e nordeste do estado, com os volumes mais elevados sendo registrados na região do Alto Uruguai, nos municípios de Palmeiras das Missões (86,6 mm) e Lagoa Vermelha (85 mm).

No domingo (05/05/2024), o cavado permaneceu atuando durante a madrugada e manhã, ocasionando chuvas isoladas em pontos do norte e nordeste do Rio Grande do Sul. O principal acumulado foi em Serafina Corrêa (82,8 mm). Ao longo do dia, as instabilidades deslocaram-se em direção ao Oceano Atlântico, cessando as chuvas em todo o estado até o final do domingo.

Na segunda-feira (06/05/2024), a massa de ar quente e seco presente no centro do Brasil avançou para o Rio Grande do Sul deixando o tempo seco em quase todas as regiões.

Climatologia, variabilidade, tendências e mudanças climáticas

A compreensão acerca da magnitude dos valores de precipitação pluvial ocorridos em abril e maio de 2024 na Serra Gaúcha só é possível quando se faz uma análise da climatologia das chuvas na região. Define-se climatologia como a integração (ou generalização) das condições de tempo baseada em médias obtidas a partir de um conjunto de dados

com, no mínimo, 30 anos de observações. Médias de temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar e vento, dentre outras variáveis, quando obtidas a partir de um conjunto de dados sequenciais de 30 anos, são denominadas normais climatológicas. Quando definidas a partir de séries fixas de 30 anos, são denominadas normais climatológicas padrão e, para esse fim, a Organização Meteorológica Mundial estabeleceu as séries 1931–1960, 1961–1990 e, mais recentemente, 1991–2020. Devido à dinâmica das variáveis meteorológicas, o emprego de normais climatológicas busca, justamente, estabelecer referências, pois as médias representam o valor predominante da variável meteorológica no local considerado. Da mesma maneira, a definição das normais climatológicas facilita a identificação de anomalias ou de eventos extremos.

Na normal climatológica padrão 1991–2020, a precipitação pluvial mensal de Veranópolis e Bento Gonçalves variou entre os valores mínimos de 124 mm (em maio, em Bento Gonçalves) e 127 mm (em agosto, em Veranópolis) e os máximos de 181 mm (em outubro, em Veranópolis) e 201 mm (em outubro, em Bento Gonçalves) (Junges; Tonietto, 2022). Ou seja, a variação de 120 a 200 mm de chuva, aproximadamente, caracteriza climaticamente a região em termos de precipitação pluvial mensal. Sabe-se, no entanto, que a precipitação pluvial apresenta elevada variabilidade interanual. Os coeficientes de variação da precipitação pluvial mensal em Veranópolis e em Bento Gonçalves situam-se entre 40 e 73% (Junges; Tonietto, 2022), o que indica haver uma elevada variação dos dados em torno da média histórica. Dados estacionais também apresentam elevada variabilidade interanual (coeficientes de variação entre 25 e 43%, menores no inverno e maiores na primavera e no outono).

Ainda no contexto da análise da variabilidade da precipitação pluvial, alguns meses se destacam pelos valores extremos que, em geral, são aqueles que ultrapassam os limites definidos pela média ± 1 desvio-padrão (embora seja importante destacar que alguns autores consideram extremos apenas os valores acima/abaixo da média ± 2 desvios-padrão). Mesmo assim, valores acima de média ± 1 desvio-padrão exigem atenção, tendo em vista os desafios que impõem às atividades agrícolas. Nesse sentido, como já apresentado, os meses de abril e maio de 2024 se destacaram pelos valores extremamente elevados de precipitação pluvial, situação sem precedentes nas séries históricas analisadas.

Da mesma maneira, as chuvas ocorridas em abril e maio de 2024 fizeram com que o outono (março, abril e maio) ficasse caracterizado como o período do ano com maior valor acumulado ao longo da série 1961–2023 de Veranópolis e de Bento Gonçalves (Figura 1.5C). Cabe destacar que, embora o verão 2023/2024 (dezembro/2023 a fevereiro/2024) tenha

apresentado precipitação pluvial estacional no intervalo definido por média +1 desvio-padrão (Figura 1.5B), a primavera de 2023 (setembro, outubro e novembro) já havia se configurado como a primavera mais chuvosa da série de dados em função dos totais estacionais de 1.415 mm (Veranópolis) e 985 mm (Bento Gonçalves) (Figura 1.5A).

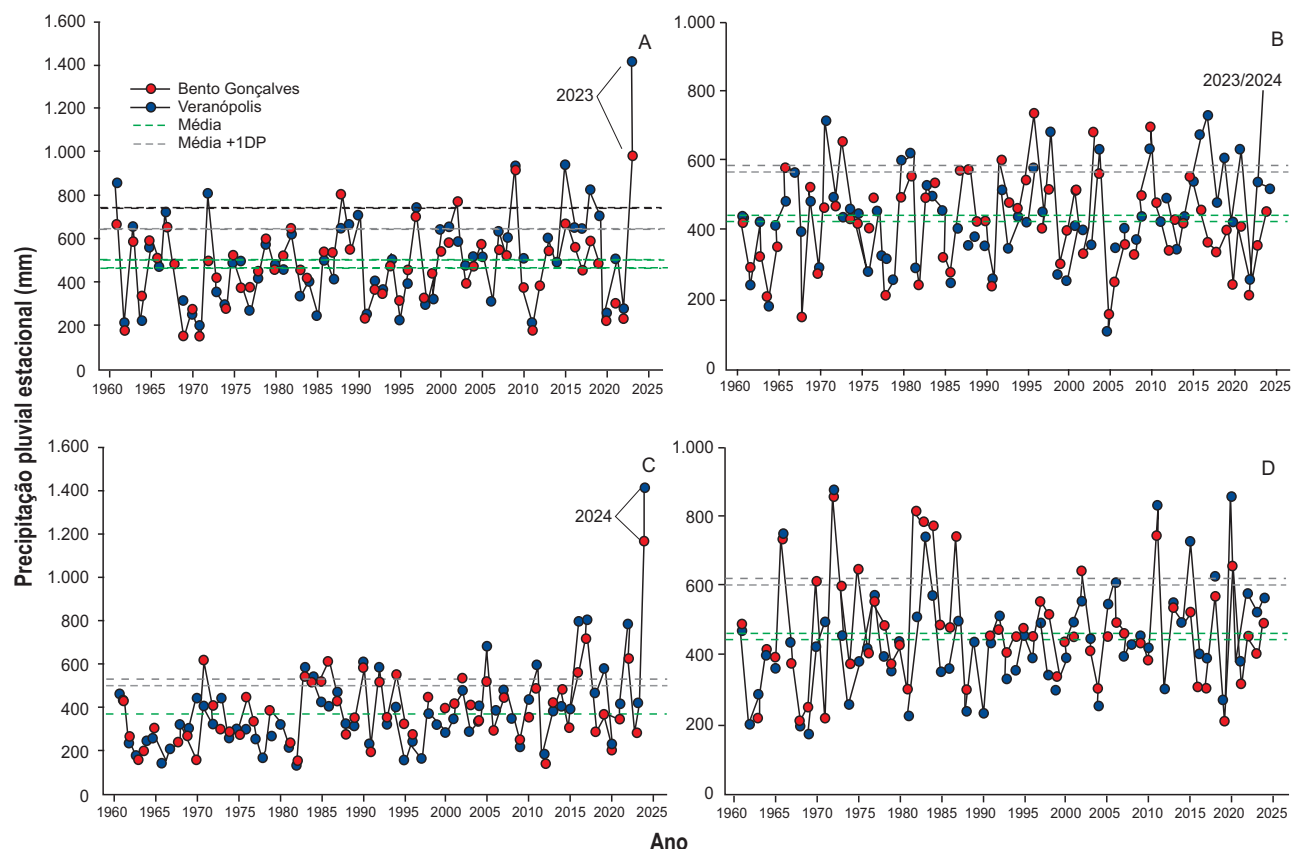


Figura 1.5. Precipitação pluvial estacional: (A) Primavera (setembro-outubro-novembro); (B) Verão (dezembro-janeiro-fevereiro); (C) Outono (março-abril-maio); (D) Inverno (junho-julho-agosto). Em Veranópolis e Bento Gonçalves, RS, na série histórica 1961–2024.

Em síntese, os eventos extremos de abril e maio de 2024 vieram na sequência de uma primavera extremamente chuvosa em 2023. Com isso, salienta-se a importância desse referencial da climatologia para a identificação de eventos extremos e a caracterização da variabilidade interanual da precipitação pluvial na região da Serra Gaúcha.

Em séries históricas de longo prazo, além da climatologia, análises de tendência costumam ser realizadas com objetivo de identificar alterações nos conjuntos de dados. O termo tendência climática indica a elevação ou a diminuição nos valores de uma série temporal meteorológica (Blain, 2010). No que se refere à tendência em séries temporais de precipitação pluvial, Junges et al. (2019) já ha-

viam apontado, considerando a série histórica 1956–2015 de Veranópolis, a tendência de aumento na precipitação pluvial anual ($p < 0,01$) e com menor nível de significância da precipitação pluvial nas estações de primavera ($p < 0,10$) e verão ($p < 0,10$). De acordo com Berlato e Cordeiro (2017), em uma revisão da literatura acerca dos sinais das tendências e mudanças climáticas observadas no Rio Grande do Sul, é possível afirmar que houve aumento da precipitação pluvial anual, especialmente na primavera e no outono. No período de 30 anos, de 1980–2009, a precipitação pluvial anual aumentou cerca de 10% em quase todas as regiões do Rio Grande do Sul, em relação à normal climatológica de 1950 a 1979.

Além do aumento da precipitação pluvial anual e estacional, houve aumento da intensidade média da precipitação anual (mm/dia) e aumento de precipitações diárias intensas. O número de dias de precipitação pluvial, na média do estado, também apresentou tendência de aumento, principalmente na primavera e no verão (Berlato; Cordeiro, 2017).

A variação e as tendências das variáveis meteorológicas no Rio Grande do Sul estão associadas, em grande parte, aos fenômenos de grande escala, especialmente o *El Niño* Oscilação Sul (Enos) ou *El Niño Southern Oscillation* (Enso), caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial e considerado o principal mecanismo de variabilidade climática interanual em diversas regiões do globo. Por causa das teleconexões globais, os efeitos das fases quente (*El Niño*) e fria (*La Niña*) do Enos causam grande impacto nas condições meteorológicas e, consequentemente, nas atividades humanas, incluindo a agricultura (Berlato, 2024). A região Sul do Brasil, que pertence à região Sudeste da América do Sul (juntamente com o nordeste da Argentina, do Uruguai e do sul do Paraguai) apresenta forte influência do Enos (Firpo et al., 2012).

No Rio Grande do Sul, diversos trabalhos têm demonstrado que precipitações pluviais acima da média estão associadas aos eventos de *El Niño* (situação contrária, no caso de *La Niña*), especialmente na primavera e no início do verão (trimestre de outubro, novembro e dezembro no ano de início do fenômeno) e em um período secundário, no final do outono até o início do inverno, no ano seguinte (conhecido como “repique”) (Matzenauer et al., 2017; Berlato, 2024). Na primavera de 2023 e no outono de 2024, caracterizados pelas precipitações pluviais muito acima da média na região da Serra Gaúcha, havia a atuação consolidada do fenômeno *El Niño*, com anomalias positivas de TSM que se iniciaram no trimestre de abril, maio e junho de 2023 (+0,5 °C) e foram crescentes até atingirem +2 °C em novembro, dezembro e janeiro e decresceram até +0,7 °C em março, abril e maio de 2024. O trimestre de abril, maio e junho de 2024, com anomalia de +0,4 °C, marcou o fim deste evento *El Niño* (2023/2024) (United States, 2024). Pode-se considerar, portanto, que, em virtude do *El Niño*, precipitações pluviais acima da média poderiam ocorrer.

No entanto, os valores registrados foram muito elevados, o que caracterizou abril e maio de 2024

como catástrofe climática. Diversos autores demonstraram que há uma tendência de intensificação dos eventos Enos, ou seja, a maior frequência de ocorrência de *El Niños* e *La Niñas* classificados como fortes e muito fortes, observada especialmente após a década de 1960 e associada ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa e às mudanças climáticas de causa antropogênica (Cai et al., 2023). Dessa forma, eventos Enos (*El Niño/La Niña*) estão intrinsecamente ligados às mudanças climáticas, particularmente por meio de suas interações com condições térmicas globais, correntes marinhas e fluxos de ar atmosférico. De modo geral, a partir do aquecimento global e o aumento da temperatura na superfície do Oceano Pacífico, as projeções indicam cenários de eventos extremos de *El Niño* e de *La Niña* (Cai et al., 2015; Julianto et al., 2021).

Berlato e Cordeiro (2017) também afirmam que há evidências observacionais que indicam a ocorrência de mudanças no sistema climático global e regional, as quais incluem o aumento de extremos climáticos em diversos continentes nas últimas décadas. Considerando os cenários de mudanças climáticas, a temperatura na superfície da terra já aumentou mais de 1 °C desde o período pré-industrial até 2021. Se as emissões de gases de efeito estufa continuarem a aumentar, estima-se que o aquecimento global será superior a 1,5 °C entre 2030 e 2052, ou até mais de 4 °C até o final do século XXI (Pörtner et al., 2022). Tais projeções induziram a *Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas* (UNFCCC) ao estabelecimento de metas em 2010 (Acordo de Cancún) e em 2015 (Acordo de Paris), visando manter o aquecimento global abaixo de 2 °C, acima do nível pré-industrial, e preferencialmente até o limite máximo de 1,5 °C.

Apesar do estabelecimento dessas metas de controle, destaca-se que, em 2023, a OMM confirmou, oficialmente, a marca histórica de $1,45 \pm 0,12$ °C acima dos níveis pré-industriais de 1850 a 1900 para a temperatura global média anual (Organização das Nações Unidas, 2024). Além disso, com base no último relatório da OMM, publicado em 05/06/2024, já foram atingidos 80% de probabilidade de que, nos próximos 5 anos, a temperatura média global anual ultrapassará, temporariamente, o incremento de 1,5 °C acima do referencial térmico pré-industrial (World Meteorological Organization, 2024). Se levado em conta o período de junho de 2023 a maio de 2024, a maioria dos meses já apresentou uma elevação maior

que 1,5 °C na temperatura média global (Figura 1.6). De qualquer modo, o relatório da OMM destaca que a temperatura média global próxima à superfície

deverá ser entre 1,1 e 1,9 °C mais alta entre 2024 e 2028, comparada com o período de referência 1850 a 1900.

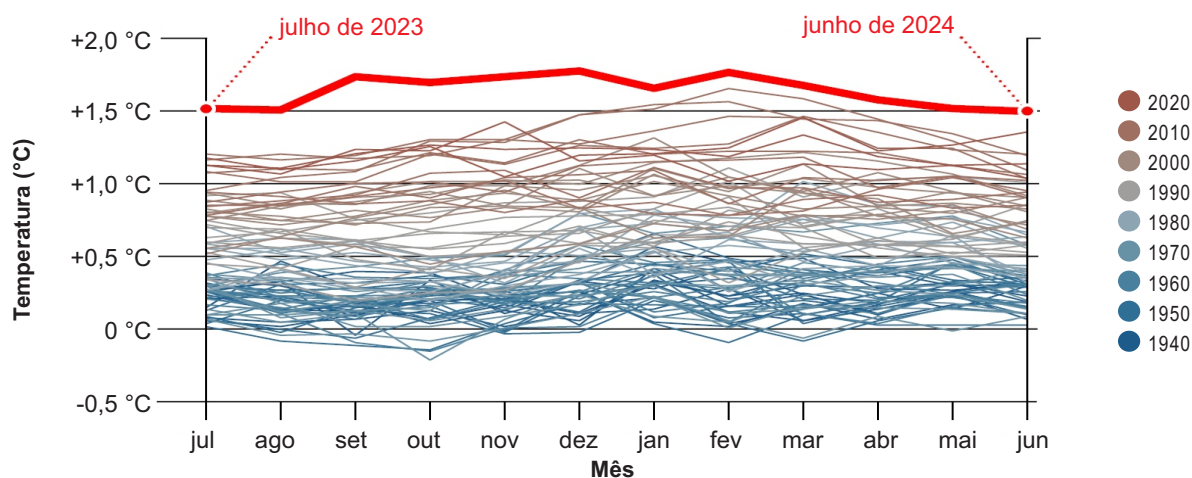


Figura 1.6. Incremento na temperatura média global mensal medida na superfície do planeta em relação ao referencial de temperatura média global registrado no período pré-industrial (1850 a 1900). Dados registrados no período de 1940 a 2024. Fonte: Copernicus Climate Change Serviço (2024) citado por A "era da fervura global" [...], 2024).

Considerando os cenários de aquecimento global nos limites de 1,5 e 2,0 °C, as projeções já indicam que a região Sul do Brasil será exposta às condições de maior intensidade de umidade (Figura 1.7), marcada por eventos extremos de chuvas e inundações (Tavares et al., 2023). Essa tendência também se confirma com dados diários de precipitação, registrados de 1961 até 2020, em 15 estações meteorológicas distribuídas nos três estados do Sul do Brasil (Lapa et al., 2024). Portanto, esses resultados caracterizam a tendência de aumento no volume anual de chuvas no Sul do Brasil. Contudo, salienta-se que essas

projeções evidenciam também o predomínio de uma distribuição irregular das precipitações, o que possibilita cenários futuros contrastantes, com períodos de secas e eventos de chuvas em excesso.

Ou seja, os contrastes vivenciados nos últimos cinco anos no Sul do Brasil não são eventos isolados e com baixa probabilidade de ocorrência, pelo contrário, são situações que mimetizam os cenários que eram classificados como “futuro” e evidenciam que as projeções de mudanças climáticas já estão ocorrendo, alterando a frequência e a intensidade dos eventos extremos.

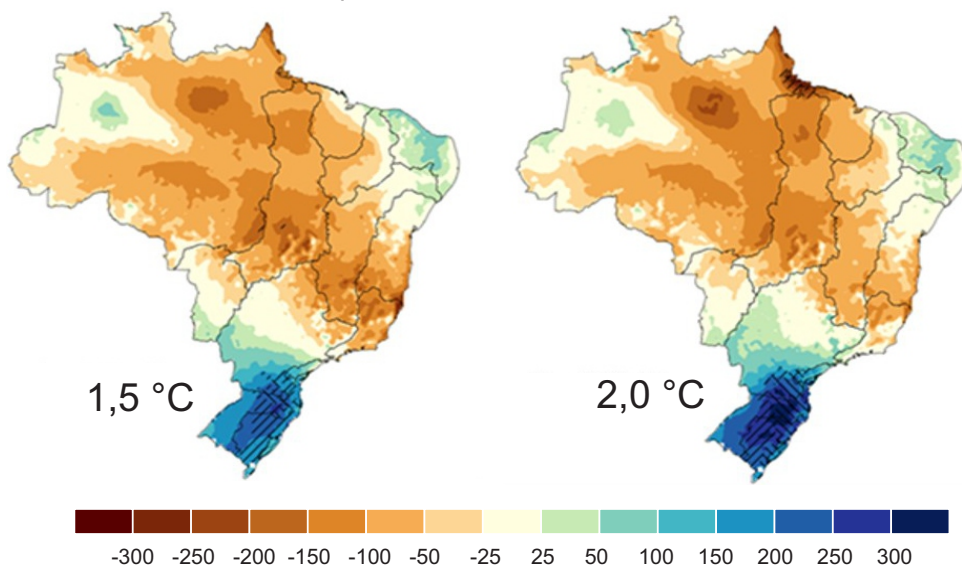


Figura 1.7. Variações na precipitação (mm/ano) do Brasil nas projeções de elevação de 1,5 e 2,0 °C, em relação à temperatura média do período de referência (1961 a 1990) para o Brasil. Fonte: Adaptado de Tavares et al. (2023).

Considerações finais

Diante do exposto, evidenciam-se que as propriedades agrícolas estão em situação de risco climático e com tendência de cenários mais agravantes. Dentro da normal climática, a variabilidade interanual da precipitação pluvial já se apresenta como um dos principais desafios para o produtor rural, por ser um dos fatores de grande impacto para as quebras ou frustrações de safra. Entretanto, quando se consideram o aumento ou a intensificação dos eventos extremos impostos pelas mudanças climáticas, os riscos de perda atingem outros limites e os impactos podem atingir níveis sem precedentes, como os registrados no outono de 2024. Ou seja, as mudanças climáticas saíram do cenário de previsão e já fazem parte da realidade. Portanto, considerando que a variabilidade, as tendências e as mudanças climáticas ameaçam a vida, a segurança alimentar e a sustentabilidade na região Sul do Brasil, as ações não podem ser só discutidas ou previstas, mas executadas imediatamente. A necessidade de intervenções técnicas e assertivas é urgente para se garantir a resiliência dos cultivos, principalmente nos locais de risco, como nas áreas de encosta dos rios na Serra Gaúcha.

Referências

A "ERA DA FERVURA GLOBAL" está cada vez mais próxima. **Política por Inteiro**, 18 jul. 2024. Disponível em: <https://politicaporinteiro.org/2024/07/18/a-era-da-fervura-global-esta-cada-vez-mais-proxima/>. Acesso em: 17 set. 2024.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, p. 273-302, 2017.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, M.A. El Niño oscilação Sul. In: Berlato, M.; Cunha, G.R.; Fontana, D. C. **El Niño Oscilação Sul**: clima, vegetação, agricultura. Passo Fundo, Ed. dos Autores. 2024. p. 17-159.

BLAIN, G.C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 765-770, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300031>.

CAI, W.; WANG, G.; SANTOSO, A.; WU, L.; GAN, B.; JING, Z.; LI, S.; MCPHADEN, M. J. Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 132-137, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2492>.

CAI, I. W.; NG, B.; GENG, T.; JIA, F.; WU, L.; WANG, G.; LIU, Y.; GAN, B.; YANG, K.; SANTOSO, A.; LIN, X.; LI, Z.; LIU, Y.; YANG, Y.; JIN, F. -F.; COLLINS, M.; MCPHADEN, M.J. Anthropogenic impacts on twentieth-century ENSO variability changes. **Nature Reviews Earth and Environment**, 4, p. 407-418, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8>.

CONSELHO PERMANENTE DE AGROMETEOROLOGIA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Boletim de Informações**, n. 69, maio 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 11 set. 2024.

FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000100010>.

JULIANTO, M. T.; DHIMAS, S.; SOPAHELUWAKAN, A.; NURDIATI, S.; SEPTIAWAN, P. Identification of global warming contribution to the El Niño phenomenon using empirical orthogonal function analysis. **Agromet**, v. 35, n. 1, p. 11-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29244/J.AGROMET.35.1.11-19>.

JUNGES, A. H.; TONIETTO, J. Caracterização climática da precipitação pluvial e temperatura do ar em Bento Gonçalves e Veranópolis, Serra Gaúcha, Brasil. **Agrometeoros**, v. 30, e027126, 2022.

JUNGES, A. H.; BREMM, C.; FONTANA, D. C. Rainfall climatology, variability, and trends in Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 160-166, 2019.

PÖRTNER, H. -O.; ROBERTS, D.C.; POLOCZANSKA, E.S.; MINTENBECK, K.; TIGNOR, M.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A. (ed.). IPCC 2022: summary for policymakers. In: PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E.S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA B. (ed.). **Climate change 2022**: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2022. p. 3-33. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

LAPA, C. H. A.; CAMPOS, C. G. C.; QUADRO, M. F. L.; RUFATO, D. P. Precipitation patterns and their variability in the southern region of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, p. 1521-1542, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1521-1542>.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, p. 323-331, 2017.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 151-152.

UNITED STATES. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate Prediction Center**. Disponível: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso: 10 out. 2024.

ONU. ONU confirma que 2023 bate recorde de temperatura global. **Notícias**, 12 jan. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/257750-onu-confirma-que-2023-bate-recorde-de-temperatura-global>. Acesso em: 10 out. 2024.

RIO GRANDE DO SUL - Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2018. Escala 1:25.000 – BCRS25. Versão 1.0 – 2018. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>. Acesso em: 10 out. 2024.

TAVARES, P. S.; ACOSTA, R.; NOBRE, P.; RESENDE, N. C.; CHOU, S. C.; LYRA, A. A. Water balance components and climate extremes over Brazil under 1.5 °C and 2.0 °C of global warming scenarios. **Regional Environmental Change**, v. 23, n. 40, p. 1-16, 2023. DOI: 10.1007/s10113-023-02042-1.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Global Annual to Decadal Climate Update: 2024-2028**. Geneva, 2024, 27 p. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>. Acesso em: 10 out. 2024.

Capítulo 2

Avaliação do relevo e identificação de áreas de risco geológico e impactadas pela catástrofe climática em 2024

Rosemary Hoff

Introdução

Os deslizamentos de terra são alguns dos desastres mais comuns no mundo, vitimando milhares de pessoas, moradias e infraestruturas a cada ano. Os movimentos de massas contendo sedimentos e solos, leitos rochosos e blocos de rochas ocorrem até mesmo em encostas inteiras de montanhas, sendo geralmente induzidos pela força gravitacional. Existem inúmeras forças contribuintes para um deslizamento de terra, muitas das quais podem ser monitoradas ou observadas por meio de dados de sensoriamento remoto. As chuvas intensas ou prolongadas são as causas mais frequentes de deslizamentos de terra, pois reduzem o atrito entre os materiais e aumentam a pressão da água dentro dos poros do solo e da rocha, aumentando a probabilidade de fraturas (Bitar, 2014), a exemplo do que ocorreu no Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024.

Cabe registrar que dados de observações da terra são disponibilizados gratuitamente pela Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (Nasa) e pela Agência Espacial Europeia (ESA), sendo informações importantes para estimar os riscos de deslizamentos de terra, por meio de imagens de satélite com frequência adequada, como é o caso do satélite Sentinel 2, a cada cinco dias.

Dentro desse contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), juntamente com diversos parceiros, realizou levantamentos a fim de avaliar as consequências associadas aos fenômenos climáticos severos ocorridos, sobretudo, em 2024 no Rio Grande do Sul. Levando-se em conta que a Serra Gaúcha foi uma das regiões mais impactadas, conduziu-se um estudo bastante aprofundado referente a esta região. Para tanto, as-

sumiu-se como dimensão geográfica oficial a microrregião de Caxias do Sul, onde a vitivinicultura é bastante concentrada e ocorre numa grande área (Mello; Machado, 2017), assim como a fruticultura em geral. Nessa microrregião do bioma Mata Atlântica, essas culturas foram muito afetadas pelos eventos climáticos ocorridos desde a metade do ano de 2023, intensificados em abril e maio de 2024, mostrando a grande susceptibilidade regional aos riscos geológicos, principalmente escorregamentos e alagamentos, além de rastejos de solo.

Em termos específicos, a microrregião citada, de acordo como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2024), é composta pelos seguintes municípios: Antônio Prado, Bento Gonçalves, Boa Vista do Sul, Carlos Barbosa, Caxias do Sul, Coronel Pilar, Cotiporã, Fagundes Varela, Farroupilha, Flores da Cunha, Garibaldi, Monte Belo do Sul, Nova Pádua, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira, Santa Tereza, São Marcos, Veranópolis e Vila Flores.

De maneira geral, neste capítulo, buscou-se avaliar os riscos geológicos ocasionados pelas chuvas intensas de abril e maio de 2024, por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a microrregião de Caxias do Sul. Em termos específicos, cinco foram os objetivos estabelecidos: 1) identificar os escorregamentos por meio de imagem de satélite de média resolução espacial; 2) avaliar áreas de risco geológico por meio de imagens de altimetria e declividade; 3) cruzar dados de mapas diversos (ex.: solo, geológicos, uso e cobertura da terra) de maneira a identificar áreas afetadas e/ou com potenciais riscos de alagamentos/encharcamentos e escorregamentos; 4) identificar áreas a serem alertadas para monitoramento; e 5) disponibilizar dados vetoriais, imagens e mapas cartográficos no Banco de Dados Geográficos da Embrapa (GeoInfo).

Técnicas utilizadas e detalhamento do relevo e das áreas impactadas pelos escorregamentos

A microrregião Caxias do Sul totaliza 4.969,71 km², limitada pelas seguintes coordenadas geográficas:

- Latitude: S 28° 47' 37.738" a S 29° 25' 22.024".
- Longitude: O 50° 46' 55.712" a O 51° 49' 18.149".

Nessa microrregião, a principal atividade agropecuária é a viticultura, que, em grande parte, está concentrada nos municípios onde houve a maioria dos eventos catastróficos de abril e maio de 2024 como, por exemplo, Bento Gonçalves, Pinto Bandeira, Farroupilha e Veranópolis. A partir de dados do cadastro vitícola (2024), destaca-se que, da área total de vinhedos da microrregião, em 2015 tinham sido georreferenciados 15.885 hectares (Figura 2.1).

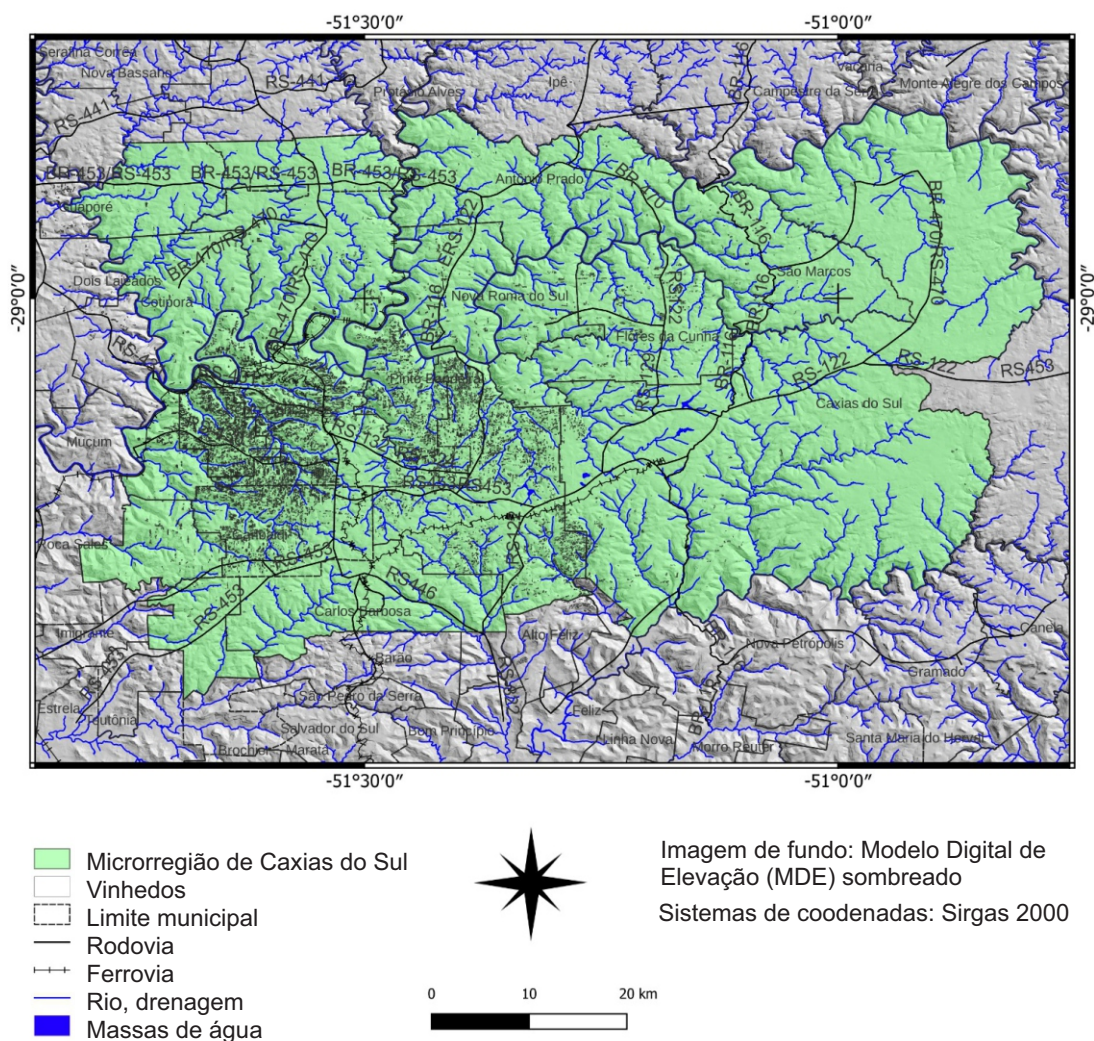


Figura 2.1. Área da microrregião Caxias do Sul com os vinhedos georreferenciados sobrepostos.

Elaboração: Rosemary Hoff.
Fonte: IBGE (2022).

Todos os dados georreferenciados foram processados no programa livre de Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS versão 3.34 (QGIS, 2024).

Foi realizada uma análise básica remota de riscos de escorregamento e de inundação e/ou encharcamento, utilizando-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do Copernicus (European Space Agency, 2021), com 30 m de resolução. As declividades foram calculadas no QGIS pelo módulo

slope em porcentagens e classificadas pelo módulo *r.reclass* nos seguintes intervalos: até 3%, mais de 3 a 15%, mais de 15 a 30%, mais de 30 a 45% e mais de 45%. Buscou-se a conformidade com o Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012), além de delimitar zonas potencialmente suscetíveis a escorregamentos e rastejo de solo, assim como as áreas com declives menores do que 3%, com potencialidade para alagamentos e/ou encharcamento.

Para delimitar áreas de escorregamentos, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2 (European Space Agency, 2024), sendo testada, inicialmente, uma classificação supervisionada (automática) de imagem Sentinel 2 a fim de separar as cicatrizes de escorregamentos dos outros usos da terra. Porém, o comportamento espectral dessas áreas mostrou semelhança com áreas de solo exposto, áreas alagadas que contêm sedimentos, áreas urbanas e áreas de mineração. Assim, optou-se por avaliar visualmente e digitalizar as cicatrizes dos escorregamentos na microrregião de Caxias do Sul sobre imagens Sentinel 2 de 21/05/2024 e 02/06/2024, para o recobrimento total da região estudada.

Os mapas foram elaborados com informações básicas com as camadas obtidas pelo IBGE (2022), como municípios, rodovias, ruas, ferrovias, rios, drenagens e massas de água. Além disso, os mapas contiveram uma camada com imagem de fundo do MDE sombreado.

O recorte dos temas obtidos de outras instituições, bem como produzidos neste estudo, foi feito pelo módulo do QGIS “recortar por camada de máscara” (QGIS, 2024). As áreas das classes de todos os temas abordados neste estudo foram calculadas no QGIS, conforme a expressão: CASE WHEN "CLASSE" = 'x' THEN "AREA" END. Para identificar as áreas de convergência hídrica foi utilizado o *plugin* do QGIS “SAGA Next Gen – Terrain Analysis – Convergence index” sobre o MDE, com 30 m de resolução espacial.

Foram feitas visitas a campo por técnicos da Embrapa e instituições parceiras como o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) e a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (Emater-RS), identificando locais afetados e as possíveis causas de desastres, bem como vinhedos remanescentes com cicatrizes de subsidências de solo. A partir disso, optou-se por gerar mapas de convergência/divergência hídrica mediante emprego do modelo digital de elevação de 30 m, a fim de cruzar com dados de áreas de vinhedos para gerar subsídios que contribuam com planos e ações para, por exemplo, melhorar o manejo do solo e evitar perdas de área agrícola por deslizamentos de terra, subsidências e *creep* (rastejo de solo), bem como alertar e sugerir o monitoramento das mesmas.

Os resultados deste estudo para a área da microrregião Caxias do Sul foram, primeiramente,

voltados para a identificação de cicatrizes de escorregamentos e seu cálculo sobre dados secundários de uso da terra, solos e geologia.

Foi elaborado um mapa de declividade classificada a fim de quantificar os riscos associados com diferentes níveis de inclinação do terreno na área estudada. Esses dados foram também cruzados com as áreas de escorregamentos, a fim de avaliar as declividades nessas áreas críticas e colapsadas.

Especificamente para os vinhedos mapeados (georreferenciados) pelo cadastro vitícola, foram cruzados os dados de declividades e de escorregamentos. Para evidenciar ainda mais os principais problemas observados na área rural afetada pela catástrofe climática, foi realizado um estudo de caso em uma propriedade com vinhedos impactados na localidade de Matos, no município de Bento Gonçalves, RS. Uma imagem Planet com 3 m de resolução espacial foi utilizada a fim de avaliar a situação antes e após o evento catastrófico, sendo identificados escorregamentos e zonas de convergência hídrica. A imagem de MDE foi reamostrada para 5 m, adequando-se à resolução da Planet, a fim de identificar áreas de risco geológico potencial por declividade.

Importante enfatizar que todo o conjunto de mapas e os dados vetoriais foram depositados no GeoInfo (Embrapa, 2024).

Informações regionais

Uso da terra na microrregião de Caxias do Sul

Para este tema, foi utilizada a informação do MapBiomias, projeto de levantamento de uso da terra a partir da classificação de imagens de satélite Sentinel 2, pelo qual foi gerado um produto com 10 m de resolução espacial e dezenas de classes de uso (MapBiomias, 2022). Os vinhedos do cadastro vitícola foram rasterizados sobre a imagem recortada da área da microrregião Caxias do Sul (IBGE, 2024), sendo posteriormente vetorizada para gerar o cálculo das classes de uso e cobertura da terra. A Figura 2.2 mostra o recorte da imagem mais atualizada do MapBiomias na microrregião, tendo sobrepostos os vinhedos georreferenciados do cadastro vitícola de 2015, resultando num produto vetorial capaz de fornecer as áreas das classes, as quais são mostradas na Tabela 2.1.

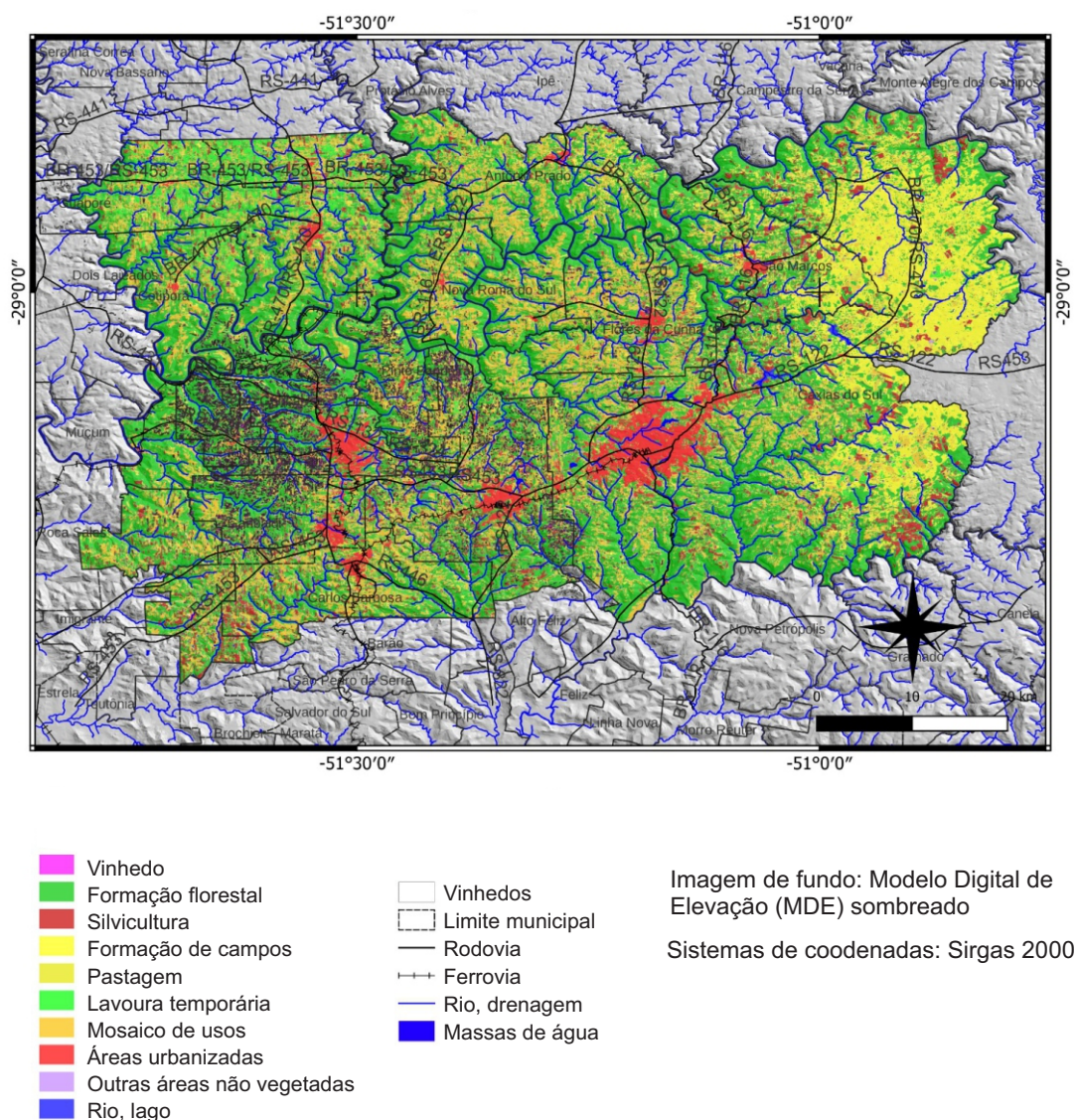


Figura 2.2. Uso da terra na microrregião Caxias do Sul.
Elaboração: Rosemary Hoff.
Fonte: MapBiomias (2022).

Tabela 2.1. Classes de uso e cobertura da terra na microrregião de Caxias do Sul.

Código MapBiomias	Classe de uso	Área (ha)	Porcentagem (%)
2 ⁽¹⁾	Vinhedo	15.885	3,2
3	Formação florestal	247.340	49,8
9	Silvicultura	34.337	6,9
11	Campo alagado/área pantanosa	53	0,0
12	Formação campestre	49.174	9,9
15	Pastagem	5.819	1,2
19	Lavoura temporária	10.001	2,0
21	Mosaico de uso (inclusive lavoura permanente)	108.307	21,8
24	Área urbana/antropizada	19.862	4,0
25	Outra área não vegetada	1.491	0,3
33	Rio/lago	4.702	0,9
Total		496.972	100,0

⁽¹⁾ Dados georreferenciados pelo Cadastro Vitícola de 2015, rasterizada sobre a imagem do MapBiomias (2022).

Na microrregião, a classe de uso predominante da terra é a formação florestal, representando as matas nativas, secundárias, primárias e outras. Essa classe ocupa principalmente as áreas íngremes dos vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Cai, bem como seus afluentes principais.

A classificação de imagem possivelmente foi dificultada pelo sombreamento nas áreas íngremes, razão pela qual outros usos podem estar incluídos

nessa classe, como fruteiras, vinhedos em condução latada e florestas plantadas, o que também foi observado por Hoff et al. (2024).

Solos na microrregião de Caxias do Sul

Para avaliar os tipos de solos afetados pelo evento climático de abril e maio de 2024, foi utilizado o levantamento na escala 1:50.000 (Flores et al., 2007) da microrregião de Caxias do Sul, conforme mostra a Figura 2.3. A Tabela 2.2 apresenta distri-

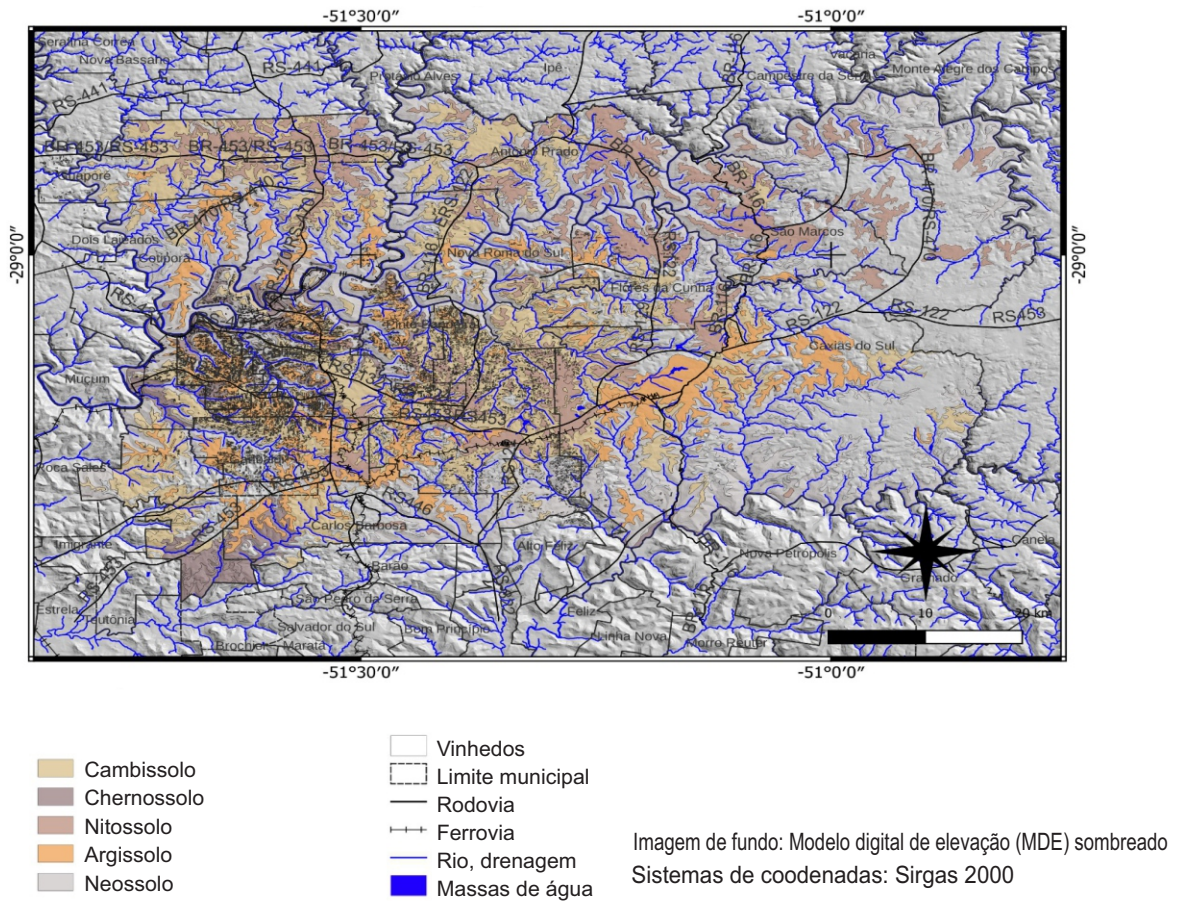


Figura 2.3. Solos da Microrregião Caxias do Sul.
Elaboração: Rosemary Hoff.
Fonte: IBGE (2022).

Tabela 2.2. Classes de solo na microrregião de Caxias do Sul.

Classe de solo por simbologia	Classe de solo	Área (ha)	Porcentagem (%)
CXbd 1, CXbd 10, CXbd 13, CXbd 14, CXbd 2, CXbd 4, CXbd 6, CXbd7, CXbd 8, CXbd 9, CXve 1	Cambissolo	201.411	40,5
MTf, MXo 1, MXo2, MXo 3, MXo 4, MXo 5, MXo 6	Chernossolo	19.822	4,0
NBd 1, NBd 8, NVdf 2, NVef 6	Nitossolo	52.501	10,6
PACd 1, PACd 3, PACd 5, PVd 2, PVd 4	Argissolo	58.737	11,8
RLd 3, RLe 1, RLe 2	Neossolo	164.500	33,1
Total		496.972	100,0

Fonte: Santos et al. (2018).

buição por área dos tipos de solo, onde as subclasses do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018) foram agrupadas em cinco classes de solo.

A classe de solo predominante foi o Cambissolo (40,53%), seguida pela classe Neossolo (33,10%), que ocupa as áreas íngremes dos vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como seus afluentes principais. As áreas dos Argissolos foram se-

melhantes às áreas dos Nitossolos (11,81 e 10,56%). Os Chernossolos ocupam a menor área (3,99%).

A microrregião mostra o limite das unidades geomorfológicas Serra Geral e Planalto dos Campos Gerais, esculpidas sobre rochas do Grupo Serra Geral (Horn et al., 2022), conforme mostra a Figura 2.4. A área possui fatores naturais e aliados à geodiversidade regional, implicando a formação de solos e relevos diferenciados.

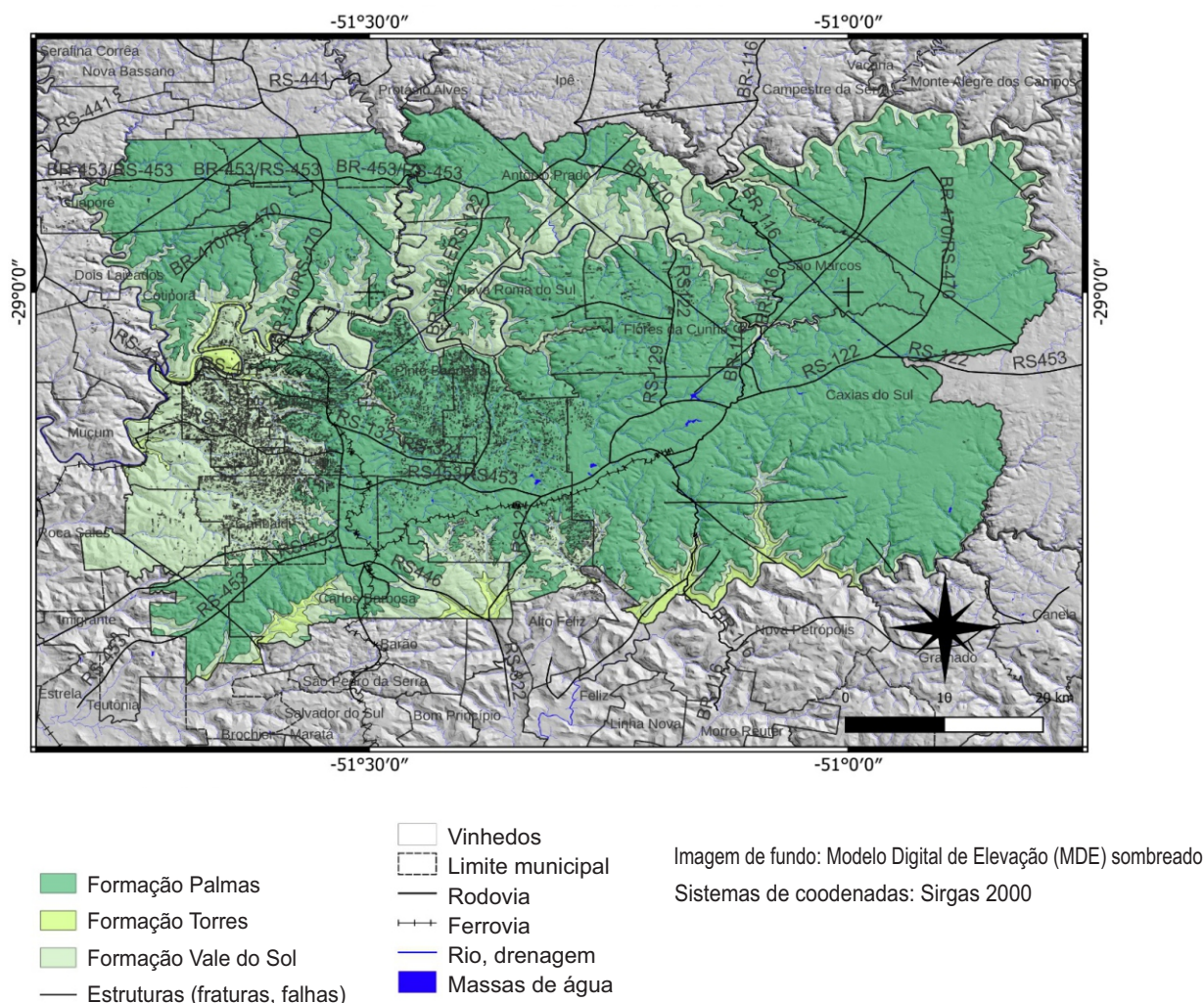


Figura 2.4. Microrregião de Caxias do Sul. Geologia da microrregião Caxias do Sul.

Elaboração: Rosemary Hoff.

Fonte: IBGE (2022); Mapbiomas (2022).

Na área ocorrem formações que são compostas desde basaltos de 132 milhões de anos, granulares finos a médios, melanocráticos, até rochas intermediárias a ácidas (riodacíticas) de 131 milhões de anos, mesocráticas, granulares finas a microfaneríticas. Os horizontes superiores apresentam disjunção colunar bem desenvolvida e as partes centrais dos derrames são maciças, podendo apresentar estruturas de fluxo laminar e dobras.

O relevo foi originado na era Mesozóica por intenso vulcanismo fissural, havendo platôs com escarpas íngremes, sendo o arcabouço estrutural formado por fraturas e falhas que condicionam a padrões de drenagem angulares e o entalhe das vertentes retilíneas.

As áreas cultivadas com vinhedos, em geral, se situam sobre zonas de maior altitude e menor declividade, relativas aos topos dos platôs, onde

dominam rochas ácidas a intermediárias, contendo Argissolos, Cambissolos e Nitossolos. Nas áreas íngremes sobre rochas básicas, ocorrem Neossolos e Chernossolos situados nos patamares inferiores, havendo menor área cultivada atualmente, o que difere de décadas passadas, quando a mecanização era precária na microrregião.

A unidade litoestratigráfica predominante é a Formação Palmas (71,9%), composta predominantemente por auto-brecha, riodacito, riolito e dacito,

ocupando as áreas superiores do relevo da microrregião de Caxias do Sul (Tabela 2.3). A Formação Vale do Sol (25,9%) é formada por basaltos que ocupam as áreas íngremes dos vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como seus afluentes principais e também as áreas de menor altitude a sudoeste, sul e sudeste da área. No fundo dos vales dos rios Taquari-Antas e Caí ocorre a Formação Torres, contendo basaltos e andesitos basálticos com 2,2% de área.

Tabela 2.3. Geologia da microrregião de Caxias do Sul.

Unidade litoestratigráfica	Área (ha)	Porcentagem (%)
Formação Palmas (auto-brecha, riodacito, riolito, dacito)	357.312	71,9
Formação Vale do Sol (andesitos basálticos)	128.609	25,9
Formação Torres (basaltos e andesitos basálticos)	11.051	2,2
Total	496.972	100,0

Fonte: Horn et al. (2022).

Áreas de escorregamentos ocorridos em abril e maio de 2024

Foram obtidos, por digitalização, 674 polígonos, correspondendo às cicatrizes de deslizamentos de terra ocasionados por movimentos de massa, totalizando uma área de 1.267 hectares. A Figura 2.5 mostra a situação de um escorregamento no Vale do Rio Taquari-Antas, divisa entre os

Bento Gonçalves e Cotiporã, onde tem-se a encosta íngreme coberta em parte por floresta, vinhedos e outros cultivos. Enquanto a Figura 2.5A mostra a situação anterior às chuvas de abril e maio de 2024, a Figura 2.5B traz a imagem do satélite Sentinel 2 de 21/05/2024, apresentando um escorregamento de grande magnitude recobrimdo quase toda a encosta, desde o topo até a margem do rio.

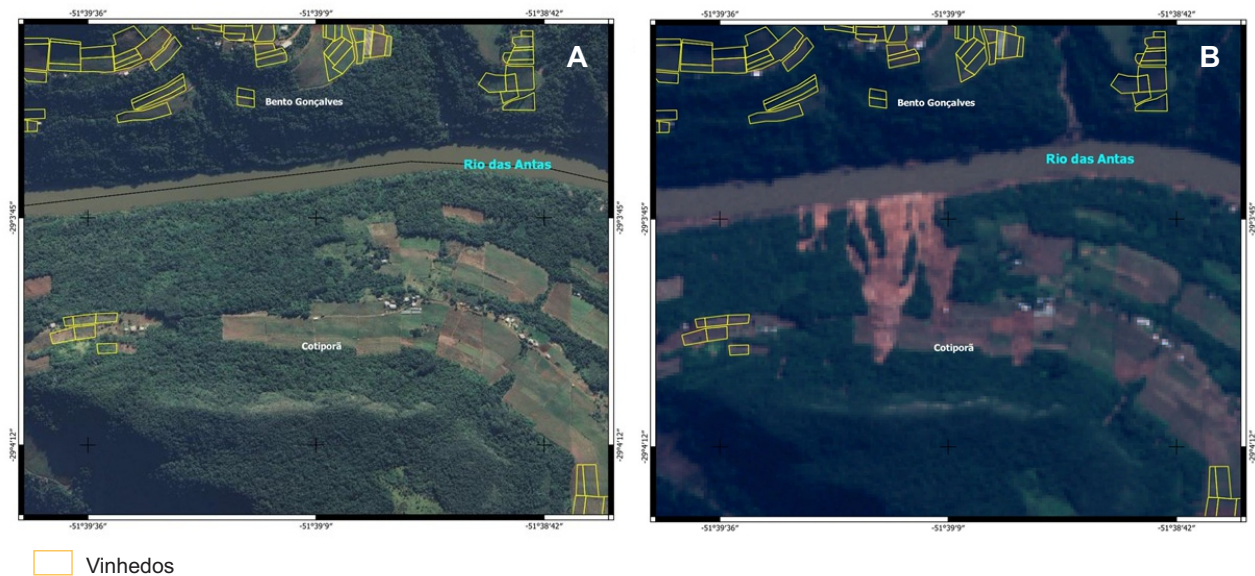


Figura 2.5. Exemplificação de área de encosta sem e com deslizamento no Vale do Rio Taquari-Antas, na divisa entre os municípios de Bento Gonçalves e Cotiporã: (A) Antes, em 07/03/2024, em imagem do Google Earth; (B) Depois, em 21/05/2024, em imagem do satélite Sentinel 2.

A Figura 2.6 apresenta um recorte de parte dos municípios de Bento Gonçalves, Cotiporã e Veranópolis, cuja área foi bastante afetada por deslizamentos. As cicatrizes de escorregamentos

digitalizados a partir de imagem Sentinel 2, situados em terrenos com declives acentuados, se mostram na mesma situação topográfica da área de vinhedos, sendo alguns afetados.

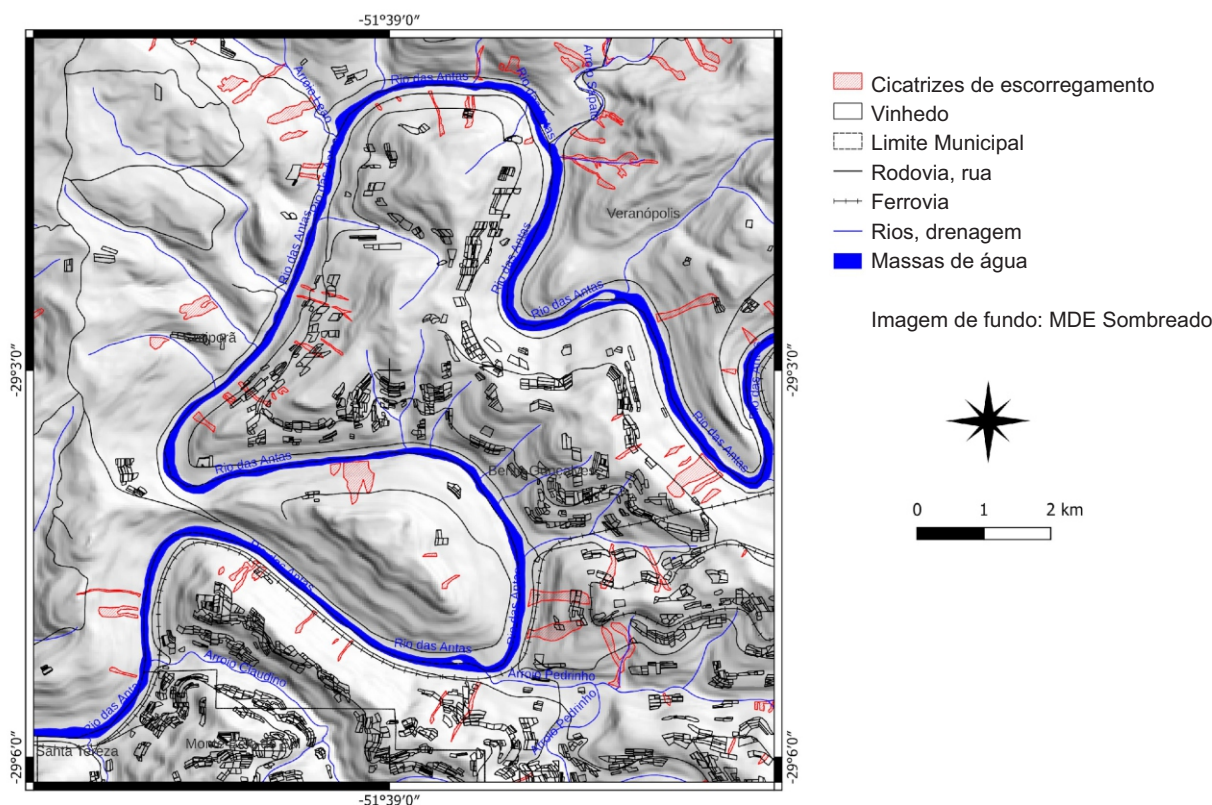


Figura 2.6. Microrregião de Caxias do Sul. Escorregamentos situados em terrenos com declives acentuados no vale do rio Taquari-Antas, mostrando vinhedos. Localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).

Elaboração: Rosemary Hoff.

Fonte: IBGE (2022).

Conforme já mencionado, a área com vinhedos predomina na zona mais elevada e com menor declividade na microrregião de Caxias do Sul. Contudo, podem ocorrer vinhedos nas áreas dos vales encaixados dos Rios Taquari-Antas e Caí e seus afluentes, a qual foi afetada pela ocorrência de escorregamentos causados pelos eventos climáticos de abril e maio de 2024.

As áreas de escorregamentos foram cruzadas com zonas de declividades: a) até 3%; b) entre mais de 3 a 15%; c) entre mais de 15 a 30%, d) entre mais de 30 a 45%; e e) maiores do que 45%. As declividades acima de 30% predominam nos vales encaixados dos rios principais e seus afluentes, quase sempre abaixo da cota 500 m. Estes locais se encontram sobre rochas basálticas e depósitos de gravidade nas encostas íngremes.

Ocorrem declives acentuados também em zonas de planaltos contíguos aos vales encaixados, o que corresponde aos resquícios dos derrames de topo formados por brechas vulcânicas, riolitos e riodacitos. No entanto, essas áreas com altitudes maiores do que 600 m apresentaram poucos deslizamentos de terra.

As áreas com declive até 3% estão distribuídas em duas situações de relevo: áreas com potencial para encharcamento, que ocorrem nas porções superiores do relevo, formando banhados de altitude acima de 600 m; e áreas com potencial de inundação, que ocorrem nas cotas mais baixas (60 a 200 m) dos vales dos rios Taquari e Antas no leste e sudoeste, bem como na bacia do rio Caí, a sudeste da região.

A Tabela 2.4 mostra a extensão, em área por declividades, dos terrenos atingidos pelos escorregamentos. A maior ocorrência deu-se em áreas com declividades maiores do que 45%, seguida pelas declividades entre mais de 30 a 45%. As áreas com declividade entre mais de 15 a 30% alcançaram 9% do total, possivelmente onde os escorregamen-

tos foram ocasionados a partir de áreas a montante, que desencadearam movimentos de massa que as recobriram. Nessas áreas também não se descartam as ocorrências de rastejos de solo e *creeping*, os quais não foram captados pelas imagens orbitais e portanto, necessitam de levantamentos mais detalhados e in loco.

Tabela 2.4. Áreas de escorregamentos ocorridos em 2024 e a declividade classificada na microrregião de Caxias do Sul.

Declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)
Escorregamento (declives até 3%)	2	0,1
Escorregamento (declives entre mais de 3 a 15%)	57	4,5
Escorregamento (declives entre mais de 15 a 30%)	114	9,0
Escorregamento (declives entre mais de 30 a 45%)	328	25,9
Escorregamento (declives maiores do que 45%)	765	60,4
Total	1.267	100,0

Usos da terra afetados por escorregamentos

Para avaliar os usos da terra afetados por escorregamentos foi utilizada uma imagem do Projeto MapBiomias originada por classificação de imagem Sentinel 2 de 2022 (MapBiomias, 2022). Essa imagem foi recortada pelos polígonos dos escorregamentos, como mostra o detalhe da Figura 2.7.

Como salientado anteriormente na Tabela 2.1, a classe de uso da terra predominante na microrregião de Caxias do Sul é a formação florestal, represen-

tando as matas nativas, secundárias, primárias e outras, ocupando principalmente as áreas íngremes dos vales encaixados dos rios Taquari, Antas e Caí, bem como seus afluentes principais. Cabe enfatizar que a forte inclinação dos terrenos, o sombreamento e a neblina criam dificuldades para identificar os usos da terra pelo sensor óptico do satélite Sentinel 2. Possivelmente, outros usos podem estar incluídos nessa classe, como fruteiras, vinhedos em condução latada e florestas plantadas. O detalhamento de superfícies de vinhedos e outros cultivos merecem melhores investigações.

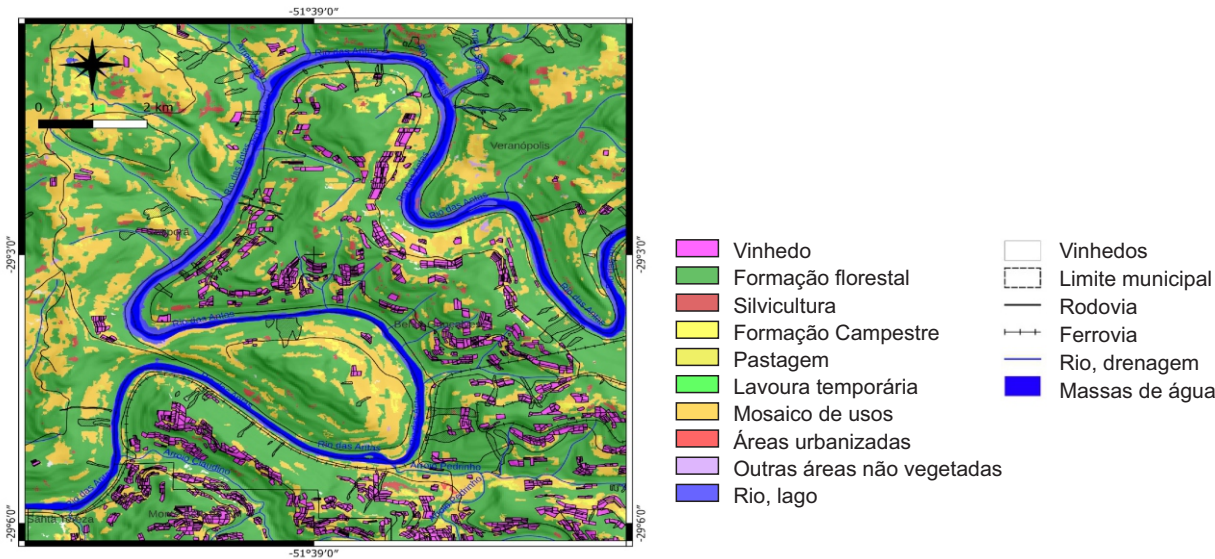


Figura 2.7. Microrregião de Caxias do Sul. Uso e cobertura da terra nas áreas de escorregamentos, por imagem classificada do satélite Sentinel. Detalhe das classes de uso da terra nos escorregamentos, comparada, com os vinhedos na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).
Elaboração: Rosemary Hoff.
Fonte: IBGE (2022).

Classes de solos afetados por
escorregamentos

Os solos afetados por escorregamentos estão situados em posições de relevo bem distintas, quais sejam sobre a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, onde as cotas são mais elevadas, acima de 500 m, apresentando relevo com baixa a média declividade. Nas áreas do Vale

do Rio Taquari-Antas e seus afluentes, a declividade é alta na maioria dos terrenos, em altitudes abaixo de 500 m, na Unidade Geomorfológica Serra Geral (IBGE, 2024). As áreas de escorregamentos foram cruzadas com as unidades de mapeamento de solo (Flores et al., 2007), cujo resultado é mostrado na Figura 2.8, com o quantitativo de áreas apresentado na Tabela 2.5.

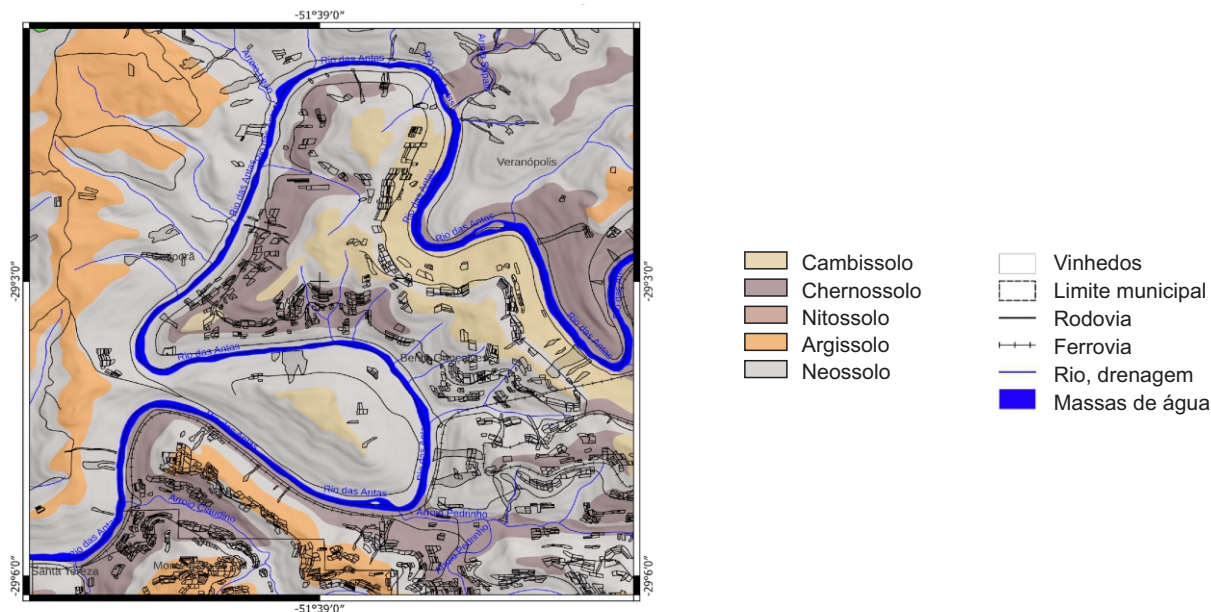


Figura 2.8. Microrregião de Caxias do Sul. Distribuição das classes de solo nas áreas de escorregamentos comparada com os vinhedos na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).
Elaboração: Rosemary Hoff.
Fonte: IBGE (2022).

Tabela 2.5. Classes de solo nas áreas de escorregamentos na microrregião de Caxias do Sul.

Código na camada	Classe de solo	Área (ha)	Porcentagem (%)
CXbd 1, CXbd 10, CXbd 13, CXbd 14, CXbd 2, CXbd 4, CXbd 6, CXbd7, CXbd 8, CXbd 9, CXve 1	Cambissolo	35	2,8
MTf, MXo 1, MXo2, MXo 3, MXo 4, MXo 5, MXo 6	Chernossolo	164	12,9
NBd 1, NBd 8, NVdf 2, NVef 6	Nitossolo	0	0,0
PACd 1, PACd 3, PACd 5, PVd 2, PVd 4	Argissolo	9	0,7
RLd 3, RLe 1, RLe 2	Neossolo	1.058	83,5
Total		1.267	100,0

Fonte: Santos et al. (2018).

Os tipos de solos afetados por escorregamentos são, na maior parte, Neossolos (83,5%) e, em menor porção, Chernossolo (12,91%) e Cambissolos (2,75%), os quais têm como substrato rochoso as rochas do Grupo Serra Geral (Horn et al., 2022). Predominam os andesitos basálticos sob as cicatrizes dos escorregamentos, os quais são pertencentes à Formação Vale do Sol, ocorrendo a

menos de 500 m de altitude, nos vales dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como em seus afluentes.

Em menor porcentagem, ocorrem solos afetados por escorregamentos em porções elevadas de planalto (Argissolos e Nitossolos), geralmente acima de 500 m, tendo-se como substrato as rochas ácidas da Formação Palmas, a exemplo de auto-brecha, riodacito, riolito e dacito.

Tipos de rochas afetadas por
escorregamentos

As principais rochas afetadas pelos escorregamentos foram os andesitos basálticos da Formação Vale do Sol (76,6%), as quais ocorrem nas porções declivosas dos vales dos rios Taquari-Antas e Caí e seus afluentes. Secundariamente, ocorrem rochas ácidas do tipo auto-brecha, riodacito, riolito e dacito

da Formação Palmas (18,5%). Em menor área (4,9%), foram afetados por escorregamentos os basaltos e andesitos basálticos da Formação Torres, os quais se situam nas partes baixas nas calhas dos rios Taquari-Antas e Caí.

A seguir, têm-se detalhes do mapa geológico com escorregamentos (Figura 2.9) e os quantitativos em área das rochas afetadas por escorregamentos (Tabela 2.6).

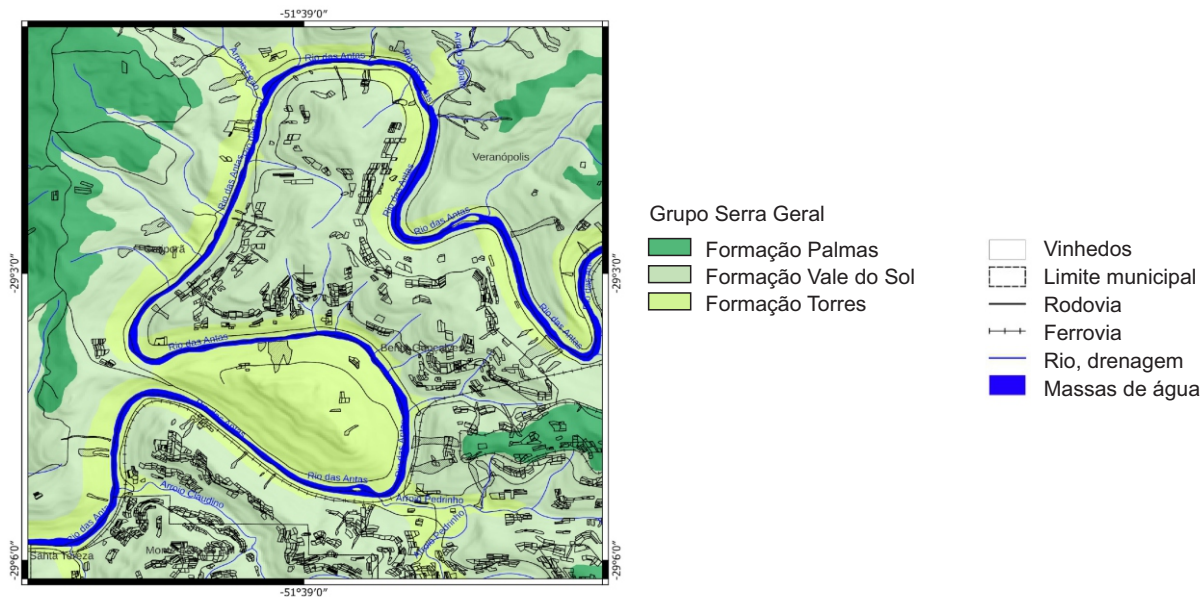


Figura 2.9. Microrregião de Caxias do Sul. Imagem dos tipos de rochas nas áreas de escorregamentos comparada com os vinhedos na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).
Elaboração: Rosemary Hoff.

Tabela 2.6. Tipos de rochas nas áreas de escorregamentos na microrregião de Caxias do Sul do Grupo Serra Geral.

Unidade litoestratigráfica	Área (ha)	Porcentagem (%)
Formação Palmas (auto-brecha, riodacito, riolito, dacito)	234	18,5
Formação Vale do Sol (andesitos basálticos)	970	76,6
Formação Torres (basaltos e andesitos basálticos)	62	4,9
Total	1.267	100,0

Fonte: Horn et al. (2022).

Áreas de risco geológico potencial
por declividade

Foram identificadas áreas com potencial para risco de escorregamentos nos seguintes intervalos de declividade: 1) até 3%; 2) mais de 3 a 15%; 3) mais de 15 a 30%; 4) mais de 30 e 45% e 5) maior do que 45%. Os terrenos declivosos acompanham os vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como de seus afluentes principais. As áreas com declives até 3% correspondem às áreas sobre os

planaltos, sendo suscetíveis a alagamentos e/ou encharcamentos, bem como áreas situadas no fundo dos vales encaixados dos rios principais a sudeste e sudoeste da área estudada da microrregião de Caxias do Sul.

As áreas com declividades entre mais de 3 a 15% foram consideradas como de menor potencialidade para riscos geológicos, sem descartar os casos específicos de áreas que se situam a jusante de áreas íngremes, principalmente nas encostas dos

vales dos rios Taquari-Antas e Caí e seus afluentes. As distribuições em áreas, bem como seus quantitativos em termos de risco geológico potencial na microrregião de Caxias do Sul, são mostrados na Figura 2.10 e Tabela 2.7 respectivamente.

A Figura 2.10 mostra um detalhe com vinhedos em áreas com declives diversos, sendo que as áreas com declives entre mais de 30 a 45% e, principalmente, maiores do que 45%, deveriam ser priorizadas em termos de alertas e monitoramentos.

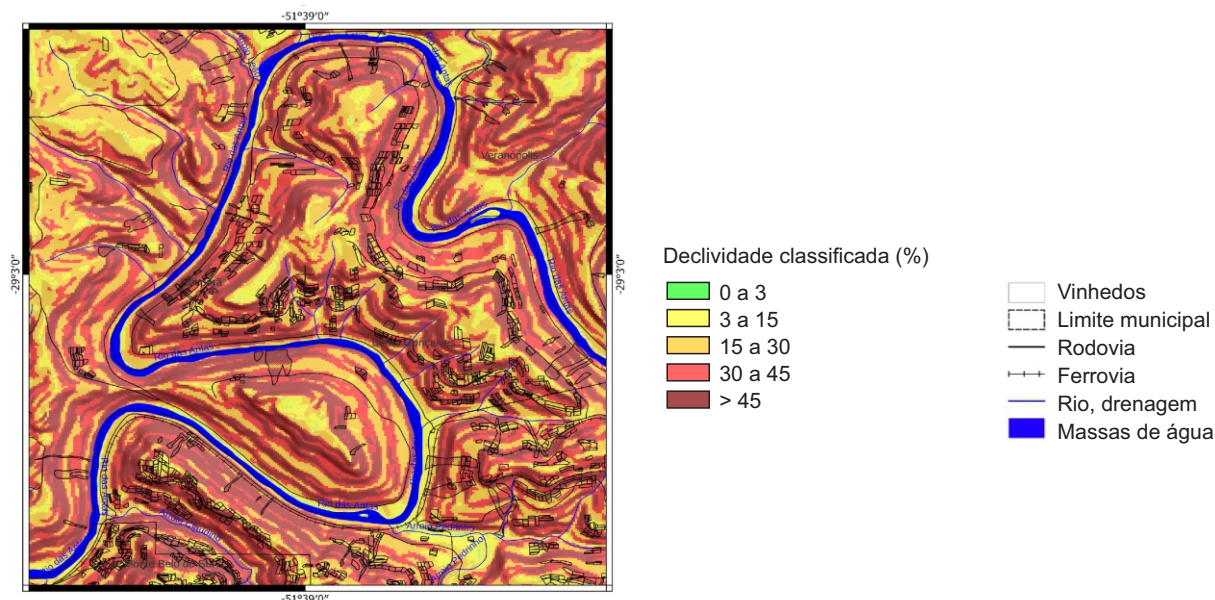


Figura 2.10. Imagem demonstrando declividade classificada, possibilitando a identificação das áreas de maior risco geológico potencial na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).

Elaboração: Rosemary Hoff.

Fonte: IBGE (2022).

Tabela 2.7. Áreas de risco potencial para escorregamentos e encharcamentos na microrregião de Caxias do Sul.

Declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)
Declive até 3% (maior potencialidade para alagamento/encharcamento)	6.888	1,4
Declive entre mais de 3 a 15% (baixa potencialidade para escorregamento)	178.208	35,9
Declive entre mais de 15 a 30% (média potencialidade para escorregamento)	155.466	31,3
Declive entre mais de 30 a 45% (alta potencialidade para escorregamento)	76.191	15,3
Declive maiores do que 45% (muito alta potencialidade para escorregamento)	80.218	16,1
Total	496.972	100,0

Áreas de risco hidrológico potencial por convergência

O risco hidrológico potencializa o risco geológico, pois promove o encharcamento do solo e das rochas, principalmente nos depósitos de gravidade, como elúvios e colúvios. Nas áreas de agricultura da microrregião de Caxias do Sul, os locais de convergência hídrica apresentam índices com valores negativos, sendo os valores positivos correspondentes às cumeeiras ou divisores de águas.

Observou-se, em campo, que o caminho de alguns escorregamentos e rastejos coincide com as áreas de convergência hídrica. O mapa de convergência hídrica pode também ser sobreposto aos outros usos da terra, a fim de avaliar o risco hidrológico.

As áreas de vinhedos contíguas às linhas de convergência devem ser tratadas com muita atenção, pois estão situadas em locais de alto risco de escorregamentos.

A Figura 2.11 mostra o mapa do índice de convergência hídrica em relação aos vinhedos e escorregamentos na localidade de Alcântara, próximo às divisas entre os municípios de Bento Gonçalves, Cotiporã e Veranópolis. Observa-se,

nessa figura, que nem todos os escorregamentos ocorreram nas áreas com índices de convergência negativa, possivelmente devido à resolução da imagem do MDE utilizado. Este fato sugere a utilização de MDE de alta resolução ou imagem de radar.

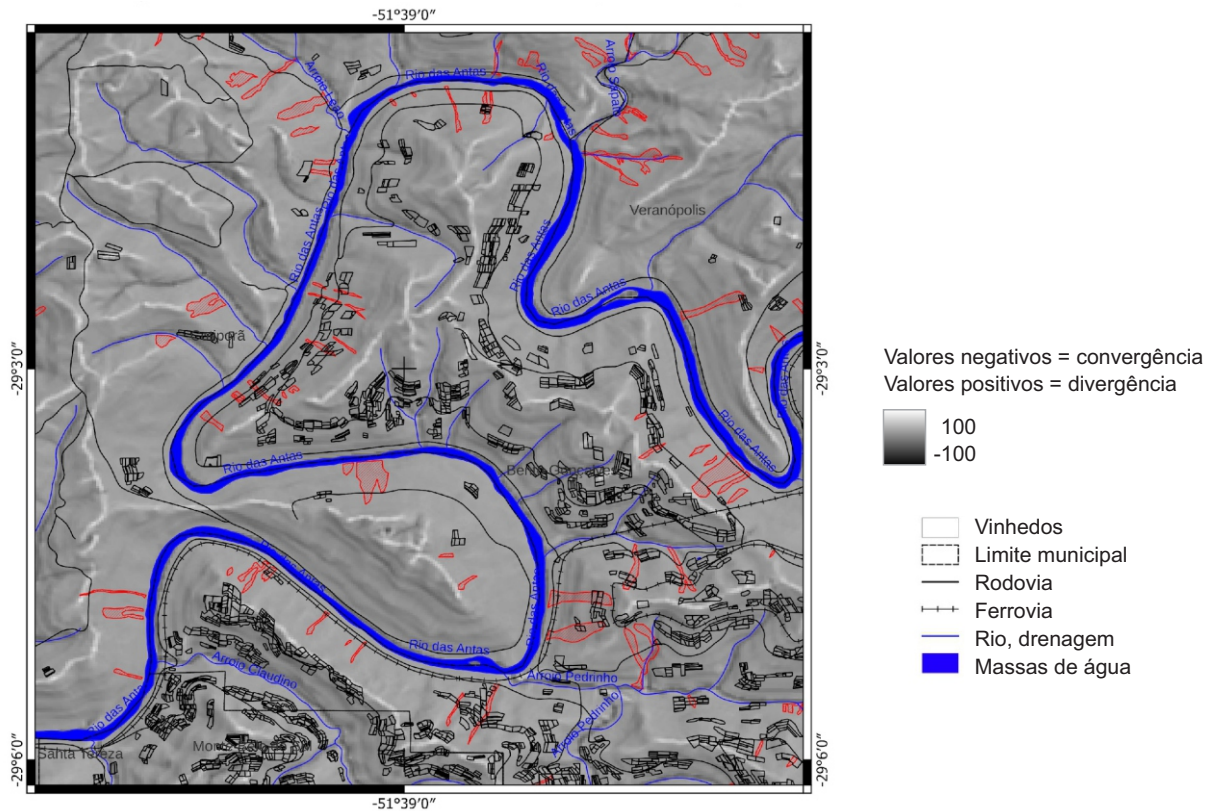


Figura 2.11. Imagem mostrando o índice de convergência hídrica na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS) com escorregamentos e vinhedos sobrepostos. Elaboração: Rosemary Hoff. Fonte: IBGE (2022).

A fim de indicar a localização dos vinhedos da microrregião de Caxias do Sul, foram utilizados dados de georrefenciamento associados ao cadastro vitícola de 2015. Nesse ano, do total de vinhedos em questão, 49,17% estavam georrefenciados, o que representa um número muito

significativo para representar a disposição espacial dos vinhedos dessa microrregião. Com base nessas informações, as áreas de declividades críticas para escorregamentos e encharcamentos potenciais foram cruzadas com os polígonos dos vinhedos, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.8.

Tabela 2.8. Disposição das áreas de vinhedos georreferenciados para escorregamentos/encharcamentos potenciais na microrregião de Caxias do Sul – Ano 2015.

Vinhedos com distintos potenciais de risco geológico	Área (ha)	Porcentagem (%)
Vinhedo em declive de até 3% (sujeito a alagamento ou encharcamento)	2.116	13,3
Vinhedo entre mais de 3 a 15% (menor risco geológico)	6.303	39,7
Vinhedo entre mais de 15 a 30% (médio risco geológico)	3.152	19,8
Vinhedo entre mais de 30 a 45% (alto risco de escorregamento)	2.950	18,6
Vinhedo maior do que 45% (altíssimo risco de escorregamento)	1.366	8,6
Total	15.885	100,0

Os vinhedos em áreas com declividades maiores do que 45% e entre mais de 30 a 45%, bem como áreas com declividade menores do que 3% devem ser alertados e monitorados quanto aos riscos geológicos potenciais, respectivamente, para escorregamentos e alagamentos/encharcamentos.

Estudo de caso

As Figuras 2.12 a 2.14 mostram um exemplo de um vinhedo visitado durante um trabalho de campo realizado no mês de julho de 2024, o qual foi bastan-

te afetado pelas enxurradas na localidade de Matos, município de Bento Gonçalves. Essa área foi avaliada a partir de imagens do satélite Planet com 3 m de resolução espacial (Brasil, 2024).

A Figura 2.12 mostra a área antes do evento catastrófico de abril e maio de 2024. Na Figura 2.13 pode-se evidenciar os escorregamentos na porção oeste dos vinhedos, os quais mostraram, a campo, rastejos de solo, mas que não são detectáveis remotamente. Além disso, uma zona de convergência foi marcada na Figura 2.13, confirmando os danos causados pelo caminho das águas da enxurrada.

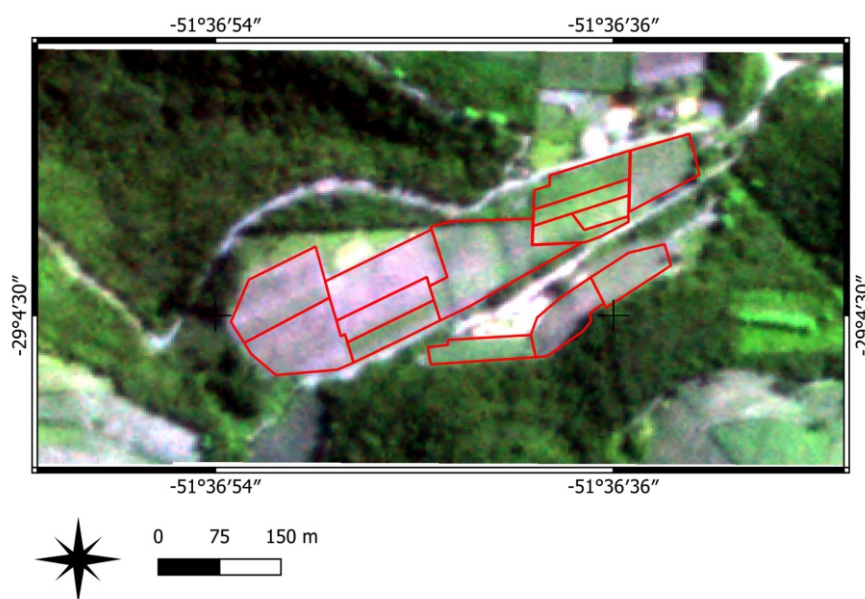


Figura 2.12. Imagem do satélite Planet BGR em 03/04/2024, em composição colorida natural, de época anterior ao evento catastrófico de abril e maio de 2024. Localidade de Matos, Bento Gonçalves, RS. Elaboração: Rosemary Hoff.

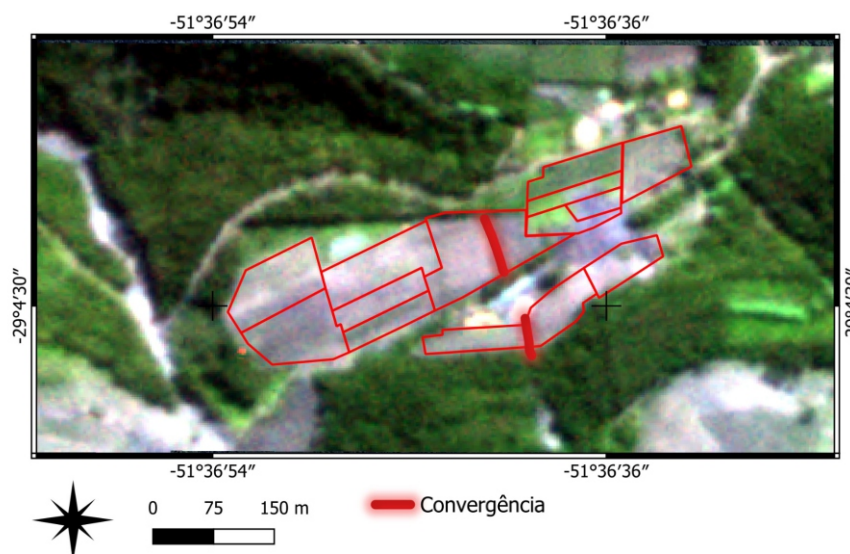


Figura 2.13. Imagem do satélite Planet, em composição colorida natural, de época após e durante o evento catastrófico (07/05/2024). As cicatrizes de escorregamentos afetam o entorno dos vinhedos, com a linha de convergência dividindo parcelas de vinhedos. Localidade de Matos, Bento Gonçalves, RS. Elaboração: Rosemary Hoff.

A Figura 2.14 apresenta o estudo sobre o MDE Copernicus (European Space Agency, 2021) reamostrado para 5 m, pelo qual foi obtida a declividade classificada, avaliando-se o risco geológico potencial, segundo os intervalos indicados na seção “Áreas de risco geológico potencial por declividade”. Os vinhedos estão próximos de

convergências e alguns sobre a faixa de maior declividade (maior do que 45%), mostrando elevado potencial em termos de risco geológico e hidrológico.

Esse tipo de observação é muito didática para ilustrar a necessidade de investimentos em sistemas de alerta e monitoramento para grande parcela da área da microrregião de Caxias do Sul.

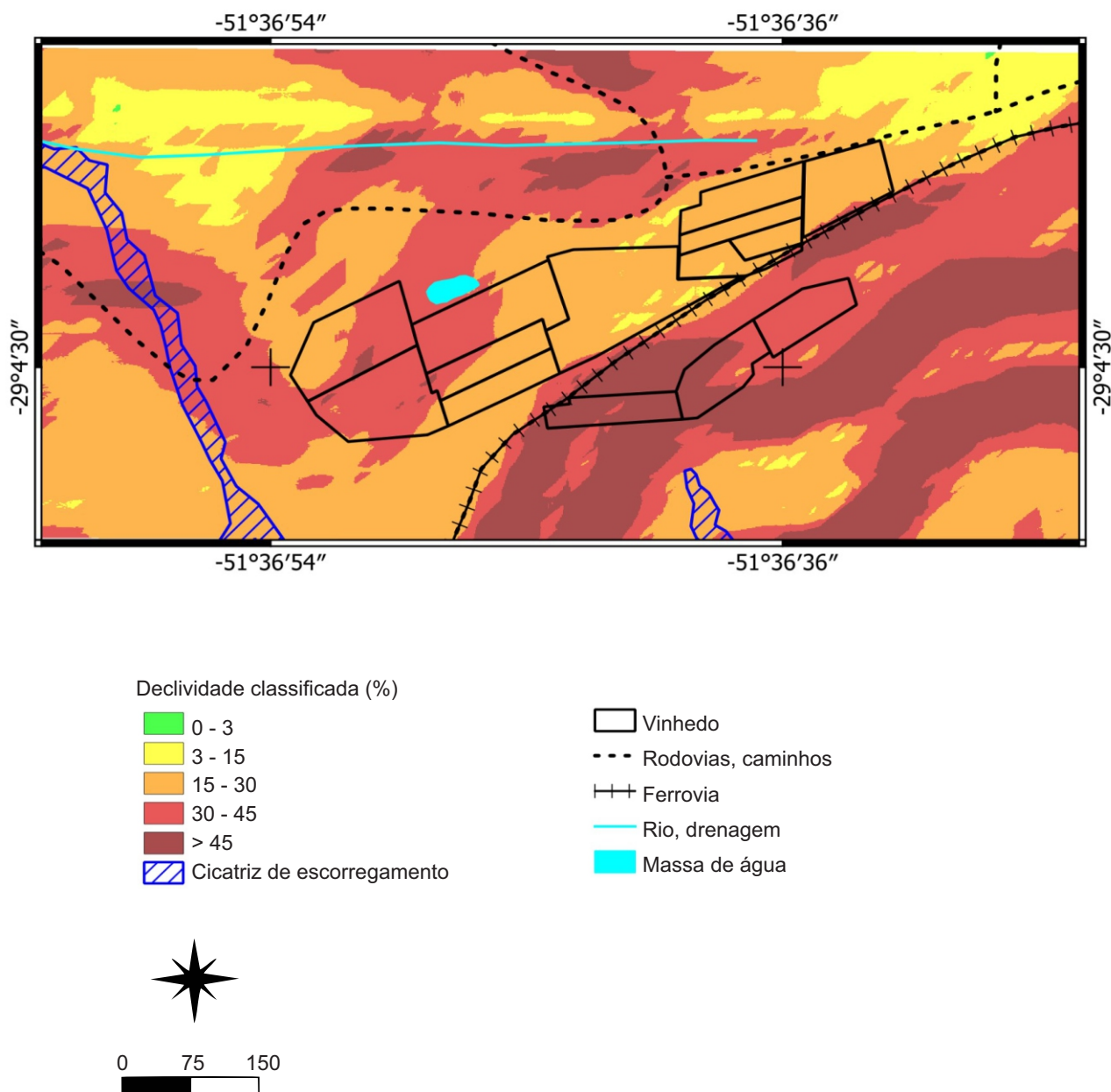


Figura 2.14. Estudo da declividade classificada para riscos geológicos, mostrando vinhedos em áreas de risco geológico alto (> 45%). Localidade de Matos, Bento Gonçalves, RS.
Elaboração: Rosemary Hoff.

Disponibilização de dados do GeoInfo

Os dados deste capítulo estão disponíveis na plataforma GeoInfo da Embrapa a partir dos links listados na tabela 2.9.

O GeoInfo é um repositório destinado à inserção, ao tratamento e à disponibilização de arquivos vetoriais e matriciais, que permite a inclusão de documentos de diferentes extensões.

Tabela 2.9. Acesso aos dados do relevo e das áreas de risco no Conselho Regional de Desenvolvimento da Serra 2024.

Mapa ou vetor	Link no GeoInfo
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de áreas de risco por declividade.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6044
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de uso de terra.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6043
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de geologia por escorregamentos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6041
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de solos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6040
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa do índice de convergência.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6039
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de declividade classificada por escorregamentos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6042
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de uso da terra por escorregamentos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6038
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de solos por escorregamentos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6037
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de escorregamentos.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6045
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de municípios.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6463
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de risco geológico, encharcamento e alagamento.	https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6048

Considerações finais

Observou-se que a maior perda de área ocasionada pelos escorregamentos na microrregião Caxias do Sul foi da classe de uso Formação Florestal, apontada pelo levantamento do MapBiomias (2022), a qual ocorre na parte mais declivosa dos vales do rio Taquari-Antas e Rio Caí, onde incidem os escorregamentos identificados sobre imagens Sentinel 2 entre maio e junho de 2024. O levantamento por imagens de satélite mostrou áreas de vinhedos menos afetadas pelos escorregamentos mapeados do que outros usos. No entanto, a classe “Mosaico de usos” deve ser mapeada mais detalhadamente, desmembrada em outros usos que podem ter sido incluídos no levantamento por classificação digital de imagem do MapBiomias.

Conforme levantamentos realizados por diversas instituições ligadas ao setor vitivinícola da Serra Gaúcha, como Emater-RS, Embrapa, cooperativas

e indústrias vinícolas, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), Instituto de Gestão, Planejamento e Desenvolvimento da Vitivinicultura do Estado do Rio Grande do Sul (Consevitis), sindicatos rurais e outros, estima-se que ao redor de 300 hectares de vinhedos da microrregião tiveram danos significativos em decorrência dos eventos climáticos em discussão. Os danos nessas áreas foram de diversos tipos, envolvendo, por exemplo, escorregamentos, rastejos e quedas de blocos.

Com relação às imagens de satélite para captar esses danos, é relevante assinalar que, pela classificação dessas imagens, pode haver confundimento de vinhedos em sistema de condução latada com florestas.

De maneira sintética, é possível inferir que os escorregamentos ocorreram, geralmente, abaixo da cota 500 m, correspondendo aos vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como seus afluentes principais. Nessa área, ocorre a maior parte

das áreas íngremes da microrregião, incluídas nas classes de declives acima de 30%. Os tipos de solos afetados foram os Neossolos e as rochas mais atingidas foram os andesitos basálticos e basaltos da Formação Vale do Sol. Nessa área, há formação de depósitos de gravidade, predominantemente colúvios, suscetível a deslizamentos pela fragilidade do material associado ao relevo íngreme.

Acima da cota 500 a 600 m, aproximadamente, os terrenos são menos declivosos, correspondendo às áreas da Formação Palmas do Grupo Serra Geral (rochas ácidas) e ao relevo de platô, onde se situam os Chernossolos, Argissolos, Cambissolos e Nitossolos.

Recomenda-se monitorar a microrregião de Caxias do Sul por meio de imagens Sentinel 2 (10 m), abrangendo a escala regional após períodos de altas precipitações a fim de obter uma série histórica de escoamentos e inundações.

Na escala de propriedade, recomenda-se obter imagens com melhor resolução, como Planet (3 m), podendo também serem realizados sobrevoos com drones para mapeamento detalhado de áreas afetadas visando a auxiliar na definição de práticas de manejo que minimizem os efeitos adversos das catástrofes climáticas.

Referências

- BITAR, O. Y. (coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações**: 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014. 42 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16588>. Acesso em: 24 set. 2024.
- BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Programa Brasil MAIS**: meio ambiente integrado e seguro: Subprograma de Consciência Situacional por Sensoriamento Remoto. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://plataforma-pf.scon.com.br/#/>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 102, s. 1, p. 1-8, 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 17 fev. 2025.
- CONSELHO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SERRA: Corede-Serra. 2024. Disponível em: <https://www.coredeserra.org.br/>. Acesso em: 24 set. 2024.
- EMBRAPA. **Geoinfo**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/dados-espaciais>. Acesso em: 24 set. 2024.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2 MSI user guide**. 2024. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Global Digital Elevation Model**. [S.l.]: Open Topography, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- FLORES, C. A.; PÖTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; HASENACK, H.; WEBER, E. **Levantamento semidetalhado de solos**: Região da Serra Gaúcha - Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.
- HORN, B. L. D.; OLIVEIRA, A. A.; SIMÕES, M. S.; BESSER, M. L.; ARAÚJO, L. L. **Mapa geológico da Bacia do Paraná, 2022**. Brasília, DF: CPRM, 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23037>. Acesso em: 24 set. 2024.
- IBGE. **Rio Grande do Sul**: malha municipal 2022. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2022/UFRS/RS_RS_Municipios_2022.zip. Acesso em: 24 set. 2024.
- IBGE. **Malha municipal**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 24 set. 2024.
- MAPBIOMAS BRASIL. **Coleção Beta de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial**. 2022. Disponível em: <https://brasil/mapbiomas.org.mapbiomas-cobertura-10m/>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. **Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul**: 2013 a 2015. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 85 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176223/1/ebookA4-5.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- QGIS DOCUMENTATION. **Guia do Usuário QGIS**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.-cobertura-10m>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; 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. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>.

Capítulo 3

Aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, processos erosionais e suas interatividades

Gustavo Ribas Curcio

Annete Bonnet

João Bosco Vasconcellos Gomes

Larissa Hadassa Rodrigues de Queiroz

Introdução

A região contexto deste capítulo está inserida na bacia intracratônica vulcano-sedimentar do Paraná, localizada mais especificamente na porção centro-leste do continente sul-americano, com área superior a 1,5 milhão de quilômetros quadrados (Milani, 1997).

As unidades litoestratigráficas de origem vulcânica são precedidas e sucedidas por pacotes sedimentares, posicionados desde idades Neoordovicianas até Neocretácicas (Milani, 2004), ou seja, em torno de 400 milhões de anos, envolvendo três ciclos transgressivos-regressivos (Zalán, 2004).

Como um dos estados sul-brasileiros pertencentes a essa bacia tem-se o Rio Grande do Sul, em que a área a ser abordada (planalto gaúcho), é constituída por espesso pacote estratigráfico vulcânico com grande diversidade de rochas, cujas origens dos derrames estão estimadas entre 127 a 136 milhões de anos (Cretáceo) (Wildner et al., 2008).

Esse pacote eruptivo nominado Formação Serra Geral (Grupo São Bento) é formado genericamente por três principais tipos petrográficos: rochas básicas (90%), intermediárias (7%) e ácidas (3%) (Nardy, 1995), de onde destacam-se as litotipias basálticas, andesíticas, riódacíticas e riolíticas.

De maneira mais generalizada, nas altimetrias correlatas à cidade de Bento Gonçalves tem-se a presença de derrames intermediários a ácidos (riodacitos e riolitos), enquanto no fundo do vale do Rio das Antas, encontram-se os derrames mais básicos (basaltos granulares) (Wildner et al., 2008).

Em coerência às graduais variações climáticas passadas até os tempos atuais, esses pacotes foram assumindo conformações geomorfológicas diversas, verdadeiros arcaibouços de desenvolvi-

mento dinâmico de diferentes tipos de solos (Curcio et al., 2011), cujas distribuições nas paisagens vinculam-se a distintas feições geomorfológicas.

Dentre os vários padrões geomorfológicos elaborados no planalto rio-grandense sobre rochas eruptivas, assim como nos estados de Santa Catarina e Paraná, duas províncias destacam-se pelos antagônicos contrastes estruturo-esculturais: província convexada e província patamarizada.

A região de Bento Gonçalves encontra-se inserida nessa última província, onde são registrados gradientes altimétricos muito elevados (em torno de 600 m), proporcionados pelo forte entalhamento fluvial dos sistemas hidrográficos Antas-Taquari.

Assim como nos demais estados sul-brasileiros, sobre as paisagens elaboradas em litotipias vulcânicas com relevantes gradientes altimétricos, desenvolvem-se solos adelgaçados com elevada propensão à erosão (Brasil, 1973; Embrapa, 1984; Pötter et al., 1998). Em períodos com precipitações acumuladas bem acima da normalidade, como no evento catastrófico registrado em 2024 em grande parte do território gaúcho, as citadas paisagens assumiram grau máximo de atenção e preocupação em razão da elevada predisposição à expressão máxima dos processos erosivos (fluxos de massa).

A partir deste cenário, o capítulo tem como objetivo discutir brevemente características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região foco, sobretudo algumas interatividades dessas temáticas frente aos processos de precipitação de elevada intensidade. Discorre-se ainda sobre alguns processos erosionais que ocorreram na citada região e consequências sobre a planície. Nessa abordagem são citadas algumas ocorrências registradas em campanha de campo realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (Emater-RS) em 2024.

Províncias geomórficas

As províncias convexada e patamarizada constituem dois padrões geomorfológicos muito distintos ocorrentes no planalto rio-grandense, em função de evidentes e contrastantes intensidades de dissecação que as unidades litoestratigráficas vulcânicas experimentaram.

Província convexada

Essa província encontra-se nas cumeeiras de bacias hidrográficas, especificamente em zonas de menor energia fluvial, a exemplo, Vacaria, representante dos Campos de Cima da Serra do estado do Rio Grande do Sul (Figura 3.1).

Uma das características dessa província é a de que suas encostas possuem, majoritariamente, relevos suavemente conformados, onde se tem

transições de declividade tênues e graduais, praticamente sem a presença de fortes rupturas de declive (Figuras 3.1 e 3.2).

Embora a província convexada esteja distante da região de Bento Gonçalves, é importante salientar que há uma forte interação entre as citadas províncias, uma vez que o comportamento hidrológico propõe uma consecução ordenada de processos planalto abaixo. Dentre esses, tem-se o processo de elaboração de paisagens, fruto de descargas hidrológicas fluviais interdependentes, fato que ensejou a ampliação de vazões “rio abaixo” no evento de abril e maio de 2024.

Devido à irregularidade de dissecação, em meio às encostas é comum deparar-se com pequenos abaciados locais (solos hidromórficos), os quais delimitam sensivelmente o comprimento das rampas (Figura 3.1). A província é constituída por unidades



Figura 3.1. Aspecto da província convexada na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, região do município de Vacaria, RS.
Fonte: Environmental Systems Research Institute (2023).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.2. Fisiografia da província convexada – Campos de Cima da Serra, Vacaria, RS.

de paisagem com predomínio de aspectos morfo-esculturais que exibem graus de convexamento irregulares, de certa forma assemelhados, edificados em baixos gradientes altimétricos (menores que 100 m) (Figura 3.2).

Fato importante a ser comentado é o de que as formas irregulares de convexamento proporcionam baixa persistência lateral e longitudinal dos atributos pedológicos, por exemplo, variações da espessura do solo. Por esse motivo, não raramente se verifica a presença de afloramentos de rochas em meio aos solos mais espessos.

Em sua maior parte, as encostas encontram-se

entremeadas por planícies constituídas por Organossolos, portentosos retentores de gases do efeito estufa e de água (Illick; Zeitz, 2003), cujas profundidades do substrato orgânico podem alcançar 1,0 a 1,5 m de espessura. Algumas vezes, fica perceptível o controle de elaboração das planícies pela regência de lineamentos geológicos, todavia, esses ficam mascarados pela presença dos solos citados.

Para a região dos Campos de Cima da Serra, a aplicação do efeito do *hillshade* (representação da sombra e do relevo) nas imagens de satélites valoriza substancialmente a visualização da presença de lineamentos geológicos com direção sudoeste-nordeste (SO-NE) (Figura 3.3).

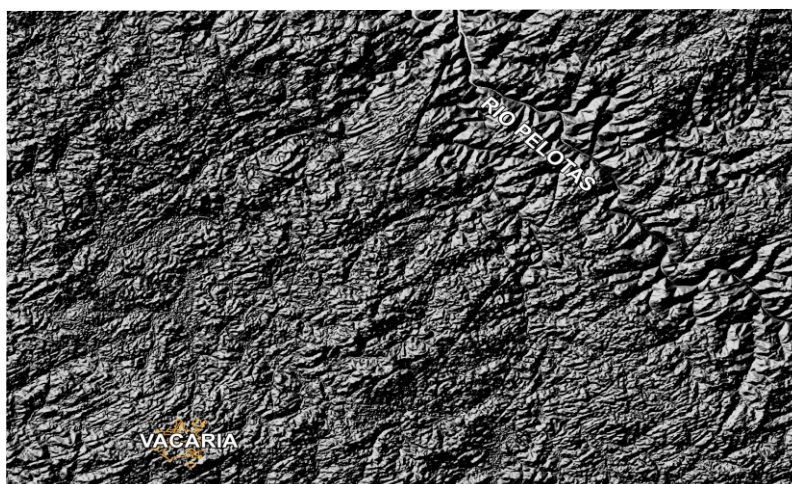


Figura 3.3. Região de Campos de Cima da Serra (Planalto Vacaria), com expressiva presença de lineamentos geológicos sudoeste-nordeste (SO-NE).
Fonte: Weber et al. (2024).

Solos da província convexada

Devido ao menor grau de dissecação dessa província em relação à Patamarizada, sobre as rochas eruptivas verifica-se o domínio de solos profundos, argilosos ou muito argilosos com estruturas granulares (Latosolos) (Figura 3.4). A exemplo, para a região dos Campos de Cima da

Serra, verifica-se ampla ocorrência dos Latossolos Brunos, os quais estão posicionados nas porções superior e média daquelas encostas, por vezes alcançando partes do terço inferior. Tratam-se de volumes não tão espessos como outros Latossolos, sendo predominantemente inferiores a 2,5 m, todavia, muitos argilosos, originalmente com baixa saturação



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.4. Latossolo Bruno Distroférrico típico, região de Muitos Capões.

por bases e muito ácidos (Brasil, 1973). Esses solos, ao aliarem boa espessura e boa infiltração de água (em razão do relevo suave e da estrutura granular) na presença de textura muito argilosa, acondicionam elevada capacidade de armazenamento hidrológico.

Em relevos com maior grau de dissecação, ondulado, os Cambissolos Húmicos, solos típicos de ambientes com alta pluviosidade e baixas temperaturas (Streck et al., 2018), assumem maior grau de importância. Na medida em que o relevo se torna mais vigoroso, os Cambissolos Húmicos são substituídos em quase sua totalidade por solos menos desenvolvidos e menos espessos.

Na referida ordem de substituição de solos dentro das paisagens, em função principalmente das menores espessuras, há uma gradual perda de potencial de armazenamento de água dos solos.

Província patamarizada

A província patamarizada, na qual a região de Bento Gonçalves está inserida, apresenta forte intensidade de dissecação e, por conseguinte, relevos muito vigorosos acompanhados por fortes rupturas de declive.

O agente responsável por essa dissecação é o Rio das Antas, cujo nível hierárquico fluvial é de 6ª ordem, exibindo padrão de leito do tipo meandrante encaixado, padrão que evidencia uma esculturalização fluvial em ambiente com forte controle estrutural (Figura 3.5).

As feições de encosta dessa província revelam aspectos ímpares de inflexão e deflexão que se alternam ao longo da encosta, ensejando verdadeiros patamares (Figura 3.6), herança de uma evolução de paisagens que acontece sobre diferentes derrames de rochas eruptivas (Curcio et al., 2024).



Figura 3.5. Padrão de leito meandrante encaixado do Rio das Antas, região de Bento Gonçalves. Fonte: Environmental Systems Research Institute (2023).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.6. Aspecto da província patamarizada constituída por patamares no vale do Rio das Antas, região de Tuiuti, município de Bento Gonçalves, RS.

As encostas dessa província possuem uma sucessão de patamares, nos quais se alojam as rampas erosionais e coluvionares (Figura 3.7). Os contrastes geomorfológicos dessas rampas estão apoiados, principalmente, em discrepantes declividades alternantes e os seus respectivos comprimentos. Assim, nas rampas erosionais, que são mais curtas,

encontram-se os relevos mais movimentados, nas classes de declive forte ondulado (20 a 45%) e montanhoso (45 a 70%), enquanto nas rampas coluvionares predomina a classe ondulada (8 a 20%). Declividades dessa ordem proporcionam extrema fragilidade ambiental (Ritter et al., 2011), ainda mais quando sujeitas a precipitações intensas.

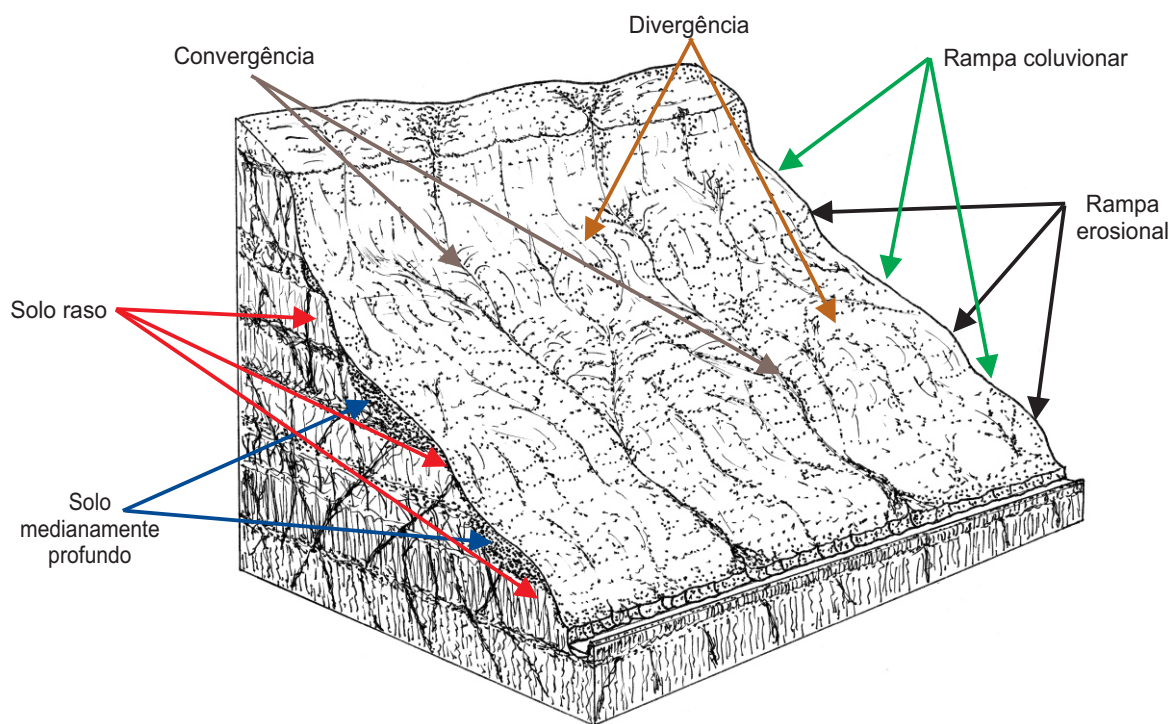


Figura 3.7. Província patamarizada constituída por rampas erosionais e coluvionares, respectivamente, com solos rasos e medianamente profundos.

Ilustração: Gustavo Ribas Curcio.

Em relação aos comprimentos de rampas, embora muito variáveis, verifica-se que sobre as rochas intermediárias a ácidas, nas porções mais elevadas, a rampa erosional possui aproximadamente uma terça parte do comprimento de sua subsequente (coluvionar). Contudo, digno de ênfase, na região de Bento Gonçalves o terço final da encosta encontra-se elaborado sobre rochas básicas, assumindo relevos muito mais vigorosos, montanhoso a escarpado (> 75% de declividade).

Torna-se notável os comprimentos diminutos e declivosos das rampas coluvionares, condição que incorre, necessariamente, em predomínio absoluto de solos rasos associados intimamente aos afloramentos rochosos. Essa nova conjuntura geopedológica favorece excepcionalmente os processos erosivos, dentre esses os fluxos de mas-

sa especialmente sob condições de elevada precipitação como as ocorridas em abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul.

Solos da província patamarizada

Em razão dos vigorosos graus de dissecação que incidem essa província, os solos, em geral, são mais adelgaçados do que os que se encontram presentes na província convexada.

Deve-se salientar que a condição de solos rasos presentes em relevos movimentados é muito preocupante, pois há forte possibilidade de ocorrerem grandes variações de retenção de água nas paisagens em pequenas distâncias (Zhao et al., 2012). Consequentemente, há rápida possibilidade de transmissividade de fluxos hidrológicos, superficiais e subsuperficiais, ladeira abaixo.

Nas rampas erosionais, com maior declive, são registrados os Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos, ambos associados intimamente com afloramentos de rochas (Figura 3.8).

Os Neossolos Regolíticos, embora adelgaçados, apresentam contato lítico em maior profundidade que os Neossolos Litólicos (Santos et al., 2018). De acordo com os mencionados autores,



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.8. Neossolo Regolítico Eutrófico leptofragmentário.

ambas as classes podem ter esse contato lítico, porém, de duas maneiras: ou com a rocha fragmentada, ou com a rocha como laje, aspecto que concorre decisivamente para a variação da profundidade “efetiva” dos solos. Esse atributo possui forte conotação agrônômica, pois retrata possíveis diferenças nos processos de armazenamento de água, trocas gasosas e penetração de raízes da vegetação local.

A profundidade efetiva do Neossolo Regolítico é maior, em coerência ao contato lítico ocorrer abaixo de 50 cm, normalmente anterior a 100 cm. De outra forma, o Neossolo Litólico faz esse contato dentro de 50 cm de profundidade, o que o torna bem mais frágil frente aos processos erosivos. Ambas as classes possuem variação de textura (argilosa a média), com alta saturação por bases.

Fato extremamente importante é de que ambos os solos possuem relevante fração esquelética (cascalho, calhaus e pedregosidade), não raramente em torno de 70%, circunstância que diminui muito o volume poroso do solo. As frações cascalho, calhaus e matacões, a depender da intensidade de ocorrência, determinam maior restrição ao uso.

disso, aumentam a fragilidade ambiental por diminuir a infiltração e o armazenamento de água, favorecendo assim os processos erosivos. Como exemplo, podem ser citados os fluxos de massa, os quais decorrem do alcance do solo em sua consistência de “estado de liquidez”, a depender da intensidade da precipitação. Como exemplo, se um Neossolo Regolítico possuir uma fração esquelética na ordem de 70% em volume e, ainda, apresentar contato lítico exatamente a 1 m de profundidade e uma porosidade total de 50%, esse solo possuirá em uma área de 1 m² um volume de poros de apenas 0,15 m³. Portanto, sob chuvas pesadas tende a fluxar muito mais rápido que outros solos.

Sob o ponto de vista agrícola, a fração esquelética também impõe sérias restrições, pois diminui significativamente o volume a ser explorado pelas raízes, além de restringir a troca gasosa e a quantidade de água disponível.

Em sequência à rampa erosional, a rampa coluvionar é constituída principalmente por solos medianamente profundos, Nitossolos Vermelhos e Luvisolos Crômicos, ambos com caráter férreo, textura argilosa a muito argilosa e com forte

estrutura em blocos (Figura 3.9). O caráter férrico presente expressa os teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) ≥ 18 e < 36 decagramas (dag) por quilo (Santos et al., 2018), herança litotípica que interfere na mineralogia, estrutura, características do complexo sortivo, entre outros. A maior atividade da fração argila

presentes no Luvisolos (≥ 27 cmolc/kg) incorre em maiores problemas para a permeabilidade saturada, tornando essa classe mais suscetível aos processos erosivos do que os Nitossolos, inclusive por processos de ascensão da massa do solo (*heave*), que vai ao encontro do que está citado por Ritter et al. (2011).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.9. Talude de estrada com aspecto rendilhado com caneluras em Nitossolo Vermelho.

Transmissividade de fluxos hidrológicos

O entendimento de atributos geomorfológicos e pedológicos da paisagem, sobretudo suas relações interespecíficas, é fundamental para compreender a dinâmica de transferência da água nas encostas. Para a província patamarizada, área foco deste capítulo, é muito importante se considerar os seccionamentos geomórficos possíveis de serem efetuados, tanto no direcionamento longitudinal, quanto na orientação lateral das pendentes, aliada à informação específica dos diferentes padrões de distribuição dos solos e atinentes atributos.

Como já comentado, longitudinalmente a encosta da província patamarizada é constituída por inúmeras seções, assemelhadas a patamares ou degraus (Figuras 3.6 e 3.7), nominadas como rampas erosional e coluvionar (Curcio et al., 2024). Essa feição patamarizada retrata relações estruturoesculturais decorrentes da ação climática sobre os vários derrames que constituem os pacotes vulcânicos.

Na análise das rampas erosionais e coluvionares verifica-se forte variação das formas, comprimentos e declividades presentes, bem como condições substancialmente acompanhadas por variação na distribuição de solos e respectivos atributos, sobretudo, espessura, mineralogia, textura e estrutura.

As condições supracitadas determinam possibilidades distintas de movimentação dos solos nas encostas frente a eventos de alta precipitação. Esses movimentos, segundo literatura internacional (Summerfield, 1991; Hugget, 2003; Ritter et al. 2011; Thompson; Turk, 2011), assumem terminologias distintas em coerência às suas especificidades, tais como fluxos, deslizamentos, quedas etc. Durante as campanhas diagnósticas na Serra Gaúcha, ficaram evidentes movimentos que se relacionam diretamente a um desses tipos de movimentos, bem como a presença de naturezas diversas em um único movimento.

Diante disso, e na falta de tempo para pormenorização maior, optou-se por uma nomenclatura genérica (fluxo de massa).

Todavia, é importante citar que foram identificados movimentos na Serra Gaúcha bem peculiares, em que o processo de movimentação encosta abaixo foi interrompido (movimento abortado), assumindo o aspecto de blocos abatidos (Plummer; McGeary, 1996).

Os blocos de abatimento apresentavam forte fragmentação transversal e longitudinal (zonas de divorciamento), em toda a sua extensão (Figura 3.10).

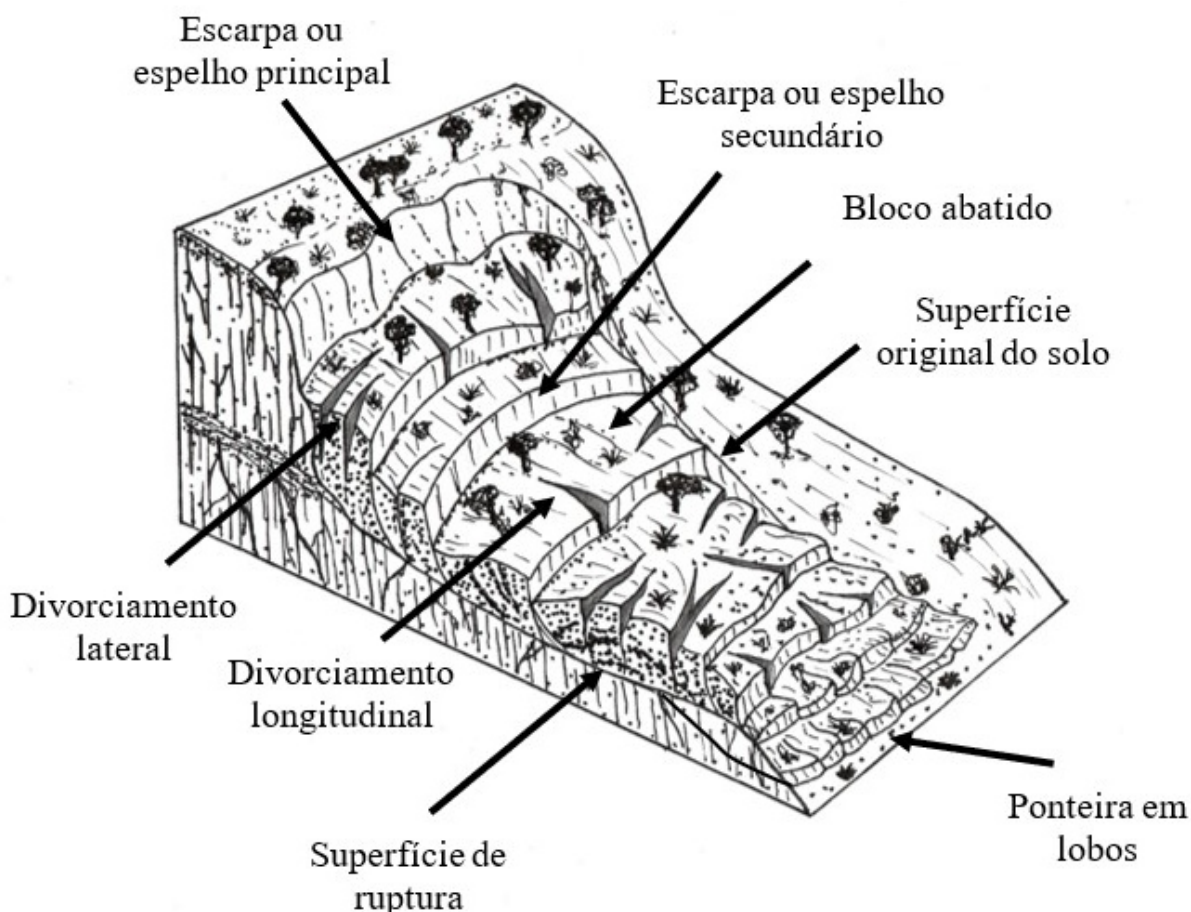


Figura 3.10. Representação esquemática de fluxo de massa, abatimento de blocos.
Ilustração: Gustavo Ribas Curcio.

Nesse contexto, foi verificado que as zonas de divorciamento se encontram com menor espaçamento e com espelhos de menor altura à jusante. Contrariamente, em direção ao início de seu corpo, à montante, as superfícies de divorciamento encontram-se mais espessas, gerando zonas de forte distensibilidade com presença de espelhos de grande altura. Também ficou muito evidente nas análises efetuadas ao longo do curso do movimento, o efeito da movimentação de blocos à jusante de forma independente (despareados lateralmente), proporcionando elevações e subsidências da

superfície do solo de acordo com a movimentação dos blocos abatidos.

As rampas erosionais têm pequeno potencial de retenção de água. Em outras palavras, apresentam forte e rápida transmissividade de fluxos hídricos, ou mesmo o movimento de massa encosta abaixo. Vale destacar que a maior parte dos Neossolos Litólicos possui contato lítico (solo sobre laje), ocorrendo em encostas íngremes, que em muitos casos resultou no abandono do uso agrícola por parte dos agricultores e, atualmente, encontra-se recoberta por vegetação nativa que, em períodos de grandes precipitações,

atingem rapidamente a consistência do solo no "limite de liquidez" (Figura 3.11). Menores espessuras dos solos e topografias diferenciadas do leito rochoso afetam o fluxo de água em subsuperfície (Doolittle et al., 2012), condições típicas das paisagens patamarizadas gaúchas. Assim, pode-se pensar que a rampa erosional possui forte caráter de transmissão de fluxos

(concentrar energia), enquanto a coluvionar possui a capacidade de dissipar, em parte, a energia transmitida pela rampa erosional, sobretudo, quando se apresenta em rampas longas, pouco declivosas, composta por solos pelo menos medianamente profundos e permeáveis.

Além da compartimentação longitudinal, os patamares podem ser seccionados lateralmente, con-



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.11. Assinatura de fluxo de massa em Neossolo Litólico com contato lítico.

dição que revela altos e baixos topográficos importantes, uma vez que delineiam zonas de convergência e divergência hidrológica nas encostas (Figura 3.7). Essa resultante é significativa sob o ponto de vista hidrológico, pois ficam estabelecidas as "linhas de convergência hídrica" na encosta, podendo essas, a depender do seu grau de incisão, da pujança da surgência da nascente à montante, além da quantidade e distribuição de chuvas, assumirem a feição de leito fluvial, permanente ou temporário. Normalmente, canais temporários, sejam intermitentes ou efêmeros, possuem menor grau de incisão dos que os canais perenes.

Independentemente da perenidade ou não dos fluxos hídricos, todos os canais (zonas de convergência hídrica) são importantes, pois além de suportarem hidrológicamente os rios locais e apresentarem diversas funcionalidades ecológicas, podem fazer parte do planejamento de captação de água para os sistemas produtivos, com ênfase à viticultura local. Para isso, basta conceber uma rede de captação de água lateral das zonas de con-

vergência, arremetendo o aporte de água para bacias de captação posicionadas em zonas de divergência. Em períodos de necessidade, essa água pode ser redistribuída à jusante por gravidade. Por outro lado, em períodos de elevada precipitação, essas mesmas zonas de convergência podem se tornar áreas críticas para as paisagens, dada a facilidade com que os solos que as ladeiam atingem facilmente a saturação hídrica, predispondo a formação de grandes processos de fluxos de massa, ou mesmo recebendo fluxos de zonas laterais.

Portanto, cria-se aí a necessidade de proteger essas zonas de convergência hidrológica e suas laterais com vegetação florestal nativa com porte bem desenvolvido e coerentes ao regime hídrico dos solos, a fim de aumentar a capacidade de agregação mecânica do solo, sobretudo, para os períodos de intensa pluviosidade, garantindo o exercício de funções ecossistêmicas dessas vias naturais (Figura 3.7).

A transmissividade dos fluxos hidrológicos é extremamente complexa na província patamarizada

(Figura 3.7). A começar pelas larguras das cumeeiras e respectivos relevos de composição, pois o armazenamento e a condução de água estão relacionados, em grande parte, com as formas de relevo e as profundidades dos solos constituintes. A exemplo, quanto menor a largura das cumeeiras, maior será a probabilidade de os solos apresentarem pequenas espessuras, portanto, menor capacidade de armazenamento de água (Figura 3.7). Na sequência da encosta, logo a jusante, deve ser observado e analisado se há a presença de relevo escarpado, onde se verifica a dominância de rocha exposta, e, mais, se o comprimento da escarpa é expressivo. Em caso afirmativo, já é possível afirmar que devido aos baixos potenciais de armazenamento de água, têm-se duas feições geomórficas (cumeeira e escarpa), com alta predisposição para transmitir fluxos hídricos rapidamente e em grande quantidade para a rampa erosional logo abaixo, a depender da intensidade pluviométrica.

Nesse sentido, quanto maior a intensidade pluviométrica, maior a quantidade de solos que atingem o limite de liquidez, fato que concede maior peso a esses volumes, exponenciando a probabilidade de fluírem em direção descendente na forma de fluxo de massa detritica semifluida (Plumer; McGeary, 1996).

As diferentes condições de antropização das encostas (uso e ocupação do solo), podem acelerar o processo de transferência hidrológica. A retirada das florestas, tanto de áreas muito declivosas como das linhas de convergência hidrológica, a implantação de estradas mal posicionadas e sem caixas de captação de água, a construção de benfeitorias próximas de zonas de convergência hídrica, entre outros exemplos de negligência com a dinâmica hidrológica de encosta, expõem as paisagens ao quadro crítico dos fluxos de massa.

Deve-se ter em mente que, fatores como grandes comprimentos de rampa constituídos por solos profundos imprimem marcante variação na intensidade de arraste, portanto, maiores repercussões ambientais, pois interferem diretamente na dimensão deposicional e na competência de deformação dos corpos à jusante. Portanto, as alterações ambientais não ficam restritas às assinaturas dos fluxos nas encostas, onde geralmente fica a sinistra exposição de rochas, mas também à jusante na forma de cones deposicionais, além de causarem assoreamento de rios, devastação de florestas fluviais, aumento de viscosidade dos caudais

fluviais, arraste de casas e benfeitorias etc.

Outros tipos de processos de perda de solo podem ocorrer nas encostas, tais como erosão em sulcos e entre sulcos, além de voçorocas, todos resultantes das condições de excesso pluviométrico. Além disso, dinâmicas caracterizadas como rastejamentos lentos do solo (*creep*), podem ocorrer em rampas de menor declividade (Plumer; McGeary, 1996; Ritter et al., 2011). Na área foco, os *creeps* podem ter gênese distinta, seja por quantidade insuficiente de fluxos hídricos que tornem os “solos semifluidais”, ou por propiciar pequenas ascensões verticais da massa do solo por ação da alta atividade da fração argila, com descida posterior, simultânea ao seu deslocamento. Essas são, portanto, questões a serem investigadas futuramente.

Impactos das chuvas de abril e maio de 2024

Na sequência, as observações a respeito dos efeitos das chuvas catastróficas que aconteceram entre abril e maio de 2014 foram obtidas em campanha de campo, no mês de julho de 2024, pelas equipes da Embrapa, Emater-RS e Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus de Bento Gonçalves (IFRS).

Conforme foi observado, as implicações desastrosas do referido cataclisma foram plurais, impondo fortes alterações de ordem ambiental, social e econômica de baixa resiliência, sendo que algumas dessas determinaram mudanças biofísicas que levaram à perda da legitimidade estrutural original dos ambientes.

Como os impactos gerados tiveram como herança comum os eventos de intensa precipitação, no sentido de proporcionar asserção/razão entre a causa e os efeitos, a metodologia de avaliação dos impactos da equipe usada nas campanhas de campo colocou em evidência quatro processos: detecção de eventos erosivos, análise do transporte fluvial, caracterização de episódios deposicionais e alagamentos. Cabem aqui duas ressalvas: primeiro a de que o termo alagamento envolve também inundação e transbordamento, desconsiderando, portanto, a discussão de ordem conceitual. Em segundo lugar, a ressalva de que as condições de alagamento foram ordenadas no texto de acordo com a mencionada campanha diagnóstica, que foi realizada desde o planalto gaúcho até a região da Depressão Central

do Rio Grande do Sul (eixo da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba).

Considerando-se que outros relatórios da Embrapa foram gerados abordando temáticas sociais, agronômicas, entre outras, coube a este capítulo abordar mais especificamente dois processos erosionais (fluxos de massa e *creep*), que ocorreram nas encostas, e aspectos relativos do

carreamento de sedimentos ao transporte fluvial do ocorreram nas encostas e aspectos relativos do Rio das Antas e seus efeitos.

Sem dúvida alguma, os fluxos de massa chamaram a atenção não somente pelas variações de intensidade e quantidade, mas também por suas consequências marcantes nas encostas e nas planícies (Figura 3.12).

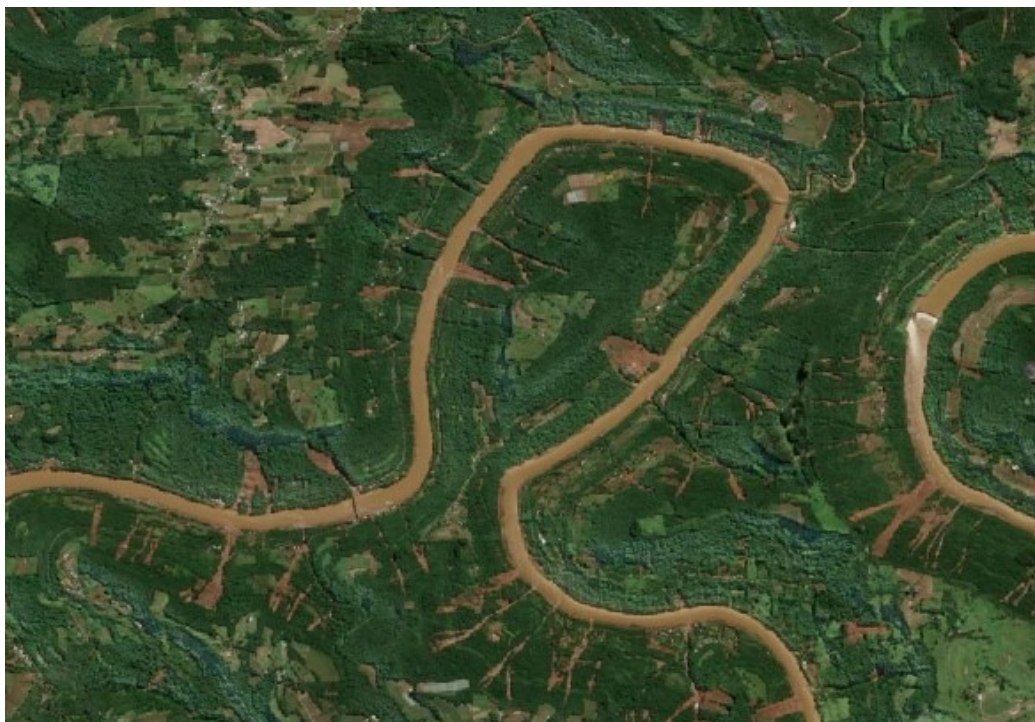


Figura 3.12. Assinaturas da grande quantidade de fluxos de massa detrítica ocorridos nas encostas do vale do Rio das Antas, Bento Gonçalves/Veranópolis, RS.

Fonte: Copernicus data space ecosystem (2024).

Vale citar que durante a campanha de campo, além dos registros dos fluxos atuais, foi possível observar vários sinais de cicatrizes antigas, delatando preteritamente a fragilidade daqueles ambientes. Isso se deve às características interativas entre atributos climáticos e geopedológicos propícias que se encontram no planalto gaúcho.

Para os fluxos identificados como atuais, pode-se afirmar que o agente causal principal foi a intensidade das precipitações ocorridas no referido evento de abril e maio de 2024. É certo que para as condições atuais de ocupação e uso do solo, não há meios efetivos de se ter controle sobre os processos erosivos em paisagens muito declivosas como as que se encontram na província, sobretudo quando boa parte das feições geomorfológicas são constituídas por solos rasos, com contato lítico e com eminente fração esquelética, alcançando comumente valores de 70% de declividade.

Contudo, em coerência aos conceitos expostos por Plumer e McGeary (1996) e Ritter et al. (2011), pode-se assegurar que o fenômeno de fluxo de massa envolve uma série de fatores que habilitaram em maior ou menor grau a sua ocorrência. Dentre esses destaca-se ainda que na província patamari-zada existem elevados gradientes altimétricos. Desníveis em torno de 600 m para comprimentos de rampa relativamente curtos (1,0 a 1,5 km) implicam em grande parte da encosta sendo ocupada por solos com baixo grau de evolução pedogenético, adelgaçados, sobrepostos em rocha pouca intemperizada, posicionados de tal forma na paisagem que assumem a condição de verdadeiros estopins dos movimentos de massa.

Outras condições devem ser elencadas, porém sem ordenamento hierárquico de importância em função de que a condição específica de cada local pode mudar a ordem de priorização. Dessa forma, pode-se citar a ausência de florestas em zonas de

convergência hidrológica e em cabeceiras de drenagem, solos sem cobertura vegetal e compactados, estradas mal planejadas, com alocamento impróprio e sem caixas de retenção de água, entre outros fatores de menor importância. As condições supracitadas são comentadas no próximo capítulo, e mais especificamente no capítulo seguinte, onde são apontados os grandes impactos socioeconômicos à viticultura da Serra Gaúcha.

Fato que chamou a atenção durante a campanha de campo é que em praticamente todos os fluxos de massa as estradas estavam presentes. Isso indica que as estradas contribuem fortemente para a ocorrência desses movimentos de massa, mesmo que não sejam os agentes causais principais ou exclusivos. Esta afirmação é justificada pela situação de que essas em áreas de encosta proporcionam uma zona de “quebra do perfil de estabilidade”, pois a confecção dessas geram “vazios” capazes de desestabilizar os volumes que se posicionam a montante. Assim, solos que atingem o limite de liqui-

dez próximo do talude interno da estrada tendem a se projetar para baixo com extrema facilidade, pois não possuem mais a resistência ao movimento descendente. O deslocamento do solo em direção à estrada, necessariamente, incorrerá na instabilização consecutiva de todos os demais solos que se encontravam acima daquele que acabou de fluxar pendente abaixo. Dependendo do tamanho e da magnitude de peso da massa descendente, o restante dos solos situados abaixo da estrada, também já próximos do limite de liquidez, não suportarão o impacto do referido movimento de massa detrítica e também colapsarão. Assim, as forças de resistência ao cisalhamento tornaram-se inferiores às forças de tensão de cisalhamentos (Summerfield, 1991).

Na discussão do planejamento das estradas em província patamarizada, cabe destacar que essa não deve ser plotada próxima da superfície de deflexão (entre o final da rampa erosional e o começo da rampa coluvionar) como foi identificado algumas vezes, coincidentemente, onde se tinham presentes situações de fluxo de massa (Figura 3.13).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.13. Estrada plotada na superfície de deflexão, final da rampa erosional (indicada com uma seta) e início da rampa coluvionar, zona propensa ao fluxo de massa.

Nesses locais há uma maior propensão à ocorrência de fluxos, pois a rampa erosional imediatamente acima é propensa a atingir rapidamente a saturação hídrica (estado semifluidal), em solos adelgaçados. As estradas devem, na medida do

possível, ser edificadas no início ou meio do terço final das rampas coluvionares, onde a componente de resistência ao cisalhamento é maior do que as forças de tensão de cisalhamento, fato que vai ao encontro dos postulados de estabilidade de encostas (Summerfield, 1991).

O transpasse de estrada entre rampas coluvionares exige profunda análise da paisagem, pois a rampa erosional é extremamente frágil sob o ponto de vista geopedológico. Portanto, sugere-se que essas, quando possível, devem ser locadas diagonalmente em zonas de divergência hidrológica, onde os solos são de pequena espessura principalmente por ter menor possibilidade de receber descargas hidrológicas concentradas do que as zonas de convergência hidrológica. Embora essa medida possa incorrer em obra mais onerosa financeiramente e com maior grau de dificuldade, devido a nessa porção da paisagem se ter solos rasos e pedregosos, tem-se maior estabilidade do talude interno, pois esse terá maior expressão da fase rochosa.

Da mesma forma, sugere-se evitar a construção da estrada ao final da rampa coluvionar, pois qualquer instabilidade na rampa erosional a jusante colocará em risco a estrada e respectivos transeuntes em função de remotes erosivos (Figura 3.14).

É importante considerar o plantio de árvores nas laterais da estrada, pensando em alcançar alguns benefícios desejáveis, como beleza cênica, agregação mecânica dos solos, além de aumentar a “capacidade transpiratória” por unidade de área. A escolha das árvores deve também levar em conta a questão da interferência do sombreamento para as culturas e, para isso, dada a biodiversidade existente nas florestas Ombrófila Mista e Estacional Decidual, as opções são amplas.



Foto: Gustavo Ribas Cúrcio

Figura 3.14. Plotação de estrada ao final da rampa coluvionar, muito próxima à rampa erosional à jusante.

Com a finalidade de evitar o desmoronamento dos taludes de estrada, consequentemente, diminuindo a possibilidade de ocorrência dos fluxos logo a montante, devem ser concebidas estruturas de contenção aos deslizamentos, ou muros de arrimo para prover estabilidade aos taludes.

Além dos cuidados com a plotagem da estrada, deve-se proceder um planejamento de desvio e retenção da água concentrada para locais previa-

mente previstos. Assim, a estrada deve conter dissipadores de energia para reduzir a velocidade de escoamento da água por ela, tais como caixas de retenção hidrológica, bigodeamento, entre outras estratégias (Machado, 1916). A manutenção constante dessas caixas deve ser cumprida rigorosamente dentro de períodos de tempo ainda a serem determinados, após o início de suas efetividades.

Infelizmente, as condições relatadas acima não foram identificadas nas estradas das regiões percorridas durante a campanha.

Sugere-se ainda que todas as casas e benfeitorias de propriedades rurais existentes na província patamarizada devam ser inventariadas quanto às suas localizações. A percepção de segurança é a de que, no sentido transversal da encosta, devem ser evitadas a permanência de residências e benfeitorias nas “linhas de convergência hídrica” (baixos topográficos), locais onde se tem a grande probabilidade de se acanalarem os sedimentos provenientes dos fluxos de massa que poderão acontecer a montante. Complementarmente, no sentido longitudinal, essas edificações não devem ficar próximas das superfícies de deflexão (Figura 3.7), ou, ao contrário, próximas das zonas de inflexão das encostas. Para o caso das superfícies de deflexão, justifica-se a preocupação em função dessas regiões estarem profundamente expostas aos descartes dos fluxos de massa descendentes. Já nas zonas de inflexão ficam sujeitas ao remonte erosivo dos fluxos de massa que se instalam com facilidade nas rampas

erosionais. Essas medidas devem ser discutidas e repassadas à Defesa Civil e essa tomar as medidas cabíveis junto a órgãos, institutos, além das comunidades locais, evitando muitos efeitos catastróficos em eventos futuros como os que foram identificados no episódio de abril e maio de 2024 (Emater, 2024).

As consequências dos fluxos de massa são quase sempre catastróficas, causando sérios estragos na encosta a ponto de proporcionar total descaracterização ambiental (rocha exposta), assim como à jusante, através de seus leques deposicionais de dimensões muito variáveis. Muitas vezes, os ambientes que conformam as laterais e os fronts próximos à bordadura desses leques também sofrem deformações importantes devido ao rotação de massa (movimento circulatório ascendente dos solos).

Na localidade de Tuiuti, município de Bento Gonçalves, foram registrados inúmeros fluxos, de dimensões diversas. Vários deles começam praticamente no topo das encostas e prolongam-se até o Rio das Antas (Figura 3.15).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.15. Fluxo de massa no Rio das Antas.

Com a intenção de se estimar o volume de massa detrítica arremetida para o mencionado rio, mediu-se o comprimento de um deles (936 m), a largura média (150 m) e a espessura média de solo (1,5 m), totalizando um volume de 210.600 m³ de solo que fluxou. Trata-se de um volume capaz de colmatar 1,5 km de uma caixa fluvial com os seguintes dados de perímetro molhado (trapézio): largura da lâmina superficial de 50 m, largura do piso de incisão do talvegue de 10 m e altura de lâmina de 5 m.

Como se pode observar, as implicações desses movimentos de massa detrítica no fundo dos vales são muito complexas e desastrosas, pois não somente soterram os ambientes de jusante (fundo dos vales) mas também alteram profundamente as condições dinâmicas dos caudais fluviais.

Evidentemente que não aconteceu o citado assoreamento, mas certamente elevaram-se os níveis de viscosidade de fluxo, com consequente aumento da possibilidade de arraste dos sedimentos pelo caudal fluvial (Suguio; Bigarella, 1979). Essas alterações da viscosidade e densidade concebem ao caudal um elevado potencial de cisalhamento sobre o talude, a ponto de causar abalo, ou até, a retirada total desse. Consequentemente, com essa instabilização começa a degeneração dos elementos que compõem as florestas fluviais, iniciando a perda gradual das funções ecológicas desses ambientes.

Por fim, fica a preocupação com alguns leques dejecionais (massa detrítica com forte grau de desorganização estrutural) que ainda se encontram no corpo da “cicatriz de projeção”. Esse material que não se deslocou integralmente até o fim da encosta, muitas vezes sobrejacentes a contatos líticos, pode ser nomeado como “sedimento em trânsito”. A qualquer momento ele pode se des-

locar (refluxo) devido à inconformidade genética deposicional, bem como ao alto grau de exposição da superfície da massa ao efeito direto das precipitações. Além disso, porquanto já apresentem alguma cobertura vegetal de regeneração (plantas herbáceas) essas massas podem se removimentar instantaneamente, a depender da intensidade da precipitação e respectiva duração.

Outro tipo de movimento identificado durante a campanha diagnóstica foram os rastejamentos lentos do solo (*creep*). Esse tipo de erosão deve estar na atenção específica de técnicos da região, pois, em última análise, tem-se a quebra de estabilidade subsuperficial entre rocha, saprolito e solo. De outra forma, as paisagens que apresentam esse processo não possuem mais a estabilidade original. Além disso, parece um movimento que foi muito comum, tendo em vista a identificação em demais áreas da campanha diagnóstica, planalto abaixo.

Com o *creep*, a encosta pode se tornar toda fragmentada, semelhante a feição de basculamento de blocos (Summerfield, 1991; Plumer; McGeary, 1996; Ritter et al., 2011). Esse movimento é de fácil reconhecimento em função de algumas circunstâncias criadas pelos rastejamentos, a saber: a inclinação de elementos (cercas, postes, árvores etc), bem como “zonas de divorciamento” e “zonas de espelhos”, ambos no solo.

As zonas de divorciamento ficam evidentes na superfície do solo e se caracterizam, para os locais examinados, pelo aparecimento de fendas com 2 a 15 cm de largura (zona de divorciamento) (Figura 3.16A), enquanto os espelhos ficam evidentes pela presença de pequenos gradientes altimétricos (zona de espelho) com exposição de corte de solo em sua superfície na faixa de 20 a 50 cm (Figura 3.16B).



Fotos: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.16. Zona de divorciamento (A) e zona de espelho (B) nos solos sob cultivo de videira, localidade de Tuiuti, município de Bento Gonçalves, RS.

Outro aspecto que suscita ao identificador, quando percorre uma superfície de encosta com *creep*, é o de que o movimento de fluxo de massa não foi concluído, pois foi um movimento incipiente e que, por algum motivo, foi interrompido. Em alguns locais podem ser encontrados segmentos laterais de rampa com movimentos maiores do que em outros, além de alturas distintas da superfície do solo, revelando soerguimento de massa por compressão.

Essa conjuntura de aspectos dá a sensação do identificador se encontrar em meio a blocos abatidos, elementos pertencentes aos diferentes segmentos que compõem os fluxos de massa (Summerfield, 1991; Ritter et al., 2011).

Em áreas com presença de viticultura, o reconhecimento também se torna fácil tendo a queda, ou somente a inclinação parcial dos parreirais em diferentes graus (Figuras 3.17 A e B).



Figura 3.17. Aspectos de parreiral normal (A) e parreiral com *creep* (B).

Embora ainda se entenda que há possibilidades de perdas futuras importantes nos sistemas de produção devido aos processos erosivos citados, é certo que evitar a permanência ou até futuras expansões sobre as rampas erosionais é a atitude mais correta. Assim, os sistemas de produção devem ficar posicionados em rampas coluvionares e, para as rampas erosionais deve-se conceber ao replantio de florestas nativas de modo contínuo, possibilitando o exercício das funções ecológicas.

Ficam algumas questões importantes para serem analisadas sob a ótica de segurança ambiental.

Dentre essas, fica o questionamento se as encostas que possuem a presença de *creeps* merecem alguma atenção diferenciada face a sua instabilidade. Sugere-se que essas áreas recebam algum tipo de monitoramento, a fim de garantir segurança para os que nela trabalham e, inclusive, para aqueles que estão situados à jusante.

Conforme já mencionado, os grandes aportes de fluxos hidrológicos provenientes das encostas como decorrência das intensas precipitações, incorporadas por altas taxas de sedimentos, alteram completamente o transporte do caudal fluvial.

Dessa forma, durante a catástrofe, o exponencial aumento da vazão fluvial do citado rio, com alta viscosidade, incorreu em aumento da capacidade e competência fluvial, ampliando a sua capacidade devastadora. Durante a campanha diagnóstica, além de se evidenciar a corrosão de taludes, com total remoção da floresta fluvial, foi possível observar o processo de divorciamento entre encosta e planície fluvial a praticamente 30 m de distância do leito fluvial (Figura 3.18).

A dinâmica de solapamento de base dos taludes foi intensificada sobremaneira, a tal ponto de ser identificada tanto em superfície de degradação, como em superfície de agradação fluvial. Houve, inclusive, a detecção da retirada total de solos constituintes da superfície de agradação (Neossolos Flúvicos), fato extremo que caracteriza a energia magnificada e convulsionada do fluxo hidrológico (Figura 3.19).



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.18. Processo de corrosão de talude fluvial, Rio da Antas, próximo da localidade de Alcântara, município de Bento Gonçalves, RS.



Foto: Gustavo Ribas Curcio

Figura 3.19. Retirada dos Neossolos Flúvicos da superfície de agradação, com presença de relictuais taludes solapados, localidade de Alcântara, município de Bento Gonçalves, RS.

Em realidade, os gigantescos volumes de água e sedimentos transportados nas grandes cheias redundaram em “novas grafias de construção e desconstrução de margens fluviais”, que acabaram por reorganizar todo o sistema de paisagens que ladeiam os rios. É provável que, em função da energia presente durante a catástrofe, poderia ter ocorrido a alteração do leito fluvial, o que não ocorreu devido ao controle esculturo-estruturalizado presente nos rios de planalto que incidem sobre rochas vulcânicas.

Todavia, no que se refere ao transporte fluvial, até o presente momento não se sabe se houve alguma atividade que tenha feito a prospecção do grau de assoreamento residual do canal fluvial do Antas. Todavia, pode-se supor que a colmatação do canal seja relevante em razão da quantidade de fluxos registrados, ainda mais por se tratar de leito com padrão meandrante encaixado (Figura 3.5), o qual confere baixa velocidade ao caudal fluvial. Caso o assoreamento de alguma parte do leito fluvial seja confirmado, seguramente toda a dinâmica pertencente às margens fluviais, desde a estabilidade e conformação dos taludes até a ocupação das florestas fluviais, pode ser gradualmente alterada.

Considerações finais

A província patamarizada é uma consecução repetitiva de formas que sugerem semelhança a degraus de cunho estruturo-esculturais. Torna-se uma sucessão de rampas que, em geral, devido às características geopedológicas, impõem forte fragilidade ao uso. Portanto, apresentam riscos muito elevados de degradação ambiental consecutiva, envolvendo encosta e planície.

Compreender sua constituição e sua dinâmica funcional é fundamental para se obterem boas produtividades dos sistemas produtivos e, concomitantemente, prover o resguardo das funções ecológicas dos sistemas naturais.

Cabe aos sistemas de ensino, pesquisa e extensão gerar conhecimento e transmitir, de forma simples e precisa, à sociedade. Isso porque é necessário que todos compreendam as dinâmicas processuais que se configuram nas paisagens, sobretudo, como as mesmas estão encadeadas pelo recurso hídrico dentro do conceito de bacias hidrográficas. É legítimo ainda que essas mesmas instituições, juntas, promovam esforços para o esta-

belecimento de políticas públicas que norteiem e garantam comportamentos solidários dos sistemas de produção com a sustentabilidade ambiental.

No sentido de minimizar as fragilidades ambientais na citada província da região de Bento Gonçalves, alguns posicionamentos devem ser estabelecidos para garantir maior estabilidade ambiental, portanto, assegurando maior segurança às comunidades locais. A retirada das florestas, tanto de áreas muito declivosas como das linhas de convergência hidrológica, a implantação de estradas mal posicionadas e sem caixas de captação de água, a construção de benfeitorias próximas de zonas de convergência hídrica, entre outros exemplos de negligência com a dinâmica hidrológica de encosta, expõem as paisagens ao quadro crítico dos fluxos de massa.

Para aumentar as conexões ecológicas, bem como proporcionar maior segurança hidrológica para toda a região, é necessário instituir ações de recomposição das florestas fluviais em linhas de convergência hidrológica com maior incisão, pois essas recepcionam os fluxos hídricos permanentes ao longo das encostas.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 431 p. (DNPEA. Boletim técnico, 30).
- COPERNICUS DATA SPACE ECOSYSTEM. Copernicus Browser. **Fluxos de massa**: Estado - Rio Grande do Sul. Bento Gonçalves, 2024. 1 imagem de satélite. Sentinel-2 L2A, 06 Maio 2024. Disponível em: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. Acesso em: 14 out. 2024.
- CURCIO, G. R.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. de. Levantamento de solos do Município de Cambé. In: FARIAS, G. S. **Levantamento semidetalhado de solos e diagnóstico dos remanescentes florestais do município de Cambé – PR**. Londrina: Iapar, 2011. p 9-59.
- CURCIO, G. R.; BONNET, A.; GOMES, J. B. V.; OLIVEIRA, D. P. de; QUEIROZ, L. H. R. de; FERLIN JUNIOR, D. P. Províncias geomorfológicas da área foco da 1ª Reunião de Correlação e Classificação de Solos e Vegetação Fluvial: características e funcionalidades. In: REUNIÃO DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E VEGETAÇÃO FLUVIAL, 1., 2024, Paraná. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2024. p. 29-38. (Embrapa Florestas. Eventos técnicos & científicos, 3).

DOOLITTLE, J.; ZHU, Q.; ZHANG, J.; GUO, L.; LIN, H. Geophysical investigations of soil-landscape architecture and its impacts on subsurface flow. In: LIN, H. (ed.). **Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology**. Waltham: Elsevier, 2012. p. 413-447.

EMATER-RS. Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em Maio de 2024. **Boletim Evento Adverso**, n. 1, maio 2024, 52 p. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-SNLCS: IAPAR, 1984. 2 t. 791 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR- Projeto Especial Levantamento de Solos. Boletim Técnico, 16).

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Mapa base do software ArcGIS Online da Região dos Campos de Cima da Serra, município de Vacaria/RS**. 2023. Disponível em: <https://tiledbasemaps.arcgis.com/arcgis/rest/services/WORLD/Imagery/MapServer>. Acesso em: 14 out. 2024.

HUGGET, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. Routledge: London, 2003. 385 p.

ILNICKI, P.; ZEITZ J. Irreversible loss of organic soil functions after reclamation. In: PARENT, L-E.; ILNICKI, P. (ed.). **Organic and peat materials for sustainable agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 2003. p.15-32.

MACHADO, C. C. **Estradas rurais e florestais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016. 441 p.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do gondwana sul-ocidental** - 1997. 255 F. Tese (Doutorado em Geologia) . Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO C. D. R.; BRITO NEVES B. B. (ed.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2024. p. 265-279.

NARDY, A. J. R. **Geologia e petrologia do vulcanismo mesozóico da Região Central da Bacia do Paraná**. Rio Claro, 1995. 316 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PLUMER, C. C.; McGEARY, D. **Physical geology**. Dubuque: WCB Publisher, 1996. 539 p.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P. de; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. **Levantamentos de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA- CNPS, 1998. 721 p. (EMBRAPA- CNPS. Boletim de pesquisa, 6).

RITTER, D. F.; KOCHER, R. C.; MILLER, J. R. **Process geomorphology**. 5 ed. Long Grove: Waveland Press, 2011. 652 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L.H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; 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. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS: Emater/RS-Ascar, 2018. 251 p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes de sedimentação interpretam a importância do ambiente fluvial**. Curitiba: ADEA. 1979. 183 p.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology**. Prince: Edinburgh, 1991. 537 p.

THOMPSON, G. R.; TURK, J. **Earth: instructor edition**. Belmont: Brooks Cole, 2011. 423 p.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2024.

WILDNER W.; RAMGRAB G. E.; LOPES R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Rio de Janeiro, CPRM/MME, 2008. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozoica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. de. (org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, 2004. p. 595-612.

ZHAO, Y.; TANG, J.; GRAHAM, C.; ZHU, Q.; TAKAGI, K.; LIN, H. Hydropedology in the ridge and valley: soil moisture patterns and preferential flow dynamics in two contrasting landscape. In: LIN, H. (ed.). **Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology**. Oxford: Elsevier, 2012. p. 381-411.

Capítulo 4

Histórico de uso, ocupação e manejo do solo para viticultura nas áreas de encosta da Serra Gaúcha

George Wellington Bastos de Melo

Vinicius Ide Franzini

Carlos Augusto Posser Silveira

Adilson Luis Bamberg

Diovane Freire Moterle

Eduardo Giroto

Emiliano Santarosa

Introdução

Este capítulo visa analisar os fatores antrópicos que contribuíram para a amplificação dos efeitos da catástrofe climática ocorrida entre os meses de abril e maio de 2024, com ênfase nas áreas rurais localizadas em encostas na região de Bento Gonçalves, na Serra Gaúcha. Fatores como a influência das atividades humanas sobre a estabilidade do solo e sua relação com os desastres naturais serão explorados, bem como seus impactos na paisagem e nos sistemas de cultivo de videira.

A ocupação humana da região, principalmente associada à expansão agrícola e à urbanização, tem modificado intensamente a paisagem local, gerando impactos significativos sobre o solo. Estudos indicam que a exploração desordenada e o manejo inadequado do solo em áreas de encostas, com suas particularidades intrínsecas, predisposições e vulnerabilidades aos processos erosivos, desestabilizam os ecossistemas em sua totalidade, apresentando relação direta com a dinâmica da paisagem e o equilíbrio ambiental. Nesse contexto, entender como os fatores antrópicos contribuem para a degradação do solo é essencial para promover o uso sustentável das terras e mitigar os impactos ambientais.

A ocupação das encostas da Serra Gaúcha teve início com a colonização europeia no final do século 19, quando imigrantes italianos e alemães introduziram práticas agrícolas voltadas para a subsistência e, posteriormente, para a viticultura, que hoje caracteriza a região (Manfroi, 2001; Zanini et al., 2009; Valduga, 2010; Radünz; Herédia, 2015). O crescimento populacional e a valorização da agricultura comercial levaram à ocupação de áreas com alta declividade, muitas vezes sem respaldo e suporte técnico adequado, intensificando a supressão da vegetação natural e a exposição do solo, favorecendo a erosão e os deslizamentos de terra.

A construção de estradas também desempenha um papel crucial na degradação das encostas. Para escoar a produção agrícola e conectar áreas rurais e urbanas, muitas vias foram abertas em locais vulneráveis, frequentemente sem sistemas de drenagem adequados. Isso interfere no regime hidrológico natural, favorecendo a infiltração desigual de água e aumentando a instabilidade dos terrenos, com impactos diretos na fertilidade, na capacidade produtiva do solo e na resiliência ambiental e socioeconômica das áreas agrícolas.

Os tipos de cultivo agrícola em encostas, especialmente a viticultura, principal atividade econômica local, também afetam a estabilidade do solo. Embora seja uma atividade rentável, a viticultura pode comprometer o solo em áreas de grande inclinação, especialmente quando não são utilizadas práticas de manejo sustentável. No setor vitivinícola um exemplo de manejo sustentável de longa duração é o plantio de videiras em terraços ou patamares estreitos suportados por muros de pedras, comum nas encostas íngremes da região do Douro, Portugal, com histórico de manejo de aproximadamente 2 mil anos e que pode servir de modelo para as condições da viticultura praticada na região de Bento Gonçalves. Adicionalmente, e não menos importante, vale destacar que as condições climáticas “normais” do sul do Brasil são muito mais “erosivas” do que na região do Douro. Portanto, o conhecimento das características geológicas e das zonas de riscos inerentes à geologia, das características edáficas, da organização e disposição dos cultivos, das estradas e das benfeitorias no interior da propriedade rural, bem como das práticas de manejo dos diferentes sistemas de produção praticados na região, é fundamental para estabelecer estratégias que visem à resiliência e sustentabilidade a longo prazo da agricultura subtropical de encosta além de ser central para a redefinição do novo ordena-

mento territorial. Atendimento aos preceitos básicos de capacidade de uso da terra, adoção de práticas conservacionistas, como cobertura vegetal permanente do solo, principalmente nas entrelinhas de cultivos perenes, uso de adubação orgânica, insumos de liberação gradual de nutrientes, bioinsumos e remineralizadores de solo e adoção de porta-enxertos eficientes (no uso de nutrientes e de água e tolerantes aos fatores abióticos) devem ser considerados em cada nova tomada de decisão, tanto no âmbito da propriedade, como nas proposições de políticas públicas. Ademais, em parte da região, os sistemas de produção vigentes adotam o uso intensivo e convencional do solo, com consequente contaminação ambiental pelo uso de insumos químicos e compactação do solo devido a diversos fatores inerentes ao manejo das culturas. Esses são alguns dos problemas que deverão ser enfrentados simultaneamente, com a adoção de boas práticas de produção agrícola, planejamento e manejo dos sistemas de produção a longo prazo.

Especificamente no caso da videira, o principal sistema de condução empregado na viticultura da Serra Gaúcha é a latada. Nesse sistema, as videiras, principalmente as variedades americanas e híbridas, são conduzidas verticalmente até aproximadamente 1,80 m, a partir de onde os ramos são dispostos horizontalmente, formando uma estrutura em "T". A adoção do sistema de condução tipo latada é justificada pela elevada produtividade e pelo manejo relativamente simplificado, favorecendo a eficiência produtiva em condições agroclimáticas específicas da região. No entanto, na Serra Gaúcha, é comum que os vinhedos sejam estruturados com linhas de plantio e fileiras longas, orientadas perpendicularmente à declividade do terreno, o que acarreta desafios substanciais para o manejo das águas pluviais. Essa configuração frequentemente resulta na interseção das fileiras de videiras com o fluxo natural de escoamento superficial da água da chuva, o que aumenta o risco de erosão do solo e de parcelas submetidas a períodos sazonais de encharcamento. Esse cenário compromete, de maneira significativa, a qualidade física e química do solo ao longo do tempo, além de prejudicar aspectos fitossanitários, podendo resultar em perdas significativas de produtividade e qualidade da uva, bem como na longevidade dos vinhedos.

Além disso, durante eventos de precipitação intensa, o risco de desmoronamento de encostas

aumenta substancialmente, podendo resultar na perda total de porções do vinhedo. Esse problema é potencializado pela falta de planejamento e adoção de práticas conservacionistas de solo, pelo comprimento excessivo das linhas de plantas desprovidas de segmentação do sistema de condução, que, quando afetadas por deslizamentos de terra, podem comprometer toda a área do vinhedo, dificultando a recuperação e a sustentabilidade a longo prazo da produção vitícola regional.

Ressalta-se ainda que, a ausência de aplicação de práticas agrícolas adequadas, a assistência técnica insuficiente, a ausência de proposição de políticas públicas eficientes para regulamentar a ocupação das encostas e a dificuldade de conscientização ambiental, de forma geral, intensificam os problemas relacionados com a atividade agrícola em áreas de encostas. O planejamento inadequado de estradas e a ocupação histórica das áreas contribuem para potencializar a fragilidade da paisagem frente a eventos extremos, como aqueles observados nos últimos tempos.

Dada a gravidade desses problemas, é essencial a implementação de estudos que orientem políticas públicas voltadas para a conservação do solo e aptidão agrícola em áreas de encosta. Pesquisas recentes destacam a necessidade de práticas de manejo sustentável, que compõem os pilares da agricultura conservacionista, como o revolvimento mínimo, como o sistema plantio direto, a cobertura permanente do solo, a utilização de terraços e cordões vegetados e a diversificação produtiva (implementação de sistemas agroflorestais).

Existem diversas tecnologias que podem ser implementadas para melhorar os sistemas de produção vitícola e auxiliar a gestão das propriedades rurais na Serra Gaúcha. Ações de capacitação continuada de técnicos e produtores, demonstrações práticas e dias de campo que apresentam modelos de produção instalados em unidades de referência tecnológica são formas eficientes de expandir a adoção de boas práticas agrícolas reconhecidas e validadas na região. Ao mesmo tempo, se reconhece a necessidade do avanço do conhecimento e a continuidade das pesquisas direcionadas para melhorar a eficácia das técnicas em áreas com as características geográficas da Serra Gaúcha, o que justifica a realização de novos estudos e a articulação interinstitucional junto ao setor produtivo.

Fatores antrópicos e seus impactos na paisagem

Cobertura florestal e vegetação nativa

A supressão da vegetação nativa para implantação de atividades agrícolas ou urbanas reduz a proteção e cobertura natural do solo, favorecendo processos erosivos e a instabilidade geotécnica, especialmente em áreas de relevo acidentado, como os da Serra Gaúcha. A vegetação atua no controle da erosão ao dissipar a energia do impacto das gotas das chuvas no solo e reduzir o escoamento superficial (Steenbock; Vezzani, 2023).

O desmatamento, além de aumentar o escoamento, prejudica a infiltração de água e degrada a estrutura do solo, resultando em compactação e menor capacidade de infiltração e retenção hídrica, acelerando assim os processos erosivos.

Práticas agrícolas

O uso de práticas agrícolas inadequadas resulta em erosão do solo, compactação, perda de fertilidade e degradação estrutural, comprometendo a produtividade e a sustentabilidade agrícola. A ausência de manejo conservacionista, como terraceamento e manutenção da cobertura do solo permanente com adoção de plantas de cobertura, intensifica a perda de nutrientes e matéria orgânica, além de aumentar o escoamento superficial. Adicionalmente, o uso intensivo de agroquímicos pode contaminar o solo e a água, afetando a biodiversidade.

Urbanização e ocupação de áreas de risco potencial

Mesmo em áreas rurais, a expansão de áreas urbanizadas de forma desordenada e a ocupação irregular de encostas podem causar sérios impactos ambientais. A impermeabilização da superfície do solo aumenta o escoamento superficial, elevando o risco de deslizamentos, enquanto as alterações na topografia natural desestabilizam encostas, tornando-as mais vulneráveis. Além disso, a construção em áreas geologicamente instáveis sobrecarrega o terreno, agravando a possibilidade de escorregamentos e erosão acelerada. Esses fatores combinados comprometem a segurança das áreas habitadas e a sustentabilidade do uso do solo, exigindo um planejamento adequado e o emprego de técnicas de manejo para mitigar riscos.

Construção de estradas rurais

A abertura de estradas rurais, mesmo no interior das propriedades, ou a falta de estradas e acessos adequados às áreas de produção em áreas montanhosas ou declivosas, sem o devido planejamento de deságues de valetas e das águas de drenagem, podem alterar o fluxo natural das águas pluviais de forma drástica. Isso provoca acúmulo de água em determinadas áreas, enfraquecendo o papel das microbacias de receber e conduzir as descargas hídricas, potencializando deslizamentos.

Aptidão agrícola e agricultura em encostas

O uso do solo e a remoção da cobertura vegetal em áreas de encostas afetam diretamente a dinâmica do fluxo de água na paisagem e na bacia hidrográfica. Por isso, o estabelecimento de cultivos sem o devido planejamento, sem observar a aptidão agrícola dessas áreas, podem tornar esses ambientes ainda mais suscetíveis aos danos por movimentos de massa e processos erosivos. Por outro lado, o planejamento de uso e ocupação da propriedade, de acordo com a aptidão agrícola, torna-se essencial no processo de gestão das propriedades. Conforme prevê o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012), Brasil (2012), o planejamento em nível de propriedade deve, regimentalmente, observar os requisitos constantes no Ato Declaratório Ambiental (ADA) (Lei 6.938/1981), Brasil (1981) para definir e mapear as áreas de proteção permanente, de reserva legal, de produção agrícola e das benfeitorias rurais (casas, galpões, estábulos etc.). Nesse caso, é notória e premente a necessidade de observar eventuais mapas regionais de áreas de risco de deslizamentos, cotas e manchas de inundação, bem como a existência de fluxos preferenciais de rios e de rotas de fuga e facilidade de acesso a pontos de encontro durante eventos extremos.

A implantação de cultivos agrícolas em terrenos com declividade acentuada, ainda que naquelas áreas de uso historicamente consolidado, sem a devida aptidão agrícola e a ausência de técnicas de conservação do solo, como terraceamento, promove o escoamento superficial acelerado e a erosão. Essa degradação favorece a formação de ravinas e voçorocas, agravando os riscos de deslizamentos.

Processos minerários diversos, mineração e extração de pedras

A mineração e extração de pedras, incluindo a extração de seixos em leitos de rios, têm impactos significativos na predisposição do solo, especialmente em áreas rurais. Essas atividades alteram drasticamente a estrutura física do solo, removendo camadas superficiais e expondo substratos mais profundos, originando as áreas degradadas por mineração, altamente suscetíveis à erosão acelerada e perda de fertilidade. A remoção da vegetação nativa, para realizar a extração de minérios, compromete a estabilidade do solo e sua capacidade de retenção de água. Em leitos de rios, a extração de seixos pode alterar o fluxo natural, causando erosão das margens e mudanças no habitat aquático. Além disso, essas práticas podem contaminar o solo e os corpos d'água com resíduos químicos e sedimentos, afetando a qualidade da água e a biodiversidade local. A longo prazo, essas alterações podem resultar em áreas degradadas, com reduzida capacidade de suporte para a agricultura ou para os ecossistemas naturais, exigindo grandes esforços de recuperação. Ressalta-se que tais áreas e atividades necessitam do devido licenciamento ambiental, além de ações obrigatórias previstas em planos de compensação e recuperação ambiental nas áreas afetadas.

Impactos dos fatores antrópicos no solo

Os fatores antrópicos listados anteriormente podem causar uma série de impactos negativos no solo, comprometendo sua estrutura, composição e função. Esses impactos podem resultar em alterações nas características físico-químicas do solo, podendo afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, com consequentes prejuízos à produtividade. Entre os principais efeitos estão:

- Erosão – A remoção da cobertura vegetal e práticas agrícolas inadequadas aumentam a vulnerabilidade do solo à erosão hídrica, resultando na perda da camada superficial fértil, fundamental para a manutenção da produtividade agrícola.
- Compactação – O intenso tráfego de máquinas agrícolas e o pastoreio excessivo podem compactar o solo, reduzindo sua porosidade, capacidade de infiltração de água e aeração, dificultando o desenvolvimento das raízes das plantas.
- Contaminação – O uso excessivo e inadequado de agroquímicos, sem observar as recomendações técnicas estabelecidas em Registros de Produtos Fitossanitários e no Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Manual, 2016), pode contaminar o solo, prejudicando sua microbiota e alterar a qualidade da água subterrânea, além de afetar a biodiversidade.
- Perda de matéria orgânica – Áreas conduzidas sob monocultivos, com revolvimento contínuo do solo e a falta de rotação e sucessão de culturas reduzem o teor de matéria orgânica no solo, prejudicando sua fertilidade, capacidade de retenção de água e estrutura físico-química.
- Acidificação – O uso intensivo de fertilizantes químicos, como os nitrogenados, pode acidificar o solo, alterando o pH e prejudicando o equilíbrio dos nutrientes, o que afeta diretamente a saúde das plantas, além de aumentar o risco de eutrofização dos recursos hídricos.
- Redução da biodiversidade – A monocultura intensiva e o uso de produtos químicos afetam negativamente a diversidade de organismos no solo, essenciais para a ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e controle de pragas. O uso de bioinsumos pode contrapor essa lógica, permitindo manter ou aumentar a produtividade agrícola, reduzir custos e promover a melhoria da qualidade do solo.

Cenários observados após o evento extremo de abril e maio de 2024

Os fatores antrópicos desempenharam um papel crucial na intensificação dos impactos associados às chuvas intensas e frequentes ocorridas no período de abril e maio de 2024. Tais ações contribuíram significativamente para a vulnerabilidade das paisagens, predispondo áreas agrícolas a processos erosivos e deslizamentos. Esses impactos manifestaram-se de forma heterogênea, afetando de maneiras distintas a paisagem, os vinhedos e as plantas de videira (Figura 4.1), permitindo a definição de uma escala de cenários para cada um dos elementos atingidos pelo evento extremo.



Fotos: George Wellington de Melo

Figura 4.1. Diferentes cenários relacionados aos eventos extremos ocorridos na região da Serra Gaúcha. (A) Área desmatada em encosta íngreme, próxima a um corpo d'água. Ainda que não pudesse impedir a ocorrência de deslizamentos, a vegetação original foi removida, expondo o solo, o que predispõe ainda mais a um deslizamento de massa de grandes proporções; (B) Vinhedo instalado na linha de convergência hídrica da paisagem, que foi atingido por uma enxurrada. Ainda assim, mesmo após o evento, a estrutura do vinhedo foi recuperada na mesma posição, indicando que princípios básicos de aptidão agrícola e capacidade de uso das terras não foram observados; (C) Plantas inclinadas de um vinhedo que sofreu deslocamento do solo (*creep*).

Impactos na paisagem

As chuvas intensas provocaram aumento significativo nos processos erosivos, evidenciados pela formação de sulcos em áreas de encosta. Esses processos resultaram em perdas de solo e de nutrientes essenciais, que comprometem a capacidade produtiva das áreas agrícolas. A drenagem natural foi severamente prejudicada, levando à ocorrência de áreas agrícolas sob encharcamento prolongado e à degradação de estradas rurais, dificultando o acesso e a logística das operações agrícolas. A instabilidade do solo, intensificada pelas chuvas, elevou substancial-

mente o risco de deslizamentos em regiões íngremes, ameaçando não apenas a infraestrutura rural, mas também a segurança da população residente.

Os graus de danos variaram de acordo com a localização e as características do terreno:

- Danos de leve intensidade – Áreas com erosão moderada e alagamentos temporários, sem comprometimento significativo da infraestrutura (Figura 4.2). Esses danos, geralmente localizados, podem ser mitigados por meio de práticas simples, como reestabilização do solo e controle da drenagem.



Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.2. Lavoura em encosta, com cultivo de milho e outras plantas de pequeno porte. O cenário evidencia a interação entre infraestrutura viária (estrada asfaltada) e ecossistemas naturais, sendo impactado por processos erosivos, sem grande comprometimento no solo e na infraestrutura.

- Danos de média intensidade – Formação de sulcos de erosão, degradação de estradas rurais e aumento da frequência de alagamentos prolongados (Figura 4.3).

Esses danos requerem intervenções mais elaboradas, como melhorias na drenagem e estabilização das encostas para prevenir novos episódios de erosão.

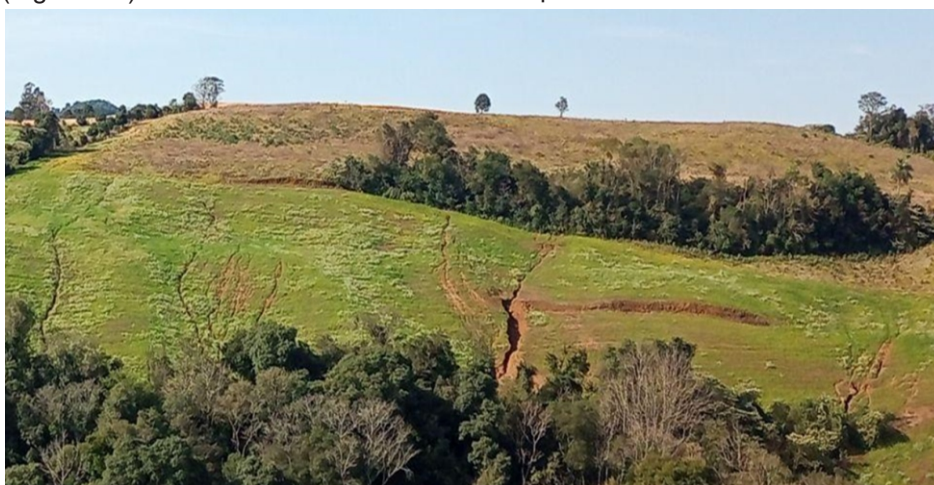


Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.3. Área de encosta sob manejo agrícola em condição de descontrole total de processos erosivos, pela ausência de práticas mecânicas de contenção de enxurradas. Denota-se a formação de sulcos e, nos estágios mais graves de evolução do processo, a formação de voçoroca ao centro da imagem.

- Danos de alta intensidade – Deslizamentos de terra em encostas íngremes, perda substancial de solo e nutrientes, comprometimento de estradas e infraestruturas rurais, colocando em

risco a segurança da população e demandando obras de engenharia de contenção e reparo das áreas afetadas (Figura 4.4).



Foto: George Wellington de Melo

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 4.4. Encosta cultivada com videiras, onde se destaca uma área de solo exposto e avermelhado, indicando um processo de erosão ou um deslizamento de terra recente. A vegetação natural densa na parte superior sugere um contraste entre a cobertura original e as áreas agrícolas que sofreram intervenções antrópicas. A presença de estruturas residenciais próximas ao pé da encosta evidencia o uso misto do território, combinando agricultura e habitação. (A) Erosão observada indica riscos para a estabilidade do solo e a necessidade de práticas de conservação para prevenir danos futuros e proteger o cultivo e as residências; (B) Áreas de vinhedos e paisagem alteradas devido aos deslizamentos de terra ocorridos em encostas.

- Danos de extrema intensidade – Caracterizam-se por desmoronamentos associados ao aumento do volume de água dos rios, que destruíram completamente os vinhedos e arrastaram o solo, deixando a área inapta para novos plantios devido à remoção total do solo fértil (Figura 4.5). Esses danos são catastróficos e exigem uma reestruturação total, iniciando pela conformação do relevo, a construção de muros de contenção e a revegetação da encosta. A reposição do solo

fértil é muitas vezes inviável, demandando recuperação ambiental e reflorestamento para melhorar a estabilidade do terreno e, eventualmente, tentar a recuperação agrícola apenas em partes muito específicas. A área afetada por esses danos pode permanecer inviável por muitos anos, e listada na categoria de áreas de alto risco, com elevado impacto econômico para os produtores, além dos aspectos sociais envolvidos nas comunidades diretamente atingidas.



Foto: George Wellington de Melo

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 4.5. Ponte quase totalmente destruída, com afloramento de pedras e acúmulo de sedimentos nas margens do rio. Ao fundo, é possível ver a encosta extensa com áreas desmatadas e solo exposto, sugerindo deslizamentos intensos. (A) Árvores arrancadas e acúmulo de sedimentos próximos à margem indicam que o evento foi de alta energia, causando danos à vegetação e infraestrutura local; (B) Danos verificados devido aos deslizamentos de alta intensidade em zonas de convergência hídrica na paisagem e afetando propriedades rurais com viticultura.

Impactos nos sistemas de cultivo de videiras

Os vinhedos da região sofreram diferentes tipos e graus de impactos devido ao excesso de chuvas, que afetaram as condições do solo e a sanidade das plantas. O encharcamento prolongado do solo provocou hipóxia radicular (inibição de trocas gasosas entre raízes e poros do solo), prejudicando o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes essenciais, resultando em estresse fisiológico nas videiras, mesmo que o evento tenha ocorrido no estágio fenológico de início de dormência das plantas.

Os graus de danos nos sistemas de cultivo variaram conforme a intensidade dos impactos:

Impacto nas plantas

- Danos de leve intensidade – Caracterizado por período prolongado de saturação de água no solo, com a consequente diminuição de oxigênio no sistema radicular, podendo ocasionar a morte das raízes finas, responsáveis pela absorção de nutrientes (Figura 4.6). Além disso, houve o processo de lixiviação, comprometendo o estoque de nutrientes do solo. Esse tipo de dano

ocorreu em áreas de relevo plano e de solos mais profundos e argilosos (Cambissolos). Áreas cuja superfície é convexa, com acúmulo prolongado de água, também foram submetidas a períodos de anaerobiose, com diminuição do potencial redox e do pH da solução do solo, elevando a biodisponibilidade de formas fitotóxicas de determinados metais. Os impactos reais desse tipo de dano só poderão ser realmente percebidos quando as plantas saírem do estágio de dormência e iniciarem o ciclo de produção. Embora esses danos sejam reversíveis, sua identificação pode ser difícil, sendo necessário realizar análises de solo e foliar regulares para detectar os efeitos tóxicos do excesso de umidade propriamente dito (morte de raízes, diminuição da capacidade radicular etc.), bem como dos efeitos indiretos que o excesso de umidade do solo traz consigo, tais como o acúmulo de alguns elementos, como Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Alumínio (Al), geralmente tóxicos para a maioria das plantas, e a diminuição na absorção de nutrientes. Dentre as práticas de manejo recomendadas destacam-se, inicialmente, a alocação de drenos superficiais com capacidade de retirar rapida-



Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.6. Vinhedo no sistema de condução em espaldeira, localizado em área levemente inclinada, com cobertura vegetal rasteira entre as videiras, com aspecto amarelado em virtude do excesso de umidade no solo, que provocou a falta de trocas gasosas, principalmente de oxigênio. Nesse caso, o impacto na fisiologia das videiras pode ser sutil e se manifestar em uma absorção reduzida de nutrientes, mesmo assim, prejudicando significativamente o crescimento e a produção.

mente o excesso de água com segurança da área de produção, a aplicação de corretivos de acidez e de adubações específicas para garantir a recuperação dos níveis de nutrientes no solo e, concomitantemente, o uso de plantas de cobertura com sistema radicular profundo. Em determinados casos, faz-se necessária a descompactação via subsolagem, principalmente na ocasião da implantação de novos cultivos.

- Danos de média intensidade – Perdas de solo moderadas em virtude da remoção da camada superficial, comprometendo desde o sistema de sustentação das plantas até a absorção de nutrientes e a produtividade das mesmas (Figura 4.7). Esse tipo de dano ocorreu em áreas declivosas e de solos rasos e pedregosos (Neossolo

Regolítico e Neossolo Litólico). A recuperação em questão envolve intervenções direcionadas, como a correção da acidez e fertilidade do solo através da aplicação de corretivos e adubos específicos, além da implementação de práticas agrícolas que melhorem a drenagem e auxiliem na recuperação dos atributos físicos e químicos do solo. Técnicas como alocação de drenos superficiais e a subsolagem visam melhorar as condições estruturais do solo em talhões agrícolas, enquanto a adição de matéria orgânica e plantio de culturas de cobertura são essenciais para condicionar e melhorar a estrutura do solo, promover a infiltração de água e aumentar a resiliência do sistema agrícola frente a eventos climáticos extremos.



Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.7. A imagem mostra um vinhedo impactado pela erosão, onde o processo de degradação do solo não apenas expôs as raízes das videiras, mas também revelou pedras subsuperficiais, um indicador da perda significativa da camada superficial do solo. Entre as fileiras de videiras, o solo apresenta-se em grande parte desprovido de cobertura vegetal, exibindo sinais evidentes de saturação hídrica. A presença de depressões superficiais preenchidas com água sugere uma capacidade de infiltração reduzida e um aumento no escoamento superficial. Essa combinação de fatores acelera o processo erosivo, criando um ciclo de degradação que pode se perpetuar. Esse fenômeno compromete seriamente a estabilidade estrutural e a saúde fisiológica das plantas.

- Danos de alta intensidade – Ocorrência de hipóxia radicular severa, caracterizada pela deficiência de oxigênio nas raízes das plantas, devido ao encharcamento do solo, especialmente em períodos prolongados de chuvas associados à deficiência de drenagem natural do terreno (Figura 4.8). Além disso, ocorre compactação acentuada do solo e perda significativa de nutrientes por lixiviação e erosão laminar. Esses impactos levam a uma redução substancial na absorção de água e nutrientes, comprometendo drasticamente a produtividade. A recuperação dessas áreas exige estratégias integradas, como a descompactação do solo, o replantio com variedades mais adaptadas às condições adversas e a reestruturação do perfil do terreno

com a incorporação de condicionadores de solo e a adição de matéria orgânica. Quando é evidente a presença de camadas superficiais e subsuperficiais compactadas, a subsolagem acompanhada da incorporação de fertilizantes orgânicos e a semeadura de mix de sementes de plantas de cobertura são componentes essenciais de uma estratégia para melhorar a porosidade, a permeabilidade e a retenção de água no solo, criando condições favoráveis ao desenvolvimento radicular. Também é fundamental um reequilíbrio nutricional detalhado, baseado em análises de solo, com adubações específicas. A implementação de sistemas de drenagem eficientes é crucial para evitar a recorrência da hipóxia e garantir a sustentabilidade a longo prazo.



Foto: George Wellington de Melo

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 4.8. (A) área de vinhedo com solo encharcado no sistema espaldeira; (B) sistema de condução tipo latada, evidenciando problemas de drenagem. O acúmulo de água entre as fileiras de videiras sugere escoamento inadequado e possível compactação do solo, que impede a infiltração eficiente. A presença de poças d'água é indicativa de saturação, o que pode levar a condições anaeróbicas desfavoráveis para o crescimento radicular e a saúde geral das plantas. A vegetação rasteira entre as fileiras parece parcialmente submersa, reforçando a necessidade de práticas de manejo para melhorar a drenagem, como aeração do solo ou instalação de sistemas de escoamento, para evitar perdas de nutrientes e possíveis doenças nas videiras.

- Danos de extrema intensidade – Caracterizam-se por eventos catastróficos, como desmoronamentos severos combinados com o aumento do volume dos rios, que resultam na morte de plantas e na remoção total ou parcial de todo o perfil do solo ou de sua camada fértil (Figura 4.9). Esses danos deixam as plantas sem condições de recuperação através de práticas culturais convencionais.

A reposição do solo fértil é difícil, exigindo ações de engenharia para a recuperação da área atingida, por meio do uso de máquinas pesadas e a construção de muros de contenção, taludes e terraços. Posteriormente, se faz necessário o emprego de máquinas agrícolas convencionais para o manejo sustentável do solo e da adubação (calagem, adubação orgânica e convencional, uso de plantas de cobertura do solo e adubação verde).



Foto: George Wellington de Melo

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 4.9. (A) Área de vinhedo em encosta onde ocorreu deslizamento de terra, deixando uma grande seção de solo exposto. As videiras derrubadas estão espalhadas na base do talude, indicando a remoção ou o deslocamento de vegetação devido ao movimento do solo. A ausência de vegetação na área deslizante indica instabilidade no solo, aumentando o risco de erosão adicional. A cena evidencia a necessidade de práticas de manejo sustentável e recuperação de áreas degradadas para evitar novos deslizamentos e minimizar o impacto ambiental; (B) Deslizamentos em larga escala ocorridos em áreas com vinhedos, em zona de convergência hídrica, diminuindo a área de plantio e afetando a produção.

Impactos nos vinhedos

- Danos de leve intensidade – Pequenos danos causados pelo excesso de chuva em vinhedos são eventos relativamente comuns, especialmente em áreas onde o cultivo é feito em terrenos de encosta ou com topografia acentuada (Figuras 4.10 e 4.11). Esses danos tendem a ser

caracterizados por processos erosivos superficiais, afetando camadas pouco profundas do solo. Embora os impactos de tais eventos sejam geralmente localizados, eles ainda representam um problema significativo, exigindo uma resposta adequada para minimizar os danos ao sistema produtivo e para garantir a estabilidade a longo prazo



Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.10. Área extensa de vinhedo plantado em terreno inclinado. O solo entre as plantas está coberto por plantas de cobertura, uma prática que ajuda a prevenir a erosão. Observa-se que, apesar do cuidado, o excesso de chuva provocou leves danos erosivos no sentido da inclinação do terreno. Ao mesmo tempo, observa-se, no meio do talhão, um caminho/estrada com sinais de erosão em vários pontos.



Fotos: George Wellington de Melo

Figura 4.11. Quatro cenários relacionados ao manejo do solo em vinhedos. (A) e (B) Cobertura vegetal insuficiente para cobrir completamente o solo do vinhedo durante o evento extremo que resultou em erosão superficial do solo, comprometendo a fertilidade do mesmo nessa camada; (C) e (D) Cobertura vegetal mais densa, mesmo com topografia mais acidentada, resultando em menores perdas de solo por erosão superficial.

- Danos de média intensidade – Os desmoronamentos que ocorreram de forma localizada em vinhedos tiveram consequências mais amplas quando envolviam sistemas de condução em latada, devido ao seu caráter particular de disposição e estrutura (Figura 4.12). Quando implantadas em latada, as videiras são suportadas por aramados estendidos sobre estruturas elevadas, permitindo que o dossel das plantas cresça horizontalmente. Nesse contexto específico, mesmo um desmoronamento que afete apenas uma área localizada do vinhedo pode causar impactos mais abrangentes em

termos de infraestrutura e plantações. Devido ao comprimento das filas e à interconexão das estruturas de suporte, um único ponto de falha pode desestabilizar uma porção significativa do sistema de latada, levando a colapsos em série dos aramados e dos postes de sustentação. Essa característica de dependência estrutural faz com que desmoronamentos localizados tenham efeito cascata, afetando uma área maior do que o próprio evento erosivo em si, gerando a necessidade de uma intervenção mais extensa para a recuperação da área produtiva (Figura 4.13).



Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.12. Vinhedo em encosta, com sinais evidentes de erosão em forma de sulcos no solo exposto. A presença de vegetação nativa no topo contrasta com a supressão parcial da vegetação para fins de cultivo. A erosão indica a existência de um pequeno desmoronamento e processo erosivo que impactou a estrutura do vinhedo.

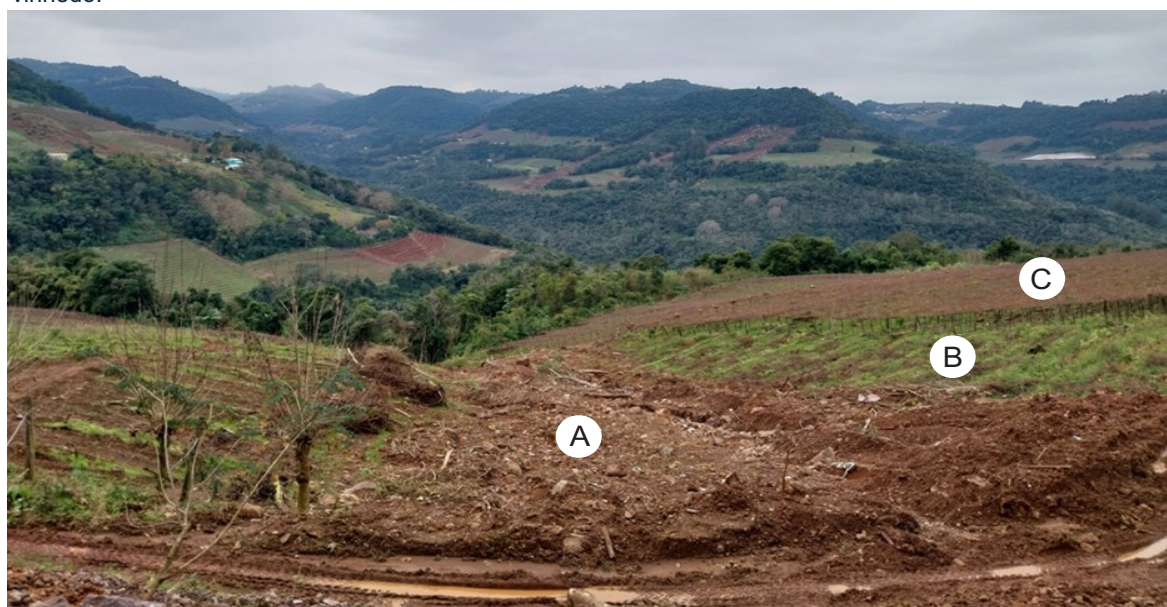
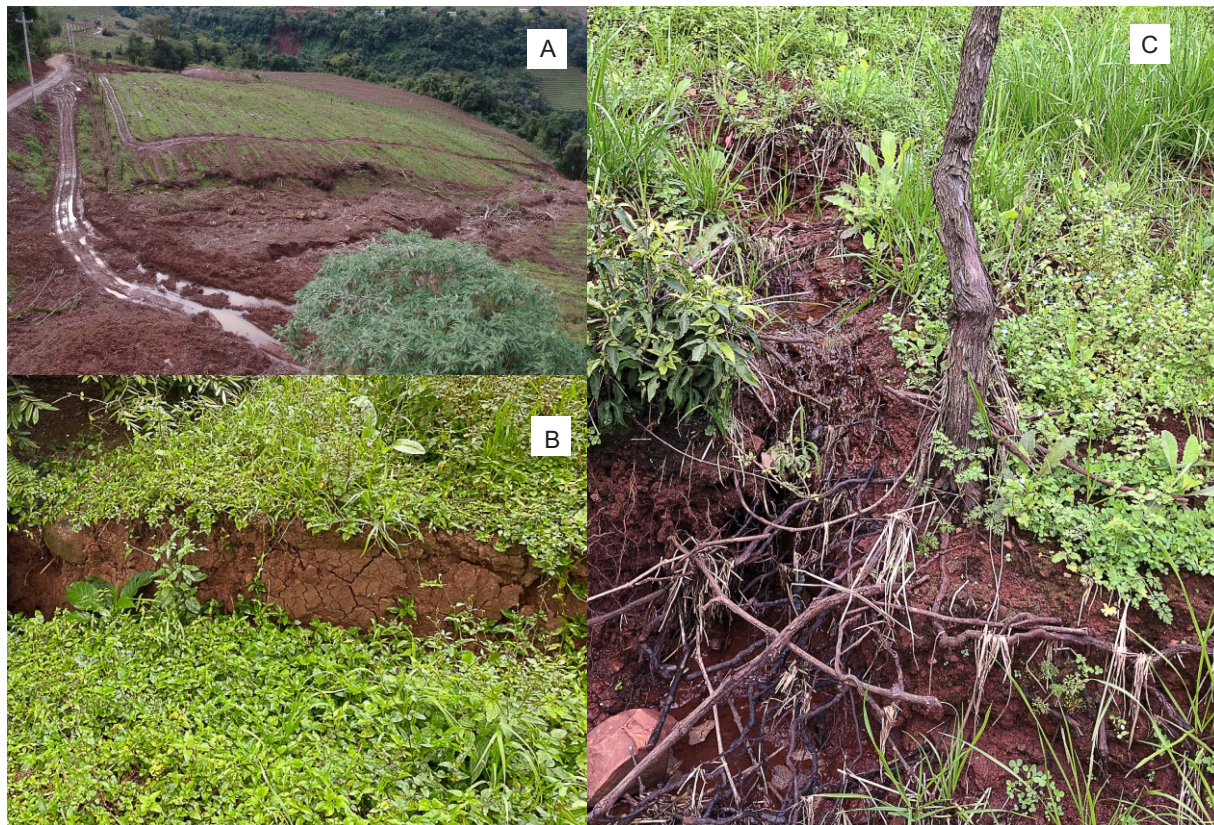


Foto: George Wellington de Melo

Figura 4.13. Vinhedo em sistema de condução em latada na Serra Gaúcha impactado diretamente por deslizamento de terra (A) em área de convergência hídrica, causado pelas chuvas extremas de abril e maio de 2024; vinhedo arrastado por estar interconectado no mesmo módulo da latada da área adjacente onde ocorreu o deslizamento de terra (B); e módulo de latada independente, não impactado pelo deslizamento de terra (C).

- Danos de alta intensidade – Desmoronamentos extensivos foram desencadeados por uma série de fatores combinados, como precipitações intensas, manejo inadequado da cobertu-

ra do solo, saturação hídrica prolongada e até intervenções humanas inadequadas que desestabilizaram a encosta (Figuras 4.14 e 4.15). Em vez de deslizamentos pontuais, os desmoronamentos de larga escala



Fotos: (A) George Wellington de Melo; (B) e (C) Emiliano Santarosa

Figura 4.14. Encosta cultivada com videira. (A) Parte do vinhedo arrastada morro abaixo devido à formação de grandes sulcos ocasionada pela infiltração de água e escoamento superficial. A falta de vegetação na superfície acentuou a vulnerabilidade do solo, facilitando o deslizamento e a remoção de camadas superficiais. Restos de plantas e raízes são visíveis no topo, indicando que o deslizamento arrancou a cobertura vegetal. A vegetação natural na parte superior da encosta sugere que a erosão se concentra nas áreas desprotegidas, destacando a necessidade de medidas de estabilização, como revegetação e técnicas de controle de erosão; (B) Deslocamento e movimento do solo tipo *creep*, afetando o sistema de condução e causando tortuosidade na estrutura de sustentação; (C) Detalhes do porta-enxerto e do sistema radicular da videira expostos devido aos problemas de erosão e movimento do solo tipo *creep*, comprometendo a fixação da videira no solo, além de afetar processos de absorção de água e nutrientes.



Fotos: (A) George Wellington de Melo; (B) e (C) Emiliano Santarosa

Figura 4.15. Áreas de vinhedos com estrada de terra passando por encosta instável, onde o solo exposto sofreu deslizamentos e processos erosivos. O solo removido deixou partes da encosta vulneráveis, criando degraus e cortes visíveis em virtude do desmoronamento. Observa-se no topo da encosta uma área cultivada com um vinhedo, que carece de cobertura vegetal adequada para estabilizar o solo. (A) Ausência de técnicas de manejo da erosão, como terraços ou revegetação, aumentando a vulnerabilidade da área a deslizamentos futuros, com riscos tanto para a estrada quanto para a área cultivada; (B) Vinhedo com sistema de condução e estrutura de sustentação danificada devido aos processos de erosão, movimentação de solo e deslizamentos; (C) Processos erosivos e deslizamentos afetando as áreas de vinhedos localizados em encostas da Serra Gaúcha.

comprometeram amplas faixas de cultivo. Isso envolveu não apenas a perda de plantas, mas também danos a toda a infraestrutura associada. Uma das características mais danosas desse tipo de evento é a ocorrência de fraturas e rachaduras nos horizontes do terreno. Isso reduz drasticamente a capacidade do solo de fixar as plantas e compromete a estrutura responsável pela sustentação das mesmas. Assim, as infraestruturas físicas, incluindo sistemas de condução (postes, aramados etc.), e de sistemas de irrigação, são frequentemente danificadas ou destruídas.

Considerações finais

A análise dos fatores antrópicos e de seus impactos nas áreas rurais de encosta da Serra Gaúcha revela um cenário complexo. Os eventos climáticos extremos de abril e maio de 2024 expuseram a vulnerabilidade dessas áreas, evidenciando a necessidade urgente de ações mitigadoras e adoção de práticas de manejo sustentável. As principais considerações são mencionadas a seguir, sendo necessário estabelecer estratégias para ampliar o emprego de boas práticas para o manejo do solo e da viticultura de áreas de encostas:

- Intensificação dos processos erosivos: a supressão da vegetação nativa e a instalação de talhões de cultivos (vinhedos, lavouras temporárias etc.) em zonas de convergência hídrica e de rampa erosional, associadas à implementação de práticas agrícolas inadequadas mesmo naquelas áreas primariamente aptas à atividade agrícola, têm exacerbado os impactos das precipitações intensas, resultando em erosão acelerada, deslizamentos de terra e significativa perda de solo fértil. Essas atividades comprometem a estabilidade dos perfis pedológicos. Ao remover a cobertura vegetal, que exerce papel fundamental na proteção contra processos erosivos, o solo fica exposto, principalmente nas áreas onde as plantas de cobertura estão ausentes. Isso resulta no impacto direto das gotas das chuvas, promovendo a desagregação, o salpicamento das partículas e a formação de crostas que diminuem a capacidade de infiltração e aumentam o escoamento superficial. Como consequência, promove-se o segundo estágio do processo de erosão hídrica, o transporte de partículas, o que, em última

análise, pode desencadear em movimentos de massa na forma de enxurradas. Além disso, em áreas agrícolas de preparo intensivo e contínuo do solo (convencional), combinado com a falta de medidas conservacionistas, são intensificados os efeitos das precipitações torrenciais e dos processos erosivos. Dessa forma, a adoção de estratégias integradas e sustentáveis de manejo são essenciais para mitigar esses impactos e promover a resiliência das áreas agrícolas e de encostas.

- Impactos na viticultura: a viticultura, principal atividade econômica da região, tem sido severamente impactada pelos eventos climáticos extremos ocorridos nos últimos anos. O sistema de condução do tipo latada, apesar de proporcionar elevada produtividade, apresenta vulnerabilidade significativa diante de fenômenos como precipitações intensas e vendavais, que podem comprometer a integridade estrutural dos suportes e afetar significativamente a produção de uvas. Esses danos não se restringem apenas às áreas diretamente atingidas, mas também têm implicações mais amplas, como a desorganização da logística de colheita, a deterioração da qualidade dos frutos e a consequente necessidade de replanejamento das safras subsequentes, resultando em expressivas perdas econômicas. Ademais, os elevados custos associados à manutenção e ao reparo das estruturas após esses eventos climáticos reduzem a viabilidade econômica-financeira do sistema de latada no longo prazo. Em um contexto de mudanças climáticas crescentes, torna-se essencial reconsiderar os sistemas de condução, buscando alternativas mais resilientes e eficientes, como a subdivisão das áreas em segmentos menores, para minimizar as perdas econômicas e preservar a sustentabilidade da produção vitivinícola.
- Degradação do solo: Problemas como a perda de solo, em conjunto com alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos desse fator de produção, podem comprometer de maneira significativa a sustentabilidade agrícola a longo prazo, dependendo da magnitude do dano. A perda da camada superficial reduz drasticamente o teor de matéria orgânica e estoques de carbono no perfil de solo, o que impacta negativamente sua capacidade de retenção de nutrientes e água, comprometendo

a produtividade agrícola e a resiliência das culturas. A compactação do terreno, resultante do tráfego intensivo e continuado de máquinas agrícolas realizado durante os tratos culturais, diminui a porosidade, prejudicando tanto a infiltração de água quanto a aeração do sistema radicular, resultando em um ambiente edáfico subótimo para o desenvolvimento das plantas. A interação entre esses fatores gera um ambiente altamente desfavorável para a sustentabilidade da agricultura, exigindo, portanto, uma reavaliação profunda e imediata das práticas de manejo atualmente empregadas, a fim de garantir a manutenção da produtividade e a integridade dos recursos edáficos no longo prazo.

- Infraestrutura rural: estradas rurais e seus respectivos sistemas de drenagem, quando inadequados, desempenham papel crítico na instabilidade geotécnica das áreas de encosta, contribuindo significativamente para aumentar os riscos de formação de enxurradas e deslizamentos. A ausência de planejamento técnico, somada à falta de manutenção regular, contribui para a degradação progressiva das vias, dificultando a mobilidade e o acesso a serviços essenciais, sobretudo em períodos de alta pluviosidade. A ineficácia dos sistemas de drenagem, pela falta de subdivisão, redirecionamento e dissipação de fluxos hídricos, particularmente em áreas com declividade acentuada, promove a saturação hídrica dos perfis pedológicos e favorece alagamentos frequentes, o que compromete não apenas a segurança dos habitantes locais, mas também a circulação de veículos, impactando negativamente a logística de transporte da produção agrícola. Assim, a deterioração simultânea das estradas e a ausência de sistemas de drenagem eficientes aumentam a vulnerabilidade da infraestrutura rural, exigindo intervenções estruturais abrangentes e investimentos substanciais. Medidas corretivas devem contemplar desde o planejamento de vias, com equipe de engenharia apropriada, até a implementação de sistemas de drenagem otimizados, que garantam tanto a estabilidade das áreas de encosta, quanto a continuidade das atividades econômicas e o bem-estar das populações rurais.

Referências

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 102, s. 1, p. 1-8, 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 17 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 6.938/1981, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 31 agosto de 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938compilada.htm. Acesso em: 17 fev. 2025.
- MANFROI, O. **A colonização italiana no Rio Grande do Sul**: implicações econômicas, políticas e culturais. 2nd ed. Porto Alegre, RS: [s. n.], 2001.
- MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.
- RADÜNZ, R.; HERÉDIA, V. 140 Anos da Imigração Italiana no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Internacional, 4; Fórum de Estudos Ítalo-brasileiro, 12., 2015, Caxias do Sul. **Anais [...]**. Caxias do Sul: Educus, 2015.
- STEENBOCK, W., VEZZANI, F. M. **Agrofloresta**: aprendendo a produzir com a natureza. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bambual, 2023.
- VALDUGA, R. **Sonho de um imigrante**. 3. ed. Porto Alegre: Letra & Vida, 2010.
- ZANINI, M. C. C.; OLIVEIRA, M. S. O trabalho como "categoria étnica": um estudo comparativo da ascensão social de imigrantes italianos e seus descendentes no Rio Grande do Sul (1875-1975). **REMHU - Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana**, v. 17, n. 33, 2009.

Capítulo 5

Impactos socioeconômicos da catástrofe climática sobre a viticultura da Serra Gaúcha

Joelsio José Lazzarotto

José Fernando da Silva Protas

Introdução

A região da Serra Gaúcha foi fortemente afetada pelos elevados índices de precipitação pluviométrica registrados nos meses de abril e maio de 2024. Diante disso, foi elaborado este capítulo com o objetivo de discutir e apresentar os principais impactos sociais e econômicos da ocorrência das chuvas excessivas na região, especialmente no tocante à viticultura, que resultaram também em reflexos importantes sobre o setor vitivinícola como um todo.

Para atingir o objetivo proposto, inicialmente, fez-se uma caracterização da agricultura regional, tendo em vista que no meio rural da Serra Gaúcha localizam-se as áreas mais afetadas. Posteriormente, deu-se maior destaque para a atividade vitícola que, além de ser a mais representativa sob as perspectivas sociais e econômicas, foi a mais impactada pelos eventos climáticos. No entanto, é importante assinalar que outras atividades agropecuárias, bem como áreas, por exemplo, de preservação permanente e de

reserva legal contidas em estabelecimentos agropecuários da região, também sofreram impactos relevantes e que, portanto devem ser objeto de análises específicas.

Sobre o desenvolvimento da atividade vitícola regional, foram abordados pontos chaves específicos, associados aos seguintes tópicos: caracterização e importância socioeconômica, investimentos e custos, representatividade para a indústria vinícola e viticultura de encosta. Com base nos resultados e nas discussões acerca desses tópicos, foram feitas análises de impactos, levando-se em conta áreas vitícolas diretamente afetadas pela catástrofe e áreas que, embora não tenham sido afetadas, permanecem sob algum grau de risco geológico. Além disso, foram destacados outros impactos diretos sobre o setor vitivinícola regional.

Para realizar o trabalho, em grande parte dos resultados e análises apresentados, foram utilizados dados representativos dos municípios que compõem



Figura 5.1. Delimitação, em rosa, da microrregião de Caxias do Sul, RS.
Fonte: IBGE (2024a).

a microrregião de Caxias do Sul (Figura 5.1). Isso porque, de acordo com divisões geográficas estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Rio Grande do Sul possui atualmente 37 microrregiões. Dentre elas, está a de Caxias do Sul, localizada mais a nordeste do estado, que contempla a maior parte dos municípios que compõem a chamada Serra Gaúcha.

Ao todo são 19 municípios, que juntos ocupam uma área de 496.971 ha, que representam 1,86% do território gaúcho: Antônio Prado, Bento Gonçalves, Boa Vista do Sul, Carlos Barbosa, Caxias do Sul, Coronel Pilar, Cotiporã, Fagundes Varela, Farroupilha, Flores da Cunha, Garibaldi, Monte Belo do Sul, Nova Pádua, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira, Santa Tereza, São Marcos, Veranópolis e Vila Flores (IBGE, 2024a).

A agricultura na Serra Gaúcha

A Serra Gaúcha tem no meio rural uma grande tradição e dependência para a manutenção do seu desenvolvimento regional, especialmente sob as perspectivas econômica e social. Isso porque, de maneira geral, foi colonizada por imigrantes europe-

us a partir do final do século 19, levando ao estabelecimento de uma eficiente e competitiva, predominantemente familiar, desenvolvida, em grande parte, em terrenos com relevo e topografia bastante desafiadores.

A partir da Tabela 5.1, constata-se que a estrutura fundiária da maior parte dos estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul é de pequeno porte. Com base em dados do Censo Agropecuário de 2017, verifica-se que apesar de a área total desses estabelecimentos corresponder a somente 1,3% da área total dos estabelecimentos agropecuários do Rio Grande do Sul, o número de estabelecimentos agropecuários representava 4,2% do total do estado. Além disso, mais de 81% dos estabelecimentos agropecuários da microrregião eram de agricultura familiar, desenvolvida em área média de 14,3 ha, que é menor que a média geral do estado (18,6 ha). Destaca-se que até mesmo a agricultura não familiar da microrregião é realizada em estabelecimentos agropecuários com área média inferior a 19 ha (a média estadual é de cerca de 228 ha para esse tipo de agricultura).

Tabela 5.1. Estabelecimentos agropecuários e áreas da agricultura familiar e não familiar do Rio Grande do Sul e da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017.

Variável	Nº de estabelecimento agropecuário		Área do estabelecimento agropecuário (ha)			
	Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul	Rio Grande do Sul		Microrregião de Caxias do Sul	
			Total	Média/estabelecimento	Total	Média/estabelecimento
Agricultura familiar	293.892	12.389	5.476.463	18,6	177.685	14,3
Agricultura não familiar	71.202	2.887	16.208.095	227,6	105.286	36,5
Total	365.094	15.276	21.684.558	59,4	282.971	18,5

Fonte: IBGE (2024b).

Para investir e/ou custear as atividades da agricultura familiar na microrregião de Caxias do Sul, bem como no Rio Grande do Sul como um todo, há uma forte dependência de políticas de crédito

rural. Conforme a Tabela 5.2, mais de 95% dos agricultores familiares tendem a recorrer a financiamentos do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf).

Tabela 5.2. Utilização do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) pelos agricultores familiares do Rio Grande do Sul e da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017.

Variável	Nº de estabelecimento agropecuário		Área do estabelecimento agropecuário (ha)	
	Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul	Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul
Com Pronaf	287.249	12.032	5.231.947	169.144
Sem Pronaf	6.643	357	244.516	8.540
Total	293.892	12.389	5.476.463	177.685

Fonte: IBGE (2024b).

Pelo lado social, observa-se que os estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul são responsáveis por garantir a ocupação de grande número de pessoas. Na média, em 2017, havia 3,37 pessoas com 14 anos ou mais ocupadas em cada estabelecimento agropecuário (Tabela 5.3).

Em termos de produção, a microrregião de Caxias do Sul caracteriza-se por ter uma agropecuária bastante diversificada incluindo produção

vegetal (lavouras permanentes e temporárias), pecuária e silvicultura. Conforme a Tabela 5.4, fica evidente que muitos estabelecimentos agropecuários exploram mais de uma atividade associada com lavouras permanentes e/ou temporárias. Em 2017, atividades envolvendo lavouras permanentes e temporárias estavam presentes em 64,1 e 60,2%, respectivamente, dos estabelecimentos agropecuários da microrregião. Para explorar esse conjunto de atividades, era utilizada apenas 26,2% da área total desses estabelecimentos.

Tabela 5.3. Pessoas com 14 anos ou mais ocupadas em estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017.

Variável	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total
Nº pessoa	38.375	13.102	51.477
Média de pessoas/estabelecimento	3,10	4,54	3,37

Fonte: IBGE (2024b).

Tabela 5.4. Dez produtos de lavouras permanentes (LP) e temporárias (LT) de maior produção nos estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017⁽¹⁾.

Tipo	Produto	Nº de estabelecimento agropecuário			Quantidade produzida (t)			Área (ha)		
		Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total
LP	Uva (vinho ou suco)	7.180	1.141	8.321	547.760	104.372	652.132	26.224	5.682	31.906
	Maçã	211	86	297	17.790	49.358	67.148	715	1.541	2.256
	Pêssego	1.192	207	1.399	37.754	15.241	52.995	2.560	929	3.489
	Caqui	791	177	968	16.039	9.091	25.130	1.236	575	1.811
	Uva (mesa)	614	111	725	14.274	2.792	17.066	910	189	1.099
	Ameixa	654	162	816	10.217	5.381	15.598	958	446	1.405
	Laranja	946	192	1.138	9.286	3.424	12.711	1.008	353	1.361
	Tangerina, bergamota, mexerica	691	119	810	7.410	1.807	9.217	1.057	291	1.348
	Pera	99	39	138	2.478	3.706	6.185	151	130	281
	Kiwi	102	22	124	1.470	1	1.762	118	33	151
Total		8.359	1.434	9.793	--	--	--	35.440	10.306	45.746
Tipo	Produto	Nº de estabelecimento agropecuário			Quantidade produzida (t)			Área (ha)		
		Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total
LT	Milho forrageiro	1.575	325	1.900	186.745	61.937	248.682	5.097	1.816	6.913
	Milho em grão	5.806	1.184	6.990	53.421	23.316	76.737	9.812	3.731	13.543
	Cebola	1.636	274	1.910	14.643	2.283	16.926	966	144	1.110
	Soja em grão	194	81	275	5.853	8.986	14.839	1.614	2.411	4.025
	Alho	647	97	744	3.587	1.396	4.983	452	150	602
	Cana-de-açúcar	243	36	279	3.159	1.329	4.488	121	32	153
	Forrageiras para corte	29	9	38	1.769	1.341	3.110	123	137	261
	Batata-inglesa	634	142	776	1.631	511	2.143	162	37	199
	Abóbora, moranga, jerimum	1.155	226	1.381	1.373	513	1.886	221	63	283
	Mandioca (aipim, macaxeira)	1.927	342	2.269	1.411	274	1.685	248	33	281
Total		7.642	1.555	9.197	--	--	--	19.409	8.942	28.351

⁽¹⁾Um mesmo estabelecimento pode produzir mais de um produto de lavoura permanente e/ou temporária. Por isso, os somatórios totais dos estabelecimentos resultam em valores menores do que se fizesse a soma desagregada de cada produto pelo número de estabelecimentos.

Fonte: IBGE (2024b).

Dentre as atividades agrícolas, a viticultura voltada para atender demandas da indústria (vinho e suco, principalmente) e do mercado in natura (uva de mesa) é a de maior destaque. Em 2017, estava presente em mais de 55% dos estabelecimentos agropecuários da microrregião. Levando em conta todas as explorações com lavouras permanentes e temporárias, fica ainda mais evidente a grande relevância da viticultura. Isso porque, em 2017, ocupava 44,5% da área total com lavouras permanentes e temporárias cultivadas na microrregião. Adicionalmente, ressalta-se que essa atividade está muito concentrada em pequenas propriedades familiares, que, em 2017, exploravam 82,2% da área vitícola, desenvolvida em área média inferior a 3,5 ha (a área média de viticultores não familiares era de 4,7 ha). Quando são analisados os volumes produzidos, fica ainda mais destacada a grande importância da viticultura para a microrregião. Do total produzido das principais frutas, 77,8% eram de uvas.

Para as atividades de lavoura temporária, a

Tabela 5.4 também evidencia que os dez produtos de maior expressão são, em geral, típicos de exploração por pequenos produtores rurais. O principal destaque é a produção de milho, que, em 2017, estava presente em cerca de 50% dos estabelecimentos agropecuários da microrregião.

Quanto às atividades envolvendo pecuária, observa-se que elas também estão presentes na maioria dos estabelecimentos agropecuários da microrregião (em 2017, estavam presentes em 71,7% deles). As principais atividades correspondem à avicultura, bovinocultura de leite e suinocultura, que, principalmente na Região Sul do Brasil, são fortemente concentradas em propriedades rurais familiares. Quando se analisa o número de cabeças de animais, pode-se inferir que, na média, as explorações em questão tendem a ser pequenas, mas fundamentais para a composição da renda de boa parte dos estabelecimentos agropecuários em análise (Tabela 5.5).

Com relação à exploração comercial de atividades associadas à silvicultura, a partir da Tabela 5.6,

Tabela 5.5. Dez espécies de pecuária de maior ocorrência nos estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017⁽¹⁾.

Espécie animal	Nº de estabelecimento agropecuário			Nº de cabeça		
	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total
Galinha, galo, franga, frango e pinto	6.727	1.217	7.944	16.887.017	4.983.984	21.871.001
Bovino	6.170	1.367	7.537	77.643	45.871	123.514
Suíno	4.454	773	5.227	108.328	70.513	178.841
Ovino	790	322	1.112	10.612	6.358	16.970
Equino	457	325	782	1.219	1.426	2.645
Pato, ganso, marreco, perdiz e faisão	373	112	485	4.716	1.735	6.451
Coelho	271	67	338	3.664	668	4.332
Peru	138	23	161	813.039	69.812	882.851
Caprino	98	30	128	785	400	1.185
Codorna	78	23	101	37.134	100.443	137.577
Total	9.039	1.912	10.951	17.944.239	5.281.267	23.225.506

⁽¹⁾ Um mesmo estabelecimento pode ter mais de uma espécie animal. Por isso, os somatórios totais dos estabelecimentos resultam em valores menores do que se fizesse a soma desagregada de cada espécie pelo número de estabelecimentos.

Fonte: Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2024b).

Tabela 5.6. Espécies florestais mais exploradas comercialmente nos estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017⁽¹⁾.

Espécie florestal	Nº de estabelecimento agropecuário			Nº de plantas existentes no estabelecimento agropecuário (mil unidades)		
	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total	Agricultura familiar	Agricultura não familiar	Total
Eucalipto	4.281	1.072	5.353	15.043	5.629	20.672
Acácia negra	698	211	909	1.937	651	2.588
Pinheiro brasileiro (araucária)	664	225	889	158	117	275
Pinheiro americano (pinus)	420	229	649	1.478	4.913	6.391
Total	4.583	1.211	5.794	18.707	11.353	30.060

⁽¹⁾ Um mesmo estabelecimento pode produzir mais de uma espécie florestal. Por isso, os somatórios totais dos estabelecimentos resultam em valores menores do que se fizesse a soma desagregada de cada espécie pelo número de estabelecimentos.

Fonte: Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2024b).

verifica-se que, em 2017, ao redor de 38% dos estabelecimentos agropecuários da microrregião de Caxias do Sul tinham atividades dessa natureza na sua matriz produtiva. O destaque principal é para o reflorestamento com eucaliptos, que, no referido ano, estava presente em 92% dos estabelecimentos com silvicultura comercial. Cabe destacar, porém, que em termos de tamanho médio dessa exploração, com base nos dados de números de plantas existentes, a área média total com espécies florestais comerciais é inferior a 10 ha nos estabelecimentos em que estão presentes.

Resumidamente, com relação ao uso da terra nos estabelecimentos agropecuários em análise, baseando-se nos dados apresentados e discutidos, bem como nas estatísticas referentes às classes de uso da terra (Capítulo 2), é possível inferir que, na microrregião de Caxias do Sul, existe também uma

grande extensão de área ocupada com formação florestal por vegetação arbórea nativa. Estima-se que essa área possa se situar próxima de 50% da área total dos referidos estabelecimentos agropecuários.

Ainda sobre o desenvolvimento da agropecuária da microrregião, os dados expressos na Tabela 5.7 evidenciam um gargalo relevante. Isso porque, em 2017, em torno de 44,7% dos estabelecimentos agropecuários não receberam nenhum tipo de assistência técnica. Esse resultado, apesar de um pouco melhor quando comparado com o Estado do Rio Grande do Sul como um todo (50% não receberam nenhuma assistência técnica), ressalta a necessidade de investimentos significativos na área de assessoramento dos produtores rurais, que são ainda muito dependentes da assistência técnica pública, seja na esfera federal, estadual ou municipal.

Tabela 5.7. Fonte de assistência técnica e número de estabelecimentos agropecuários assistidos no Rio Grande do Sul e na microrregião de Caxias do Sul – Ano 2017.¹

Fonte	Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul
Governo (federal, estadual ou municipal)	58.551	3.173
Própria ou do próprio produtor	44.802	1.865
Cooperativa	60.144	2.845
Empresa integradora	52.534	1.564
Empresa privada de planejamento	8.968	263
Organização não -governamental (ONG)	411	17
Sistema S	880	40
Outra	7.050	827
Total que receberam assistência técnica (A)	182.283	8.448
Total que não receberam assistência técnica (B)	182.811	6.828
Total	365.094	15.276

⁽¹⁾ Um mesmo estabelecimento pode receber assistência de mais de uma fonte. Por isso, os somatórios totais dos estabelecimentos resultam em valores menores do que se fizesse a soma desagregada de cada fonte pelo número de estabelecimentos. Fonte: IBGE (2024b).

Caracterização e importância socioeconômica da viticultura na Serra Gaúcha

Conforme assinalado no item anterior, a viticultura constitui a atividade agropecuária de maior destaque na Serra Gaúcha, estando presente na maioria dos estabelecimentos agropecuários. Nesse sentido, utilizando-se dados obtidos no

painel do cadastro vitícola nacional (Sistema de Informações da Área de Vinhos e Bebidas - Sivibe), fica muito evidente a grande relevância socioeconômica dessa atividade para a região. A Tabela 5.8 mostra que a microrregião de Caxias do Sul concentra expressiva parcela da atividade vitícola do Rio Grande do Sul. Em 2023, respondeu por cerca de 81,4 e 84,9%, respectivamente, da área e produção vitícola gaúcha (Brasil, 2024).

Se considerado o Brasil como um todo, no mesmo ano, os dados da viticultura da microrregião, quando confrontados com levantamentos realizados pelo IBGE (2024c), representavam 43,7 e 35,5%, respectivamente, da área e produção vitícola nacional.

A viticultura da Serra Gaúcha está fortemente vinculada a famílias de pequenos produtores rurais, muitas das quais têm nessa atividade a base fundamental da renda familiar. No agregado,

essas famílias produzem próximo de 85% das uvas da região, sendo, portanto, responsáveis por sustentar e dinamizar o desenvolvimento de uma cadeia produtiva muito expressiva no contexto nacional, envolvendo as maiores cooperativas e indústrias de processamento vitivinícolas do Brasil. Além disso, tais famílias fornecem matéria-prima para atender cerca de outras 600 pequenas e médias vinícolas registradas no Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa).

Tabela 5.8. Estabelecimentos rurais, área e produção de uvas na microrregião de Caxias do Sul – Ano 2023.

Município	Estabelecimento rural (nº)	Área de Vinhedo (ha)	Área/ Estabelecimento (ha)	Produção (kg)
Antônio Prado	581	1.415	2,4	30.265.185
Bento Gonçalves	988	4.457	4,5	84.687.765
Boa Vista do Sul	95	69	0,7	1.134.815
Carlos Barbosa	145	86	0,6	1.440.372
Caxias do Sul	1.091	2.973	2,7	49.506.795
Coronel Pilar	308	999	3,2	18.965.217
Cotiporã	339	1.484	4,4	27.845.334
Fagundes Varela	82	259	3,2	5.276.854
Farroupilha	836	3.440	4,1	72.904.551
Flores da Cunha	1.028	6.677	6,5	87.435.440
Garibaldi	573	2.478	4,3	45.647.357
Monte Belo do Sul	438	2.381	5,4	44.173.873
Nova Pádua	351	1.315	3,7	30.509.607
Nova Roma do Sul	297	1.084	3,6	19.015.326
Pinto Bandeira	327	1.565	4,8	40.383.580
Santa Tereza	221	819	3,7	15.221.864
São Marcos	452	1.131	2,5	22.598.752
Veranópolis	259	794	3,1	11.915.916
Vila Flores	20	84	4,2	1.028.050
Microrregião de Caxias do Sul (A)	8.431	33.513	4,0	609.956.653
Rio Grande do Sul (B)	12.967	41.186	3,2	718.034.083
A/B	65,0%	81,4%	--	84,9%

Por dificuldades de bases de dados adequadas, enquanto a variável “Estabelecimentos rurais (nº)” foi estimada a partir de dados obtidos no Censo Agropecuário de 2017, as variáveis “Área de vinhedos (ha)” e “Produção (kg)” foram extraídas do painel associado ao cadastro vitícola nacional.

Fonte: IBGE (2024b) e Sivibe (2024).

É pertinente ressaltar que, apesar do número total de estabelecimentos rurais que desenvolvem a viticultura na microrregião de Caxias do Sul estar próximo de 8.500, estima-se que o número de famílias envolvidas diretamente com a atividade seja de cerca de 15.000. Isso porque, na Serra Gaúcha, é muito frequente a exploração da viticultura por mais de um produtor rural em um mesmo estabelecimento agropecuário. Isso decorre de divisões na exploração de um mesmo estabelecimento, seja por questões familiares e/ou mesmo contratos de arrendamentos de parte(s) da área.

Assim, na realidade, a média de área vitícola explorada por família é menor do que a área média vitícola calculada por estabelecimento agropecuário, que foi de 4 ha.

Sobre as famílias vinculadas à atividade vitícola em análise, cabe salientar que, especialmente nas últimas décadas, tem-se observado aumento significativo na idade média das pessoas que moram e trabalham nas próprias propriedades rurais. Conforme Lazzarotto e Mello (2014), no ano de 2012, por exemplo, essa média já estava próxima dos 50 anos.

Adicionalmente, no mesmo ano, constatou-se que a idade média dos proprietários situava-se ao redor dos 59 anos. Percebeu-se ainda que essa situação de envelhecimento da referida população tendia a ser ligeiramente maior nas propriedades com menores áreas de vinhedos.

Em termos tecnológicos e estruturais, a viticultura da Serra Gaúcha é predominantemente desenvolvida a partir da utilização de sistema de

condução em latada (horizontal), que, em 2023, correspondeu a 92,9% da área vitícola da microrregião de Caxias do Sul (Tabela 5.9). As Figuras 5.2 A e B são bem ilustrativas dos dois principais sistemas de condução empregados na microrregião. Enquanto a latada é adotada, sobretudo, para produzir uvas de cultivares americanas e híbridas, como Bordô, Isabel, Niágara e BRS Carmem,

Tabela 5.9. Sistemas de condução e tipos de uvas produzidas na microrregião de Caxias do Sul – Ano 2023.

Sistema de condução	Área de vinhedo (ha)	Produção (kg)
Latada	31.134	584.338.474
Espaldeira	2.152	24.398.266
Outro	228	1.219.913
Total	33.513	609.956.653
Tipo de uva (cultivares)	Área de vinhedo (ha)	Produção (kg)
Americanas e híbridas	28.697	525.965.622
Viníferas	4.816	83.991.031
Total	33.513	609.956.653

Fonte: Brasil (2024).



Figura 5.2. Sistemas de condução vitícola na Serra Gaúcha: (A) Latada e (B) Espaldeira.

(vertical) é utilizada para produzir uvas finas para processamento, como, por exemplo, 'Chardonnay', 'Cabernet Sauvignon', 'Merlot' e 'Pinot Noir'.

Associado aos volumes produzidos, conforme a Tabela 5.9, há uma grande concentração, principalmente, de cultivares americanas e híbridas. Essas cultivares, que em 2023 representaram 86,2% da produção total de uvas dessa microrregião, visam a atender, principalmente, demandas da indústria de processamento, especialmente para a elaboração de vinhos de mesa e distintos tipos de suco. O predomínio dessas cultivares é justificado por diversos fatores, dentre os quais pode-se destacar os seguintes: tradição e cultura histórica de grande parte dos viticultores na exploração desse tipo de cultivar; maior produtividade média em relação às cultivares viníferas; menores custos de produção por unidade produzida quando comparado com uvas viníferas; maior mercado demandante desse tipo de matéria-prima; e manejos técnicos, em geral, mais simplificados quando comparados com os das viníferas. Relacionado com esse último fator, por exemplo, há muitos casos em que a utilização de fungicidas para controlar as principais doenças da videira chega a reduções de mais de 50% quando comparado com sistemas de produção de uvas viníferas.

A foto da latada (Figura 5.2A) é muito representativa das condições de relevo em que é desenvolvida significativa parcela da viticultura da Serra Gaúcha. Isso porque, tendo como base mapeamentos realizados por sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a microrregião de Caxias do Sul, estima-se que mais de 27% da área total implantada com vinhedos apresenta relevo com declividade igual ou superior a 30%. Esses vinhedos estão, de certa forma, sujeitos

a riscos geológicos maiores, ou seja, de sofrerem problemas diversos em decorrência de movimentações de terra, como registrado em abril/maio de 2024 pelo excessivo encharcamento do solo. Sobre esse contexto, cabe assinalar que a grande ocorrência de vinhedos em áreas de risco geológico é consequência de dois fatores principais: a baixa disponibilidade de áreas menos declivosas para expressiva parcela dos pequenos viticultores da Serra Gaúcha; e a escassez de alternativas, além da videira, de culturas econômicas a serem exploradas nessas áreas.

Investimentos e custos na viticultura da Serra Gaúcha

Apesar da viticultura da Serra Gaúcha ser desenvolvida predominantemente por pequenas famílias, é fundamental assinalar que se trata de uma atividade que demanda considerável aporte de capital para a sua implantação e operacionalização. Nesse sentido, a partir de diversos levantamentos realizados pela equipe de socioeconomia da Embrapa Uva e Vinho junto a viticultores típicos, ou seja, que apresentam perfis muito similares no universo dos produtores de uva da região, e utilizando um sistema de produção vitícola muito representativo dessa região, baseado na produção de uvas americanas e híbridas em estrutura de latada, foi elaborada a Tabela 5.10. Os resultados dessa tabela evidenciam que a implantação e a formação de 1 ha de vinhedos na região, em geral, demandam ao redor de R\$ 275.000,00 em investimentos de capital de longo prazo (máquinas, equipamentos e benfeitorias agrícolas, mudas de videira e estrutura do sistema de condução), além de outras despesas operacionais (insumos, mão de obra, seguro e manutenção de bens de capital e outras despesas).

Tabela 5.10. Demanda de capital para implantar e formar um hectare típico de vinhedo em latada na Serra Gaúcha – Ano 2024.

Capital	R\$/ha	Especificação do capital	R\$/ha
Investimentos para implantação e formação	183.585	Máquina, equipamento e benfeitoria	77.008
		Muda de videira	24.120
		Estrutura do sistema de condução (latada)	82.456
		Insumo	37.721
Despesas operacionais para implantação e formação	90.962	Mão de obra	32.169
		Seguro e manutenção de bens de capital	6.580
		Manutenção do sistema de condução	2.998
		Outras despesas (ex.: frete)	11.494
Total	274.547	Total	274.547

Como destacado, esse montante de capital contempla tudo o que é necessário para executar as fases de implantação e formação do vinhedo, ou seja, corresponde apenas aos quatro primeiros anos. Isso porque, geralmente, os vinhedos da região atingem a fase de manutenção somente a partir do quinto ano, quando normalmente se obtém a expectativa máxima de produção de uva.

Mediante os dados expressos na Tabela 5.10, pode-se inferir também que, pelo montante de capital envolvido e pelo tempo para atingir a produção plena, a viticultura da Serra Gaúcha está cercada por riscos relevantes, de ordens operacional, financeira e de mercado, que podem comprometer a sustentabilidade e a competitividade dessa atividade, que tem contribuição expressiva para o desenvolvimento social e econômico da região. Além disso, trata-se de uma atividade que, em função do custo total de produção anual (custos fixos mais custos variáveis), que gira entre 40.000 e 50.000 reais por hectare, para uma produtividade ao redor de 30.000 quilos de uva de cultivares americanas e híbridas, comercializada normalmente com base nos preços mínimos estabelecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o desdobramento natural esperado é um elevado tem-

po para a recuperação do capital investido, que tende a superar os 15 anos.

Representatividade da viticultura da Serra Gaúcha para a indústria vinícola

Estima-se que mais de 82,2% dos produtos da indústria vinícola brasileira são elaborados no Rio Grande do Sul com uvas produzidas no próprio estado. Nessa perspectiva, tendo-se como referência que 97,5% da produção vitícola estadual visa a atender demandas de processamento industrial (Protas et al., 2024), e levando-se em conta as diferentes cultivares de uva produzidas nos diversos municípios (Brasil, 2024), bem como o volume de produtos elaborados pela indústria vinícola gaúcha em 2023 (Rio Grande do Sul, 2024), é possível inferir que, em torno de 85% da demanda total de uvas da indústria em questão é proveniente da microrregião de Caxias do Sul (Tabela 5.11).

Quando se analisa o valor associado à produção da indústria vinícola gaúcha, fica muito evidente a sua grande importância para a economia estadual e, sobretudo, para a Serra Gaúcha, tendo em vista que envolve montantes superiores a 3 bilhões de

Tabela 5.11. Produção vinícola do Rio Grande do Sul e da microrregião de Caxias do Sul de acordo com a procedência da matéria-prima - Ano 2023.

Produto	Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul
Vinhos de mesa (l)	169.762.430	144.748.882
Suco de uva ⁽¹⁾ (l)	38.216.761	32.585.734
Suco concentrado (kg)	28.213.759	24.056.619
Mosto Simples (l)	157.848.983	134.590.815
Vinhos finos (l)	46.268.557	38.394.379
Espumantes ⁽²⁾ (l)	13.785.320	11.439.276
Vinho licoroso (l)	73.600	61.074
Suco orgânico (l)	611.718	521.585
Vinho orgânico (l)	94.150	80.278
Outros derivados ⁽³⁾ (l)	94.503	80.579

⁽¹⁾ 99,75% correspondem a suco integral feito com uvas brancas, rosadas e tintas; 0,25% é suco adoçado.

⁽²⁾ Estão agrupadas as produções de bases e espumantes prontos para serem comercializados.

⁽³⁾ Vários produtos enquadram-se nesse item, como bagaceira, graspa e vinagre.

Fonte: Sisdevin (2024) e Sivibe (2024).

reais anuais (Tabela 5.12). Assim, fazendo uma simples relação entre o valor bruto dessa produção industrial e os hectares de vinhedos explorados na microrregião de Caxias do Sul, se evidencia que há um expressivo valor associado. Isso porque, em

2023, na média, a produção de cada hectare de vinhedo dessa microrregião contribuiu para gerar um valor bruto da produção industrial de, pelo menos, R\$ 77.509,00 (para o estado como um todo, esse valor ficou em R\$ 74.486,00).

Tabela 5.12. Estimativas do valor bruto da produção (R\$) da indústria vinícola do Rio Grande do Sul e da microrregião de Caxias do Sul – Ano 2023⁽¹⁾.

Produto	Preço médio/unidade	Estado do Rio Grande do Sul	Microrregião de Caxias do Sul
Vinhos de mesa (l)	5,32	903.136.128	770.064.052
Suco de uva (l)	4,97	189.937.300	161.951.097
Suco concentrado (kg)	13,66	385.399.948	328.613.413
Mosto Simples (l)	4,97	784.509.446	668.916.350
Vinhos finos (l)	9,67	447.416.946	371.273.644
Espumantes (l)	25,34	349.320.009	289.871.257
Vinho licoroso (l)	9,67	711.712	590.590
Suco orgânico (l)	10,44	6.386.338	5.445.346
Vinho orgânico (l)	10,44	982.926	838.097
Outros derivados (l)	9,16	865.647	738.099
Total		3.067.800.752	2.597.563.847

⁽¹⁾ Para identificar o preço médio ponderado de cada produto, foram considerados os valores totais de vendas a granel e de produtos envasados no ano de 2023. Dos volumes totais comercializados pelas cooperativas integrantes da Federação das Cooperativas Vinícolas do Rio Grande do Sul (Fecovinho), 42,4% foram a granel e 57,6% envasados. Os maiores volumes de comercialização a granel estão associados a suco concentrado, vinhos de mesa e suco de uva: 93,6, 49,3 e 34,9%, respectivamente.

A viticultura de encosta na Serra Gaúcha

Considerando que expressiva parcela da agricultura da Serra Gaúcha caracteriza-se por ser desenvolvida em áreas de encosta, ou seja, que apresentam níveis de inclinação acentuados, e levando-se em conta os resultados calculados referentes à disposição das áreas de vinhedos georreferenciados para escorregamentos/encharcamentos potenciais na microrregião de Caxias do Sul (Tabela 2.8), foram estimados os números de estabelecimentos, as áreas e as produções vitícolas da microrregião de Caxias do Sul que estão sob distintas condições geológicas. A Tabela 5.13 apresenta evidências muito claras da grande relevância econômica e social da viticultura de encosta para a Serra Gaúcha. Isso porque se estima que quase 9% ou 2.882 ha de toda a atividade vitícola dessa região encon-

tra-se implantada em áreas com declividade superior a 45% e, que, portanto, estão muito sujeitas a riscos de escorregamentos de solos, como ocorreu na catástrofe climática de abril e maio de 2024. Além disso, quase 19% ou 6.233 ha com vinhedos da região, também, estão implantados em áreas com declividades que requerem atenção, pois situam-se entre mais de 30 e 45%. Cabe assinalar ainda que, há um grande número de vinhedos que, embora estejam implantados em áreas com declividade inferior a 30%, devem ser monitorados com atenção. Isso porque estão situados muito próximos, à jusante, de áreas com altas declividades e que apresentam, portanto, elevados riscos de escorregamentos frente a cenários de chuvas excessivas.

Partindo dos dados já apresentados e discutidos ao longo deste capítulo, juntamente com

as informações constantes na Tabela 5.13, pode-se inferir que a viticultura de encosta da Serra Gaúcha viabiliza a sustentabilidade de pelo menos 4.000 famílias, que, em sua grande maioria, são de pequenos produtores.

Considerando apenas a viticultura implantada em áreas com declividade superior a 30%, estima-se que a matéria prima por ela fornecida é responsável por cerca de 23% de todo o valor bruto da produção gerado pela indústria vinícola gaúcha.

Tabela 5.13. Estimativas associadas com vinhedos da microrregião de Caxias do Sul sob distintas declividades e riscos geológicos – Ano de 2023⁽¹⁾.

Declividade/risco geológico	Estabelecimento agropecuário		Área	Produção
	(nº)	%	(ha)	(kg)
Declividade maior do que 45% - risco de escorregamento	725	8,6	2.881	52.436.480
Declividade entre 30% e 45% - risco de escorregamento	1.568	18,6	6.224	113.272.986
Declividade menor que 3% - risco de encharcamento	1.121	13,3	4.462	81.218.401
Sem risco geológico aparente	5.017	59,5	19.946	363.028.785
Total	8.431	100,0	33.513	609.956.653

⁽¹⁾ Estimativas feitas a partir de levantamentos referentes à localização geológica dos vinhedos da microrregião de Caxias do Sul (Tabela 2.8) e de dados da viticultura da microrregião de Caxias do Sul.
Fonte: Sivibe (2024).

Estimativas de impactos em áreas vitícolas diretamente afetadas e sob riscos

Após a catástrofe climática de abril e maio de 2024, diversas instituições ligadas ao setor vitivinícola da Serra Gaúcha, como, por exemplo, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (Emater-RS), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), cooperativas e indústrias vinícolas, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), Instituto de Gestão, Planejamento e Desenvolvimento da Vitivinicultura do Rio Grande do Sul (Consevitis) e Sindicatos Rurais, realizaram levantamentos visando a mensurar perdas e danos, sobretudo, em nível de propriedades rurais. No agregado desses levantamentos, estimou-se que ao redor de 300 ha de vinhedos sofreram danos significativos. Foi computado, ainda, que esse conjunto de hectares teria impactos diretos, sob os âmbitos sociais e econômicos, nas vidas de, pelo menos, 150 famílias.

Os referidos levantamentos consideram danos diversos, que, de acordo com a Emater-RS, podem ser classificados em quatro níveis de impactos, envolvendo, sobretudo, movimentações de terra:

- Baixo (leve ou superficial), em que basicamente

- registraram-se pequenas erosões do solo.
- Médio (pequena movimentação do terreno), gerando, sobretudo, fissuras no solo.
 - Alto (deslizamento parcial), em que parte da área foi soterrada por deslizamentos de terra da parte superior.
 - Muito alto (deslizamento total), em que as movimentações na área foram as mais impactantes, resultando, em muitos casos, até na exposição completa de rochas.

Independentemente do nível, todas as áreas de vinhedos impactadas diretamente pelas chuvas excessivas apresentaram prejuízos expressivos, que podem comprometer a viabilidade técnica e econômica da atividade vitícola. Esses prejuízos contemplam desde comprometimentos na fertilidade do solo até perdas totais, em que se incluem a terra e toda a estrutura dos parreirais (sistema de condução). Além disso, em muitas propriedades rurais afetadas, ocorreram perdas importantes também na estrutura de apoio à produção vitícola, em que se incluem as máquinas e benfeitorias agrícolas e as próprias casas dos moradores e/ou empregados das propriedades.

A partir dos levantamentos citados, realizados por diversas instituições, elaborou-se a Tabela 5.14, tendo como principal objetivo mensurar prejuízos econômicos diretos. É importante ressaltar que os números apresentados são aproximações da realidade afetada, sendo muito baseadas na própria percepção de vários técnicos que visitaram e levantaram dados dessa realidade.

Do quantitativo de vinhedos diretamente afetados, computou-se que ao redor de 100 ha podem ser classificados como de impactos muito altos, ou

seja, com perdas totais da estrutura de produção. Considerando apenas esse número, e levando-se em conta o montante de capital para implantar e formar um hectare de vinhedo, sem considerar os investimentos em máquinas, equipamentos e benfeitorias agrícolas, pode-se estimar que o prejuízo com o capital investido foi ao redor de 19,1 milhões de reais. Ao se considerar o total de capital investido e que foi perdido no conjunto total dos 300 ha de vinhedos, chegou-se ao montante de 32,2 milhões de reais.

Tabela 5.14. Estimativas de perdas de capital investido e de receitas potenciais em áreas de vinhedos da Serra Gaúcha diretamente afetadas pela catástrofe climática de 2024.

Nível de impacto	Área	Perda de capital investido	Perda total de capital (A)	Perda de produção ⁽³⁾	Comprometimento da produtividade ⁽⁴⁾	Perda acumulada de receita (B) ⁵	Prejuízo total
	(ha) ⁽¹⁾	(R\$/ha) ⁽²⁾	(R\$)	(kg/ano)	(anos)	(R\$)	(A+B)
Baixo	50	28.644	1.432.190	187.686	1	281.529	1.713.719
Médio	70	57.288	4.010.131	394.141	2	1.182.424	5.192.554
Alto	80	95.479	7.638.344	750.745	4	4.504.471	12.142.815
Muito alto	100	190.959	19.095.861	1.876.863	4	11.261.178	30.357.039
Total	300	--	32.176.526	3.209.436	--	17.229.602	49.406.128

⁽¹⁾ Estimativas baseadas em levantamentos realizados por diversas instituições ligadas ao setor vitivinícola da Serra Gaúcha.

⁽²⁾ Estimativas feitas pela equipe de socioeconomia da Embrapa Uva e Vinho, considerando apenas perdas diretas de valores que foram investidos na implantação e formação dos vinhedos. Para hectares com níveis de impacto classificados como baixo, médio, alto e muito alto, assumiram-se, como perdas de capital investido na estrutura do vinhedo e/ou do solo, os valores, respectivamente, de 15, 30, 50 e 100%. Assim, considerando que esse capital total gira ao redor de R\$ 190.959 por hectare (Tabela 5.10), por exemplo, para um vinhedo com nível de impacto muito alto, a perda seria de 100% desse capital.

⁽³⁾ Para calcular as perdas de produção, utilizou-se como base a média de produtividade de 1 hectare de uvas produzidas em sistema latada na microrregião de Caxias do Sul que, em 2023, de acordo com dados do Brasil (2024), foi de 18.769 Kg. Para hectares com níveis de impacto classificados como baixo, médio, alto e muito alto, assumiram-se, como perdas de produtividade anual, os valores, respectivamente, de 20, 30, 50 e 100%.

⁽⁴⁾ O período com comprometimento da produtividade indica o tempo mínimo, em anos, que, hipoteticamente, seria necessário para recuperar a produtividade média de 18.769 Kg/ha. Contudo, é importante salientar que muitas áreas de vinhedos afetadas pela catástrofe climática, em função, sobretudo, do nível de danos na estrutura do solo, possivelmente não será mais viável, técnica e economicamente, a recuperação visando a continuar com a exploração vitícola.

⁽⁵⁾ Corresponde aos prejuízos na receita (faturamento por parte do produtor) em função das perdas acumuladas de produção durante todos os anos com comprometimento da produtividade média. Para definir os prejuízos na receita, foi utilizado como referência o preço mínimo da uva de 2024 para a cultivar Isabel com 15° babo, estabelecido em R\$ 1,50 por quilo (Companhia Nacional de Abastecimento, 2024).

Além das perdas de capital, os vinhedos também terão comprometimentos parciais e/ou totais da produção vitícola, de acordo com o nível de impacto sobre os mesmos. Nessa perspectiva, projetando-se perdas de produção para os próximos quatro anos, estimou-se um prejuízo acumulado em termos de receita para os viticultores na casa 17,2 milhões de reais. Considerou-se o período de quatro anos, pois, em geral, é o tempo necessário para implantar e formar plenamente um vinhedo.

No agregado, levando em conta as perdas de capital investido diretamente nos vinhedos e os comprometimentos futuros da produção de uvas, projetou-se, para os próximos quatro anos, um prejuízo total da ordem de 49,4 milhões de reais. De outra forma, pode-se assinalar que, na média, os prejuízos associados somente com estrutura pro-

ductiva dos vinhedos e com comprometimentos da produção vitícola nos próximos quatro anos são de cerca de R\$ 164.687,00 por hectare diretamente afetado pela catástrofe climática.

Quando se mensuram impactos também para a indústria vinícola (vinhos e sucos, principalmente) da microrregião de Caxias do Sul, com os dados de perdas anuais de produção expostos na Tabela 5.14, é possível estimar que essas perdas representariam, para o ano de 2025, algo próximo de apenas 0,54% da produção total de uvas a ser recebida por essa indústria. Em termos de valor bruto da produção, assumindo os mesmos preços médios de venda praticados, em 2023, pelas cooperativas integrantes da Fecovinho (Tabela 5.12), a queda associada seria ao redor de 14 milhões de reais, ou seja,

cada hectare afetado, em média, impactaria em redução da ordem de R\$ 47.783,40 no valor bruto da produção da indústria em questão.

Portanto, com base nas estimativas apresentadas, ao se considerar somente os vinhedos diretamente impactados pela catástrofe climática, pode-se inferir que, na dimensão da microrregião de Caxias do Sul, eles correspondem a apenas 0,9% da área vitícola total dessa microrregião e com impactos anuais de pouco mais de 0,5% na oferta de uvas para a referida indústria. Contudo, é imprescindível que os danos observados, apesar de, em termos relativos, não terem grande dimensão dentro do contexto geral da viticultura da Serra Gaúcha, sejam analisados com muita atenção sob os pontos de vista social, econômico e ambiental. Isso porque, conforme já assinalado, expressiva parcela da atividade vitícola dessa região está implantada em áreas muito similares àquelas que registraram danos significativos em consequência da catástrofe climática de abril e maio de 2024. Estima-se que atualmente em torno de 27,2% da viticultura em análise é desenvolvida em áreas com inclinação superior a 30%. Levando-se em conta todas as estruturas dos vinhedos e de apoio a estes (exemplo: máquinas, equipamentos e benfeitorias agrícolas), pode-se estimar que apenas essa viticultura implantada em áreas com declividade acima de 30% envolve um capital investido da ordem de 2,5 bilhões de reais.

Outros impactos diretos vinculados ao setor vitivinícola

Além de todos os impactos assinalados ao longo deste capítulo, a catástrofe climática resultou em outras perdas muito significativas para o setor vitivinícola. Nessa perspectiva, embora não estejam disponíveis estatísticas precisas, a partir de consultas feitas a entidades associativas e empresários ligados à vitivinicultura da Serra Gaúcha, pode-se afirmar, preliminarmente, que os impactos e as perdas foram transversais, atingindo de forma indiscriminada um grande conjunto de atividades econômicas relacionadas, direta ou indiretamente, com os territórios vitícolas afetados. Nesse contexto, é possível destacar alguns fatores cruciais:

- Queda expressiva em atividades ligadas ao enoturismo, cuja estimativa é de redução de pelo me-

nos 70% no número médio de turistas esperados, principalmente provenientes de outros estados brasileiros. Cabe salientar que esse movimento turístico é essencial para viabilizar e dar sustentabilidade, sobretudo, a diversos pequenos e médios negócios vinculados, por exemplo, com vinícolas, pousadas, hotéis e restaurantes.

- Em função da queda no enoturismo, para muitos empreendimentos vinícolas que dependem do varejo próprio no local para realizar grande parte das suas vendas, houve acentuado represamento nos estoques dos seus produtos. Esse fato tem criado grandes dificuldades econômicas para a continuidade de vários negócios, bem como para a preservação de muitos postos de trabalho. Como desdobramento desse cenário, avalia-se que, em mantendo a situação atual, marcada pela redução significativa do turismo em foco, há riscos relevantes de fechamento de diversos pequenos empreendimentos na região.
- Necessidade de recorrer à terceirização das vendas por meio de distribuidores, o que diminui muito a margem de lucro, já que os descontos, para o distribuidor, podem chegar a cerca de 45% do preço do produto que seria vendido diretamente ao consumidor final. Adicionalmente, recorrendo a esse expediente, perde-se a oportunidade de fidelizar o cliente, evento que só tende a se consolidar com a experiência que o mesmo teria ao visitar e comprar no próprio estabelecimento local.
- Significativo aumento nos custos e nos prazos de entrega relacionados aos fretes dos produtos vinícolas elaborados na região e que são vendidos e despachados, sobretudo, para outros estados brasileiros.
- Queda na remuneração dos produtores de uva de toda a região. Isso porque, tomando como referência a visão de cadeia produtiva, em função das dificuldades de venda dos produtos vinícolas, há um impacto negativo direto também sobre a demanda e os preços pagos pela matéria prima.
- Aumento de incertezas acerca da sucessão familiar em propriedades vitícolas, que, conforme já destacado, são predominantemente pequenas e exploradas por pessoas com idade média ao redor dos 50 anos. Como consequência, já se percebe aumento da produção vitícola regional sendo realizada com mão de obra terceirizada. Assim, além de impactar em termos de elevação nos custos de produção, há um risco crescente de redução na qualificação da mão de obra.

Isso porque é cada vez mais evidente e frequente o processo migratório de famílias tradicionais na viticultura para outras atividades, sejam agrícolas ou vinculadas ao meio urbano.

Considerações finais

Acatástrofe climática ocorrida em abril e maio de 2024 causou grandes estragos nos meios rural e urbano do estado do Rio Grande do Sul. Nesse contexto, a Serra Gaúcha também foi muito impactada, predominantemente por problemas associados com deslizamentos de terras. Esses deslizamentos ocasionaram perdas expressivas, que envolvem diversos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Dentre as atividades que registram perdas mais acentuadas, insere-se a viticultura, que, para a região em questão, é, dentre o conjunto de atividades agropecuárias, a mais representativa na maior parte dos estabelecimentos agropecuários, em sua grande maioria caracterizados por serem explorados por pequenos produtores familiares. Apesar de, em termos relativos, a área de vinhedos impactada ser pequena no contexto regional, as perdas são significativas devido a alguns aspectos principais que podem ser destacados: a implantação e a formação de vinhedos envolve elevado investimento de capital; os danos à estrutura de grande parte dos vinhedos afetados, além de exigir aporte importante de recursos financeiros para a sua recuperação, quando possível, compromete significativamente a renda de pelo menos 150 famílias, pois tende a ocasionar quedas relevantes nas receitas anuais; e a paisagem rural, incluindo áreas de preservação permanente e de reserva legal, bem como reservatórios e rios, também foi severamente afetada, com impactos ambientais que tendem a apresentar enormes desafios visando à resiliência dessa paisagem.

Além disso, cabe assinalar que a catástrofe resultou em outros problemas não menos importantes e que merecem atenção especial, como: comprometimento de diversas estradas rurais, muitas das quais precisam ser revistas com relação à sua localização em função das condições geológicas em que estão implantadas; danos à qualidade e disponibilidade de água nas propriedades rurais, incluindo riscos à preservação de inúmeras nascentes; e prejuízos enormes ao setor vitivinícola como um todo em decorrência, por exemplo, de quedas expressivas no enoturismo local, com efeitos negativos nas vendas de vinhos e ocupação de hotéis, pousadas e restaurantes.

Por fim, com base em diversos números e informações apresentados ao longo deste capítulo, pode-se afirmar que, na Serra Gaúcha, há uma grande área vitícola sob riscos geológicos importantes que, necessariamente, precisa ser avaliada e monitorada, para, sobretudo, quando necessário, estabelecer estratégias e/ou recomendações técnicas preventivas, que venham a minimizar a ocorrência de problemas similares aos observados nos 300 hectares diretamente afetados. Essas ações são necessárias e urgentes para diminuir vulnerabilidades que podem impactar, de maneira expressiva, toda a cadeia produtiva vitivinícola da região.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **SIVIBE**: Sistema de informações de vinhos e bebidas. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/SIVIBE/SIVIBE.html>. Acesso: 25 set. 2024.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Título 63**: normas específicas de uva industrial: safra 2024: comunicado CONAB/MOC n.º 030, de 15/12/2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/images/arquivos/moc/63_NORMAS_ESPECIFICAS_DE_UVA_INDUSTRIAL_SAFRA_2024.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.
- IBGE **Malha municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 24 set. 2024a.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**: SIDRA: censo agropecuário. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q>. Acesso em: 25 set. 2024b.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**: SIDRA Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/LA/A/47/T/Q>. Acesso em: 25 set. 2024c.
- LAZZAROTTO, J. J.; MELLO, L. M. R. de. **Panorama da mão de obra familiar na viticultura do Rio Grande do Sul**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. 15 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado técnico, 163).
- PROTAS, J. F. da S.; LAZZAROTTO, J. J.; MACHADO, C. A. E. **Panorama da vitivinicultura brasileira em 2022**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2024. 21 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado técnico, 233). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1167634/1/ComTec-233.pdf>.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. **SISDEVIN**: Sistema de Declarações Vinícolas: Safra da uva e produção vitivinícola do Estado do RS em 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202309/13115326-sisdevin-2023-safra-da-uva-e-producao-vitivinicola-resumo.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

Capítulo 6

Proposições para os impactos de chuvas extremas na Serra Gaúcha

Henrique Pessoa dos Santos

Adilson Luis Bamberg

Annete Bonnet

Carlos Augusto Posser Silveira

Emiliano Santarosa

George Wellington Bastos de Melo

Gustavo Ribas Curcio

João Bosco Vasconcellos Gomes

Joelsio José Lazzarotto

José Fernando da Silva Protas

Introdução

A partir do conjunto de informações apresentadas e discutidas acerca do diagnóstico sobre os efeitos das chuvas acumuladas em abril e maio de 2024, se verifica a necessidade, sobretudo, da definição e adoção de diversas soluções técnicas para garantir maior sustentabilidade na macrorregião da Serra Gaúcha, principalmente nas áreas de encostas, nos vales e nos rios onde os impactos foram mais expressivos.

O conjunto de proposições mencionadas a seguir visa, pelo menos, garantir uma produtividade economicamente viável dos sistemas de produção da região, assim como diminuir riscos ambientais e contribuir com questões de sustentabilidade da região como um todo. Grande parte das proposições poderá dar origem a programas específicos, necessariamente, envolvendo entidades nas esferas privada, municipal, estadual e/ou federal. Entende-se que, futuramente, outras proposições poderão ser incorporadas às apresentadas neste capítulo. Com isso, será materializada uma base mais ampla de ações de planejamento oriundas de outros fóruns técnico-administrativos já existentes ou a serem instituídos na região.

Sem dúvida, eventos catastróficos com a magnitude observada em abril e maio de 2024 requerem estudos e projetos desenvolvidos com rigor e profundidade, a fim de compatibilizar, ao máximo, os sistemas de produção da região em coerência aos potenciais de uso dos solos, associados à capacidade e competência dos produtores rurais, sem desconsiderar o contexto total da paisagem regional.

É importante salientar que, em uma segunda etapa, as recomendações técnicas desenhadas

deverão ser aprofundadas, de maneira que possam ser desmembradas, temporalmente, em ações de curto, médio e longo prazo e executadas de acordo com o perfil socioeconômico da Serra Gaúcha, considerando concomitantemente a análise da paisagem. Complementar e paralelamente, é essencial estabelecer e cumprir planos voltados para recuperar as funções ecológicas alteradas e/ou perdidas em áreas que foram degradadas, tanto em encostas como em planícies da região com vistas à segurança hidrológica.

As proposições a seguir foram estruturadas e organizadas em três grandes eixos: políticas públicas, transferência de tecnologia e aprimoramentos de sistemas de produção para a resiliência e sustentabilidade de áreas de encosta.

Políticas públicas

Crédito rural diferenciado e desburocratizado

É imprescindível a criação de políticas de crédito rural diferenciadas para investimentos e/ou custeio (exemplo: políticas de incentivo para readequação de sistemas de produção), tendo em vista que as propriedades rurais afetadas e/ou sob condições de riscos (que estão em áreas de encostas) são, em sua grande maioria, exploradas por pequenos produtores familiares, que têm forte dependência de financiamentos externos, associados, sobretudo, ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). Para tanto, é fundamental estabelecer critérios técnicos, que deverão ser pré-requisitos chaves e, portanto, observados pelos produtores e certificados por instituições públicas, como, por exemplo, laudo da Empresa de

Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater-RS) sendo prerrogativa para acesso ao crédito. Esses critérios incluem, por exemplo, as condições do local em que podem e não podem ser implantados vinhedos e/ou reservatórios de águas, o tamanho da estrutura contínua dos vinhedos e a recomposição de matas em locais essenciais para proteger as áreas e minimizar riscos de deslizamentos de terra. Portanto, a partir dos critérios pré-estabelecidos, o acesso às políticas em questão implicaria na elaboração prévia de projetos técnicos customizados para cada caso.

Plano diretor para infraestrutura

Devem ser geradas políticas públicas que assegurem as ações de avaliação da infraestrutura de estradas rurais, pontes e moradias, além de instalações para a criação de animais, com o intuito de planejar ações de melhoria, reposicionamento e construção em áreas de menor fragilidade ambiental possível. Esses tipos de ações executadas no meio rural devem constar nos planos diretores municipais, gerando embasamento suficiente para apontar os locais mais adequados para materialização desse tipo de infraestrutura, inclusive no meio periurbano.

A avaliação das fragilidades específicas e a indicação dos locais mais adequados devem ser embasadas, de modo integrado, considerando aspectos geológicos, feições geomorfológicas e atributos pedológicos, assim como o componente hidrológico, promovendo maior estabilidade da infraestrutura e do meio ambiente.

Locais para alocação de pontes nas planícies fluviais, por exemplo, devem levar em conta aspectos de geomorfologia da planície e padrões de leito fluvial. Do mesmo modo, é imprescindível que as pontes que sofreram os impactos da catástrofe de abril e maio de 2024 sejam analisadas e certificadas quanto à estabilidade estrutural e ao grau de segurança.

Deve-se ter em mente que estradas mal alocadas, independentemente de seu tamanho, oferecem risco direto para a ocorrência de fluxos de massa, podendo comprometer tanto a segurança ambiental como das famílias. Dessa forma, as estradas devem ser locadas, sobretudo, em áreas de encosta, mais especificamente nas rampas coluvionares, considerando, sempre que possível, o traçado ideal para disposição na forma de curvatura em nível.

É importante destacar a necessidade de conduzir, com critérios técnicos, obras de captação de água das estradas, evitando o descarte

hidrológico desorganizado, identificado atualmente, os quais incorrem, necessariamente, na formação de processos erosionais nos sistemas de produção e nos rios.

Os efeitos impostos ao ambiente pela catástrofe e abril e maio de 2024, dos quais destacam-se os movimentos de solo, ressaltam a necessidade de novas condutas públicas no que diz respeito à plotação e/ou recuperação das moradias, bem como a permanência de uso com sistemas produtivos sobre solos com algum tipo de movimentação.

Assim, para a situação das moradias, recomenda-se que a reconstrução ou construção de novas casas sobre áreas que tenham sinais evidentes de deslizamento (blocos abatidos) (Figura 3.10) não recebam incentivos através de subsídios financeiros por instituições públicas, com o objetivo, único e exclusivo, de preservar vidas, garantindo a segurança familiar dos produtores rurais. Complementarmente, para áreas que tenham sinais visíveis de movimentação do solo na forma de *creep* (Figura 3.17B), orienta-se o monitoramento das mesmas ao longo do tempo, medindo-se a intensidade de deslocamento do solo. Apesar dos movimentos serem muito lentos (centímetros ao ano), ainda assim, fica caracterizado o perigo iminente de acontecerem deslocamentos mais rápidos, fato que pode redundar em perda de vidas. Deve-se ter em mente que, mesmo movimentos muito lentos podem abalar a estabilidade estrutural das moradias com o decorrer do tempo. Essas potenciais fragilidades devem ser amparadas por textos específicos contidos em políticas públicas.

Ainda para o caso das moradias, porém em áreas sem movimentação do solo, sugere-se o afastamento das margens de rios, ou das linhas de convergência hídrica, pois são os caminhos preferenciais para os fluxos de massa (transmissão de massa com detritos), os quais podem proporcionar alto risco às estruturas das moradias, consequentemente, ampliando o perigo à segurança dos produtores rurais. Essas ações devem ser motivo de atenção especial nos textos dos planos diretores municipais.

Para o caso de sistemas de produção sobre solos que sofreram movimentação, não é aconselhável a ação continuada em que o produtor permaneça muito tempo durante o dia sobre áreas que tenham indicativos visíveis de deslocamento de blocos abatidos (Figura 3.10), em razão da extrema instabilidade presente. Ao encontro desta afirmativa, o agricultor deve ser aconselhado pela

assistência técnica a encontrar formas de uso em que seu tempo de permanência sobre aquele imóvel seja o mínimo possível, a exemplo, povoamentos florestais. Ainda assim, deixa-se o registro de que as operações de plantio, possíveis desbastes e colheitas passam a ser operações de elevado risco à segurança dos trabalhadores nesses locais.

Similarmente, para áreas com registro de movimentos lentos (*creep*) (Figura 3.17B), embora menos grave, é importante realizar ações de monitoramento no sentido de verificar se a velocidade do movimento durante os anos está se acentuando ou diminuindo. Além disso, é essencial uma rigorosa investigação para detecção de novas superfícies de divorciamento do solo (Figura 3.16A).

Programa para a reconversão parcial da matriz produtiva

Uma referência marcante do perfil “tradicional” da viticultura da região da Serra Gaúcha está relacionada com a estrutura da sua matriz produtiva. Composta, sobretudo, por cultivares americanas e híbridas, 49% da produção regional concentra-se em duas principais cultivares: Isabel e Bordô. Entretanto, além dessas, a referida matriz registra outras 46 cultivares americanas e híbridas e 110 cultivares viníferas exploradas comercialmente, embora com menor protagonismo, segundo dados do cadastro vitícola. Normalmente os critérios usados pelos produtores para a definição de quais cultivares plantar, tanto no caso de expansão da produção, quanto para a renovação de vinhedos antigos, são, de certa forma, muito aleatórios, baseados na tradição ou em alguma expectativa de maior lucro, sem maior rigor técnico. Nesse contexto, e levando-se em conta os prejuízos registrados e a grande área vitícola sujeita a riscos similares aos registrados na catástrofe climática de abril e maio de 2024, fica evidente que há um grande potencial para a melhoria qualitativa e competitiva da cadeia produtiva vitivinícola regional. Isso porque a topografia e o relevo da região estabelecem uma grande variabilidade de microclimas e diversos desafios para a exploração vitícola, havendo, para cada ambiente, cultivares com melhor adaptação. Como, por exemplo, cultivares mais produtivas para serem exploradas em locais com maiores restrições de áreas agrícolas favoráveis. Considerando a forte pressão concorrencial do mercado vitivinícola, onde a competitividade baseia-se na qualidade e nos preços dos produtos ofertados, fortalecer a base estrutural da cadeia, que no caso é a produção da matéria prima (uva), assume importância vital para a

sua sustentabilidade. Portanto, existe um enorme potencial de impacto positivo vinculado ao estabelecimento de um programa focado no estímulo à reconversão parcial da matriz produtiva regional. Com esse programa, pode-se assumir um papel orientador da produção e do seu incremento qualitativo, privilegiando as variedades e os sistemas de produção vitícola que se apresentem com maiores potencialidades técnicas e econômicas. Para tanto, diante das características ambientais presentes nas regiões de produção de encostas e do efetivo interesse comercial, é imprescindível um alinhamento prévio articulado entre a organização dos produtores e das empresas vinícolas.

Programa de vitivinicultura de baixa emissão de carbono para a Serra Gaúcha

Desenvolver programa de vitivinicultura de baixa emissão de carbono com os seguintes objetivos:

- Mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na vitivinicultura.
- Promover a resiliência climática por meio do desenvolvimento de tecnologias que aumentem a capacidade adaptativa da vitivinicultura às mudanças climáticas (condições extremas de seca e de excesso de chuvas).
- Fomentar a inovação tecnológica para melhorar a eficiência produtiva e reduzir o impacto ambiental.
- Fortalecer a sustentabilidade da vitivinicultura na Serra Gaúcha.

Dentre as ações a serem desenvolvidas no âmbito desse programa, podem ser destacadas: a necessidade da determinação do balanço de carbono na vitivinicultura da Serra Gaúcha; recomendação da adoção de cultivares de uva lançadas pelo Programa de Melhoramento Genético da Embrapa, que apresentam maior tolerância a doenças, visando reduzir o número de aplicações de defensivos agrícolas e, conseqüentemente, mitigar as emissões de GEE por queima de combustíveis fósseis por máquinas agrícolas; integração de espécies arbóreas com potencial econômico regional na propriedade rural para proporcionar benefícios socioeconômicos, como renda adicional aos viticultores, e ambientais (remoção de GEE da atmosfera pelas espécies ar-

bóreas); aperfeiçoamento de métodos associados com manejo do solo, irrigação, fertilização e controle integrado de pragas e doenças, que possam reduzir os impactos ambientais, como as emissões de GEE, sem comprometer a produtividade e a qualidade das uvas; ampliação do uso de fontes de energias renováveis nas vinícolas, como a energia solar e eólica; e fomento a criação de políticas públicas que ofereçam incentivos fiscais para vitivinicultores que adotem práticas de baixa emissão carbono.

Os programas de vitivinicultura de baixa emissão de carbono podem estar relacionados à criação de marca conceito, selos de identidade e produção sustentável. Esses selos de qualidade e sustentabilidade têm sido uma demanda do mercado, tanto nacional quanto internacional, sendo estratégico para o setor vitivinícola atuar nessa frente de desenvolvimento.

Adequação ambiental, restauração florestal e pagamento por serviços ambientais

É relevante elaborar e implementar políticas públicas regionais destinadas à aplicação de investimentos e fomento para a adequação ambiental das propriedades rurais e adoção de sistemas sustentáveis de produção. Para tal, é importante incentivar os processos de restauração florestal com espécies nativas e/ou exóticas (povoamentos homogêneos ou heterogêneos) visando a conservação e preservação, em coerência à legislação ambiental.

Essas condutas técnicas devem estar embasadas por metodologias validadas conforme as características edafoclimáticas regionais, assegurando a diversificação da produção e geração de renda. Para a implantação das florestas com espécies nativas, é preferível que as mudas sejam oriundas de sementes coletadas na região. Nesse propósito, é necessário que seja mantido nos municípios, permanentemente, um programa de coleta de sementes de arbóreas nativas.

Essas mudas poderão ser destinadas aos plantios para proteção de nascentes e margens de rios, como também em parques, praças, bosques e ruas. Dada a sua grande importância, essas ações devem constar, necessariamente, nos planos diretores municipais.

Ao mesmo tempo, a produção de mudas de espécies arbóreas nativas também é fundamental

para a implantação de sistemas silviculturais, a exemplo, para produção de madeira e bens não madeiráveis (exemplo: produtos de artesanato). A diversificação de sistemas de produção com o componente arbóreo pode proporcionar alternativas de renda, além de aumentar a diversidade ambiental da propriedade rural.

Viabilizar projetos que incentivem a adoção e aplicação de manejos agroflorestais em ambientes degradados também deve ser foco da assistência técnica, visando o repasse das orientações da forma mais assimilável possível para os agricultores.

As políticas públicas e os seus agentes deverão, ainda, estar direcionados para utilização de tecnologias e metodologias florestais, componentes silviculturais, considerando as boas práticas aplicáveis a esses sistemas de produção, incentivando a ampliação da adoção por produtores rurais e pelo setor produtivo como um todo.

A aplicação das políticas públicas com foco florestal deve considerar aspectos da fitofisionomia e da fisiografia da Serra Gaúcha, conciliada às recomendações da pesquisa, e ainda, em consonância às características de geomorfologia, hidrologia, solos e vegetação regionais.

Do mesmo modo, criar mecanismos e políticas públicas de pagamentos por serviços ambientais (PSA) nas variantes PSA – Água, PSA – Carbono, PSA – Biodiversidade e PSA – Paisagem, associados com a gestão das propriedades rurais, sistemas de produção sustentáveis e adequação ambiental. Essas políticas públicas visam auxiliar e induzir os produtores rurais da região a implementar melhorias de planejamento e manejo, bem como dos processos de restauração florestal. Nesse aspecto é fundamental a aplicação de políticas para incentivo à proteção de nascentes e proteção e restauração de matas fluviais. Adicionalmente, é necessária a construção de estratégias para conservação de áreas localizadas em encostas de alta declividade.

A criação de programas de PSA deve focar no estímulo ao planejamento integrado do uso e manejo das propriedades, em toda sua extensão, no contexto da paisagem visando a eficiência hidrológica, recuperação e manutenção da biodiversidade e manutenção e ampliação do estoque de carbono florestal e no solo.

Na medida do possível, criar e estimular modelos de mercados de serviços ambientais sustentáveis

sob aspectos socioeconômicos, mediante facilitação de adesão e certificação aos interessados em prestar tais serviços. Para tanto, é necessário criar fundos locais que possam gerir recursos da negociação desses certificados com os pagadores e adquirentes interessados. Programas de Governança, Meio Ambiente e Impactos Sociais, Fundos Ambientais Públicos e Privados, indenizações por danos ambientais, dentre outras fontes, podem ser considerados. Torna-se relevante estimular o cooperativismo e a governança local com os participantes dos projetos em questão.

Programa de fortalecimento da assistência técnica

Políticas que venham promover o fortalecimento e aumento de investimentos em assistência técnica pública e privada na região da Serra Gaúcha, visando a ampliar o suporte técnico, principalmente, aos pequenos produtores rurais localizados em áreas de encosta e regiões de risco. Para tanto, além do quantitativo de técnicos, é fundamental promover a capacitação contínua da assistência técnica e da extensão rural em tecnologias e soluções sustentáveis para esses locais, de maneira a contemplar questões que envolvem desde a gestão das propriedades até o planejamento rural integrado à paisagem como um todo.

Mapeamentos temáticos do meio biofísico e sistemas de monitoramento

É preciso desenvolver uma política regional de mapeamentos e de monitoramentos voltada para aspectos ambientais e produtivos, estabelecendo prioridades e favorecendo tomadas de decisão frente à possibilidade de novos eventos climáticos extremos. A estratégia de trabalho deve considerar algumas questões, como: gerar interpretações espaciais emergenciais, considerando as limitações das informações existentes, ou seja, fazer a aproximação com o grau de confiabilidade possível em função do estado da arte atual; planejar programas de estudos temáticos de médio a longo prazo, que permitam interpretações mais assertivas (aproximações futuras), incluindo critérios para definir áreas prioritárias; enfatizar interpretações quantitativas, que utilizem, de forma conjunta, dados temáticos estáticos (solos, geomorfologia e geologia) e dinâmicos (clima, cobertura vegetal e atividades humanas que exigem ações de monitoramento). As análises interpretativas das temáticas

mapeadas podem auxiliar a fundamentação de sistemas de alerta preventivos mais eficazes.

A busca de objetivos imediatos e de médio a longo prazo procura lidar com a inexistência e/ou com a inconsistência existente entre o grau de confiabilidade da informação disponível (atual) e os diversos problemas a serem atacados.

Para o estabelecimento do operacional supracitado, precedentemente, há a necessidade da incorporação de softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em órgãos públicos, com vinculação de técnicos com alto grau de capacitação. Concomitantemente, torna-se imprescindível a estruturação de um banco de dados para que os mapas e metadados possam ser trabalhados na concepção de plataforma interinstitucional integrada. Como resultado, busca-se disponibilizar informações que favoreçam a análise interpretativa pelo público interessado.

Nesse propósito, é essencial o estabelecimento de políticas públicas que garantam o repasse de verbas para a execução e manutenção funcional do laboratório de georreferenciamento. Da mesma maneira, considera-se que a instalação e a manutenção de estações meteorológicas devem ser vistas como prioritárias para o adequado mapeamento do meio biofísico e suporte aos sistemas de alertas. Cabe destacar que, mesmo estações meteorológicas automáticas requerem recursos para o correto funcionamento (o que inclui manutenção constante, troca de sensores e análise da qualidade dos dados obtidos), pois, somente dessa forma se pode caracterizar adequadamente o clima da região, avaliar os impactos da variabilidade das condições meteorológicas entre safras e gerar informações que auxiliem o produtor na tomada de decisão. O monitoramento das condições meteorológicas também é processo chave para o desenvolvimento de políticas e de ações adaptadas à realidade climática da região e aos desafios decorrentes da intensificação de eventos extremos associados às mudanças climáticas.

Programa para gestão e manejo hídrico

É necessário gerar políticas públicas que favoreçam a articulação de instituições públicas e privadas para prover estímulo ao retorno das práticas de conservação dos solos nas propriedades, possibilitando, assim, maior infiltração de água no solo dos sistemas de produção, com vistas a minimizar o escoamento superficial, concomitantemente promover maior recarga hidrológica nas encostas e

garantir a permanência hídrica de nascentes e pequenos arroios.

As nascentes das encostas ocorrem em feições denominadas cabeceiras de drenagem, onde existe a convergência de água de escoamento subsuperficial, que se acumula até onde a água surge na superfície, os também denominados olhos d'água. O semiarco à montante da nascente é a área que deve ser protegida por lei porque serve de proteção à mesma, diminuindo a erosão, facilitando a infiltração de água e mantendo a biodiversidade. Essa área, além de ser coberta por floresta, deve ser isolada do acesso dos animais domésticos e não deve ser utilizada para depósito de entulhos, embalagens vazias ou animais mortos. Para que se possa assegurar a manutenção dos recursos hídricos, é fundamental prever o pagamento do produtor que produz a água. Para tanto, podem ser estabelecidos programas e subsídios para incentivar a recomposição de florestas nativas, muitas das quais poderiam ter algum tipo de exploração econômica.

Do mesmo modo, é importante incluir nesse plano o restabelecimento de florestas que compõem as "linhas de convergência hídrica" na encosta, a fim de minimizar a perda de sedimentos e íons encosta abaixo, bem como diminuir os processos erosivos presentes nessas feições. Para o restabelecimento dessas florestas é oportuno considerar a adaptabilidade das espécies para os diferentes regimes hídricos dos solos, garantindo maior grau de sobrevivência dos indivíduos. É importante também implantar espécies arbóreas considerando a unidade fitoecológica a que pertencem.

Elaborar plano de captação de água no meio rural, considerando a hidrologia de microbacias, para reserva das propriedades e utilização posterior em sistemas de produção nos períodos de estiagem, assim como criação de peixes, ou dessementação de animais. Os pontos de captação, em coerência ao planejamento, poderão beneficiar uma ou mais propriedades rurais a depender da distribuição e da necessidade das mesmas.

A captação visa, sobretudo, distribuir o recurso hídrico aos sistemas de produção da mesma propriedade rural, bem como aqueles que se encontram posicionados à jusante em outras propriedades, especialmente em períodos de longa estiagem. Portanto, a estrutura de captação, armazenamento e distribuição alcançará a adequação ideal somente quando se considerar o número de produtores e suas respec-

tivas necessidades (em litros), condição que perfaz a essência da execução dessa obra.

Associado a esse ponto, poderá ser criado um programa específico, com linha de crédito diferenciada, para planejar e implantar reservatórios de águas (exemplo: açudes, caixas de retenção) em locais tecnicamente adequados, de forma a contribuir para minimizar tanto os riscos de encharcamentos do solo situados em zonas de convergência hídrica, diminuindo o potencial erosivo nos canais naturais (linhas de convergência), bem como atender o déficit hídrico dos sistemas de produção quando em condições de seca.

Programa de incentivo ao turismo regional

É necessário avançar no estabelecimento de políticas públicas de apoio ao turismo regional, especialmente valorizando a agricultura familiar de encosta pautada em uma visão de sustentabilidade, de maneira a resgatar a imagem positiva da Serra Gaúcha. Com isso, busca-se impulsionar a retomada de visitantes em nível, no mínimo similar, ao observado antes da catástrofe climática de abril e maio de 2024. Esse tipo de política é fundamental, pois, pelas características do setor vitivinícola da região como um todo, bem como de outros segmentos que são, de certa forma, muito associados a ele, como restaurantes, pousadas, hotéis etc., grande parte do seu desenvolvimento econômico e social depende diretamente do fluxo de turistas de outras regiões do Rio Grande do Sul e, principalmente, de outros estados do Brasil.

Transferência de tecnologia para a resiliência e sustentabilidade de áreas de encosta

Capacitação técnica para restauração e manejo florestal

Considerando as características edafoclimáticas regionais, deve-se, de maneira estratégica, a partir de uma visão sistêmica, atuar na promoção e na implementação de programas de capacitação continuada e transferência de tecnologias em restauração florestal e ecológica, tendo como base metodologias de plantio de espécies florestais nativas. As capacitações técnicas devem ser realizadas com base em conhecimentos anteriores e implementados em registros efetuados nas campanhas diagnósticas, levando-se em conta as condições regionais de geologia, geomorfologia,

hidrologia, solos, vegetação nativa e sistemas produtivos.

Elaborar estratégias integradas interinstitucionalmente para a capacitação de técnicos e produtores e transferência e adoção de sistemas agroflorestais sustentáveis (SAFs) (composição, manejo e análise econômico-financeira). Essas estratégias têm, como finalidades principais, a adequação ambiental, diversificação dos sistemas produtivos e geração de renda, com benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Nesse contexto, destaca-se a importância da instalação de unidades de pesquisa que, após validadas, se tornarão unidades de referência técnica (URT), visando a transferência de práticas agronômicas, florestais e ambientais. Essa ação deverá envolver técnicos e produtores rurais que possam atuar como multiplicadores das tecnologias nas comunidades rurais, auxiliando na adoção de boas práticas nos sistemas de produção agrícolas, bem como na gestão e adequação ambiental das propriedades rurais.

Boas práticas agrícolas nos sistemas produtivos

Em função dos eventos climáticos extremos observados na Serra Gaúcha, fica evidente a necessidade de se estabelecer, em parceria com o setor produtivo, programas de pesquisa e transferência de tecnologia em agricultura sustentável. Esses programas devem priorizar, principalmente, áreas que estão sujeitas a maiores riscos decorrentes de eventos dessa natureza. Busca-se, com isso, a capacitação continuada em boas práticas agrícolas aplicadas aos sistemas de produção, propiciando geração de renda e sustentabilidade ambiental, com a adoção de práticas de conservação de solo e água, além de ajustes no manejo fitotécnico. Como resultado, é possível estabelecer capacitações em que os técnicos e produtores possam identificar os níveis de danos e intensidades dos processos de movimentação do solo (exemplo: deslocamento horizontal do solo), bem como atenuá-los com práticas que possam minimizar seus impactos.

Especialmente relacionado com a viticultura, os principais fatores dos sistemas de produção que devem ser considerados nas capacitações em questão se referem a: escolha da área de plantio; forma de condução; preparo e cultivo do solo em nível; edificação de patamares; métodos de plantio; escolha de variedades copa e porta-enxerto; qualidade de mudas; adubação; controle de plantas daninhas; tipos

de poda; plantas de cobertura e adubação verde; manejo integrado de pragas e doenças; colheita; e indicadores da qualidade da produção. Esses fatores devem ser tratados conforme os objetivos e destinos da produção vitícola, seja para consumo in natura ou produtos derivados.

Destaca-se que na construção de patamares, as ações devem ser efetivadas com adequação técnica para garantir produções dentro da ótica de estabilidade ambiental. Também devem ser abordados parâmetros de planejamento para implantação de atividades produtivas de acordo com a paisagem específica de cada propriedade rural, respeitando, por exemplo, particularidades das zonas de convergência hídrica. Especificamente para a viticultura de encosta, principalmente em condução do tipo latada (totalmente interligado), é recomendada que seja implantada em módulos menores e se evite sobrepor as áreas de convergência hídrica e as rampas erosionais, que apresentam solos mais rasos e com maiores declividades.

Conciliar práticas de manejo sustentável, planejamento territorial e educação ambiental constitui a base para prevenir e mitigar impactos antrópicos combinados com a ação de eventos climáticos extremos. A melhoria da qualidade ambiental na região somente será possível com a gestão integrada dos recursos naturais e o engajamento de diversos atores sociais.

Planejamento espacial das paisagens rurais

Considerando a complexidade da paisagem, é necessário compatibilizar protocolos de planejamento de uso da terra, tendo em vista que as posições e ocupações distintas da paisagem, como plantios, estradas, construções etc., apresentam influências entre si. Para gerar um planejamento do espaço rural que permita produção e conservação, deve-se conhecer os sistemas produtivos locais, a oferta ambiental e as fragilidades, decorrentes das interações entre clima, solos, geomorfologia, geologia e hidrologia de superfície.

Considerando os possíveis equívocos dos atuais usos da terra, é correto se dizer que para muitos locais existirá uma faixa de tempo onde a prioridade no planejamento será a recuperação de funções ambientais perdidas. Cabe aqui ressaltar a mudança de ponto de vista quanto à presença do componente arbóreo na paisagem rural. As árvores atuam de forma eficiente na diversificação de sistemas

produtivos e tornam-se uma das alternativas mais viáveis para a maioria das paisagens (excetuando paisagens de campos), visando a recomposição das áreas de preservação permanente e implantação de reservas legais e seus entornos. Em uma encosta sob cultivo, a inserção de árvores (não aleatória, mas sim de forma lógica), permite que as florestas fluviais tenham maior eficiência na proteção dos recursos hídricos superficiais e atuem como corredores de fauna e flora, unindo fragmentos de vegetação natural de maior porte.

A gestão e o planejamento das propriedades rurais contidas em bacias hidrográficas são fatores fundamentais para a agricultura sustentável, principalmente em áreas de encosta. Essas ações, que poderão estar associadas à agregação de valor na produção, considerando selos de identidade regional e de sustentabilidade, poderão ser desenvolvidas em conjunto com diferentes atores: pesquisa, extensão, produtores, associações e empresas do setor.

Aprimoramentos de sistemas de produção para áreas de encosta

A partir do diagnóstico realizado na região da Serra Gaúcha, salienta-se que a paisagem atual apresenta diversas fragilidades e incongruências de ocupação e uso, que potencializam os riscos de deslocamento horizontal do solo e quedas de rocha. Inicialmente, destaca-se a posição das estradas, as quais foram historicamente localizadas para atender o deslocamento entre as propriedades sem comprometer o aproveitamento das áreas de cultivo nas rampas coluvionares da paisagem patamarizada (Figura 6.1, detalhe 1). Nesse enfoque, as estradas foram posicionadas predominantemente nas superfícies de deflexão, no final das rampas erosionais e início das rampas coluvionares. Essas superfícies proporcionam a sustentação das rampas erosionais e a

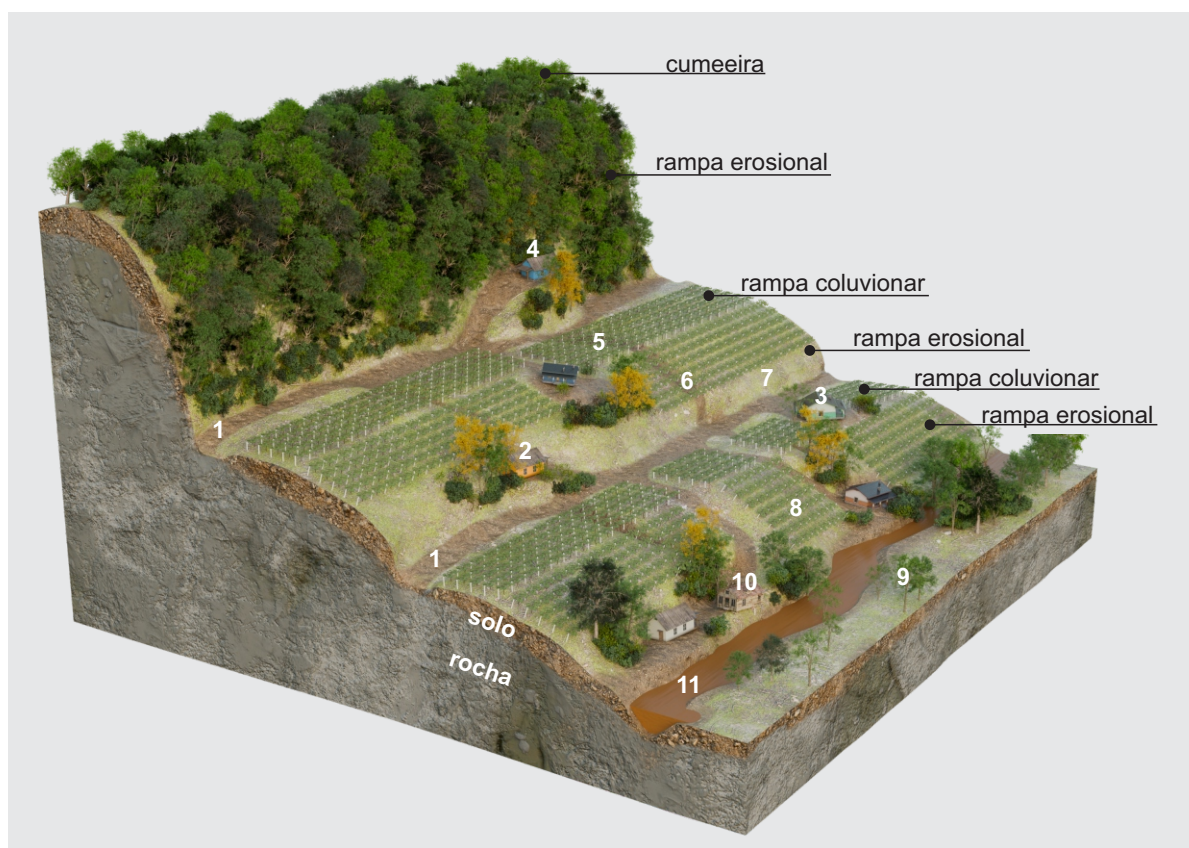


Figura 6.1. Paisagem atual das encostas patamarizadas, salientando-se as fragilidades e incongruências de uso e ocupação dos solos. (1) Estrada alocada inadequadamente, pois contribui para a perda do “perfil de equilíbrio da encosta”; (2) Casa plotada próxima à linha de convergência hídrica; (3) Moradia instalada em superfície de deflexão, condição incompatível com a segurança; (4) Alocação de moradia imprópria em função da posição de elevado risco geotécnico; (5) Sistemas produtivos contínuos implantados de forma incorreta, transpassando linhas de convergência hidrológica; (6) Linhas de convergência hídrica sem a presença do componente florestal; (7) Inexistência de floresta em rampas erosionais de alta declividade e constituídas por solos rasos; (8) Rampa erosional sem proteção florestal e ocupada inadequadamente por sistemas de produção em solos de pequena espessura; (9) Ausência de floresta fluvial promovendo vulnerabilidade ecológica; (10) Propriedades estabelecidas em planície aluvionar em altimetrias incompatíveis com a segurança de vida; (11) Caudal fluvial com elevada carga de sedimentos.

Ilustração: Fábio Ribeiro dos Santos.

presença das estradas (ou qualquer infraestrutura) nessas posições causam forte instabilidade à paisagem, favorecendo o deslocamento de solo (fluxo de massa) na rampa erosional acima.

A localização de edificações na rampa erosional ou nas faixas de convergência hídrica no relevo (Figura 6.1, detalhes 2, 3 e 4) também representam alto risco de vida e/ou de perdas dessas benfeitorias, pois são pontos sujeitos aos impactos de possíveis movimentações do solo, de sedimentos, de fragmentos de rochas e da vegetação situada acima (fluxos de massa). Chama-se atenção que a edificação em superfícies de deflexão (detalhe 3) está submetida a esforços de compressão e deslocamento devido aos movimentos de massa da rampa erosional. A posição da moradia citada incorre em maiores riscos provocados por deslocamentos horizontais que abalam a perda da estabilidade estrutural. Ademais, dada a proximidade da rampa erosional, é a área que recebe a carga de detritos com maior velocidade, portanto, a mais devastadora. No caso das edificações situadas em rampas erosionais (detalhe 4), o risco é maior devido à pequena espessura de solos com grande proporção de fragmentos de rocha. Essas condições favorecem os movimentos de solo, pois o limite de liquidez é rapidamente atingido.

A disposição contínua da estrutura de condução dos vinhedos em latada, sobrepondo as faixas de convergência hidrológica (Figura 6.1, detalhe 5), representa riscos expressivos para o sistema produtivo e para a paisagem como um todo. Devido ao fluxo de sedimentos que podem ocorrer nessas faixas de convergência durante as precipitações extremas, a estrutura dos vinhedos poderá ser arrancada nesses pontos (Figura 4.1B), com grande possibilidade de extensão desse dano para as plantas que estão distantes dessa faixa de convergência, em função da estrutura interligada de aramados.

A maioria das faixas de convergência e as rampas erosionais intermediárias da paisagem estão cultivadas e sem nenhuma vegetação florestal (Figura 6.1, detalhes 6 e 7), incorrendo em desproteção hídrica (ênfase na velocidade de fluxo hídrico durante as chuvas) e favorecendo os processos erosionais. Adicionalmente, diminuem funções ecossistêmicas que salvaguardam a dinâmica das paisagens. Salienta-se também a

ocorrência de sistemas produtivos em rampas erosionais (Figura 6.1, detalhe 8), as quais são muito suscetíveis ao processo erosional devido à combinação entre a pequena espessura de solo e a alta declividade.

Margeando os rios, observa-se a carência de florestas fluviais (Figura 6.1, detalhe 9) que impactam diretamente na segurança hidrológica, além de causar prejuízos aos nichos ecológicos diversos, o que implica em perda da biodiversidade. A citada ausência, combinada com a presença de moradias nas margens fluviais (Figura 6.1, detalhe 10), ampliam as disfunções ecológicas. Ademais, encontram-se ao alcance de possíveis transbordamentos fluviais, portanto sujeitas a inundação e ao arraste dessas pelo caudal fluvial.

Em razão de ocupações e manejos de solo incongruentes, os quais incorrem necessariamente em processos erosionais, a concentração de sedimentos no caudal fluvial (água do rio) encontra-se em taxas muito elevadas (Figura 6.1, detalhe 11). Essa condição, de maior viscosidade, favorece o maior transporte de carga e potencializa os processos erosivos nas grandes cheias. Além do mais, essa carga de sedimentos implica em colmatção fluvial à jusante, deposições vultuosas nas planícies e corpos de água.

Redefinição de uso e ocupação da paisagem

Diante das fragilidades evidenciadas na paisagem atual das encostas patamarizadas, evidencia-se a necessidade de ajustes e de ações específicas de pesquisa e transferência para se buscar estabilidade ambiental, maior resiliência dos cultivos e, consequentemente, sustentabilidade das propriedades que ocupam esse espaço.

Considerando as informações técnicas disponíveis, a equipe avançou na proposição de uma redefinição de ocupação e uso da paisagem, salientando alguns pontos principais que podem, preventivamente, minimizar os riscos de vida e de perdas econômicas frente a condições extremas impostas pelas mudanças climáticas.

Nessa proposição, destaca-se inicialmente a posição das estradas nas encostas, as quais podem estar localizadas tanto no terço final quanto nas posições intermediárias das rampas coluvionares

(Figura 6.2, detalhes 1a e 1b). Apesar de impactar na divisão da área produtiva, salienta-se que a posição intermediária da rampa coluvionar é a que oferece a maior resistência à ruptura de estabilidade da encosta (cisalhamento).

O planejamento do traçado dessas estradas deve priorizar a condição em nível e sempre conter retentores hidrológicos em suas laterais, a fim de evitar a transmissão de fluxos hidrológicos e a erosão nas áreas de cultivo. Ainda no sentido de proporcionar estabilidade a essas, recomenda-se a bordadura pelo componente arbóreo, promovendo beleza cênica, diversidade e serviços ambientais. Essas espécies devem ser de pequeno porte para se evitar sombreamento nas áreas de cultivo.

Nas transições das estradas com as linhas de

convergência não pode ocorrer a obstrução das descargas hidrológicas, considerando as condições impostas por eventos extremos. Para isso, recomenda-se o planejamento de pontes com maior resistência e que permitam a passagem do fluxo por cima de sua estrutura.

Nas estradas internas da propriedade, para se evitar processos erosivos, é necessário garantir a proteção física do solo. Para essa finalidade, os fragmentos de rocha (cascalho) ou mesmo a pavimentação se apresentam como as melhores opções técnicas.

Com o intuito de garantir a segurança das pessoas e a estabilidade estrutural das edificações rurais, como moradias e galpões, essas não devem estar localizadas próximas das linhas de con-

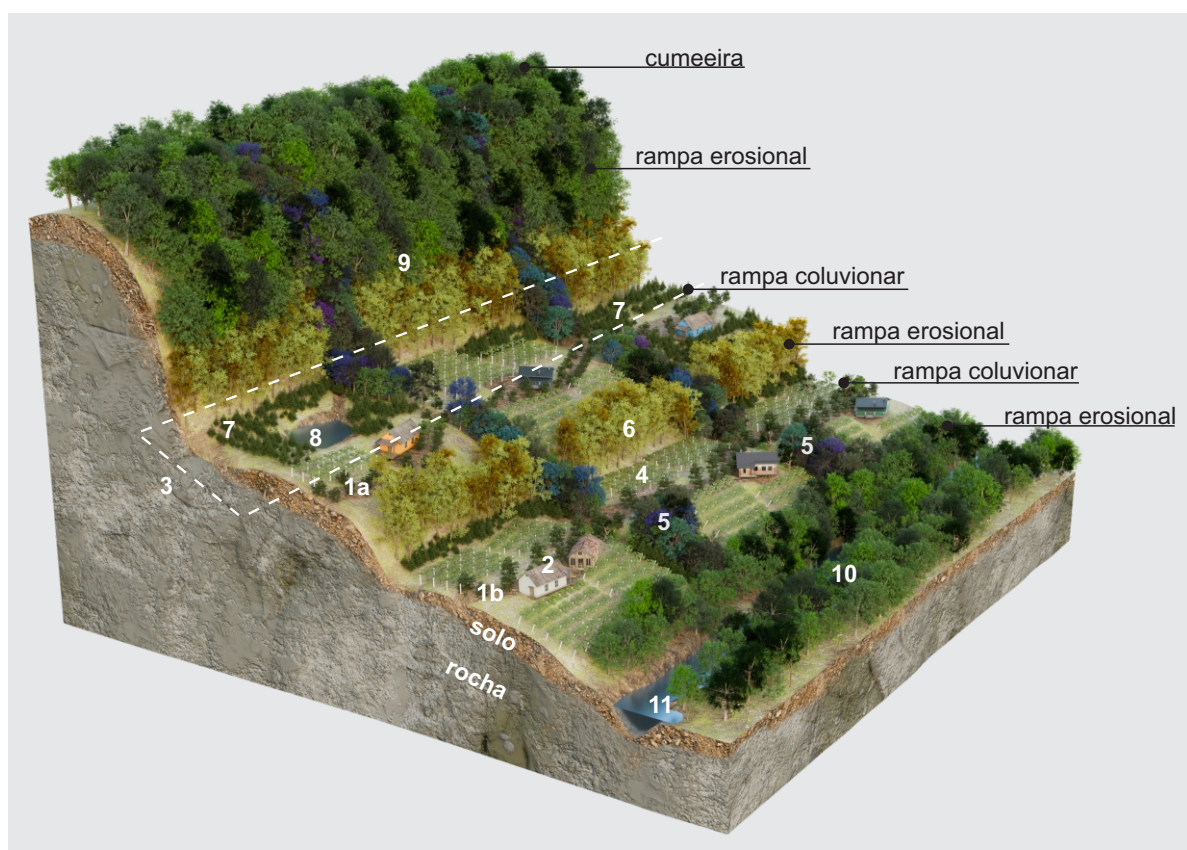


Figura 6.2. Proposta para as encostas patamarizadas, detalhando-se os ajustes para favorecer a resiliência da paisagem frente a condições extremas de mudanças climáticas. (1) Estradas do município posicionadas no terço final (1a) ou na posição intermediária (1b) da rampa coluvionar, priorizando um traçado em nível e ladeada com componente arbóreo; (2) Edificação de moradias em local de maior estabilidade, no centro da rampa coluvionar; (3) Localização de edificações, respeitando uma faixa para amortecimento de impactos erosionais, visando à segurança de vida; (4) Áreas vitícolas organizadas em talhões descontínuos, evitando-se a sobreposição das linhas de convergência hídrica; (5) Presença de floresta nas linhas de convergência hídrica, propiciando funções ambientais, com ênfase à proteção da água e à diminuição da velocidade do fluxo hídrico pelas encostas; (6) Rampas erosionais com proteção florestal, minimizando o processo de erosão e restabelecendo o equilíbrio das funções ambientais; (7) Sistemas de produção diversificados, empregando espécies distintas; (8) presença de caixa de retenção hidrológica, locada corretamente na rampa coluvionar; (9) Regeneração da cobertura florestal na base das escarpas que precedem às rampas erosionais; (10) Presença de floresta fluvial, propiciando as funcionalidades ecológicas inerentes dos ambientes de planície; (11) Curso de água ou caudal fluvial com baixa concentração de sedimentos. Ilustração: Fábio Ribeiro dos Santos.

vergência ou das rampas erosionais. Essas edificações devem estar localizadas no centro da rampa coluvionar (Figura 6.2, detalhe 2), local que oferece boa resistência ao cisalhamento, ou seja, apresenta baixa intensidade de deformação promovida pelos deslocamentos horizontais do solo. Além disso, para as áreas próximas das escarpas, as edificações devem estar localizadas o mais distante possível (terço final da rampa coluvionar), se estabelecendo uma zona de amortecimento para minimizar os danos provocados pelo rolamento de grandes fragmentos de rocha (Figura 6.2, detalhe 3).

Nas áreas de produção, especialmente nas áreas vitícolas conduzidos em latada, devem ser feitas subdivisões em talhões menores e descontínuos (Figura 6.2, detalhe 4). Isso é importante para se evitar sobreposição das estruturas dos parreirais nas linhas de convergência hidrológica, minimizando, assim, possíveis problemas de quedas de estrutura de condução. Os talhões devem ser prioritariamente localizados nas zonas de divergência, as quais garantem menor interferência dos efeitos de eventos extremos. Sem que se limite ao caso presente, esse é um contexto para o qual se vislumbra uma grande oportunidade de modernização da vitivinicultura regional a partir de uma política pública de estímulo à reconversão da sua matriz produtiva.

Nas linhas de convergência hídrica e áreas marginais (bordadura) é importante a presença de cobertura florestal (Figura 6.2, detalhe 5) para propiciar funções ambientais essenciais, com ênfase na diminuição da velocidade do fluxo hídrico pelas encostas e na proteção contra os processos erosivos. Além disso, a proteção florestal deve estar presente nas rampas erosionais (Figura 6.2, detalhe 6), minimizando o processo de erosão e restabelecendo o equilíbrio das funções ecossistêmicas, através da conexão (corredores ecológicos) entre esses ambientes e as linhas de convergência florestadas.

Para fortalecer a resiliência de áreas produtivas, principalmente nas zonas de amortecimento dos blocos desprendidos de escarpa, salienta-se a importância da diversificação dos sistemas produtivos (Figura 6.2, detalhe 7). Atualmente as propriedades não consideram os riscos dessas áreas e priorizam a viticultura, a qual é mais suscetível a perdas econômicas expressivas

devido à estrutura de sustentação envolvida. Portanto, na referida zona deve ser trabalhada a diversificação, envolvendo espécies de cultivo individualizado, como fruteiras arbóreas, sistema silvipastoril, silvicultura etc. Essa diversificação deve estar alinhada às demandas de mercado regional e à disponibilidade de mão de obra, favorecendo a geração de renda, a diversidade ambiental e, conseqüentemente, a sustentabilidade da propriedade. Outro benefício da diversificação é a maior capacidade de imobilização de carbono presente nesses cultivos.

Considerando que os eventos climáticos extremos também englobam períodos longos de estiagem, recomenda-se o planejamento de sistemas de captação de água proveniente de zonas de convergência hídrica (Figura 6.2, detalhe 8). A localização correta desses reservatórios é na rampa coluvionar e centralizada na divergência hídrica do relevo. Esse reservatório, além de propiciar o acúmulo e redistribuição hídrica por gravidade para sistemas de irrigação, pode ser empregado para múltiplos propósitos, como por exemplo: piscicultura, dessedentação de animais etc. Devido às características dos solos presentes, é recomendável que os reservatórios sejam impermeabilizados para garantir maior tempo de retenção de água e o planejamento controlado do seu uso na propriedade. O fluxo de captação desse reservatório deve ser controlado, tendo a condição de fechamento quando atinge o nível máximo. Além disso, o extravasor de água (ladrão) deve ser planejado para dissipar energia de fluxo e ser direcionado para as linhas de convergência, visando a segurança desse sistema.

A proposição da regeneração da cobertura vegetal na base das escarpas é fundamental, por vários motivos (Figura 6.2, detalhe 9). Além de maximizar a evapotranspiração por unidade de área, que restringe a condição de atingir a saturação hídrica do solo, e promove diversidade ecológica, esses componentes arbóreos contribuem para diminuir os processos erosivos. Destaca-se que essas porções do ambiente, que normalmente englobam declividades acima de 45° e com solos rasos, devem ser preservadas para minimizar os impactos à jusante.

As áreas marginais dos rios (matas ciliares) não devem ter edificações e precisam estar protegidas para permitir a regeneração natural da floresta fluvial (Figura 6.2, detalhe 10). Complementarmente, a implantação delas também é considerada uma ação essencial, tendo em conta as suas funções ecos-

sistêmicas, já bem conhecidas, favorecendo a velocidade do processo de recuperação ambiental.

A partir da implantação das proposições supracitadas referentes à ocupação e uso de sistemas de produção na encosta, é natural que se minimizem os processos erosivos fluviais e respectivas cargas de sedimentos na bacia hidrográfica (Figura 6.2, detalhe 11). Ações dessa natureza promovem maior qualidade de água e implicam em menores impactos nas diferentes paisagens que se encontram à jusante.

Unidades de pesquisa e referência tecnológica

É fundamental planejar e instalar URTs em propriedades representativas da região da Serra Gaúcha, com base nas proposições para áreas de encosta (Figura 6.2). Para essas propriedades devem ser definidas, de forma conjunta e colaborativa entre a equipe de pesquisadores e os produtores rurais, planos para implantar e validar sistemas compatíveis com as demandas de mercado, respeitando a aptidão agrícola dos solos. Essas propriedades podem ser reconhecidas também como unidades de pesquisa e validação de novas tecnologias que, a depender dos desafios impostos, poderão ser personalizadas para solucionar problemas relevantes e que se repetem nas demais propriedades da região, em especial aqueles vinculados às práticas de manejo e conservação do solo e ao planejamento e redesenho de sistemas de produção agrícola, principalmente em áreas de encosta. Oportunamente, as tecnologias e metodologias já validadas nas URTs poderão ser objeto de aprendizagem coletiva, servindo de exemplo para demonstrações em dias de campo, atividades práticas em cursos e treinamentos, bem como em capacitações continuadas de profissionais atuantes na assistência técnica e extensão rural na região. A formação de agentes multiplicadores, em parceria com extensão rural, cooperativas e empresas do setor vitícola, contribuirá para fortalecer a sustentabilidade da agricultura na região.

As URTs servem de espaço de aprendizagem e troca de experiências com a comunidade local, onde as tecnologias e práticas agrícolas podem ser testadas e validadas, incluindo a coleta de dados. O conjunto de unidades serve de referência regional para adoção e adaptação de tecnologias de acordo

com a realidade de cada propriedade rural, considerando as características edafoclimáticas e também os aspectos sociais, econômicos e ambientais da região.

Considerações finais

A viabilidade e o sucesso dos movimentos propositivos contidos neste documento estabelece, como pré-requisito, a capacidade da governança regional/setorial organizar, de forma articulada e com compromissos convergentes oficializados, uma rede de instituições, que apresentem missão e reconhecida atuação e saber operacional e multidisciplinar, nas dimensões temáticas do ensino, da pesquisa, da transferência de tecnologia e da extensão rural.

Em termos programáticos, a referida rede deverá estabelecer, de forma articulada e hierarquizada, junto à governança setorial, as demandas prioritárias congruentes, com visão sistêmica, sob duas óticas: a da produção e a da conservação e preservação ambiental.

A partir da geração e validação das informações obtidas pelas unidades de pesquisa propostas, serão estruturadas URTs visando, sobretudo, a subsidiar a execução de ações por parte do setor de transferência de tecnologias em nível regional. Projeta-se, a partir daí, uma nova fase com base em informações objetivas e customizadas, voltadas a assegurar o uso adequado da terra nas diferentes condições topográficas existentes, mitigando, assim, eventuais riscos gerados por fenômenos climáticos extremos. A programação das ações deverá buscar, além da capacitação de produtores e técnicos, o fortalecimento de cursos técnico-científicos que abordem temáticas relacionais.

Com base nas potenciais recomendações técnicas que deverão compor o escopo programático das URTs para as ações do setor de transferência de tecnologias regionais, deverão ser criadas as bases para o desenvolvimento rural sustentável. Assume-se que para o sucesso desse desenvolvimento é fundamental desenhar planos estratégicos, que contemplem o planejamento de uso do solo a partir da dinâmica da paisagem, buscando maior equilíbrio ambiental dentro do contexto de bacia hidrográfica, principalmente levando em consideração as características sociais, econômicas e ambientais da região da Serra Gaúcha.

Tendo presente a complexidade e a diversidade das ações envolvidas no âmbito das propostas apresentadas, a sua competente validação pela governança setorial é de fundamental importância para que sejam implementadas as ações em nível de campo. Para tanto, devem ser envolvidas todas as instituições representativas dos elos da cadeia produtiva, com especial destaque para os segmentos dos produtores rurais, das instituições técnicas, das empresas privadas e das empresas cooperativas.

Adicionalmente, destaca-se que será essencial a promoção de avanços em relação à gestão das bacias hidrográficas, considerando os cenários

atuais das mudanças climáticas e a necessidade de maior resiliência das atividades agrícolas.

Como principal resultado derivado da implementação das proposições registradas no presente documento, espera-se o estabelecimento de uma nova lógica para a ocupação e o uso da paisagem. O equilíbrio ambiental, em consonância com o desenvolvimento social e econômico, está contemplado nessas proposições que, em última análise, podem contribuir para melhorar a qualidade de vida das comunidades, gerar emprego e renda e manter a competitividade das atividades agrícolas na região da Serra Gaúcha, incluindo indicadores ambientais fundamentais para a sua sustentabilidade a longo prazo.

Apoio

