

## 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.

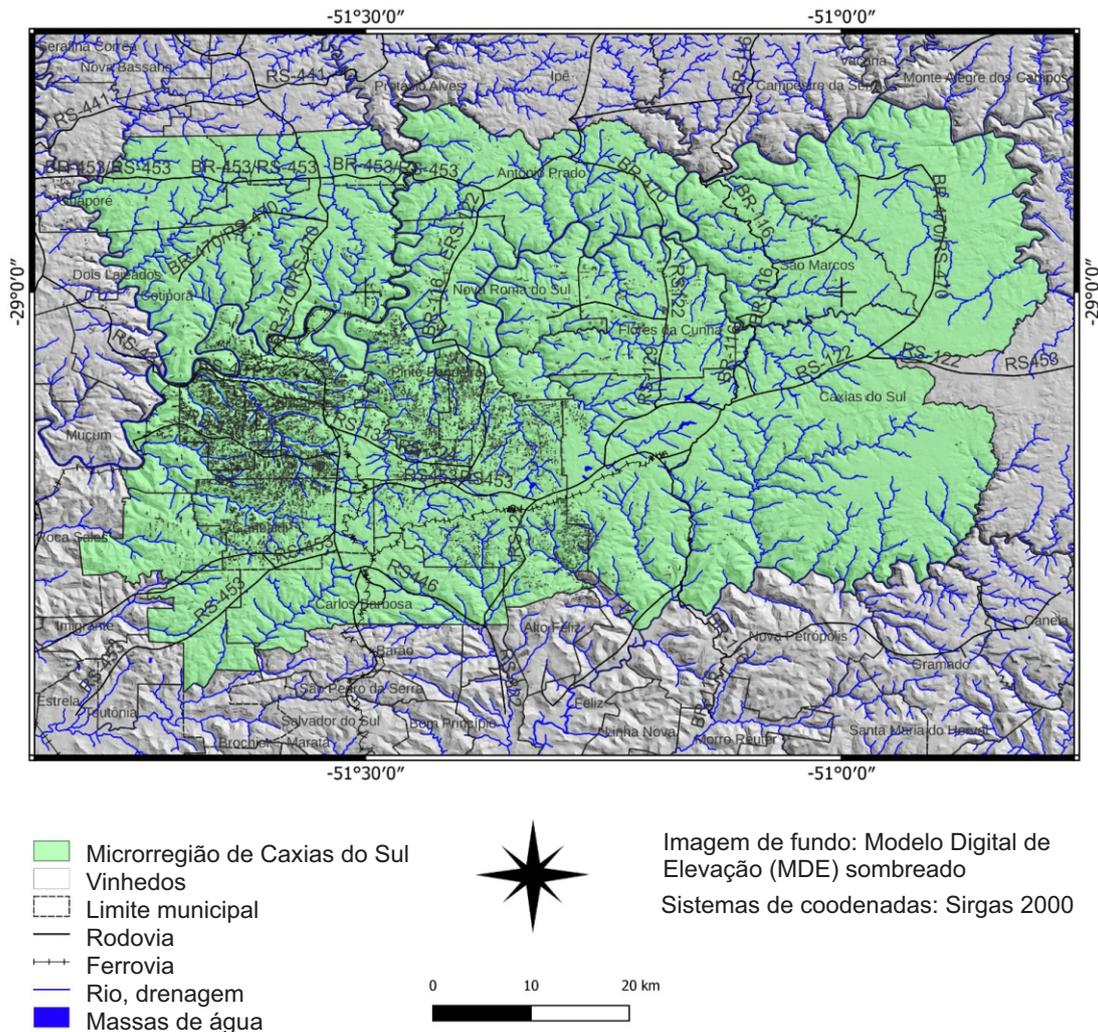
De maneira geral, neste capítulo, buscou-se avaliar os riscos geológicos ocasionados pelas chuvas intensas de abril e maio de 2024, por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a microrregião de Caxias do Sul. Em termos específicos, cinco foram os objetivos estabelecidos: 1) identificar os 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 km<sup>2</sup>, 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 GeolInfo (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.

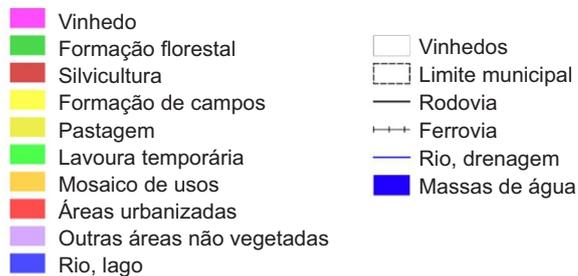
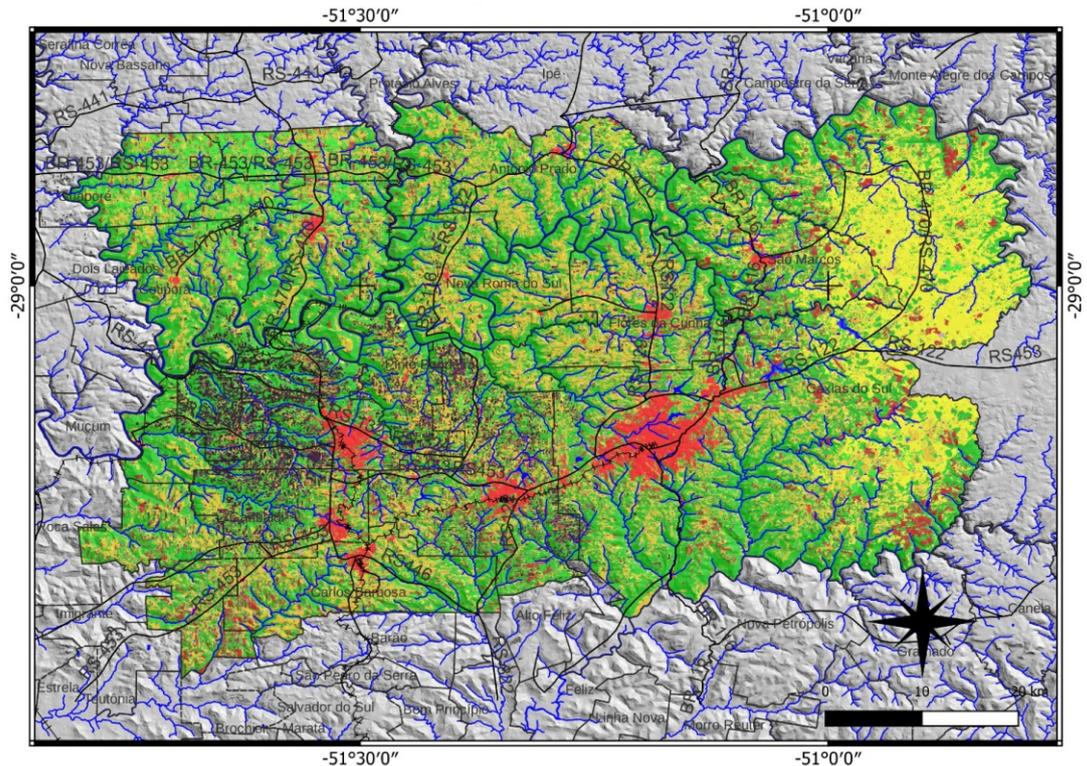


Imagem de fundo: Modelo Digital de Elevação (MDE) sombreado

Sistemas de coordenadas: Sirgas 2000

**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 <sup>(1)</sup>	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
<b>Total</b>		<b>496.972</b>	<b>100,0</b>

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

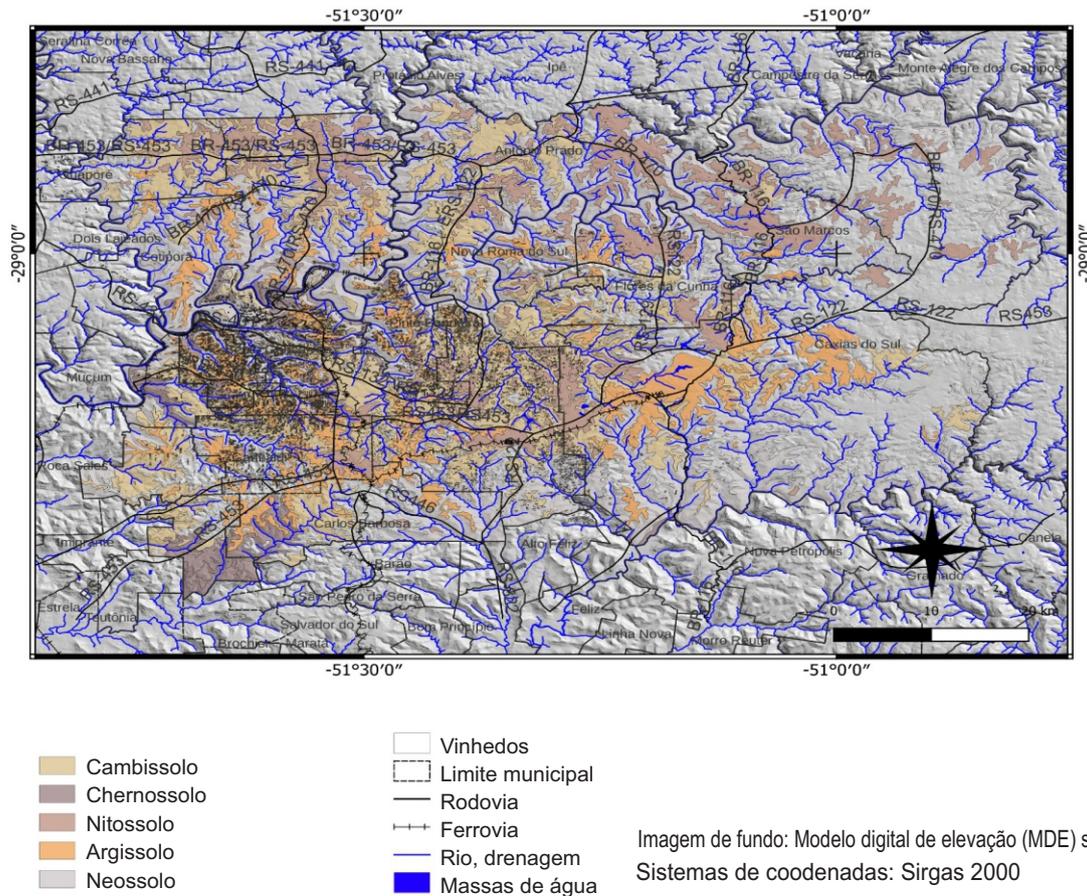
Na microrregião, a classe de uso predominante da terra é a formação florestal, representando as matas nativas, secundárias, primárias e outras. Essa classe ocupa principalmente as áreas íngremes dos vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Cai, bem como seus afluentes principais.

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
<b>Total</b>		<b>496.972</b>	<b>100,0</b>

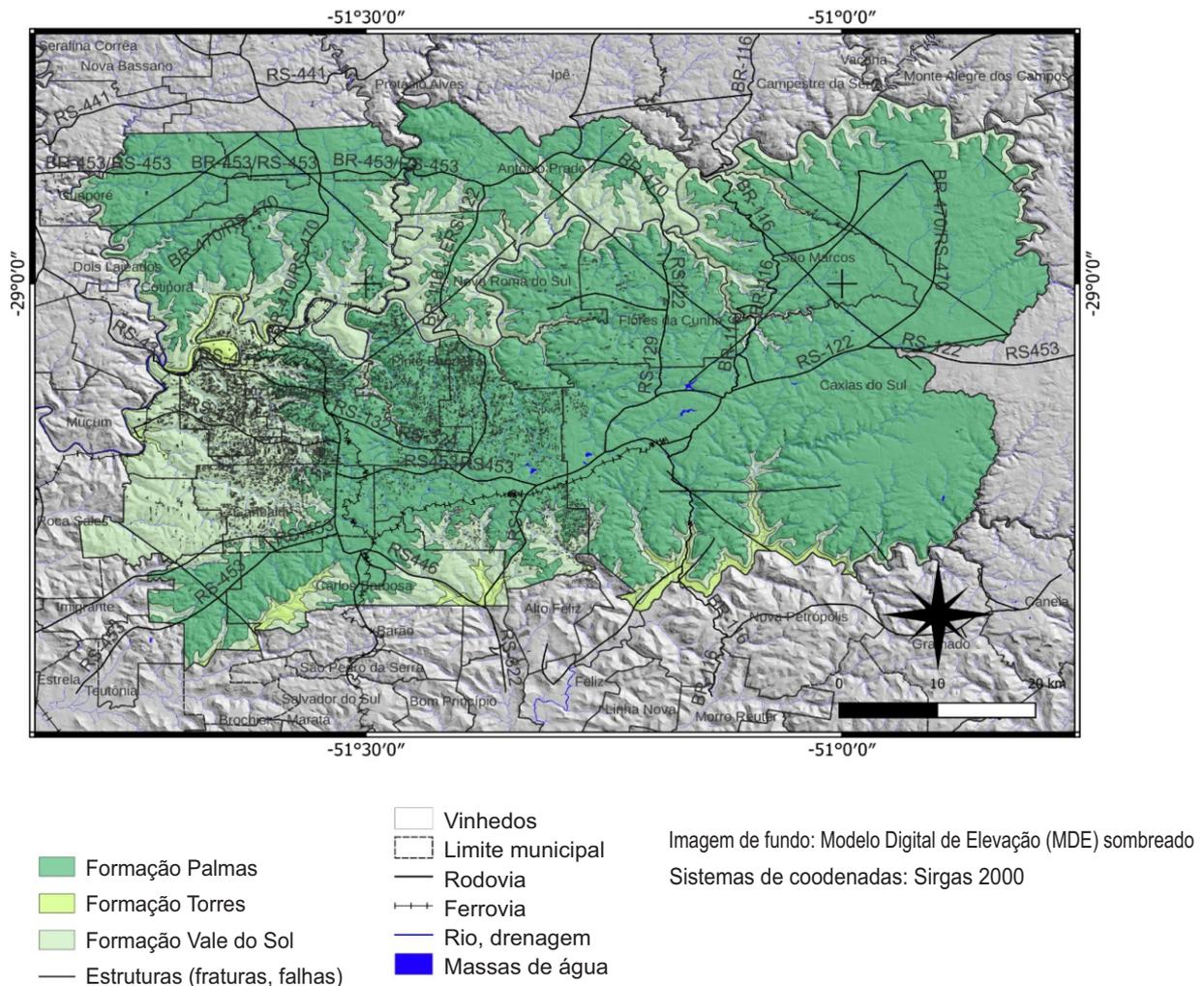
Fonte: Santos et al. (2018).

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.

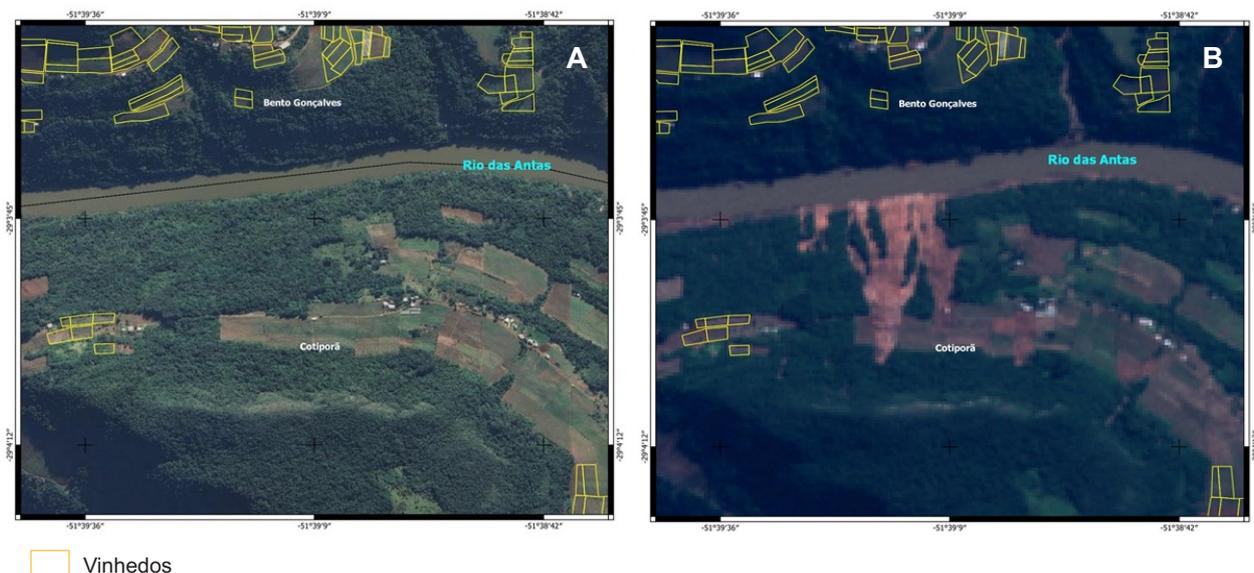
Unidade litoestratigráfica	Área (ha)	Porcentagem (%)
Formação Palmas (auto-brecha, riodacito, riolito, dacito)	357.312	71,9
Formação Vale do Sol (andesitos basálticos)	128.609	25,9
Formação Torres (basaltos e andesitos basálticos)	11.051	2,2
<b>Total</b>	<b>496.972</b>	<b>100,0</b>

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

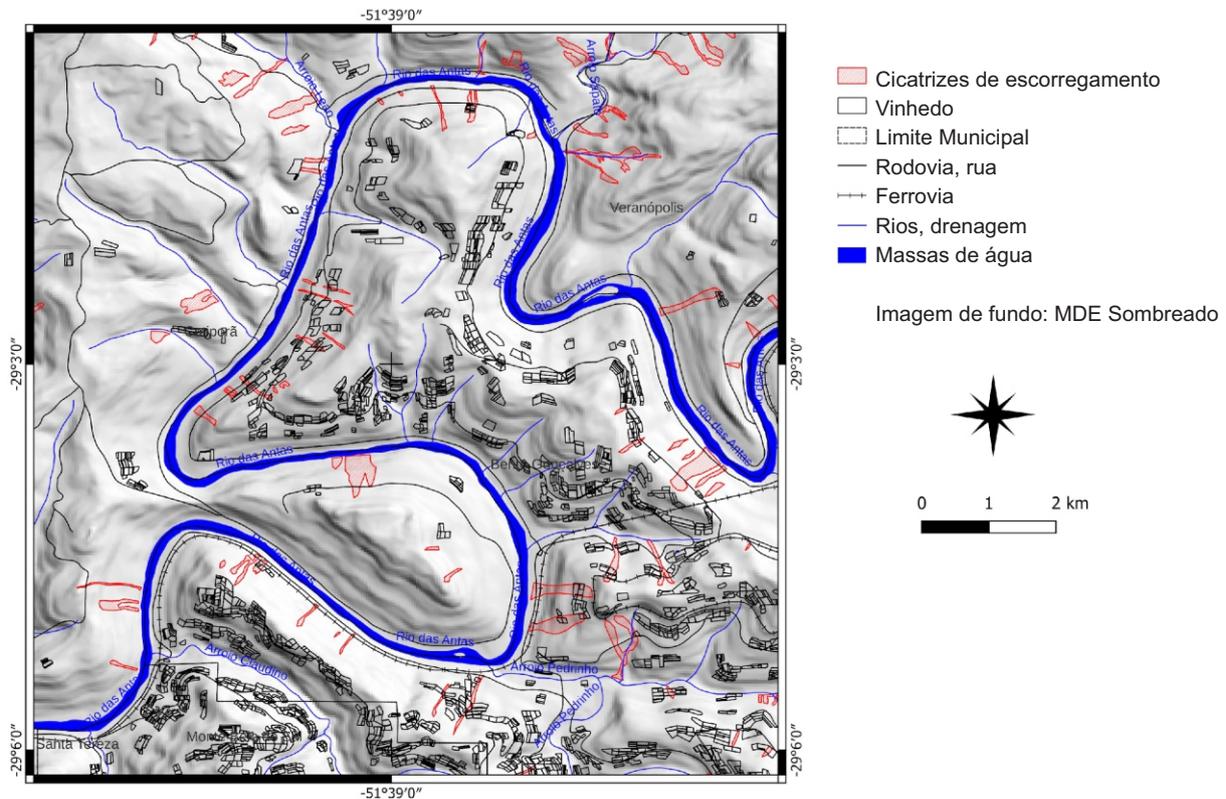
Bento Gonçalves e Cotiporã, onde tem-se a encosta íngreme coberta em parte por floresta, vinhedos e outros cultivos. Enquanto a Figura 2.5A mostra a situação anterior às chuvas de abril e maio de 2024, a Figura 2.5B traz a imagem do satélite Sentinel 2 de 21/05/2024, apresentando um escorregamento de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

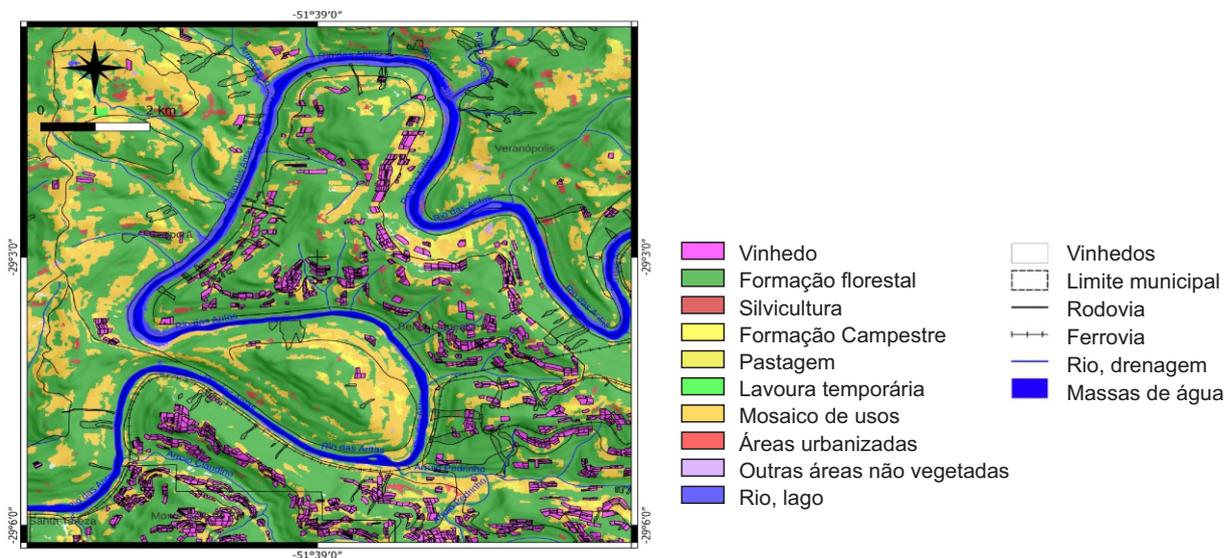
Declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)
Escorregamento (declives até 3%)	2	0,1
Escorregamento (declives entre mais de 3 a 15%)	57	4,5
Escorregamento (declives entre mais de 15 a 30%)	114	9,0
Escorregamento (declives entre mais de 30 a 45%)	328	25,9
Escorregamento (declives maiores do que 45%)	765	60,4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

### 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.

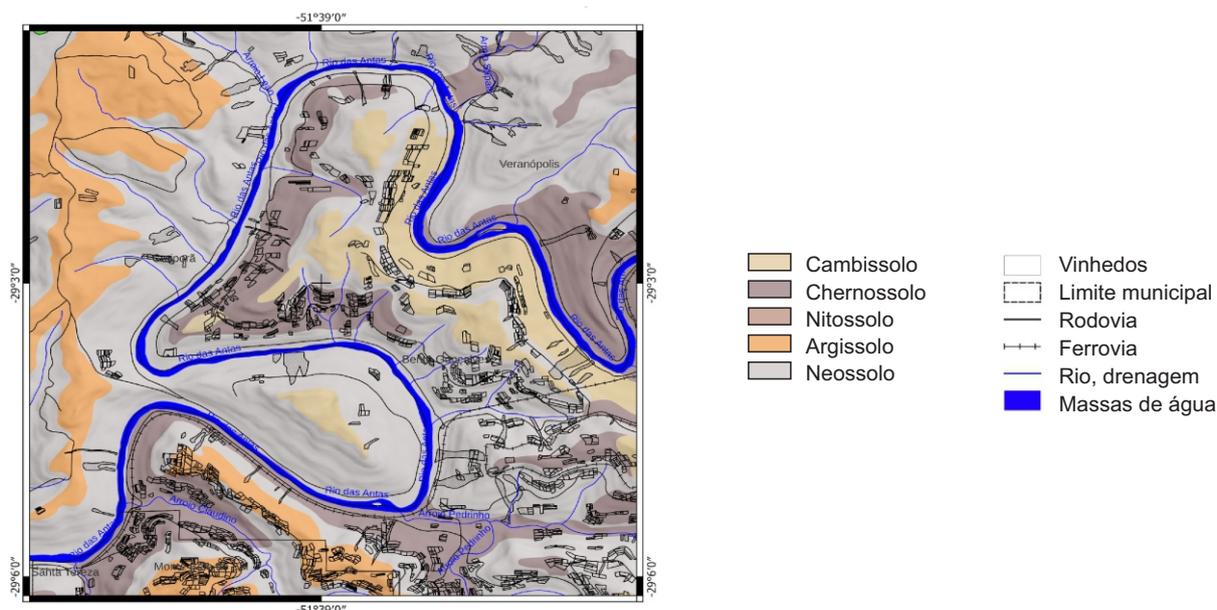


**Figura 2.7.** Microrregião de Caxias do Sul. Uso e cobertura da terra nas áreas de escorregamentos, por imagem classificada do satélite Sentinel. Detalhe das classes de uso da terra nos escorregamentos, comparada, com os vinhedos na localidade de Alcântara (Bento Gonçalves, RS).  
Elaboração: Rosemary 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
<b>Total</b>		<b>1.267</b>	<b>100,0</b>

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.

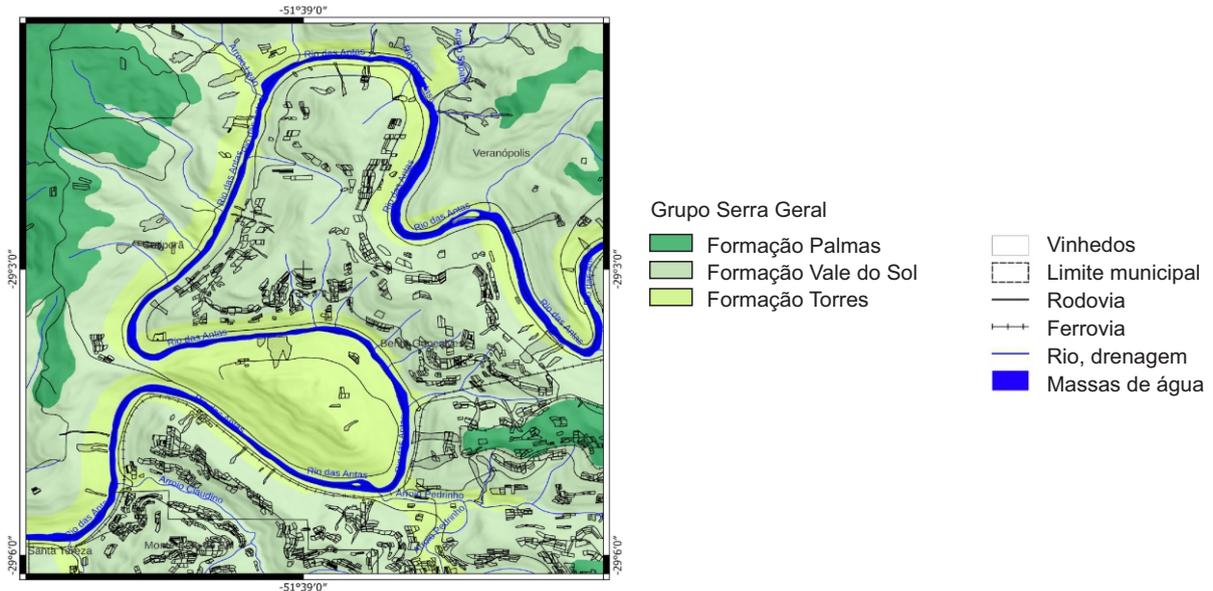
Em menor porcentagem, ocorrem solos afetados por escorregamentos em porções elevadas de planalto (Argissolos e Nitossolos), geralmente acima de 500 m, tendo-se como substrato as rochas ácidas da Formação Palmas, a exemplo de auto-brecha, riocacito, riolito e dacito.

### 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
<b>Total</b>	<b>1.267</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Horn et al. (2022).

### Áreas de risco geológico potencial por declividade

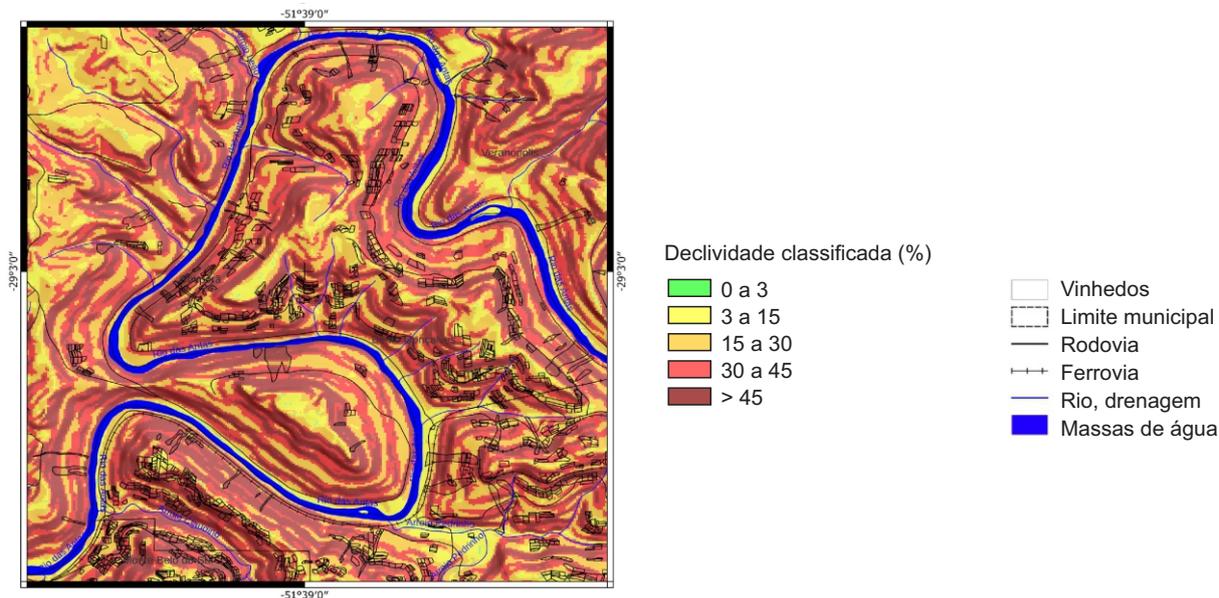
Foram identificadas áreas com potencial para risco de escorregamentos nos seguintes intervalos de declividade: 1) até 3%; 2) mais de 3 a 15%; 3) mais de 15 a 30%; 4) mais de 30 e 45% e 5) maior do que 45%. Os terrenos declivosos acompanham os vales encaixados dos rios Taquari-Antas e Caí, bem como de 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
<b>Total</b>	<b>496.972</b>	<b>100,0</b>

### Áreas de risco hidrológico potencial por convergência

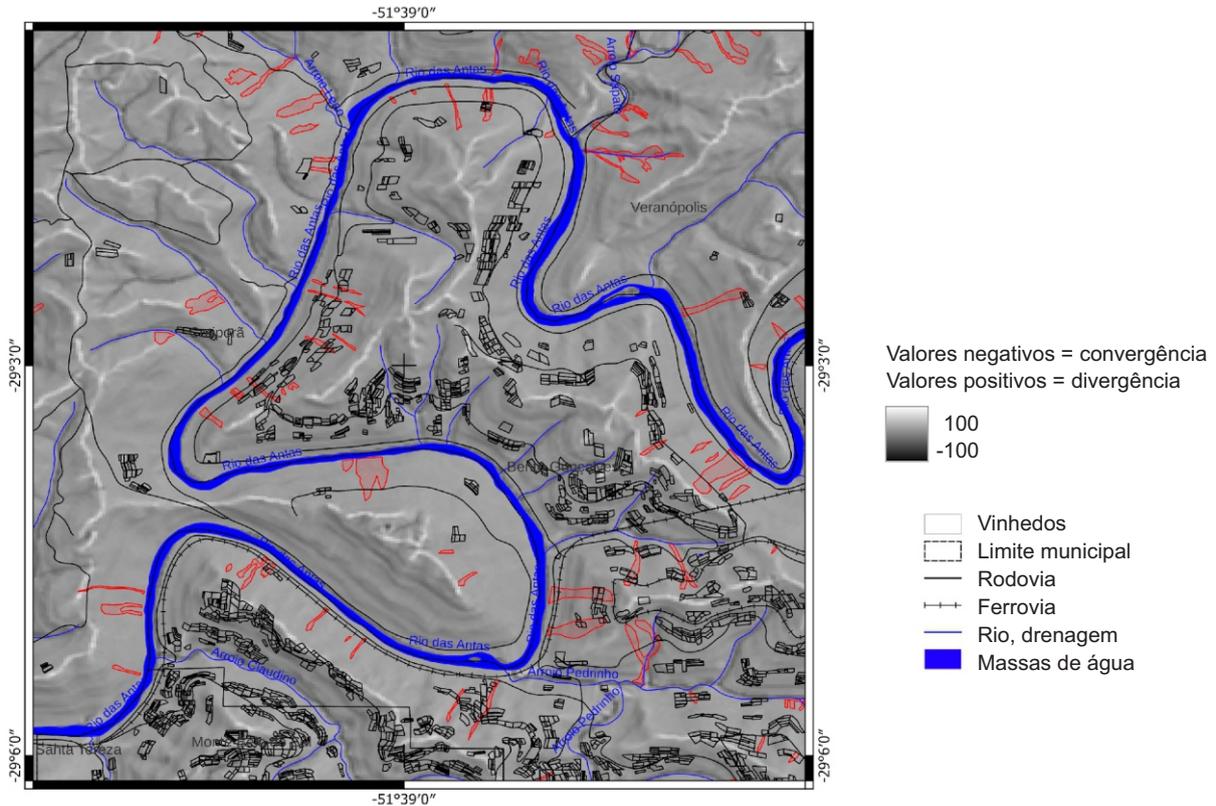
O risco hidrológico potencializa o risco geológico, pois promove o encharcamento do solo e das rochas, principalmente nos depósitos de gravidade, como elúvios e colúvios. Nas áreas de agricultura da microrregião de Caxias do Sul, os locais de convergência hídrica apresentam índices com valores negativos, 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 georreferenciamento associados ao cadastro vitícola de 2015. Nesse ano, do total de vinhedos em questão, 49,17% estavam georreferenciados, 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
<b>Total</b>	<b>15.885</b>	<b>100,0</b>

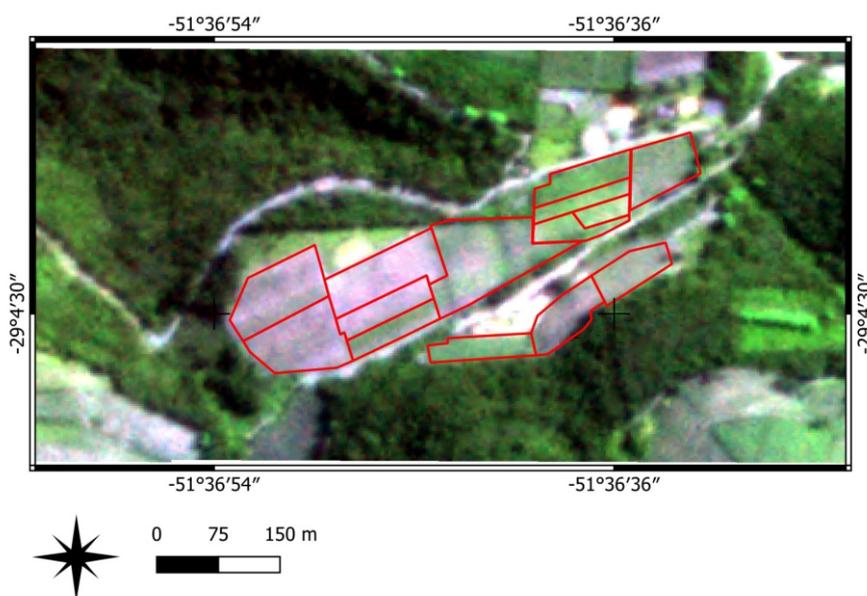
Os vinhedos em áreas com declividades maiores do que 45% e entre mais de 30 a 45%, bem como áreas com declividade menores do que 3% devem ser alertados e monitorados quanto aos riscos geológicos potenciais, respectivamente, para escorregamentos e alagamentos/encharcamentos.

## Estudo de caso

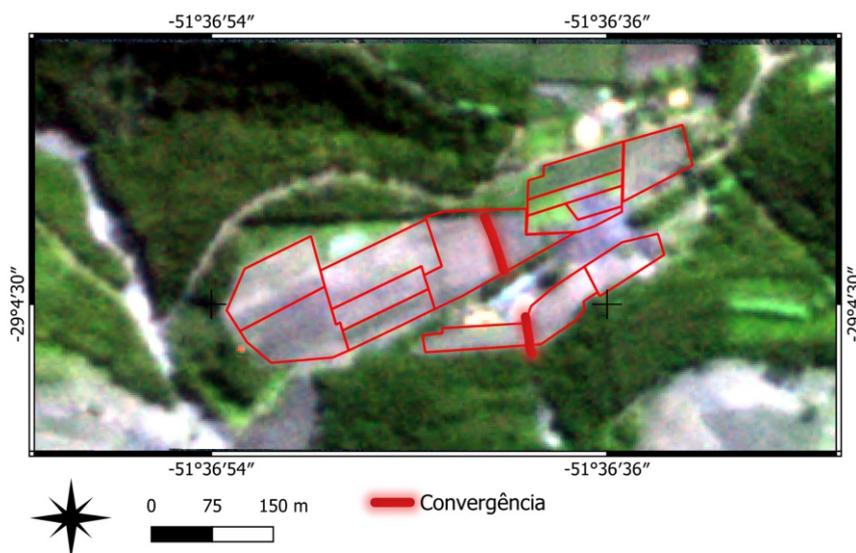
As Figuras 2.12 a 2.14 mostram um exemplo de um vinhedo visitado durante um trabalho de campo realizado no mês de julho de 2024, o qual foi bastan-

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.

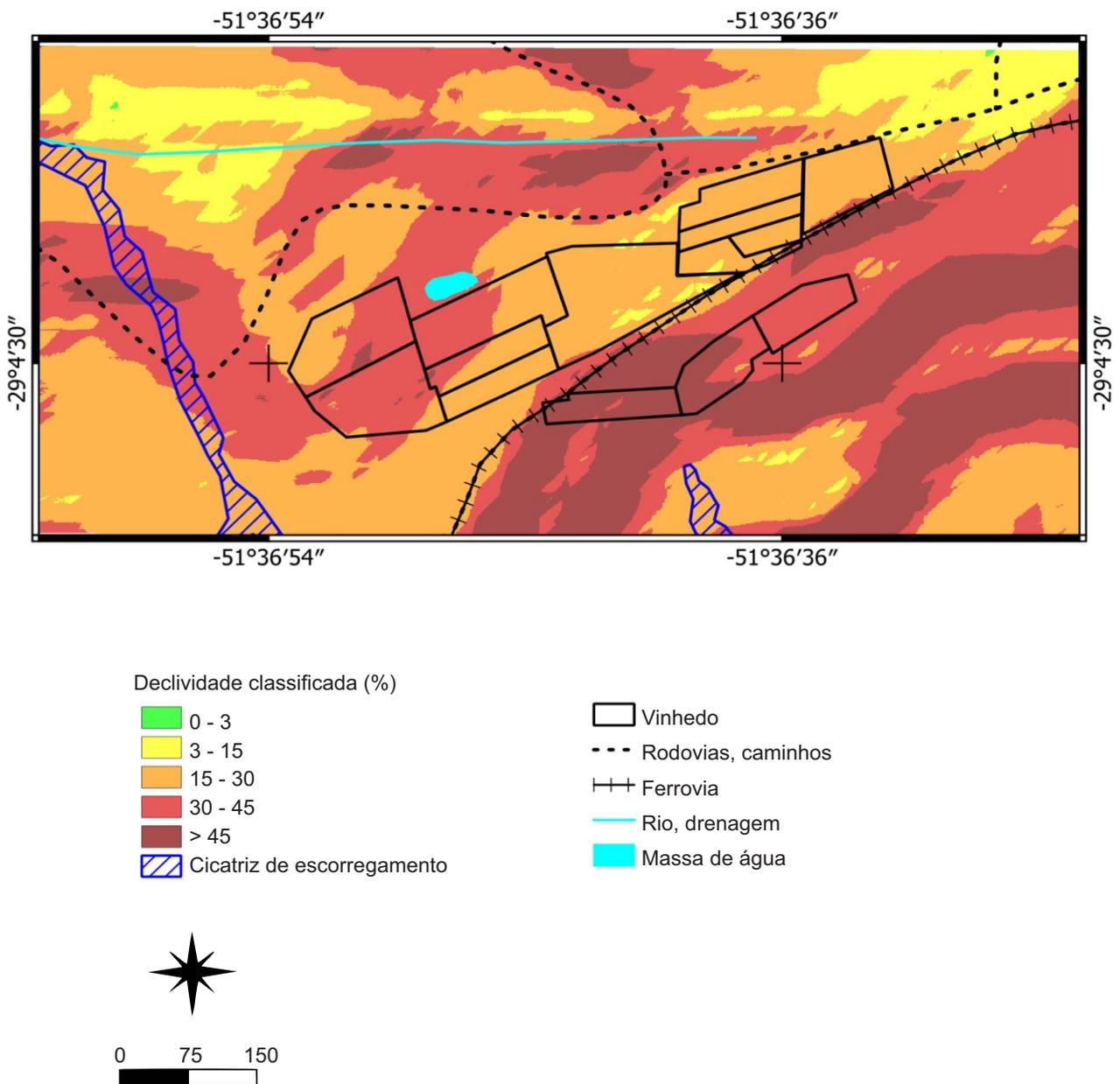


**Figura 2.13.** Imagem do satélite Planet, em composição colorida natural, de época após e durante o evento catastrófico (07/05/2024). As cicatrizes de escorregamentos afetam o entorno dos vinhedos, com a linha de convergência dividindo parcelas de vinhedos. Localidade de Matos, Bento Gonçalves, RS.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

**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.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6044">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6044</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de uso de terra.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6043">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6043</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de geologia por escorregamentos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6041">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6041</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de solos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6040">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6040</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa do índice de convergência.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6039">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6039</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de declividade classificada por escorregamentos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6042">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6042</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de uso da terra por escorregamentos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6038">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6038</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Mapa de solos por escorregamentos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6037">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6037</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de escorregamentos.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6045">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6045</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de municípios.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6463">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6463</a>
Microrregião de Caxias do Sul – Áreas de risco geológico, encharcamento e alagamento.	<a href="https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6048">https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6048</a>

## 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

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.

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 lata-da 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](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/UFS/R/RS\\_Municipios\\_2022.zip](https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2022/UFS/R/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; ARAUJO 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>.

