

## 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, riocácicas e riolíticas.

De maneira mais generalizada, nas altimetrias correlatas à cidade de Bento Gonçalves tem-se a presença de derrames intermediários a ácidos (riocácitos 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.

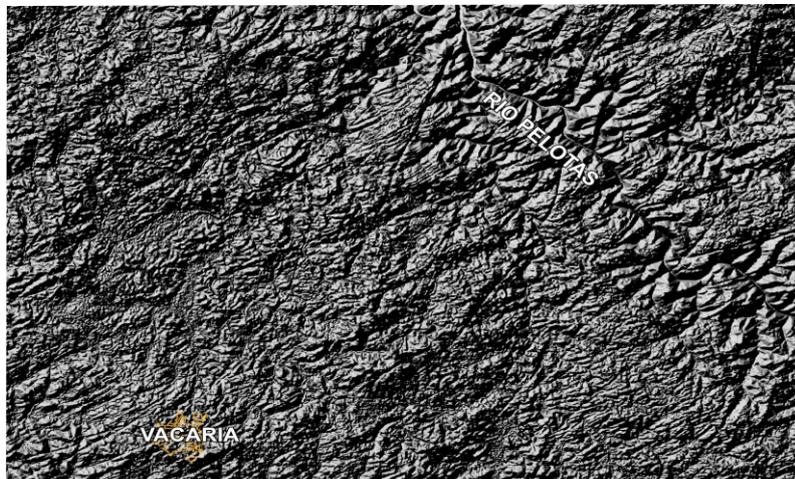
de paisagem com predomínio de aspectos morfo-esculturais que exibem graus de convexamento irregulares, de certa forma assemelhados, edificados em baixos gradientes altimétricos (menores que 100 m) (Figura 3.2).

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 (Ilnick; 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 Distroférico 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).

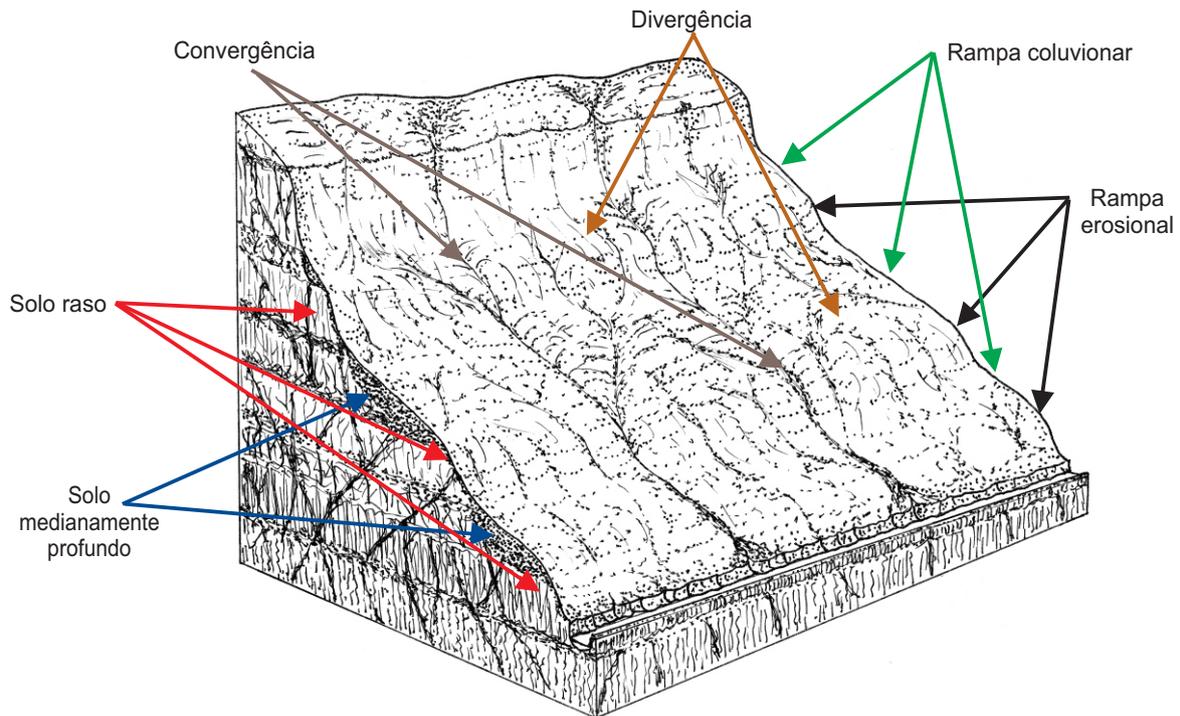


Foto: Gustavo Ribas Curcio

**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 adelgados, 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 matações, 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 m<sup>2</sup> um volume de poros de apenas 0,15 m<sup>3</sup>. 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 férrico, textura argilosa a muito argilosa e com forte

estrutura em blocos (Figura 3.9). O caráter férrico presente expressa os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $\geq 18$  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 ( $\geq 27$  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 estruturoescolturaes decorrentes da ação climática sobre os vários derrames que constituem os pacotes vulcânicos.

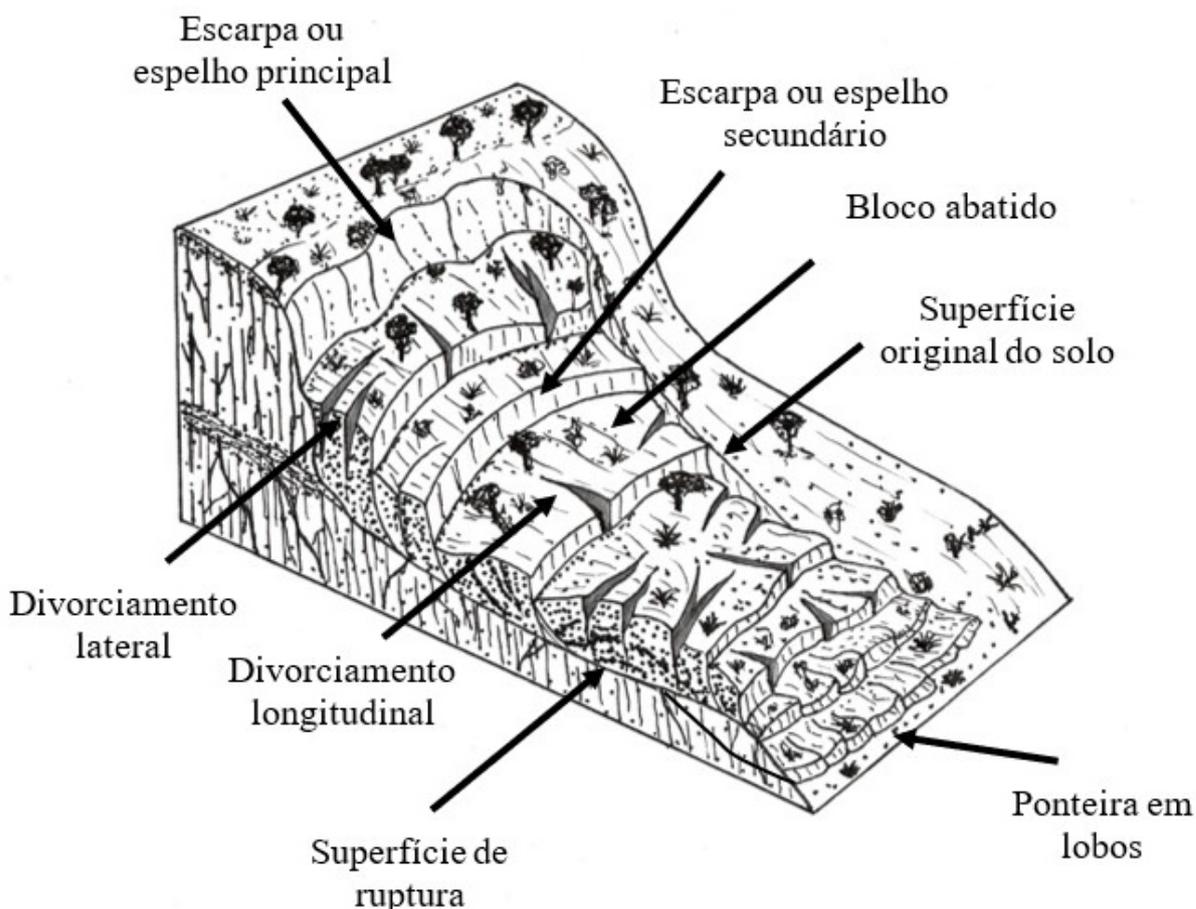
Na análise das rampas erosionais e coluvionares verifica-se forte variação das formas, comprimentos e declividades presentes, bem como condições substancialmente acompanhadas por variação na distribuição de solos e respectivos atributos, sobretudo, espessura, mineralogia, textura e estrutura.

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 erosivas 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, agrônômicas, 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 alocação 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 adelgados. 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 remontes 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 Curcio

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

Com a finalidade de evitar o desmoronamento dos taludes de estrada, conseqüentemente, 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 rotacionamento 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 m<sup>3</sup> 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 dejeccionais (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).



**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](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.

