

## Artigo de Pesquisa

**NOVA PROPOSTA DE COMPARTIMENTAÇÃO DO PLANALTO VULCÂNICO RIOGRANDENSE****New proposal for compartmentation of the riograndense volcanic plateau**Josielle Samara Pereira<sup>1</sup>, Julio Cesar Paisani<sup>2</sup>, Michael Vinicius de Sordi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Núcleo de Estudos Paleoambientais (NEPA), Francisco Beltrão – PR, Brasil. E-mail. [josy.samara@hotmail.com](mailto:josy.samara@hotmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-4309-1833>

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Núcleo de Estudos Paleoambientais (NEPA), Francisco Beltrão - PR, Brasil. E-mail. [juliopaisani@hotmail.com](mailto:juliopaisani@hotmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8911-6477>

<sup>3</sup> Universidade de Bolonha, Departamento de Biologia, Geologia e Ciências Ambientas, Bolonha, Itália. E-mail. [michael.sordi@gmail.com](mailto:michael.sordi@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0001-8639-7704>

Recebido em 27/07/2023 e aceito em 24/07/2023

**RESUMO:** A partir da década de 1950 uma série de estudos geomorfológicos buscaram compartimentar o relevo brasileiro. No Planalto Vulcânico Riograndense (PVRG), apesar de ter vários estudos geomorfológicos realizados buscando sua compartimentação, ainda existem lacunas, principalmente que levem em consideração a relação entre litoestruturas e superfícies geomórficas. Assim, o objetivo do presente estudo é apresentar uma compartimentação do PVRG que combine a delimitação de superfícies geomórficas com aspectos litoestruturais. Secundariamente o estudo busca um aprimoramento das compartimentações já efetuadas, demonstrando a importância da atualização de estudos geomorfológicos a partir de novas ferramentas de análise. Sendo assim, realizou-se a delimitação de compartimentos geomorfológicos através da análise de diferentes dados georreferenciados (mapa hipsométrico, declividade e relevo sombreado, perfis topográficos e de Swath, mapas de geologia, falhas e lineamentos), comparando e verificando a sua correspondência com as classificações prévias já existentes. Disso resultou a definição de 6 compartimentos na área de estudo: Planalto Central; Planalto das Missões; Planalto do Sudoeste; Planalto Dissecado do Rio Uruguai; Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico. Os três primeiros correspondem a superfície geomórfica mais ou menos preservada, enquanto os outros três refere-se a compartimentos dissecados, onde ocorre a incisão fluvial ativa comandada pelos cursos d'água homônimos, isto é, essas áreas estão sendo ativamente dissecadas por seus sistemas fluviais. Assim, de modo geral, a compartimentação possibilitou entender que os compartimentos individualizados são resultantes da erosão diferencial do atual sistema de tributários que pertencem, a partir do controle de níveis de bases locais, variações litológicas dos derrames e controles tectônicos estruturais.

**Palavras-chave:** Geomorfologia, Superfície Geomórfica, Perfis topográficos.

**ABSTRACT:** From the 1950's a series of geomorphological studies searched to compartment the Brazilian relief. For the Riograndense Volcanic Plateau, although a series of geomorphological studies made seeking its compartmentation there are still gaps mainly from studies taking in consideration the

relation between lithostructure and geomorphic surfaces. Therefore, the objective of this study is to present a compartmentation of the PVRG which combines the geomorphic surface delimitation and lithostructural aspects. Secondly the study seeks an enhancement of the previously compartmentations, showing the importance of updating geomorphological studies from news analysis tools. Thus, an identification of surfaces and delimitation of geomorphological surfaces were realized from the analyses of different georeferenced data (hypsometric, slope and roughness maps, topographic and swath profiles, lithology, faults, and lineaments) comparing and verifying its correspondence with previous classifications already existent. Thereof resulted the definition of six (6) compartments within the study area: Planalto Central; Planalto das Missões; Planalto Sudoeste; Planalto Dissecado Rio Uruguai; Planalto Dissecado Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico. The first three compartments refer to a roughly preserved geomorphic surface, while the other three refer to dissected compartments, where the active fluvial incision from the homonymous rivers, i.e., these areas have actively been dissected by its fluvial systems. Thus, in general, the compartmentation allowed to understand that the individualized compartments result from differential erosion of the current tributary system they belong, from the local base-levels, lithological variations within the lava flows and tectonic and structural controls.

**Keywords:** Geomorphology, Geomorphic Surface, Topographical profiles.

## INTRODUÇÃO

Os estudos a respeito do cenário geomorfológico brasileiro evoluíram ao longo do tempo e continuam em expansão, devido ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de diferentes metodologias e técnicas para o mapeamento e compreensão da dinâmica da paisagem. A princípio, esses estudos eram generalizados, onde o território brasileiro era somente dividido em Planaltos visando homogeneizar a nomenclatura das grandes áreas planálticas (ALMEIDA, 1956; AZEVEDO, 1949, AB´SÁBER, 1967). Em um segundo período, estudos de maiores detalhes foram subdividindo essas compartimentações de relevo levando progressivamente a uma melhor compreensão da geomorfologia do território brasileiro (ROSS, 1985; JUSTUS *et al*, 1986).

O relevo terrestre, assim como outros elementos naturais é um elemento representável cartograficamente e suas formas são importantes para o entendimento de sua gênese e dinâmica atual (ROSS, 1992). Na área de estudo deste trabalho, que se refere ao Planalto Vulcânico Riograndense, o primeiro estudo de destaque é o de Almeida (1956), que definiu o Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. Essa unidade se desenvolveu a partir dos derrames vulcânicos que ocorrem no Cretáceo Inferior. O autor subdividiu a área de estudo em Planalto das Araucárias e Zona das Missões.

Em 1967, Ab´Sáber classificou o Planalto Basáltico da Bacia do Paraná baseado em domínios morfoclimáticos, valorizando os processos controlados pelos climas atuais, considerando a combinação da morfologia predominante do relevo, cobertura vegetal e condições climáticas, sendo assim, na área de estudo encontram-se os domínios morfoclimáticos denominados: Planalto das Araucárias e Pradarias Mistas, ambos com clima sub-tropical.

Para reduzir as dificuldades de análise do relevo no território brasileiro, principalmente devido a sua grande extensão, e a necessidade de pesquisas básicas, assim como da complexidade de padrões de suas formas, Ross (1985) apresentou sua própria compartimentação do relevo nacional. O autor considerou a importância dos fatores

morfoestrutural, morfoclimático e morfoescultural para compreensão e classificação do relevo, onde a área de estudo se encontra nos Planaltos das Bacias Sedimentares, inserida na unidade morfoescultural Planalto e chapadas da Bacia do Paraná.

Outro estudo referente a compartimentação geomorfológica em escala nacional é o Projeto Radambrasil (JUSTUS et al. 1986). Este projeto utilizou imagens de radar de todo o território brasileiro para o reconhecimento geral dos seguintes aspectos: solo, hidrografia, vegetação, geologia e geomorfologia. A importância do estudo, deriva, também, de uma evolução de técnicas metodológicas e cartográficas, que se pautou na interpretação mais apurada das informações fornecidas pelas imagens, bibliografias e/ou campo, dividindo todo território brasileiro, regiões e unidades geomorfológicas, com abordagem fundamentada na identificação de paleosuperfícies (superfícies de erosão). Já entre os trabalhos mais recentes na área de estudo referentes a compartimentação geomorfológica, cita-se os de Dantas et al. (2010), Kröhling et al. (2014), Robaina et al. (2016).

Embora haja esforços em identificar superfícies de erosão em escala regional para o PVRG, ainda não há consenso quanto ao número de superfícies geomórficas, seus limites espaciais e altimétricos. Igualmente atribuir a gênese das superfícies a pediplanação irrestrita ainda esbarra na ausência de depósitos correlativos, deixando dúvidas se os níveis altimétricos podem representar superfícies estruturais delimitando unidades litológicas ou faixas tectônico-estruturais. Diante disso, torna-se necessário estabelecer a clássica relação entre litologias-estrutura geológica-superfícies geomórficas. Acredita-se que a falta de consenso entre os trabalhos prévios seja em função da inexistência de superfícies embutidas geradas exclusivamente por processos de erosão física (morfogênese) e que os limites das superfícies geomórficas/compartimentos geomórficos sejam a interação de fatores litológicos, estruturais e neotectônicos.

Portanto, o objetivo do presente estudo é apresentar uma compartimentação do Planalto Vulcânico Riograndense (PVRG) que combine a delimitação de superfícies geomórficas com aspectos litoestruturais. Assim, se leva em consideração a combinação de processos genéticos pretéritos e atuais, e a concepção de superfícies geomórficas e a ação dos processos atuais, e seu possível condicionamento por fatores litoestruturais.

Neste sentido, a conjugação de perfis topográficos com extrapolações altimétricas do Swath, bem como seu cotejamento com litofácies e estruturas de falha e fotolineamentos, permitiram verificar a individualização de superfícies geomórficas e a distribuição espacial de compartimentos geomórficos. De modo secundário o estudo busca um refinamento das compartimentações já existentes no PVRG, ao incorporar novas ferramentas de análise. No presente estudo, a delimitação de compartimentos geomorfológicos se deu por meio da análise de diferentes dados georreferenciados como mapa hipsométrico, de declividade, de rugosidade do relevo, perfis topográficos e de Swath, mapas de geologia, falhas e lineamentos. Os dados gerados foram comparados e se verificou uma possível correspondência com as classificações prévias já existentes.

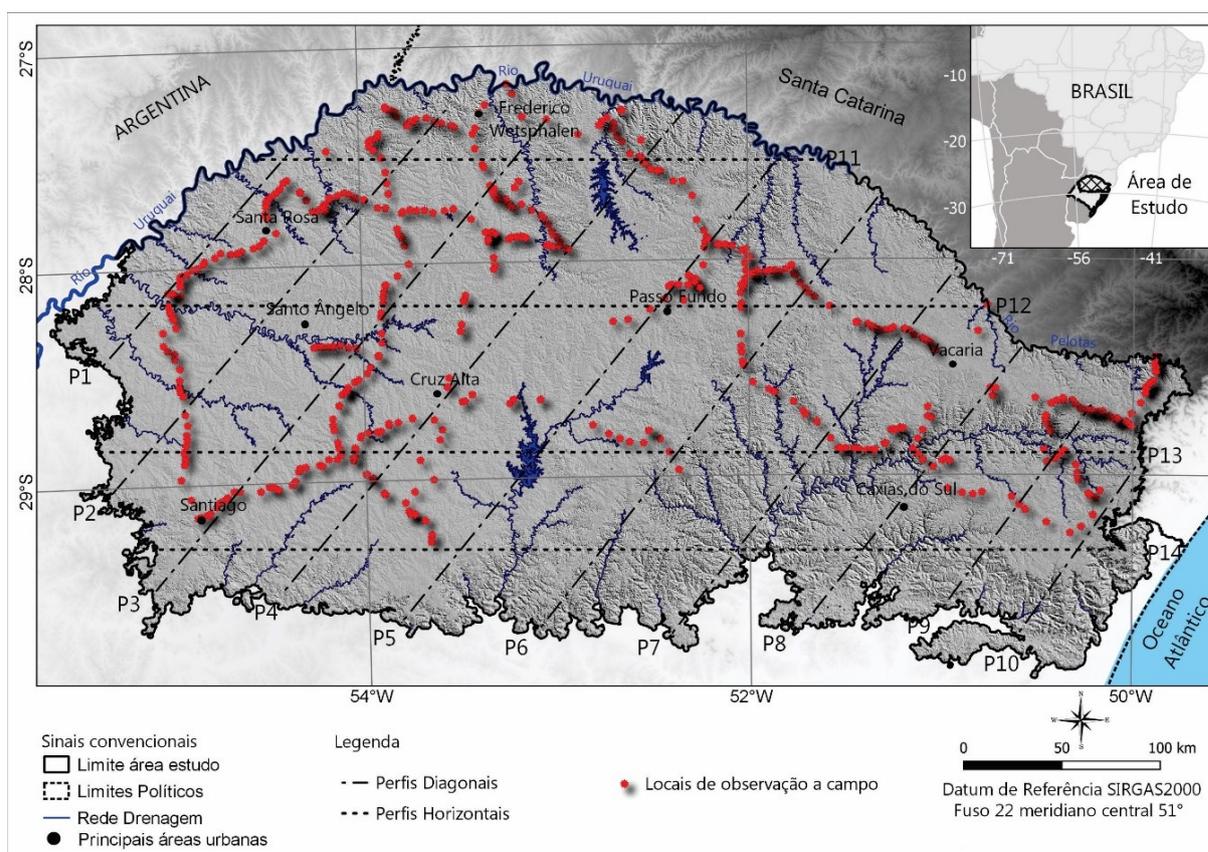
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Cenário da área de estudo

A área de estudo corresponde ao setor setentrional do Planalto Vulcânico Rio Grandense (PVRG), pertencente a Bacia Sedimentar do Paraná (ALMEIDA, 1956; MILANI et al., 2007). Tal planalto é composto pelos derrames de rochas vulcânicas datadas do Cretáceo inferior. Os limites da área são assim delimitados: a leste com a planície litorânea; a Sul com a depressão central gaúcha, a Oeste com altitudes inferiores a 120 metros; e a Norte pelo limite estadual de Santa Catarina (Rios Uruguai e Pelotas) (Figura 1).

Os derrames vulcânicos que capeiam a área compõem o supergrupo São Bento da Formação Serra Geral, e são subdivididos nas seguintes fácies: Parapanema: derrames basálticos granulares finos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo (ametista) datadas em  $136,2 \pm 2$  Ar-Ar (PEATE et al., 1992; WILDNER et al., 2006; Esmeralda: derrames basálticos, microgranulares (PEATE et al., 1992; ROSSETTI et al., 2018; WILDNER et al., 2006); Caxias: derrames de composição intermediária a ácida, riocitos a riolitos, datadas em  $132,3 \pm 0,5$  Ar-Ar (WILDNER et al., 2006; NARDY et al., 2008); Gramado: derrames basálticos granulares de finos a médios (PEATE et al., 1992; WILDNER et al., 2006); Várzea do Cedro: derrames vitrofíricos pretos, texturas de fluxo e autobrechas frequentes, fino fraturamento perlítico (WILDNER et al., 2006); e Chapecó: derrames ácidos contendo traquitos, dacitos, riocitos a riolitos, datados por Ar-Ar em  $131,1 \pm 0,2$  Ma (WILDNER et al., 2006, NARDY et al., 2008; JANASI et al., 2011).

Localmente os derrames são cobertos pela formação Tupanciretã, constituída da base para o topo por conglomerados angulosos a sub-arredondados de basalto e efusivas ácidas, arenitos de areia fina a média composta de quartzo e secundariamente de feldspato (MENEGOTTO et al., 1968; COULON et al., 1973; HORBACH et al., 1986).



**Figura 1.** Mapa da área de estudo com a localização dos pontos de observações em campo e dos perfis topográficos. **Fonte:** PEREIRA e SORDI (2020).

O relevo do PVRG se caracteriza pelo predomínio de encostas de baixa a média declividade com bases amplas (ROBAINA et al., 2016). Baseado na compartimentação de Justus et al. (1986), a área de estudo estaria inserida em três regiões geomorfológica, e estas se subdividiriam em unidades, sendo elas: Planalto das Araucárias (Unidades Planalto Dissecado do Rio Uruguai, Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral e Patamares da Serra Geral); Região Planalto das Missões (Unidade Planalto de Santo Ângelo); e Região Planalto da Campanha (Unidade Planalto de Uruguiana).

O ambiente climático do estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se por ser subtropical úmido (ROSSATO, 2011), e especificamente na área de afloramento das rochas vulcânicas é possível individualizar três tipos climáticos predominantes: a) subtropical pouco úmido, no sudoeste do Estado, chuvas entre 1.200 e 1.500 mm e temperaturas entre 17-20°C médias anuais; b) subtropical medianamente úmido a úmido, no setor centro-oeste do Estado, médias anuais de precipitação entre 1.500-1.800 mm e temperaturas entre 17-20°C médias anuais; e c) subtropical muito úmido, no norte do estado, com precipitações acima dos 1.700 mm e temperaturas entre 17-20°C médias anuais. Quanto a hidrografia, identificam-se três sistemas hidrográficos na área de estudo: os rios do setor Norte e Oeste que integram a região hidrográfica do Uruguai; os rios do setor Centro-Leste integrando a região hidrográfica do Guaíba;

e a bacia do rio Tramandaí localizada no extremo Leste que integra a região hidrográfica do litoral (JUSTUS, 1986; SEMA, 2020).

### Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada para realizar a compartimentação geomorfológica compreende etapas realizadas em gabinete e em campo. Em gabinete, primeiramente foi realizada uma sistematização das informações a respeito de estrutura superficial das paisagens ligadas aos compartimentos e feições geomórficas identificadas por trabalhos anteriores, principalmente pelo projeto RADAMBRASIL (IBGE, 1986). Ao mesmo tempo foi construído Banco de Dados Georreferenciados no SIG (Sistema de Informações Geográficas) QGIS. Em campo, foi realizado três trabalhos exploratórios, a fim de conhecer e analisar detalhadamente os aspectos da paisagem da área. Procedeu-se o levantamento de 487 locais de observação (Figura 1).

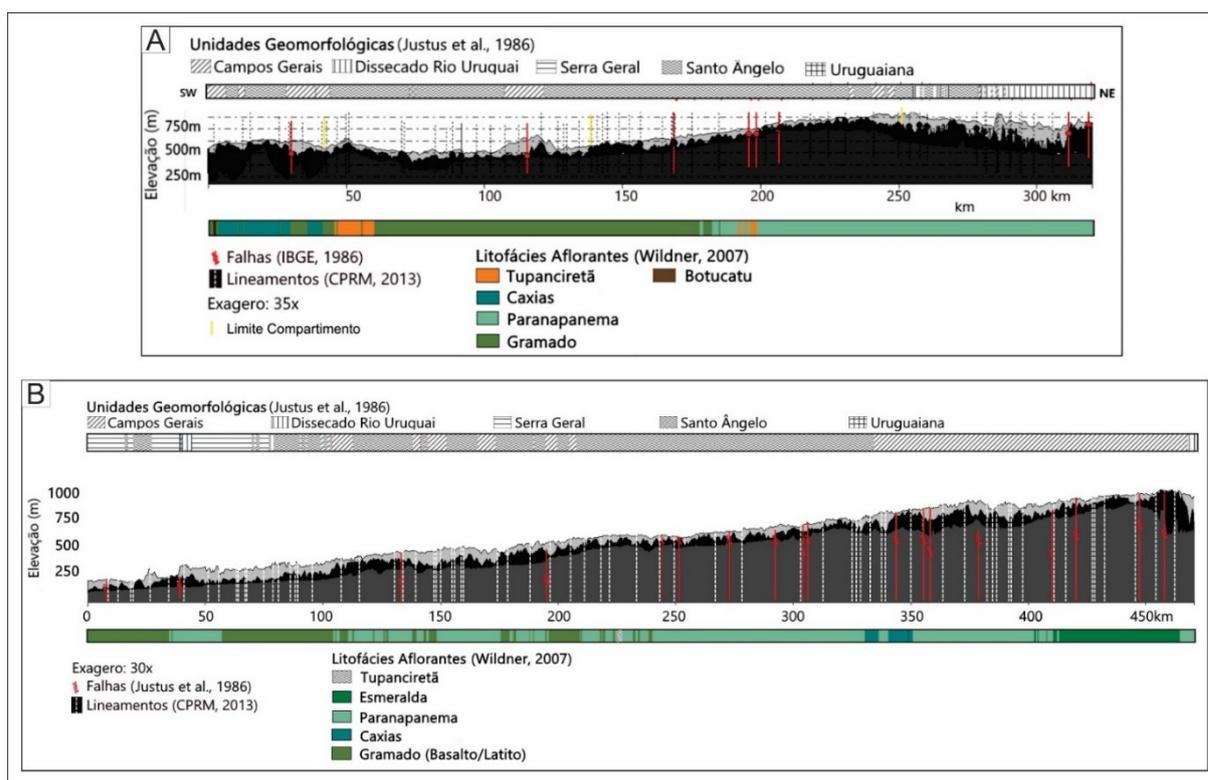
O banco de dados é composto de informações no formato raster como dados topográficos oriundos da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) adaptados pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005) com resolução espacial de 30 m. Para recobrir a área de estudo foi necessário adquirir quatorze folhas, fornecidas pelo site do INPE: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Estes dados constituíram a base para a elaboração dos mapas de hipsométrico, declividade, rugosidade e relevo sombreado, além dos perfis topográficos. Foram geradas 5 imagens com diferentes exaços, azimutes e elevações para revelar todas as estruturas existentes (Quadro 1).

**Quadro 1.** Parâmetros utilizados para geração de imagens sombreadas do relevo

Imagem	Exagero do Relevo	Azimute de Iluminação	Elevação da Iluminação
Imagem 01	1	90	30
Imagem 02	3	120	45
Imagem 03	5	315	20
Imagem 04	10	200	40
Imagem 05	15	45	45

Fonte: PEREIRA (2020)

Além dos perfis topográficos do relevo atual foram gerados Perfis de Swath. Estes perfis são representações simples e de fácil produção: ao invés de criar um perfil ao longo de uma linha única, o Swath considera uma faixa em torno da linha, onde geralmente se define estatisticamente o valor máximo e a média (TELBISZ et al., 2013; CHAMPAGNAC et al., 2009; SORDI et al., 2018). Foram elaborados 10 perfis topográficos diagonais orientados SO-NE e 4 perfis horizontais orientados O - L (Figura 1). Sendo assim, a compartimentação do relevo, se deu através da análise dos perfis topográficos que foram gerados juntamente com a interpolação de informações geológicas (WILDNER, 2005), geomorfológicas (JUSTUS, 1986), lineamentos (CPRM, 2005) e falhas (HORBACH, 1986) (Figura 2).



**Figura 2.** Perfil Topográfico Diagonal (P5); (B) Perfil Topográfico Horizontal (P12).

**Fonte:** PEREIRA e SORDI (2020).

Posteriormente, realizou-se o cruzamento dos elementos contidos nos perfis topográficos com as informações da declividade do relevo, das diferentes feições identificadas nas imagens sombreadas, da rede de drenagem, do limite categorizado das formações geológicas, dos lineamentos e falhas, onde foi possível interpolar polígonos definindo compartimentos geomorfológicos. A combinação de perfis de perfis topográficos tradicionais com extrapolação altimétrica a partir da técnica de Swath, bem como sua comparação com litofácies e estruturas de falhas e fotolineamentos, permitiram reformular a compartimentação, e/ou individualização de compartimentos geomorfológicos/superfícies geomórficas previamente definidas, especialmente a de Justus et al., (1986).

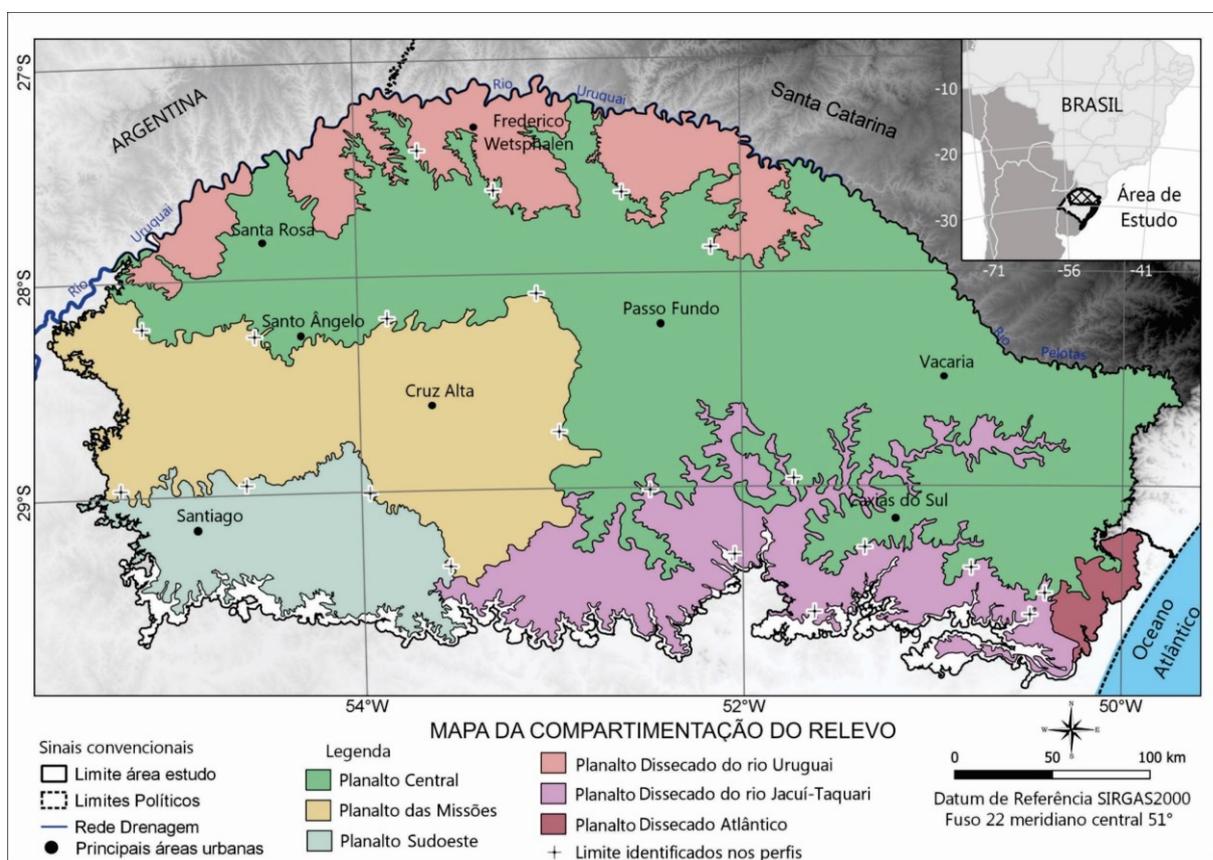
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Delimitação e descrição dos compartimentos geomorfológicos

Foi possível identificar 6 compartimentos geomorfológicos designados de: Planalto Central; Planalto das Missões; Planalto Sudoeste; Planalto Dissecado do Rio Uruguai; Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico (Figura 3). Os compartimentos Planalto Central, Planalto das Missões e Planalto do Sudoeste correspondem a superfície geomórfica da área de estudo preservada, enquanto os compartimentos dissecados (Planalto Dissecado do Rio Uruguai, Planalto Dissecado

do Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico) correspondem a áreas onde ocorre a incisão fluvial ativa comandada pelos cursos d'água homônimos, isto é, estes setores estão sendo ativamente dissecados por seus sistemas fluviais e os resquícios das antigas superfícies geomórficas correspondes a topos descontínuos e irregulares. A seguir é apresentado uma descrição de cada compartimento.

O compartimento do Planalto Central localiza-se ao longo da região central do Rio Grande do Sul, com mergulho de leste a oeste em direção a calha do rio Uruguai e ocupa uma área de 55.202 km<sup>2</sup>. A norte limita-se com o compartimento Dissecado do Rio Uruguai devido a grande diferença de dissecção do relevo, a sudoeste com o Planalto das Missões, a sudeste limita-se com o compartimento Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari e a leste limita-se com o Planalto Dissecado Atlântico (Figura 3).



**Figura 3 -** Compartimentos geomorfológicos individualizados na área de estudo.

**Fonte:** PEREIRA (2020).

O Planalto Central se destaca por ser uma grande superfície conservada e com áreas de maior dissecção nos seus bordos, em todas as direções. Este compartimento seria, então, essencialmente o remanescente dessa superfície e corresponderia ao relevo tipicamente descrito como Planalto Basáltico, Planalto das Araucárias ou Planalto dos Campos Gerais (ALMEIDA, 1956; JUSTUS et al. 1986; KRÖLING et al. 2014). É a partir da dissecção e erosão dessa grande superfície que os demais

planaltos teriam se originado. A reativação de antigas falhas e fraturas seria essencial para essa configuração moderna do relevo no PVRG.

Este compartimento localiza-se majoritariamente sobre Formação Paranapanema acompanhando por vezes o contato desta com a formação Gramado (WILDNER, 2006). No leste gaúcho se desenvolve sobre as formações Esmeralda, Várzea do Cedro e Caxias. Apresenta densidade de lineamentos de 0,44 km/km<sup>2</sup> (CPRM, 2005) e 0,08 km/km<sup>2</sup> para falhas e fraturas (HORBACH et al. 1986). Predominam estruturas e lineamentos orientadas a NW-SE e NE-SW, com lineamentos E-W também representativos. O limite sul do compartimento coincide, grosseiramente, com a zona de falhas de Torres-Posadas.

As altitudes variam de 69 m em áreas próximas ao leito do rio Uruguai, a oeste 1.363 m e no extremo nordeste do Estado, na divisa com o Estado de Santa Catarina, apresentando elevação média de 649 m, com desvio padrão de elevação 228m (Tabela 1). No Oeste, o relevo é menos dissecado nos terrenos mais baixos com colinas alongadas, por vezes com controle estrutural marcante. O setor leste se caracteriza por maior altitude e menor dissecção, definindo formas de relevo amplas e aplanadas. No contato com outros compartimentos, há maior dissecção, registrando vales com entalhamento de 300 a 500 m em rios como o rio Carreiro e o rio das Antas.

Predomina um relevo suave-ondulado a ondulado em 78% da área, com declividades entre 3% e 20%. O relevo forte-ondulado com declividades entre 20% e 45%, presente principalmente na bacia do rio das Antas, ocorre em 12% do compartimento. Terrenos planos, com declividades inferiores a 3%, ocupam 9% da área. Por fim, o relevo montanhoso e escarpado é inexpressivo, com menos de 1% da área total. A declividade média é de 12,85m e o seu desvio padrão é de 9,7%. A declividade no 1º quartil é 6,56 e no 3º quartil 15,80 (Tabela 1). Confirmando assim, uma fraca dissecção neste compartimento.

**Tabela 1.** Valores da Elevação média (m), Desvio padrão de elevação (m), Declividade média (%), Declividade (1º Quartil), Declividade (3º Quartil), Declividade desvio padrão (%) e Densidade de Lineamentos (km/km<sup>2</sup>) de cada compartimento.

Compartimentos	Elev. Média (m)	DP Elev. (m)	Dec. Média (%)	Dec (1º Qrtl) (%)	Dec (3º Qrtl) (%)	Dec (%) DP	Dens Lin (km/ km <sup>2</sup> )
Central	649	227	12,50	6,48	15,38	9,26	0,40
Missões	320	113	7,90	4,69	9,84	4,92	0,41
Sudoeste	357	79	10,30	5,08	12,00	8,76	0,44
Dissecado do Rio Uruguai	450	126	20,45	12,13	29,46	12,11	0,55
Dissecado do Rio Jacui-Taquari	407	175	30,99	17,50	42,82	46,45	0,44
Dissecado Atlântico	395	287	35,63	17,69	52,50	21,40	0,21

**Fonte:** PEREIRA e SORDI (2020). Elev = elevação; Dec = declividade; DP = Desvio Padrão; Qrtl = Quartil; Dens = Densidade; Lin = Lineamento.

O Planalto das Missões localiza-se no centro-oeste da área de estudo e ocupa uma área de 22.523 km<sup>2</sup>. A norte e a leste limita-se com o Planalto Central, a sul com o Planalto Sudoeste e a sudeste com o Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari (Figura 3). Este compartimento insere-se segundo a classificação de Justus, et al (1986) na unidade do Planalto de Uruguiana, Planalto de Santo Ângelo e Planalto dos Campos Gerais.

Nesse compartimento, predominam litotipos da Formação Gramado, com áreas de transição com a Formação Paranapanema, a norte e a sul e a Leste com a Formação Caxias (WILDNER 2006). Destaca-se ainda a presença da Formação Tupanciretã (arenitos) no setor sudeste. Apresenta densidade de lineamentos de 0,41 km/km<sup>2</sup> (CPRM, 2005) e 0,06 km/km<sup>2</sup> para falhas e fraturas (HORBACH et al. 1986). Predominam estruturas orientadas a NE-SW, NW-SE e E-W, respectivamente. O limite do compartimento, a norte com o Planalto Central, corresponde parcialmente a zona de falhas de Torres-Posadas e a oeste segue a direção da zona de falha Jaguari – Mata (MACHADO, 2005).

As menores altitudes variam de 67 m, em áreas próximas ao leito do rio Uruguai a oeste, a 606 m na porção leste do compartimento, com média de elevação igual a 320 m, e desvio padrão de elevação 113m (Tabela 1). Devido ao baixo gradiente altimétrico, o Planalto das Missões caracteriza-se de modo geral por um relevo de dissecação homogênea, mostrando densidade de drenagem grosseira, em especial, com aprofundamento dos vales fluviais aproximadamente entre 30 e 50m e os topos de morros planos e suaves.

O relevo do Planalto das Missões é predominantemente suave-ondulado a ondulado, 83% da área apresenta declividade de 3% a 20%. As áreas planas correspondem a 16% do total da área e as outras classes de declividade somam apenas 1 % da área total do Planalto das Missões. A declividade média é de 7,90 e seu desvio padrão é 4,92. A declividade do 1º quartil é 4,69 e do 3º quartil 9,84 (Tabela 1).

O Planalto Sudoeste localiza-se no sudoeste da área de estudo e ocupa uma área de 9.773 km<sup>2</sup>, limitando-se a norte com o Planalto das Missões e a Leste com o Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari (Figura 3). Segundo classificação de Justus et al. (1986) o Planalto Sudoeste se encontra nas unidades Planalto de Uruguiana, Planalto de Santo Ângelo, Planalto dos Campos Gerais e patamares da Serra Geral.

Predominam litotipos da Formação Caxias nas áreas de maior altitude e da Formação Gramado nas áreas mais baixas. Em alguns fundos de vales no setor sul do planalto e, principalmente na região sudoeste, aflora a formação Botucatu. Apresenta densidade de lineamentos de 0,44 km/km<sup>2</sup> (CPRM, 2005) e 0,04 km/km<sup>2</sup> para falhas e fraturas (HORBACH et al. 1986). Predominam estruturas orientadas a NE-SW e lineamentos NE-SW, NW-SE e E-W, nessa sequência de frequência (maior – menor). O limite do compartimento a oeste corresponde a zona de falha Jaguari – Mata (MACHADO, 2005).

A altitude mínima do Planalto Sudoeste é de 112 m junto ao vale do rio Ibicuí e elevação máxima é 537 m no contato com o Planalto das Missões no setor nordeste,

e a média é 357m com desvio padrão das elevações igual a 79m (Tabela 1). De forma geral, o Planalto do Sudoeste apresenta formas de relevo mais planas onde os derrames vulcânicos ocorridos na Bacia Sedimentar do Paraná apresentam altitudes intermediárias. Porém, mais ao norte os vales dos rios principais, bem como de seus tributários raramente ultrapassam os 50 m possuindo um formato em vales abertos de fundo plano enquanto os topos dos morros são bastante planos.

A topografia do Planalto Sudoeste é ondulada a suavemente ondulada, com 45% e 33% dos terrenos situando-se em cada classe, respectivamente. O relevo plano ocupa 13% do compartimento próximo as nascentes e ao longo do leito do alto curso dos rios principais. Por fim, áreas com declividade forte-ondulada somam 7%, principalmente em locais próximos a transição entre o topo do Planalto Vulcânico Rio-grandense e a Depressão Central. A declividade média é 10,30 e seu desvio padrão é 8,76. A declividade do 1º quartil é 5,08 e do 3º quartil 12,02.

O compartimento Planalto Dissecado do Rio Uruguai localiza-se no extremo norte e noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, próximo ao rio Uruguai, na divisa com o Estado de Santa Catarina e a Argentina. Ocupa uma área total de 11.792 km<sup>2</sup>. Esse compartimento limita-se com o compartimento do Planalto Central, geralmente através de rupturas no declive (Figura 3). Segundo a classificação de Justus, et al (1986) corresponde as unidades Planalto Dissecado do Rio Uruguai, Planalto dos Campos Gerais e Planalto de Santo Ângelo, além de uma pequena área a oeste pertencente ao Planalto de Uruguiana.

O embasamento desse compartimento corresponde ao Grupo Serra Geral, especificamente a Formação Parapanema, e localmente a Formação Chapecó (WILDNER, 2006). A dinâmica e evolução dos cursos d'água exibe forte controle litoestrutural com mudanças abruptas e variadas na orientação dos canais associado aos principais fundos de vale ocorrem depósitos de sedimentos fluviais quaternários. Esse compartimento exibe a mais elevada densidade de lineamentos (CPRM 2005), 0,55 km/km<sup>2</sup>, e de falhas e fraturas (HORBACH et al. 1986), 0,01 km/km<sup>2</sup>, na área de estudo. Predominam estruturas orientadas a NW-SE e NE-SW, com lineamentos E-W também representativos. Na direção NE-SW cortam esse compartimento uma série de estruturas que constituem um antigo sistema de grábens e horsts (MILANI, 2004).

A elevação média é de cerca de 550 m e varia de 68 m junto ao leito do rio Uruguai até 914 m no extremo leste do compartimento, e seu desvio padrão de elevação é 137m (Tabela 1). A amplitude altimétrica de quase 846 m denota o grau de dissecação provocado pelas drenagens, e a diferença altimétrica entre interflúvios e canais de drenagem é, em média 110 m.

A topografia é ondulada a forte-ondulada, observa-se relevos mais acidentados devido à alta dissecação próximo ao Rio Uruguai, porém tendencia-se para um relevo mais suave ondulado em áreas menos dissecadas. É evidenciado em áreas marginais dos leitos dos principais rios, a formação de pequenas planícies de inundação. Cerca de 73% dos terrenos possuem declividade entre 8% e 45%, e declividades muito elevadas, acima dos 45% ocorrem em 5% do total da área, principalmente nas encostas das drenagens de segunda ordem hierárquica (STRAHLER, 1952).

A declividade média é 28,53% e seu desvio padrão 15,89. A declividade do 1º quartil é 16,02% e do 3º quartil 38,93% (Tabela 1). Constata-se em termos de declividade e conseqüentemente dissecação do relevo que este compartimento se difere dos demais já descritos anteriormente (Planalto Central, Missões e do Sudoeste).

O compartimento Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari se localiza na porção sudeste da área de estudo e ocupa uma área de 14.796 km<sup>2</sup>. Limita-se a norte com o compartimento do Planalto Central, a noroeste com o Planalto das Missões, a oeste com o Planalto do Sudoeste, e ao leste com o Planalto Atlântico Dissecado (Figura 3). Na classificação de Justus et al. (1986), este compartimento se insere nas unidades Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral e patamares da Serra Geral (JUSTUS et al. 1986). Caracteriza-se pela transição entre as rochas vulcânicas e as sedimentares paleozoicas.

Os litotipos da Formação Caxias predominam nas áreas de maior altitude e Formação Gramado em áreas de altitude intermediária (WILDNER et al. 2006). Em alguns fundos de vales aflora a Formações Botucatu. Verifica-se elevada densidade de falhas, 0,1 km/km<sup>2</sup> (HORBACH et al. 1986) mas baixa densidade de lineamentos 0,43 km/km<sup>2</sup> (CPRM, 2005). Inclusive, o médio curso do rio Jacuí estaria instalado sobre o Gráben Sul de Lages (MILANI, 2004). Predominam estruturas orientadas a NE-SW e NW-SE e lineamentos NE-SW, NW-SE e E-W, nessa seqüência de frequência (maior – menor).

As altitudes variam de 20 m, no baixo Jacuí até 985 m no limite com o Planalto Central, e a elevação média é 407 m, com desvio padrão de elevação 175m (Tabela 1). A amplitude altimétrica é resultado do aprofundamento de vales fluviais, que supera 350 m nas nascentes dos rios Caí e Sinos. O entalhamento fluvial é menos pronunciado a oeste, em média 200 a 250 m.

Trata-se do compartimento com maior declividade do terreno, 16% da área apresenta topografia montanhosa/escarpada, 42% forte-ondulada e 28% enquadram-se na classe ondulada. As menores declividades, pertencentes as classes suave-ondulado e plano soma 11%, especialmente nas planícies de deposição no fundo dos vales dos rios principais. A declividade média é 30,99% e seu desvio padrão 46,45. A declividade do 1º quartil corresponde a 17,50% e do 3º quartil 42,82%. Constata-se que este setor é fortemente dissecado assim como o Planalto Dissecado do Rio Uruguai.

O compartimento Planalto Dissecado Atlântico localiza-se na porção sudeste da área de estudo, nas proximidades do oceano Atlântico, e ocupa uma área de 1.474 km<sup>2</sup>. Limita-se a oeste com o compartimento do Planalto Central e a sudoeste com o compartimento Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari (Figura 3). De forma geral trata-se da continuação do Planalto Dissecado do Rio Jacuí-Taquari, onde o terminal abrupto e escarpado do PVRG curva-se bruscamente para o oeste. Este compartimento insere-se segundo classificação de Justus, et al (1986) nas unidades Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral e Patamares da Serra Geral (JUSTUS, 1986).

Os litotipos pertencem a Formação Caxias nas áreas de maior altitude e pela Formação Gramado em áreas de altitudes intermediárias. Devido a pequena extensão

desse compartimento, os valores de densidade de estruturas, de 0,19 km/km<sup>2</sup> para os lineamentos e 0,1 km/km<sup>2</sup> para falhas, é considerado pouco representativo, ainda que acompanhe a média regional. As direções predominantes são E-W, NE-SW e N-S.

As altitudes variam entre 10 m na planície Litorânea até 1.005 m no contato com o Planalto Central, com média de 395 m e desvio padrão de elevação 287% (Tabela 1). O elevado gradiente altimétrico desse compartimento aliado ao desnível no contato com a com o Oceano Atlântico, que se localiza em média de 30 km de distância linear, explica o entalhamento dos rios principais que chegam mais de 800 m de aprofundamento. De forma geral as drenagens principais do Planalto Dissecado Atlântico percorrem linhas de falhas recuando e dissecando a escarpa do antigo derramamento vulcânico.

Os terrenos drenados pelos cursos atlânticos apresentam relevo acidentado, com 20% do total da área classificada como montanhosa e 7% de terrenos escarpados, ao longo da Serra Geral. Ainda, 38% dos terrenos pertencente a classe forte-ondulada, 20% ondulada e apenas 9% a classe suave ondulada e 5% de áreas planas, nas planícies de deposição no fundo dos vales dos rios principais e planície litorânea. A declividade média é 35,63% e seu desvio padrão 21,40. A declividade do 1º quartil é 17,69 e do 3º quartil 52,50. Este setor se encontra também fortemente dissecado assim como o compartimento do Planalto Dissecado do Rio Uruguai e do Rio Jacuí-Taquari.

Os perfis litológicos-estruturais-topográficos, com destaque para o perfil 12 (Figura 2 - B), denota que o PVRG corresponde a uma superfície contínua que perde altimetria de leste a oeste e que seus níveis topográficos internos são frutos de interações litoestruturais, como verificado na disposição dos atuais sistemas de drenagem de dissecção estrutural (SORDI et al., 2021). Isso leva a pensar que de fato os compartimentos estabelecidos são resultantes da erosão diferencial do atual sistema de tributários do rio Uruguai, agregando controle de níveis de bases locais, variações litológicas dos derrames e controles tectônico-estruturais.

Diante disso, ao aplicar a análise de imagens sombreadas e da declividade observou-se que a diferenciação geomorfológica da área de estudo se individualiza principalmente por distintos níveis de dissecção do relevo. Tal diferenciação evidencia aspectos relacionados principalmente a erosão diferencial oriunda de distintos níveis de bases locais juntamente com fatores geológicos e estruturais que definem os padrões de drenagem, indo ao encontro às linhas gerais postuladas por Ross (1985) na ocasião de sua compartimentação geomorfológica em escala nacional. A área de estudo ainda carece de estudos de neotectônica, mas eventos dessa natureza foram documentados em São Joaquim (SC), área vizinha ao setor nordeste do PVRG (SANTOS et al., 2019), e por ocasião do mapeamento geológico da área (HORBACK, 1986; CPRM, 2005).

Sendo assim, foi possível delimitar e compartimentar a área de estudo em função das diferenças litoestratigráficas e por desníveis tectônicos indiretamente constatada por ocasião da elaboração de perfis topográficos. Contudo, foram individualizados 6 compartimentos geomorfológicos, designados de Planalto Central; Planalto das Missões; Planalto do Sudoeste; Planalto Dissecado do Rio Uruguai; Planalto

Dissecado do Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico, cujas distribuições espaciais e altimetrias diferem e, por vezes, até integram partes dos compartimentos e/ou superfícies de erosão previamente mapeadas por Justus et al. (1987) e Kröhling et al. (2008) e Kröhling et al. (2014).

A análise dos compartimentos e suas características permite inferir que o Planalto Central se destaca por se apresentar como uma grande superfície conservada e com áreas de maior dissecação nos seus limites. Essa superfície seria, então, remanescente conservado do relevo tipicamente descrito como Planalto Basáltico, Planalto das Araucárias ou Planalto dos Campos Gerais (ALMEIDA, 1956; JUSTUS et al. 1987; KRÖHLING et al. 2014). Todos os demais compartimentos se diferenciaram e subdividiram a partir dessa antiga superfície principal. Essa diferenciação se deu tanto a partir da dissecação e erosão dessa grande superfície, que correspondem aos três compartimentos dissecados, mas, também a partir da individualização da superfície em superfícies menores, aqui chamadas de Planalto Sudoeste e Planalto das Missões. Esses dois compartimentos foram delimitados a partir da reativação de antigas falhas e fraturas, que, portanto, tem um papel essencial para a configuração moderna do relevo no PVRG.

## CONCLUSÃO

São reconhecidos os esforços ao longo das últimas décadas de se compartimentar o relevo brasileiro, especificamente o Planalto Vulcânico Riograndense. Porém, no presente estudo os critérios para a compartimentação geomorfológica deste trabalho se pautaram na análise de perfis topográficos diagonais e horizontais contendo informações altimétricas da topografia, informações geológicas (estrutura que mantém a paisagem), informações geomorfológicas (hipsometria, declividade e de rugosidade do relevo), juntamente com as informações de falhas e lineamentos. Também foram analisadas imagens sombreadas e da declividade, que possibilitou observar a diferenciação geomorfológica, principalmente por distintos níveis de dissecação e rugosidade do relevo.

A delimitação de compartimentos geomorfológicos resultou a compartimentação da área de estudo em 6 compartimentos: Planalto Central; Planalto das Missões; Planalto Sudoeste; Planalto Dissecado do Rio Uruguai; Planalto Dissecado Rio Jacuí-Taquari e Planalto Dissecado Atlântico. Os três primeiros compartimentos citados correspondem a superfície geomórfica preservada, enquanto os outros três refere-se a compartimentos dissecados, onde ocorre a incisão fluvial ativa comandada pelos cursos d'água homônimos, isto é, essas áreas estão sendo ativamente dissecados por seus sistemas fluviais.

Conclui-se que os compartimentos individualizados são resultantes da erosão diferencial do atual sistema de tributários que pertencem, a partir do controle de níveis de bases locais, variações litológicas dos derrames e controles tectônicos estruturais. Portanto, no PVRG a evolução do relevo regional se deu a partir de uma grande superfície, que atualmente se encontra parcialmente preservada no Planalto Central. Sucessivos ciclos de processos erosivo-denudacionais, comandados pela rede

hidrográfica, mas controlados pela litoestrutura foram responsáveis pela sua posterior compartimentação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de doutorado da primeira autora deste trabalho e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPQ) pelo financiamento da pesquisa (Proc.302976/2021-3).

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Concepção:** Josielle Samara Pereira, Julio Cesar Paisani e Michael Vinicius de Sordi. **Metodologia:** Josielle Samara Pereira e Michael Vinicius de Sordi. **Análise formal:** Josielle Samara Pereira e Julio Cesar Paisani. **Pesquisa:** Josielle Samara Pereira, Julio Cesar Paisani e Michael Vinicius de Sordi. **Recursos:** Julio Cesar Paisani. **Preparação de dados:** Josielle Samara Pereira e Michael Vinicius de Sordi. **Escrita do artigo:** Josielle Samara Pereira, Julio Cesar Paisani e Michael Vinicius de Sordi. **Revisão:** Josielle Samara Pereira, Julio Cesar Paisani e Michael Vinicius de Sordi. **Supervisão:** Julio Cesar Paisani e Michael Vinicius de Sordi. **Aquisição de financiamento:** Julio Cesar Paisani. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas no Brasil. **Revista Orientação**. São Paulo: USP/ IGEOG. p. 45-48. n. 3. 1967.
- ALMEIDA, F. F. M. O Planalto basáltico da Bacia do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 24, p. 03-34, 1956.
- AZEVEDO, A. de. O planalto brasileiro e o problema da classificação de suas formas de relevo. **Boletim Paulista de Geografia**. n. 2, 1949.
- CHAMPAGNAC, J. D. et al. Erosion-driven uplift of the modern Central Alps. **Tectonophysics** v. 474, p. 236–249, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.024>. Acesso em: 17/05/21.
- COULON, F. K.; GAMERMANN, N. G.; FORMOSO, M. L. L. Considerações sobre a gênese da Formação Tupanciretã. **Pesquisas**, Porto Alegre, 2(1):79-89, dez. 1973.
- CPRM, **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final / José Luiz Flores Machado; Marcos Alexandre de Freitas. - Porto Alegre: CPRM, 2005.

DANTAS, M. E., VIERO, A. C., SILVA, D. R. A. DA. **Origem das paisagens**. In: Viero, A. C., Silva, D. R. A. da. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM. 2010.

FREITAS, R. C. **Análise estrutural multitemática do Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, Bacia do Paraná**. Curitiba, 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) -Universidade Federal do Paraná.

HORBACH, R. et al. Geologia. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.24 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro. p. 29-312. (Levantamento de Recursos Naturais, 33). 1986.

JANASI, V.D.A.; de FREITAS, V.A.; HEAMAN, L.H. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: a precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 302(1), p. 147-153, 2011.

JUSTUS, J. de O.; MACHADO, M. L. de A.; FRANCO, M. do S. M. Geomorfologia. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de Recursos Naturais**. Vol.33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 2, Rio de Janeiro, 1986, 796 p.

KRÖHLING, D. M. et al. **Planation Surfaces on the Paraná Basaltic Plateau, South America**. In: RABASSA, J.; OLLIER, C. D. (Eds.). Gondwana Landscapes in Southern South America: Argentina, Uruguay and Southern Brazil. [s.l.] Springer Earth System Sciences, 2014. p. 247–303.

MACHADO, F.B. **Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas e efusivas mesozóicas de parte da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo**. 2005. 194 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2005.

MENEGOTTO, EGYDIO; SARTORI, PEDRO LUIZ; MACIEL FILHO, C. L. Nova seqüência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Boletim do Instituto de Solos e Culturas**, UFSM, v. 1, p. 1-19, 1968.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Editora Beca, p.265-279. 2004.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 265-287. 2007.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências** 38(1): 178-195, 2008.

PEATE, D. W., C. J. HAWKESWORTH, AND M. S. M. MANTOVANI. Chemical stratigraphy of the Parani lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution, Bull. **Volcanol.**, 55, 119-139. 1992.

ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R; LAURENT. F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em Classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira Geomorfologia**, v.17, n.2, p.287-298, 2016 <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.857>.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 4, p. 25-39, 1985.

ROSSETTI, L. et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. **J. Volcanol. Geotherm. Res.** 355, 98–114. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Processo de planejamento dos usos da água na Bacia hidrográfica do rio Passo Fundo – Enquadramento**. Relatório Técnico 03 – RT3. 2012. Disponível em: [file:///C:/Users/Cartografia/Downloads/SEMA\\_2012.pdf](file:///C:/Users/Cartografia/Downloads/SEMA_2012.pdf). Acesso em: 30 de março, 2020.

SORDI, M. V. et al. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. **Geomorphology**, 306: 155-169.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

TELBISZ, T.; KOVÁCS, G.; SZÉKELY, B.; SZABÓ, J. Topographic swath profile analysis: a generalization and sensitivity evaluation of a digital terrain analysis tool. **Zeitschrift Für Geomorphologie**, 57(4), 485–513. 2013.

WILDNER, W; RAMGRAG, G. E.; LOPES R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0