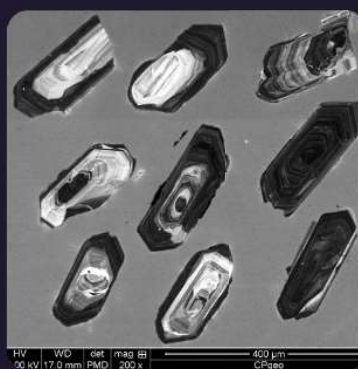


SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

# CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA

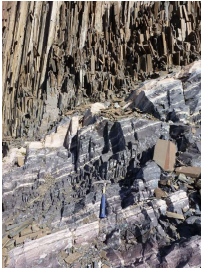
ANDRÉA RITTER JELINEK  
CARLOS AUGUSTO SOMMER



## IMAGENS DE CAPA E CONTRACAPA



Fotografia aérea do setor norte da Serra do Segredo, em Caçapava do Sul, RS, onde se destacam a Pedra do Segredo, em primeiro plano, e a Pedra da Abelha, logo à esquerda, geofórmulas esculpidas sobre conglomerados fluviais da Bacia do Camaquã. Ao fundo, alguns cerros formados por rochas metamórficas e o imponente alto de Caçapava, sobre granitoides diversos, rochas que registram diferentes momentos do Ciclo Brasileiro no sul do Brasil. A paisagem faz parte do Geoparque Caçapava Aspirante Unesco e é parcialmente inserida no Parque Natural Municipal da Pedra do Segredo. Imagem obtida por Felipe Guadagnin. Legenda de André Weissheimer de Borba e Felipe Guadagnin.



Contato entre rochas sedimentares da Bacia do Paraná e soleira de diabásio do Grupo Serra Geral. Pedreira Carollo, região de Montenegro, RS. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.

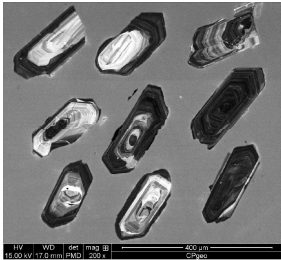


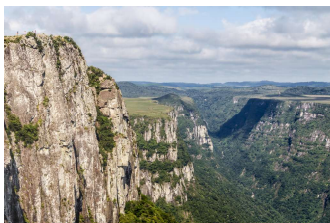
Imagem de catodoluminescência de cristais de zircão pertencentes ao Batólito de Florianópolis. Aumento de 200 vezes. Imagem e legenda de Andréa Ritter Jelinek.



Fotografia aérea oblíqua apresentando a morfologia da região correspondente ao extremo do Litoral Norte do RS, à direita observa-se a cidade de Torres/RS. Em primeiro plano observa-se a morfologia do campo de dunas localizado no Parque Estadual de Itapeva. Unidade essa localizada sobre o sistema Laguna-Barreira IV (holocênico). Logo após o baixio, na retaguarda do campo de dunas, ocorre a morfologia do sistema Laguna-Barreira III (pleistocênico). Ao fundo, com o relevo mais elevado, encontra-se a Formação Serra Geral pertencente à Bacia do Paraná. Imagem obtida por Eduardo H. R. Russo. Legenda de Eduardo Guimarães Barboza.



Minas do Camaquã, Mineração de cobre a céu aberto, Caçapava do Sul. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.



Derrames ácidos do Grupo Serra Geral, Bacia do Paraná, na região do Cânion Fortaleza, Parque Nacional da Serra Geral, Cambará do Sul, RS. Imagem licenciada de Depositphotos. Legenda de Carlos Augusto Sommer.



PUBLICAÇÃO ESPECIAL DO NÚCLEO RS/SC DA  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

**CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA  
DO RIO GRANDE DO SUL E  
DE SANTA CATARINA**

**Editores**

Andréa Ritter Jelinek  
Carlos Augusto Sommer



Porto Alegre, RS, 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, sem autorização expressa dos autores ou da editora. A violação importará nas providências judiciais previstas no artigo 102, da Lei nº 9.610/1998, sem prejuízo da responsabilidade criminal. Os textos deste livro são de responsabilidade de seus autores.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

Edição: 1ª

Ano: 2021

**Editora Compasso Lugar Cultura**

Responsável André Suertegaray Rossato

Porto Alegre - RS - Brasil

Telefones (51) 984269928

compassolugarcultura@gmail.com

www.compassolugarcultura.com

Editores:

Andréa Ritter Jelinek

Carlos Augusto Sommer

Diagramador: Gabriel Zambom

Revisão de Texto: Gustavo Saldivar

**Conselho Editorial Compasso Lugar Cultura**

Álvaro Heidrich

Carlos Henrique Aigner

Cláudia Luíza Zeferino Pires

Dakir Larara Machado da Silva

Dilermando Cattaneo da Silveira

Dirce Maria Antunes Suertegaray

Helena Copetti Callai

Jaeme Luiz Callai

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Laurindo Antonio Guasselli

Maíra Suertegaray Rossato

Nelson Rego

Roberto Verdum

Rosa Maria Vieira Medeiros

Sinthia Batista

**Realização**

**Sociedade Brasileira de Geologia**

**Diretoria Núcleo RS/SC:**

Diretora Presidente: Andréa Ritter Jelinek

Diretor Vice-Presidente: Carlos Augusto Sommer

Diretor Secretário: Lucas Debatin Vieira

Diretor Financeiro: Breno Leitão Weichel

Diretora de Programação Técnico-Científica: Rosemary Hoff

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

J47c

Jelinek, Andréa Ritter.

Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina /Andréa Ritter Jelinek e Carlos Augusto Sommer, organização – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre : Compasso Lugar-Cultura, 2021.

504 p., il. col.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

<https://doi.org/10.29327/537860>

1. Geologia 2.Sociedade Brasileira de Geologia 3. Coletâneas de textos I. Jelinek, Andréa Ritter II. Sommer, Carlos Augusto III. Título

CDD 551

CDU 551.1/.4

Bibliotecária Responsável: Catarina Strapação Guedes Vianna CRB-10/2469

Índices para catálogo sistemático:

1. Geologia 551

# Estratigrafia do Grupo Serra Geral na Calha de Torres, Sul do Brasil

Lucas de Magalhães May **Rossetti**<sup>1\*</sup>, Matheus Silva **Simões**<sup>2</sup>, Evandro Fernandes de **Lima**<sup>3</sup>, Breno Leitão **Waichel**<sup>4</sup>, Carlos Augusto **Sommer**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Geociências, Universidade Federal do Mato Grosso

<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil (CPRM-Manaus)

<sup>3</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Catarina

\* autor correspondente: [lucasross@hotmail.com](mailto:lucasross@hotmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) é uma Grande Província Ígnea (GPI) do Cretáceo Inferior, caracterizada pela acumulação de volumes imensos de rochas vulcânicas e intrusivas em áreas continentais do paleocontinente Gondwana (Renne *et al.*, 1992; Peate *et al.*, 1997). Os produtos desse magmatismo ocupam cerca de 1.700.000 km<sup>2</sup> (Frank *et al.*, 2009), dos quais 90% estão localizados na América do Sul, sobre a bacia do Chaco-Paraná, e são agrupados estratigraficamente no Grupo Serra Geral (GSG). Uma parte pequena da província (c. 10%) ocorre no leste da África, na Namíbia (Grupo Etendeka) (Milner *et al.*, 1994) e em Angola (Complexo Vulcânico Bero) (Marsh *et al.*, 2018) (Fig. 1). O excelente grau de exposição nas regiões desérticas da Namíbia permitiu um notável detalhamento estratigráfico (Milner *et al.*, 1994; Jerram *et al.*, 1999) e demonstrou a grande heterogeneidade dos espessos pacotes de lava da PMPE. Estudos recentes, focados na evolução estratigráfica do GSG, produziram um arcabouço atualizado e detalhado das sequências vulcânicas no sul do Brasil (Waichel *et al.*, 2012; Rossetti *et al.*, 2018). No presente trabalho, são apresentados e discutidos os avanços obtidos ao longo das últimas duas décadas de estudo sobre a sucessão vulcanossedimentar da porção sul do GSG.



grafia regional (Fig.1A). A porção sul da província, dominada por rochas com baixo-Ti (Ti/Y), é caracterizada por basaltos do tipo Gramado, sucedidos na estratigrafia por rochas ácidas do tipo Palmas e por basaltos do tipo Esmeralda. Basaltos de alto-Ti (Urubici) ocorrem intercalados com o tipo Gramado ao longo da escarpa sudeste, principalmente, em SC (Peate *et al.*, 1999). Ao norte, uma província vulcânica de alto-Ti/Y (> 300) é formada por uma pequena quantidade de rochas ácidas do tipo Chapecó e por basaltos dos tipos Ribeira, Pitanga e Paranapanema (Peate, 1997).

No sul do Brasil, destaca-se a ocorrência de tipos químicos de baixo-Ti e de magmas dos tipos Gramado e Esmeralda. Com o mesmo conteúdo de MgO, os basaltos do tipo Esmeralda possuem maiores conteúdos de  $TiO_2$  e de  $Fe_2O_{3(t)}$  e menor conteúdo de  $SiO_2$ , bem como padrões de elementos-traço mais depletados. Na porção NW do RS, predominam, em superfície, basaltos de alto-Ti do tipo Paranapanema, que possuem alto conteúdo de  $Fe_2O_{3(t)}$ , baixo conteúdo de Zr/Y e Sr em relação aos tipos Pitanga e Urubici (Peate *et al.*, 1992).

As rochas ácidas, que sustentam a fisiografia dos Campos de Cima da Serra nos estados do RS e de SC, são predominantemente afaníticas e de baixo-Ti, e referidas como do tipo Palmas. Localizadamente no norte do RS, afloram rochas ácidas porfiríticas e com alto-Ti do tipo Chapecó. Com base nos conteúdos relativos de Zr, de Rb, de  $P_2O_5$  e de  $TiO_2$ , as rochas de baixo-Ti foram divididas nos subtipos Caxias do Sul, Anita Garibaldi, Santa Maria, Clevelândia e Jacuí, e as de alto-Ti, em Ourinhos, Guarapuava e Tamara (Peate *et al.*, 1992; Nardy *et al.*, 2008).

A idade da fase principal do magmatismo do GSG foi delimitada em um intervalo de cerca de 4 Ma, começando em 135 Ma até 131 Ma (Janasi *et al.*, 2011), com o pico principal durando 1 Ma (Renne *et al.*, 1992; Thiede & Vasconcelos, 2010; Baksi, 2018).

A atividade vulcânica começou na porção sul da província, em que as idades das rochas basálticas se agrupam entre 134,8 Ma e 134,1 Ma ( $^{40}Ar/^{39}Ar$  *step-heating*) (Renne *et al.*, 1992; Thiede & Vasconcelos, 2010), e a idade do vulcanismo ácido é de 133,6 Ma (Rocha *et al.*, 2020). O vulcanismo migrou para norte, onde as lavas basálticas e os corpos intrusivos associados possuem idades um pouco mais jovens, entre 133,6 Ma e 131,5 Ma ( $^{40}Ar/^{39}Ar$  *step-heating*) (Ernesto *et al.*, 1999) e onde as rochas ácidas possuem idades de 132,9 Ma (Rocha *et al.*, 2020).

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

No Brasil, o GSG ocupa uma área de, aproximadamente, 917.000 km<sup>2</sup> sobre rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A sequência vulcânica atinge cerca de 1700 m no centro da bacia (Piccirillo & Melfi, 1988; Frank *et al.*, 2009) e, nos estados do RS e de SC, pode atingir até 1200 m de espessura. A Calha de Torres, anteriormente definida como Sinclinal de Torres (Zalán *et al.*, 1987), compreende um baixo estrutural entre os platôs dos Campos de Cima da Serra (ombreira sul), no RS, e de São Joaquim (ombreira norte), em SC. A espessura do Grupo Serra Geral varia entre 500 m e 700 m na borda desta estrutura e entre 700 m e 1100 m no seu eixo principal (*e.g.* Frank *et al.*, 2009). O embasamento da Bacia do Paraná, sob a Calha de Torres, é composto por um arranjo de terrenos tectônicos amalgamados durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano no Neoproterozoico (Chemale Jr., 2000). Embora a orientação das estruturas geradas no Neoproterozoico seja, predominantemente de direção NE-SW, o arcabouço da bacia no sul do Brasil é controlado por estruturas oblíquas, de direção NW-SE. As porções relativamente altas do embasamento conformam os arcos de Ponta Grossa, ao norte, e de Rio Grande,

ao sul da Calha de Torres (Zalán *et al.*, 1987).

#### 4 GRUPO SERRA GERAL: BREVE HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

O GSG compreende um conjunto de rochas vulcânicas e sedimentares, que representam a PMPE no Brasil, cuja evolução está associada à Supersequência Gondwana III da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007). Historicamente, o reconhecimento das formações rochosas da Bacia do Paraná, com ênfase na descrição de uma ampla sequência vulcanosedimentar nas suas porções de topo tem, como principais referências os trabalhos de White (1908) e de Baker (1923), que reconheceram um amplo platô de rochas basálticas na Serra Geral. Os estudos com ênfase em análises petrográficas e litogeoquímicas das rochas vulcânicas, feitos por Guimarães (1933), por Leinz (1949) e por Schneider (1964), indicaram, além da presença de basaltos, a ocorrência de rochas vulcânicas ricas em sílica nesta sequência, localizada no nordeste do RS e no sudeste de SC. A ampla aplicação destes métodos percorreu as décadas de 1970 e de 1980, culminando na publicação de Piccirilo & Melfi (1988). Esta publicação reuniu uma série de trabalhos com ênfase em aspectos geoquímicos e geofísicos do GSG, simbolizando um ponto de inflexão, cujas principais consequências foram o agrupamento das rochas vulcânicas pelas suas características geoquímicas e petrogenéticas e sua designação em magmas-tipo (*e.g.* Peate *et al.*, 1992; Peate, 1997).

Modelos deposicionais, fundamentados na descrição de estruturas vulcânicas, foram apresentados por Waichel *et al.* (2006, 2007, 2008) e promoveram discussões importantes sobre o reconhecimento de morfologias de lavas *pahoehoe*, as interações destas com sedimentos e a importância destes depósitos na história evolutiva do vulcanismo. A

partir destes trabalhos, os temas de investigação do GSG, principalmente, na Calha de Torres, concentraram-se em estabelecer suas relações estratigráficas, incluindo as características morfológicas e vulcânicas desta unidade (*cf.* Lima *et al.*, 2012; Waichel *et al.*, 2012).

A integração entre litofácies, suas relações estratigráficas e estruturais, apoiada em dados petrográficos e geoquímicos, permitiu um maior detalhamento da estratigrafia da Serra Geral na Bacia do Paraná (Barreto *et al.*, 2014; Polo & Janasi, 2014; Rossetti *et al.*, 2014; Besser *et al.*, 2018; Polo *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2018a; 2018b), a elaboração de uma proposta estratigráfica formal para a Formação Serra Geral e a consequente elevação do seu status para Grupo Serra Geral (Rossetti *et al.*, 2018). A sucessão vulcânica foi dividida em quatro unidades principais de lavas: Formação Torres (FT), Formação Vale do Sol (FVS), Formação Palmas (FP) e Formação Esmeralda (FE). A base da sequência vulcânica é formada por arenitos predominantemente eólicos da Formação Botucatu (FB). As principais características de cada uma destas unidades serão descritas em detalhe, a seguir.

##### 4. 1 Formação Botucatu

A Formação Botucatu é constituída predominantemente por arenitos eólicos, que formavam um imenso campo de dunas na porção central do Gondwana durante o Eo-Cretáceo. Na porção sul da PMPE, a FB ocorre sotoposta aos primeiros derrames da sequência vulcânica, com exceção da porção central do RS, em que as lavas recobrem rochas sedimentares triássicas (Scherer, 2000).

Esta formação é composta por arenitos rosados, com granulometria fina a média e com grãos arredondados, de aspecto fosco (Scherer, 2000). Localmente, ocorrem



conglomerados e arenitos conglomeráticos na base da formação, depositados em ambiente fluvial (Bigarella & Salammuni, 1967; Soares, 1975). Existe uma relação de contemporaneidade entre os depósitos eólicos da FB e os primeiros derrames da PMPE. O deserto Botucatu foi gradativamente sendo recoberto pelo avanço das primeiras lavas da PMPE, porém áreas desérticas se mantiveram ativas nas proximidades dos campos de lava, e variações na direção dos ventos levaram à deposição de camadas de arenitos entre as lavas. Diversos autores (*e.g.* Scherer, 2000; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2008) descreveram feições geradas pelo recobrimento e pela interação entre as primeiras lavas da PMPE e as dunas eólicas da FB.

## 4. 2 Formação Torres

A Formação Torres agrupa depósitos vulcânicos e sedimentares, relacionados aos estágios iniciais do magmatismo da PMPE, e compõe a porção inferior do GSG na porção sul da Bacia do Paraná. O conjunto de rochas que compõe a FT se estende ao longo do limite sul do campo de lavas e recobre uma área aflorante superior a 25.000 m<sup>2</sup>, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul. A unidade tem espessura média de 150 m, variando entre 100 m e 290 m, e se estima que o volume mínimo produzido por estas erupções seja superior a 3.750 km<sup>3</sup> (Rossetti, 2018). Estratigraficamente, a FT é equivalente aos basaltos toleíticos descritos por Bellieni *et al.* (1984b); aos episódios vulcânicos básicos I e II, de Waichel *et al.* (2012); à unidade I, de Rossetti *et al.* (2014); e aos derrames *pahoehoe* compostos iniciais, de Barreto *et al.* (2014).

A formação foi nomeada, em referência a sua seção-tipo, caracterizada pela sobreposição dos primeiros derrames de basalto aos arenitos da FB, ao longo das praias de Torres (Rossetti *et al.*, 2018). O contato

inferior da formação é abrupto, com os derrames acompanhando e fossilizando a topografia dos campos de dunas subjacentes (Jerram *et al.*, 2000; Scherer, 2000). Em áreas em que a superfície das dunas está exposta, marcas de ondas e sulcos, formados pelo avanço das lavas sobre os sedimentos, são visíveis (Waichel *et al.*, 2008). Localmente, a porção inferior da unidade é caracterizada pelos produtos da interação entre lavas e sedimentos eólicos inconsolidados, como, por exemplo, peperitos e diques clásticos.

Os campos de derrames da FT são constituídos pela intercalação e pelo empilhamento de derrames em lençol (*sheet-like*) (Fig. 2A), de dedos de lava (< 0,5 m) e de lobos de lava (0,5-2,5 m), e caracterizam, em larga escala, uma arquitetura anastomosada composta. Localmente, onde os derrames são confinados pela topografia do campo de dunas, unidades espessas (de até 100 m) com disjunções colunares são formadas (Fig. 2B). A estrutura interna de um lobo individual é constituída por uma porção inferior vesicular, com vesículas alongadas (*pipe vesicles*) (Fig. 2C), por um núcleo maciço ou com estruturas de segregação de voláteis, tipicamente holocristalino, e por uma porção superior vesicular, com vesículas e com amígdalas esféricas, que decrescem, em direção ao topo do derrame (Fig. 2D). O contato e as margens entre lobos individuais são oxidados, com texturas indicativas de um resfriamento rápido, formando superfícies lisas ou em corda (Fig. 2F). Derrames em lençol têm, em geral, espessuras entre 5 m e 12 m (até 20 m), extensões areais significativas (100-1000 m) e constituem a maior parte do volume dos campos de derrames. O limite entre os campos de derrames é marcado por unidades sedimentares formadas durante períodos de quiescência vulcânica (Fig. 2A).

As rochas que compõem a FT são afaníticas a pobremente porfiríticas (< 5-10%), compostas por plagioclásio, augita e

óxidos de Fe-Ti ± olivina. Pseudomorfos de olivina alterada são comuns, como fenocristais, nos derrames primitivos (MgO > 6%), típicos da porção inferior da FT, enquanto fenocristais de plagioclásio ocorrem nas porções superiores da estratigrafia. No núcleo dos derrames, a matriz da rocha é tipicamente holocristalina fina a média. As rochas da FT representam as composições mais primitivas, dentro dos intervalos amostrados, e podem ser classificadas como basaltos e andesitos basálticos. Concentrações de MgO variam de 3,3% a 8,9%, para variações de SiO<sub>2</sub> entre 49,8% e 58%. As rochas são enriquecidas em elementos terras raras (ETRs) leves e têm fortes anomalias negativas de Nb-Ta, em comparação aos litófilos de íon grande (large ion lithophiles (LIL)), e anomalias negativas de Ti e P.

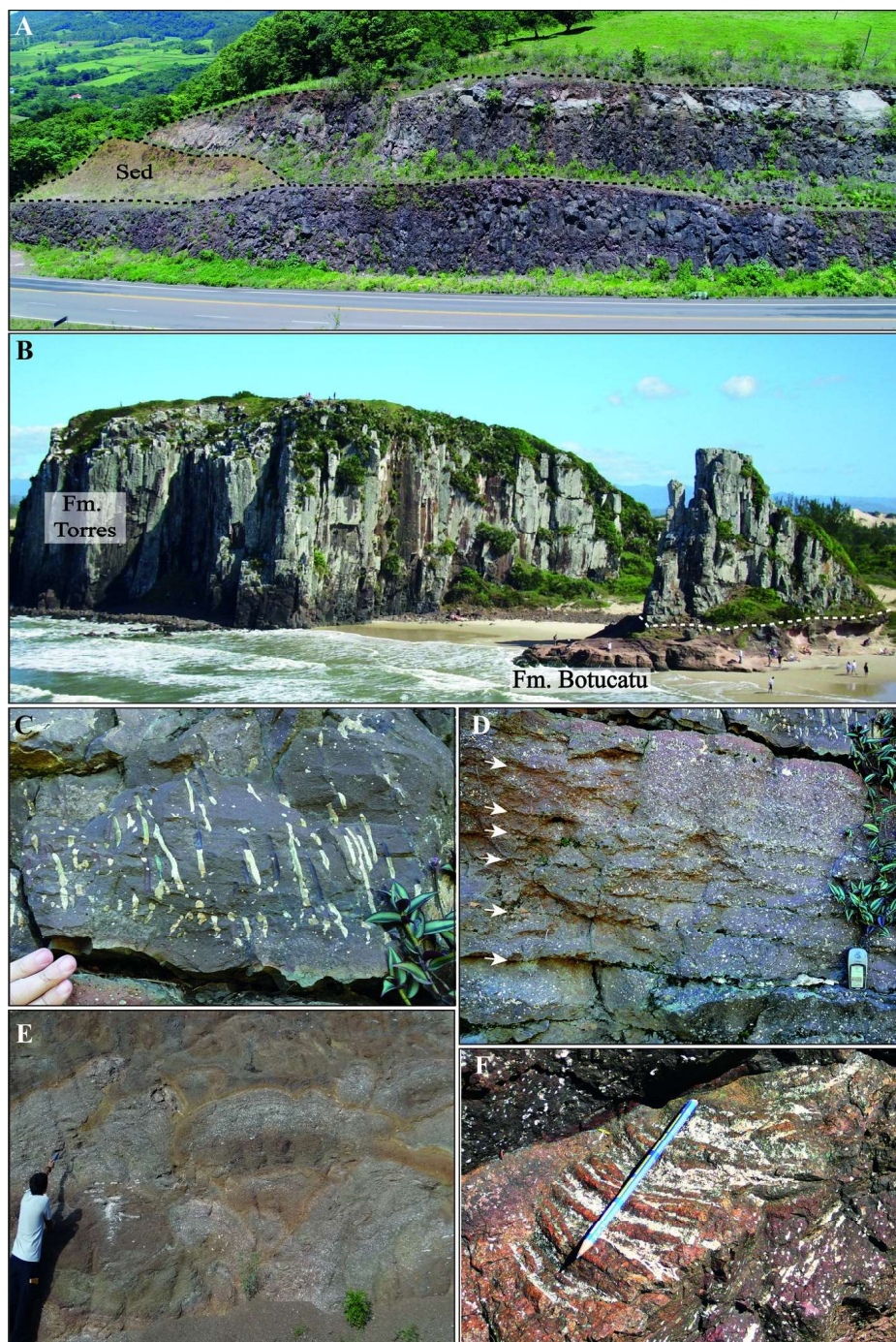
#### 4.3 Formação Vale do Sol

A Formação Vale do Sol é composta pelo empilhamento vertical de derrames tabulares espessos (> 25 m) de andesitos basálticos, que representam o estágio principal da construção da sequência vulcânica do GSG no sul do Brasil (Fig. 4A). O conjunto de rochas que compõe a FVS atinge uma espessura máxima acumulada de c. 550 m (11 derrames) no perfil Terra de Areia-Aratinga (TA). A unidade se estende lateralmente por, pelo menos, 300 km, de leste (TA) para oeste (CD), e por, pelo menos, 130 km para norte, até a Serra do Rio do Rastro. Estima-se que a FVS recubra áreas superiores a 55.000 km<sup>2</sup> e o volume de material vulcânico seja superior a 15.000 km<sup>3</sup> (Rossetti, 2018). Tendo em vista que a unidade atinge suas maiores espessuras, ao longo dos perfis costeiros (p. ex. TA e Rio do Rastro) e que derrames similares ocorrem no Grupo Etendeka, na Namíbia (Membro Tsuhasis) (Jerram *et al.*, 1999), as estimativas de área e de volume são consideradas conservadoras. Estratigraficamente, a

FVS equivale aos andesitos basálticos toleíticos, de Bellieni *et al.* (1984b); ao episódio vulcânico básico III, de Waichel *et al.* (2012); à unidade II, de Rossetti *et al.* (2014); e aos derrames rubbly simples, de Barreto *et al.* (2014). O contato entre a FVS e a FT é não erosional e caracterizado, na maioria dos casos, por uma camada de arenito. Excelentes exposições do contato ocorrem na seção-tipo (Santa Cruz-Herveiras) e no perfil Candelária-Sobradinho (CS). Ao longo destas seções, o intervalo sedimentar é pouco espesso e atinge localmente 2 m. O contato entre as duas unidades representa uma superfície-chave, dentro da estratigrafia do GSG, e marca um hiato da atividade vulcânica e uma mudança importante na dinâmica eruptiva.

A seção-tipo da FVS ocorre ao longo da RST-153, próxima ao município de Vale do Sol, entre as cotas de 370 m e de 500 m. Ao longo da seção, afloram três derrames do tipo *rubbly pahoehoe*. Derrames individuais da FVS são tipicamente espessos (35-50 m) e tabulares, com estrutura interna caracterizada por: (1) uma base afanítica, com vesículas esparsas (Fig. 3B); (2) um núcleo espesso afanítico, maciço ou com disjunções colunares irregulares (Fig. 3C); (3) uma zona superior vesicular grossa; e (4) uma superfície fragmentada (*rubbly flow top*) (Fig. 3D-3E).

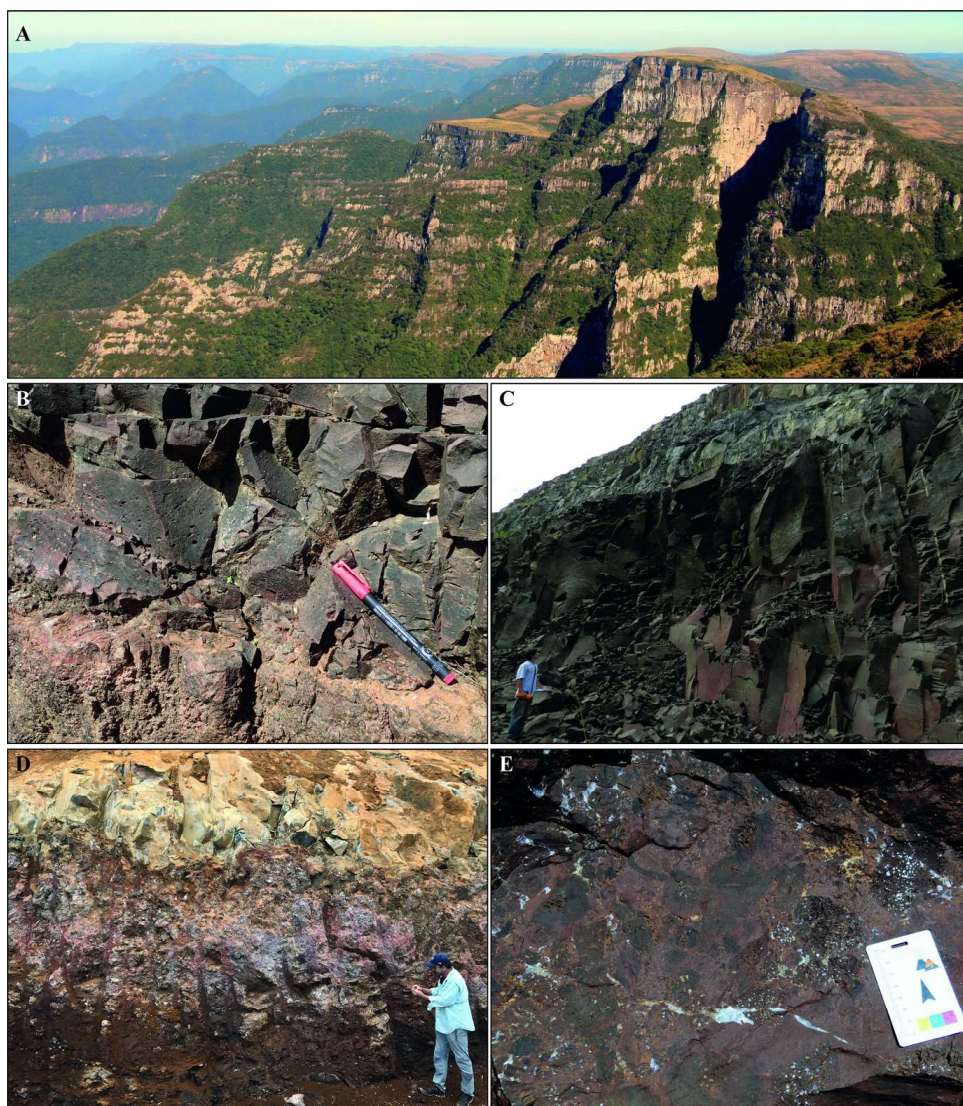
Mineralogicamente, são compostas por plagioclásio, augita e óxidos de Fe-Ti ± pigeonita. Plagioclásio e augita ocorrem como fenocristais isolados ou glomerocristais envoltos por matriz microcristalina a muito fina (< 0,1 mm). Microfenocristais oxidados de olivina ocorrem nas rochas mais primitivas (MgO > 5%) e pigeonita, nas composições evoluídas (MgO < 5%). Quimicamente, as rochas da FVS são, predominantemente, intermediárias (SiO<sub>2</sub> entre 51,6% e 61%) e podem ser classificadas como andesitos basálticos e, raramente, como basaltos, sendo



**Figura 2** – Afloramentos e morfologias das lavas da Formação Torres: (A) Dois derrames em lençol, separados por *intertrap* (duna) de arenito eólico, no perfil Santa Cruz-Herveiras (SH); (B) Derrame espesso confinado pela topografia do campo de dunas da Formação Botucatu (*ponded lava*) no Parque da Guarita, em Torres; (C) Vesículas alongadas (*pipe vesicles*) na base de derrame *pahoehoe*; (D) Topo vesicular de derrame inflado na BR-386, próximo a Lajeado; (E) Sucessão de lobos vesiculares, formando derrames compostos na BR-290, próximo a Osório; e (F) Superfície em corda, situada na BR-386, nas proximidades de Lajeado.

correlacionáveis ao magma do tipo Gramado (Peate *et al.*, 1992). Quando comparadas às rochas da FT, são quimicamente mais evoluídas e formam tendências evolutivas distintas para elementos maiores e traços incompatí-

veis. Para um intervalo de diferenciação similar, as rochas da FVS são enriquecidas em CaO e FeO\* e têm concentrações menores de SiO<sub>2</sub>, LIL e HFSE (High Field Strength Elements).



**Figura 3** – Afloramento e morfologias das lavas da Formação Vale do Sol: (A) Sucessão de derrames tabulares das formações Vale do Sol e Palmas no topo da estratigrafia, ao longo da escarpa leste do Grupo Serra Geral, em Santa Catarina; (B) Crosta basal pobremente vesicular; (C) Núcleo espesso com disjunções colunares irregulares no Perfil Santa Cruz-Herveiras (SH); (D) Topo fragmentado de derrame (*rubbly surface*); e (E) Detalhe da brecha de topo de derrame *rubbly pahoehoe*, na Serra da Rocinha (Perfil RA).

#### 4. 4 Formação Palmas

A Formação Palmas é composta por rochas ácidas e com baixo-Ti do GSG. Estas unidades sustentam relevos de até 1.800 m em Santa Catarina e, de uma forma geral, constituem extensos platôs e camadas contínuas ao longo de centenas de metros (Fig. 4A). Em sua maioria representam derrames tabulares, domos, lobos de lava e sistemas de condutos complexos (Polo *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2018a). A FP

ocorre nas porções de topo da pilha vulcânica e se intercala aos andesitos basálticos da FVS (perfis Terra de Areia-Aratinga e Arvorezinha-Encantado). As intercalações também foram identificadas em outras seções e em dados de poços (Bellieni *et al.*, 1986; Peate *et al.*, 1992). A área total estimada para as rochas ácidas do GSG é de 64.000 km<sup>2</sup>, com um volume mínimo de 15.300 km<sup>3</sup>, dos quais a FP representa 95% da área e 80% do volume (Nardy *et al.*, 2008). A espessura destas unidades pode

atingir até 400 m no leste do RS, decrescendo para oeste e para norte. De acordo com suas características químicas, principalmente, a variação dos conteúdos de  $TiO_2$  e de  $P_2O_5$ , foram divididas em subgrupos: Caxias do Sul, Santa Maria, Anita Garibaldi, Jacuí e Clevelândia (Peate *et al.*, 1992; Nardy *et al.*, 2008). A FP recobre derrames da FVS na maior parte da sua área de ocorrência (centro e leste do RS e de SC). Os contatos com a FVS são marcados por um contraste litológico entre as autobrechas de topo da FVS e a base vítrea das lavas da FP, formando localmente pequenas cavernas, como resultado da erosão diferencial (Fig. 4B).

#### 4. 4. 1 Subgrupos Caxias do Sul e Santa Maria

Os dacitos do subgrupo Caxias do Sul possuem um amplo espectro de características litológicas. Em algumas localidades, como nas regiões de Caxias do Sul (RS) e de São Joaquim (SC), os derrames basais possuem uma coloração vermelha, com núcleos maciços a pouco vesiculados e com topos vesiculados ou brechados, e são sobrepostos por derrames de tonalidade cinza e de estrutura similar (Fig. 4C).

Outras variedades de derrames, observadas no município de Guaporé (RS), mostram terminações em lobos métricos (2-10 m), com porções externas vesiculares e com porções internas pouco vesiculares, dispostas em estrutura concêntrica, além de margens intemperizadas (Fig. 4E). Também ocorrem derrames com uma porção basal brechada, sobreposta por uma porção vesicular e com núcleo bandado, com juntas horizontais centimétricas (Fig. 4F). Os núcleos são devitrificados, com textura granofírica, maciços ou com juntas horizontais e verticais. Autobrechas formam bolsões de fragmentos vítreos angulares, imersos em uma matriz fina alterada. Grandes cavidades de

gás (de 10-20 cm de diâmetro) ocorrem, localmente, em porções superiores de algumas unidades. Derrames compostos por obsidiana ocorrem intercalados com estes tipos de derrames em diversas localidades do RS e de SC, e podem ser delgados e homogêneos, com topo vesiculado e alterado. Estes possuem dimensões variadas, da ordem de centenas de metros, e orientações alongadas em planta, controladas pelo arcabouço estrutural regional (Fig. 4F). São comuns bandamentos verticais a horizontais nas porções de núcleo (Fig. 4G). Porções de base e de topo de derrames de grandes dimensões também podem conter obsidianas (Besser *et al.*, 2018).

Domos de lava afloram na estrada BR-471, próximo a Soledade (RS), e foram documentados por Polo & Janasi (2014). A área expõe unidades dacíticas e riolíticas. Os domos dacíticos possuem estruturas circulares, com dimensões de 5 m a 8 m de altura e de 30 m de extensão, na sua base. Estes ocorrem individualmente ou são coalescentes com outros domos, e são cobertos por lavas riolíticas do subgrupo Santa Maria, mostrando uma clara relação de sobreposição estratigráfica entre os dois subgrupos.

A ocorrência de rochas sedimentares na FP é restrita. Dunas eólicas, arenitos e conglomerados fluviais são preservados no limite oeste da sua área de ocorrência, aflorando entre dacitos e riolitos (Polo & Janasi, 2014). Camadas centimétricas de arenitos também podem ocorrer entre dacitos vermelhos e acinzentados (Simões *et al.*, 2018b). Unidades sedimentares, epiclásticas e vulcanoclásticas foram descritas por Riccomini *et al.* (2016) e representam, segundo os autores, material piroclástico retrabalhado contemporâneo aos riolitos do subgrupo Santa Maria.

Petrograficamente, as lavas da FP são afirícas a microporfiríticas e raramente porfiríticas, com fenocristais (2-3 mm), microf-

nocristais (0,1-0,5 mm) e micrólitos (<0,1 mm) de plagioclásio, augita, pigeonita e óxidos de Fe-Ti como fases mais comuns. Agregados glomeroporfiríticos ocorrem de forma escassa. A matriz é formada por vidro hidratado e por texturas de intercrescimento de quartzo + K-feldspato, este último ocorrendo raramente como fenocristal, podendo estar alterado e substituído por albita. O bandamento é marcado por alternâncias, de dimensão centimétrica a milimétrica, de vitrófiros, com maiores ou menores graus de cristalinidade e de oxidação.

#### 4. 5 Formação Esmeralda

Os derrames dessa formação ocorrem principalmente nas porções internas do campo de lavas do GSG, no topo da estratigrafia, ao longo do limite entre RS e SC. Ao longo da área estudada recobrem uma área de c. 5.000 km<sup>2</sup> (Rossetti, 2018). Localmente, esta unidade ocorre intercalada com unidades distintas da FP ou com derrames da porção superior da FVS. Em afloramento, a espessura da unidade varia entre 25 m e 150 m, entretanto derrames com a composição química da FE, *i.e.*, magma do tipo Esmeralda (*sensu* Peate *et al.*, 1992), ocorrem em diversos poços da Bacia do Paraná, nos quais a unidade atinge espessuras de até 300 m. De acordo com Peate *et al.* (1992), o magma do tipo Esmeralda pode representar entre 5% e 10% do volume total do GSG. Os depósitos da FE constituem, originalmente, campos de derrames *pahoehoe* compostos, diques e soleiras (Fig. 5A). Estes campos são formados predominantemente por lobos pouco espessos (< 2 m). A porção interna dos lobos é maciça, enquanto o topo é formado por vesículas esféricas. A principal diferença, em relação aos derrames da FT, está na distribuição de vesículas na porção inferior dos lobos. Os lobos do tipo S, que compõem a FE, têm sua zona vesicular inferior constituída de vesículas es-

féricas e não possuem vesículas tubulares (*pipe vesicles*). Os derrames da FE são tipicamente de cor preta, com alterações localizadas para materiais argilosos, de coloração vermelha (Fig. 5B-5C). A coloração reflete o caráter predominantemente afanítico destas rochas.

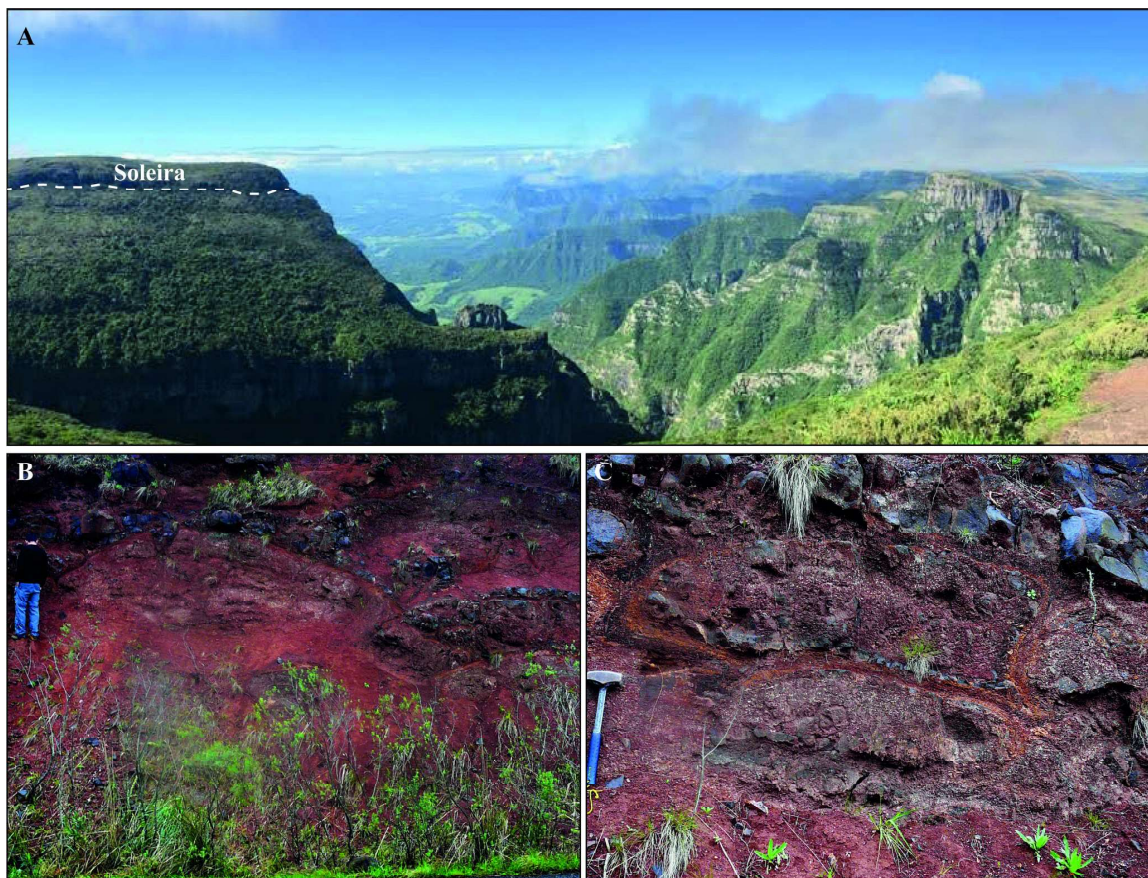
As rochas que compõem os derrames da FE são basaltos e andesitos basálticos afíricos a pobremente porfiríticos, com texturas afaníticas microcristalinas e vitrofíricas. Nas fácies microcristalinas ocorre plagioclásio, como ripas euédricas a subédricas, na forma de fenocristais isolados ou de glomerocristais, envolvidos por matriz de granulação fina (0,1-0,3 mm) constituída por plagioclásio, augita intergranular e óxidos de Fe- Ti. Nas fácies vitrofíricas, cristais esqueléticos e aciculares de plagioclásio, com texturas em rabo de andorinha, e microcristais de augita (0,2 - 0,5 mm) são envolvidos por matriz vítrea ou afanítica criptocristalina. Quimicamente, as lavas são predominantemente basálticas (50% a 54% de SiO<sub>2</sub> e 2,7% a 7,3% de MgO). Quando comparadas às lavas da FT e da FVS, em composições similares de MgO, as lavas da FE são enriquecidas TiO<sub>2</sub>, FeO\* e CaO (c. 0,2%, 1,5% e 0,5%, respectivamente) e têm menores concentrações de SiO<sub>2</sub> (c. 1-2%). As rochas da FE têm, também, menores concentrações de Ba (c. 100 ppm) e Sr (c. 50 ppm) e são enriquecidas em Sc (10-15 ppm) e V (c. 50 ppm), e de V (c. 50 ppm), quando comparadas às da FT, e, para a maior parte dos elementos-traço, as composições se sobrepõem às da FVS. A distribuição de ETRs na FE é relativamente horizontal, tendo o menor fracionamento entre ETRs leves e pesados.

## 5 SUMÁRIO E CONCLUSÕES

No sul do Brasil, o Grupo Serra Geral é caracterizado por pacotes vulcânicos hete-



**Figura 4** – Afloramentos e morfologias das lavas da Formação Palmas: (A) Derrames tabulares extensos no Cânion do Itaibezinho, em Cambará do Sul (RS); (B) Contato entre topo brechado de derrame *rubbly pahoehoe* da Formação Vale do Sol, em São Marcos (RS); (C) Contato entre derrames dacíticos, de colorações vermelha e cinza, em São Joaquim (SC); (D) Lobo de dacito com borda intemperizada e com porção externa vesiculada, caracterizada por vesículas alongadas, e com porção interna pouco vesiculada, com estruturas dispostas de forma concêntrica, em Guaporé (RS); (E) Derrame de dacito, com morfologia de *coulée* e com autobrecha basal, composta por fragmentos com ~5 cm a 80 cm, sobreposto por uma camada vesicular e com uma porção de núcleo bandado, em Candelária (RS); (F) Derrame composto por obsidiana de composição dacítica, alongado nas direções NE-SW e NW-SE, com cerca de 40 km<sup>2</sup>, em Cambará do Sul (RS); (G) Detalhe da porção central do derrame de obsidiana, com bandamento dobrado vertical a horizontal.



**Figura 5** – Afloramentos e morfologias das lavas da Formação Esmeralda: (A) Distribuição de derrames tabulares na porção superior da estratigrafia, em Santa Catarina, com unidades ácidas cortadas por soleira de composição química do tipo Esmeralda; (B) Lobos métricos de derrames da Formação Esmeralda, com topos vesiculares e com núcleos maciços; contato entre lobos marcado por superfícies oxidadas e alteradas; e (C) Lobos vesiculares decimétricos, com contatos marcados por margens resfriadas alteradas, nas proximidades do município de Esmeralda.

rogêneos, que marcam momentos distintos da evolução da província. A porção inferior da estratigrafia, Formação Torres, é constituída, predominantemente, por campos de derrames compostos, formados por efusões de volume restrito do tipo havaiana. Estes depósitos recobriram, de forma passiva, o campo de dunas ativo preservado da Formação Botucatu. Estes derrames representam as composições mais primitivas dentro dos intervalos amostrados do GSG. Os derrames da Formação Vale do Sol têm composição predominantemente intermediária (andesitos basálticos) e foram formados, durante a fase principal do magmatismo. A transição entre os estágios iniciais e a fase principal do magmatismo é marcada pelo aumento significati-

vo dos volumes eruptivos, culminando em um mecanismo de colocação distinto para a FVS (derrames tabulares e espessos do tipo *rubbly pahoehoe*). O pico do magmatismo culminou na formação de depósitos vulcânicos ácidos no topo da estratigrafia, agrupados na Formação Palmas. Durante o declínio da atividade magmática, erupções havaianas de pequeno volume deram origem aos campos de derrames compostos da Formação Esmeralda. O final deste extenso e volumoso magmatismo coincide, temporalmente, com o início da abertura do Oceano Atlântico Sul e com a formação das bacias sedimentares das margens continentais brasileira e africana, durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana Sul.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio e ao suporte financeiro da FAPERGS (Edital 05/2019 – Programa Pesquisador Gaúcho (PqG)), do CNPq (editais 402400/2016-0 e 302125/2016-7) e da FAPESP (projeto temático 2012/06082-6), que permitiram a obtenção dos resultados sumarizados neste capítulo.

## REFERÊNCIAS

- Baker, C. L. 1923. The lava field of the Paraná Basin, South America. *The Journal of Geology*, 31: 66-79.
- Baksi, A. K. 2018. Paraná flood basalt volcanism primarily limited to ~ 1 Myr beginning at 135 Ma: New  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages for rocks from Rio Grande do Sul, and critical evaluation of published radiometric data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 66-77.
- Barreto, C. J. S., de Lima, E. F., Scherer, C. M. & Rossetti, L. de M. M. 2014. Lithofacies analysis of basic lava flows of the Paraná igneous province in the south hinge of Torres Syncline, Southern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285: 81-99.
- Bellieni, G., Brotzu, P., Comin-Chiaramonti, P., Ernesto, M., Melfi, A., Pacca, I. G. G. & Piccirillo, E. M. M. 1984b. Flood basalt to rhyolite suites in the Southern Paraná plateau (Brazil): Palaeomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. *Journal of Petrology*, 25: 579-618.
- Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S., Melfi, A. J., Nardy, A. J. R., Papatrechas, C., Piccirillo, E. M., Roisenberg, A. & Stolfa, D. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): Geological, mineralogical and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, 27: 915-944.
- Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S., Melfi, A. J., Piccirillo, E. M., Nardy, A. J. R. & Roisenberg, A. 1984a. High- and Low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Parana plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 150: 273-306.
- Besser, M. L., Vasconcellos, E. M. G. & Nardy, A. J. R. 2018. Morphology and stratigraphy of Serra Geral silicic lava flows in the northern segment of the Torres Trough, Paraná Igneous Province. *Brazilian Journal of Geology*, 48(2): 201-219.
- Bigarella, J. J. & Salamuni, R. 1967. Some paleogeographic and paleotectonic features of the Parana Basin. In: Bigarella, J. J., Becker, R. D. & Pinto, I. D. (Eds. ). *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, Curitiba, p. 235-301.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds. ). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Ed. UFRGS, p. 13-52.
- Erlank, A. J., Marsh, J. S., Duncan, A. R., Miller, R. McG., Hawkesworth, C. J., Betton, P. J. & Rex, D. C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia. In: Erlank, A. J. (Ed. ). *Geological Society of South Africa Special Publication*, 13: 195-245.
- Ernesto, M., Raposo, M. I. B., Marques, L. S., Renne, P. R., Diogo, L. A. & De Min, A. 1999. Paleomagnetism, geochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the North-eastern Parana Magmatic Province: Tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, 28: 321-340.
- Frank, H. T. T., Gomes, M. E. B., Formoso, M. L. L., Elisa, M., Gomes, B., Luiz, M. & Formoso, L. 2009. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências*, 36: 49-57.
- Guimarães, D. 1933. Província Magmática do Brasil Meridional. *Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil*, 64: 1-70.
- Janasi, V. D. A., de Freitas, V. A. & Heaman, L.

- H. 2011. 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*, 302: 147-153.
- Jerram, D. A., Mountney, N., Holzförster, F. & Stollhofen, H. 1999. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka group in the Hubab Basin, NW Namibia: understanding the onset of flood volcanism. *Journal of Geodynamics*, 28: 393-418.
- Jerram, D. A., Moutney, N. P., Howell, J. A., Long, D. & Stollhofen, H. 2000. Death of a sand sea: an active aeolian erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia. *Journal of the Geological Society - London*, 157: 513-516.
- Leinz, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 103(5): 1-61.
- Lima, E. F., Waichel, B. L., Rossetti, L. M. M., Viana, A. R., Scherer, C. M., Bueno, G. V. & Dutra, G. 2012. Morfologia e padrões petrográficos dos derrames *pahoehoe e'a'a* da Formação Serra Geral na Sinclinal de Torres (Rio Grande do Sul). *Revista Brasileira de Geociências*, 42: 744-753.
- Marsh, J. S. & Swart, R. 2018. The Bero Volcanic Complex: Extension of the Paraná-Etendeka Igneous Province into SW Angola. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 21-31.
- Milani, E. J., Henrique, J., Melo, G. De, Souza, P. A., Fernandes, L. A. & França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15: 265-287.
- Milner, S. C., Duncan, A. R., Ewart, A. & Marsh, J. S. 1994. Promotion of the Etendeka Formation to Group status: a new integrated stratigraphy. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, 9: 5-11.
- Nardy, A. J. R., Machado, F. B. & Oliveira, M. A. F. 2008. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 178-195.
- Peate, D. W. 1997. The Parana-Etendeka Province. *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic and Planetary Flood Volcanism*, 100: 217-245.
- Peate, D. W. D., Hawkesworth, C. J. & Mantovani, M. S. M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, 55: 119-139.
- Peate, D. W. D., Hawkesworth, C. C. J., Mantovani, M. M. M. S., Rogers, N. W. & Turner, S. S. P. 1999. Petrogenesis and Stratigraphy of the High-Ti/Y Urubici Magma Type in the Paraná Flood Basalt Province and Implications for the Nature of 'Dupal'-Type Mantle in the South Atlantic Region. *Journal of Petrology*, 40: 451-473.
- Petry, K., Jerram, D. A., Almeida, D. D. P. M. & Zeffass, H. 2007. Volcanic-sedimentary features in the Serra Geral Fm., Paraná Basin, southern Brazil: examples of dynamic lava-sediment interactions in an arid setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159(4): 313-325.
- Piccirillo, E. M. & Melfi, A. J. 1988. *The Mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil): petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico - Universidade de São Paulo, 600p.
- Polo, L. A. & Janasi, V. A. 2014. Volcanic stratigraphy of intermediate to acidic rocks in southern Paraná Magmatic Province, Brazil. *Geologia USP Série Científica*, 14: 83-100.
- Polo, L. A., Janasi, V. A., Giordano, D., Lima, E. F., Cañon-Tapia, E. & Roverato, M. 2018. Effusive silicic volcanism in the Paraná Magmatic Province, South Brazil: Evidence for locally-fed lava flows and domes from detailed field work. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 204-218.

- Renne, P. R. R., Ernesto, M., Pacca, I. G. G., Coe, R. S. S., Glen, J. M. G., Prevot, M. & Perrin, M. 1992. The Age of Parana Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous Boundary. *Science*, 258: 975-979.
- Riccomini, C., Sant'Anna, L. G. & Fambrini, G. L. 2016. The Early Cretaceous Jacuí Group, a newly discovered volcanoclastic-epiclastic accumulation at the top of the Paraná Basin, southern Brazil. *Cretaceous Research*, 59: 111-128.
- Rocha, B. C., Davies, J. H. F. L., Janasi, V. A., Schaltegger, U., Nardy, A. J. R., Greber, N. D., Lucchetti, A. C. F. & Polo, L. A. 2020. Rapid eruption of silicic magmas from the Paraná magmatic province (Brazil) did not trigger the Valanginian event. *Geology*, 48(12): 1174-1178.
- Rossetti, L., Lima, E. F., Waichel, B. L., Hole, M. J., Simões, M. S. & Scherer, C. M. S. 2018. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 98-114.
- Rossetti, L. M., Lima, E. F., Waichel, B. L., Scherer, C. M. & Barreto, C. J. 2014. Stratigraphical framework of basaltic lavas in Torres Syncline main valley, southern Parana-Etendeka Volcanic Province. *Journal of South American Earth Sciences*, 56: 409-421.
- Rossetti, L. M. M. 2018. *Lithostratigraphy and Geochemistry of the Paraná-Etendeka Large Igneous Province and Constraints on the Petrophysical Properties of Volcano-Sedimentary Sequences*. Aberdeen, 292 p. Tese de Doutorado, College of Physical Sciences, School of Geosciences, University of Aberdeen.
- Scherer, C. M. S. 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137: 63-84.
- Schneider, A. W. 1964. *Contribuição à petrologia dos derrames basálticos da Bacia do Paraná*. Porto Alegre, UFRGS. 76p. (Publicação avulsa)
- Simões, M. S., Lima, E. F., Sommer, C. A. & Rossetti, L. M. M. 2018a. Structures and lithofacies of inferred silicic conduits in the Paraná-Etendeka LIP, southernmost Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355: 319-336.
- Simões, M. S., Lima, E. F., Sommer, C. A. & Rossetti, L. M. M. 2018b. The Mato Perso Conduit System: evidence of silicic magma transport in the southern portion of the Paraná-Etendeka LIP, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48: 263-281.
- Soares, P. C. 1975. Divisão estratigráfica do Mesozoico no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 251-267.
- Thiede, D. S. & Vasconcelos, P. M. 2010. Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  results. *Geology*, 38: 747-750.
- Waichel, B. L., de Lima, E. F., Lubachesky, R. & Sommer, C. A. 2006. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. *Bulletin of Volcanology*, 68: 599-610.
- Waichel, B. L., de Lima, E. F., Sommer, C. A. & Lubachesky, R. 2007. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from the central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159: 343-354.
- Waichel, B. L., de Lima, E. F., Viana, A. R., Scherer, C. M., Bueno, G. V. & Dutra, G. 2012. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná-Etendeka Continental Flood Basalt Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 215-216: 74-82.
- Waichel, B. L., Scherer, C. M. S. & Frank, H. T. 2008. Basaltic lava flows covering active aeolian dunes in the Paraná Basin in southern

## **Voltar ao Sumário**

*Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*

Brazil: Features and emplacement aspects. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 171: 59-72.

White, I. C. 1908. Relatório sobre as “coal measures” e rochas associadas do Sul do Brasil. *In: Relatório Final da Comissão de estudos das minas de carvão de pedra do Brasil*. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 617p.

Zalán, P. V., Wolff, S., Conceição, J. C. J., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., Appi, V. T. & Zanotto, O. A. 1987. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. *In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 3., Curitiba, 1987. *Atas*. Curitiba, SBG, v. 1, p. 441-477.