

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Tipos de Derrame e Reconhecimento de Estruturas nos Basaltos da Formação

Serra Geral: Terminologia e Aspectos de Campo

Breno Leitão Waichel, Evandro Fernandes de Lima, Carlos Augusto Sommer

Pesquisas em Geociências, 33 (2): 123-133, maio/ago., 2007.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19521>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2007.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Tipos de Derrame e Reconhecimento de Estruturas nos Basaltos da Formação Serra Geral: Terminologia e Aspectos de Campo

BRENO LEITÃO WAICHEL¹, EVANDRO FERNANDES DE LIMA²,
& CARLOS AUGUSTO SOMMER²

1.Universidade Estadual do Oeste do Paraná , Caixa Postal 371 - CEP 85605-010 . breno@unioeste.br
2.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91501-970 Porto Alegre

(Recebido em 05/06. Aceito para publicação em 05/07)

Abstract - Studies focusing the flow morphology and structures of the basalts of Serra Geral Formation (west of Paraná State, Brazil) make possible the identification of *pahoehoe* and *'a'a* flows, with predominance of simple and compound *pahoehoe*. This terminology was created in the Hawaiian Archipelago and was previously applied to the Columbia River Basalts and Deccan Plateau, and can also be used in the investigation of the Serra Geral Formation. The compound *pahoehoe* flows are formed by P-type (pipe) and S-type (spongy) lobes. Surface features related with the *pahoehoe* and *aa* flows are well preserved in Serra Geral Formation. The flows have lateral extension of up to 50 km and can be divided in three portions in relation to the conduit: proximal, medium and distal. In the proximal portion the flows are thick (40-70 m) and the contact between the superior crust and the massive core is sharp. In the medium portion predominate simple *pahoehoe* flows with thickness between 20 and 30 m; locally occur compound *pahoehoe*. The distal portion is formed by compound flows (up to 5 m thick) with a few lobes. The emplacement of the *pahoehoe* inflated flows in the studied area suggests low eruption rates.

Keywords - *pahoehoe*, *'a'a*, Serra Geral Formation; south Brazil.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre as características morfológicas e estruturas de derrames de Províncias Basálticas Continentais (PBCs) são fundamentais na interpretação da dinâmica e volume dos fluxos de lava, na identificação dos tipos de depósitos gerados e na determinação das conseqüências ambientais relacionadas. Este enfoque em geral tem sido negligenciado em relação a uma abordagem geoquímica e geocronológica no estudo das PBCs. Estes métodos geralmente não levam em conta a morfologia e a estruturação dos derrames, pouco contribuindo, desta forma, para as tentativas de correlações estratigráficas e uma melhor percepção do impacto paleoambiental causado por estes mega eventos vulcânicos.

O presente trabalho reúne dados de campo, obtidos na porção oeste do estado do Paraná, referentes às distintas morfologias dos derrames e das diversas estruturas dos basaltos da Formação Serra Geral (FSG). O tratamento deste conjunto de dados visa uniformizar uma terminologia para ser aplicada na investigação dos derrames da FSG. Para evitar a proliferação de termos e conceitos, a presente pro-

posta utiliza expressões e definições consagradas em outras províncias vulcânicas com características semelhantes, especialmente do Arquipélago Havaiano e das PBCs do Columbia River e do Deccan.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Basáltica Continental (PBC) Paraná-Etendeka ocupa uma área de aproximadamente 1.3×10^6 km² na América do Sul e África e tem sua origem vinculada à fragmentação do Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior.

Cerca de 90% da PBC Paraná-Etendeka está localizada na América do Sul, recobrando uma área de 1.200.000 km² no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, com um volume estimado de 800.000 km³ (Melfi *et al.* 1988). A área de estudo deste trabalho localiza-se na porção oeste do estado do Paraná, região sul do Brasil (Fig.1).

No Brasil esta seqüência vulcânica é referida estratigraficamente como Formação Serra Geral (FSG), e é composta por uma sucessão de derrames com uma espessura máxima de cerca de 1.700 me-

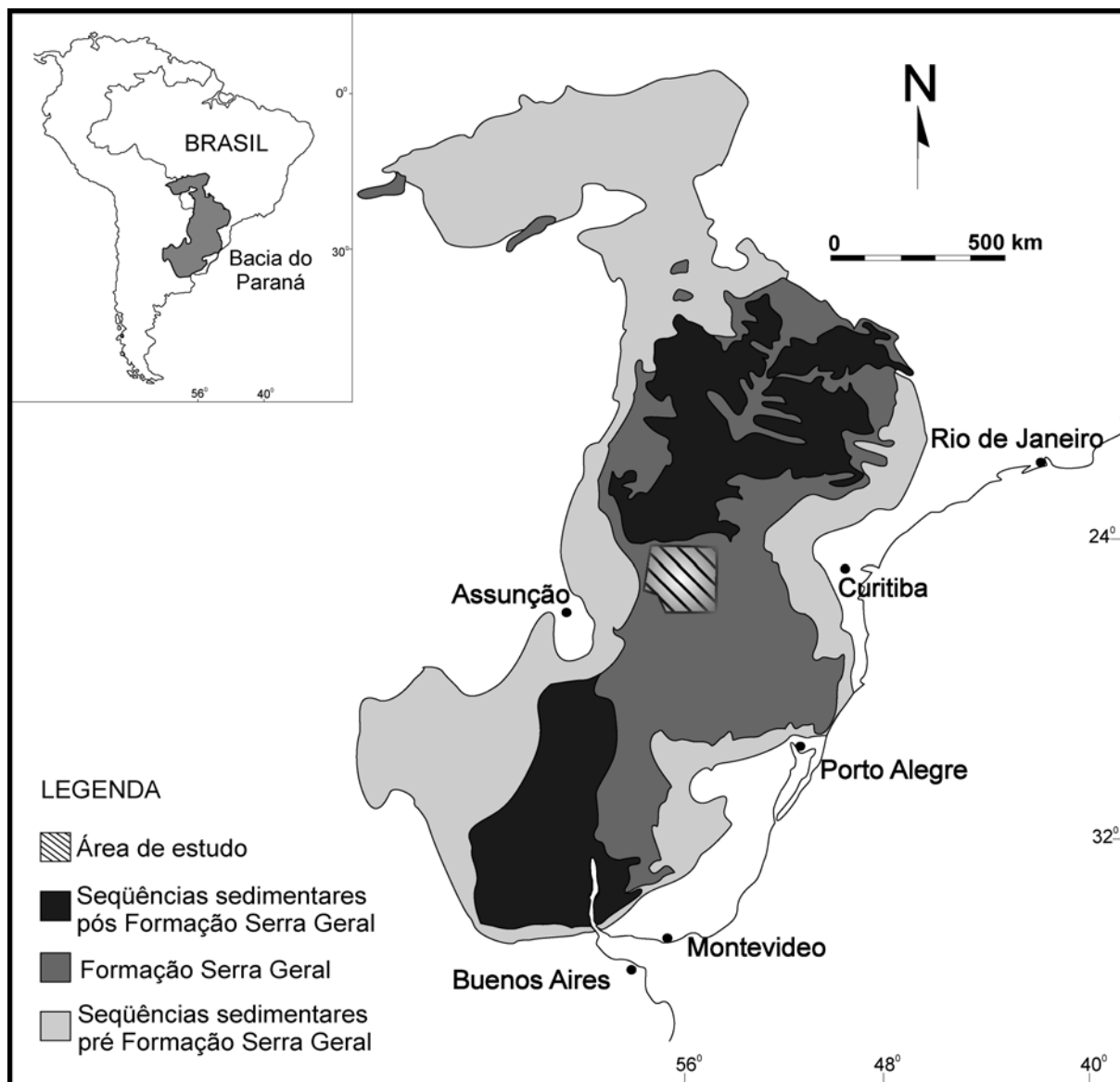


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com a localização da área em estudo.

tros, na qual ocorre o predomínio de basaltos de afinidade toleítica (Melfi *et al.* 1988).

Datações Ar-Ar em amostras da FSG indicam idades entre 138 e 125 Ma, com o clímax do vulcanismo entre 133 e 129 Ma (Renne *et al.* 1992; Turner *et al.*, 1994; Milner *et al.* 1995, Mincato 2000).

De acordo com diversos autores (Bellieni *et al.* 1984; Mantovani *et al.* 1985) os basaltos são divididos em dois grupos com base no conteúdo de Ti: basaltos alto Ti, com teores de $TiO_2 > 2\%$ e basaltos baixo Ti, com teores inferiores a 2%.

Com base na abundância de elementos maiores, elementos-traço e razões entre elementos-traço, essas rochas vulcânicas foram subdivididas por Peate *et al.* (1992) e Peate (1997) em seis magmas-tipo. Estes foram denominados de Pitanga, Parana-

panema e Ribeira que possuem razões $Ti/Y > 300$ e ocorrem, predominantemente, na porção norte da província e nos magmas-tipo Gramado, Esmeralda e Urubici, que têm razões $Ti/Y < 300$ e ocorrem na porção sul.

Dentre os trabalhos pioneiros destacam-se os de Derby (1878) com a descrição original dos basaltos do Brasil Meridional como 'Paraná Trapp' e o de White (1908) que denominou formalmente a seqüência vulcânica de Formação Serra Geral. A presença de rochas intermediárias e ácidas foi descrita por Guimarães (1933) e Leinz (1949) elaborou uma detalhada descrição geológica e petrológica dos derrames.

A construção de grandes barragens sobre os basaltos da FSG entre 1960 e 1980, principalmente nos estados de São Paulo e Paraná, contribuiu na

compreensão da estruturação dos derrames. Trabalhos como os de Guidicini & Campos (1968), Guidicini (1970), Moler & Cabrera (1976), Araújo *et al.* (1987) entre outros, apresentam descrições detalhadas da morfologia dos derrames e das estruturas presentes.

Estudos enfocando aspectos vulcanológicos, realizados na FSG na porção oeste do Paraná, permitem a identificação de derrames do tipo *pahoehoe*, associados com derrames maciços, na porção superior da seqüência vulcânica. Os derrames *pahoehoe* ocorrem como fluxos compostos, formados por múltiplos lobos (0,5-2,0 m de espessura) e como fluxos simples com até 35 m de espessura (Waichel *et al.* 2006).

Os trabalhos realizados na porção oeste do Paraná permitiram organizar a estruturação dos derrames em três zonas: zona inferior, núcleo e zona superior, típicas de lavas *pahoehoe*. Na zona superior são freqüentes feições de superfície tipo cordas. Os derrames *pahoehoe* são predominantemente compostos por lobos do tipo P (*pipes*) que são gerados por baixas taxas de erupção em superfícies com um baixo ângulo de inclinação (Wilmouth & Walker 1993). A presença de estruturas de segregação e de vesículas na porção central dos derrames, juntamente com a presença de microvesículas entre os cristais de plagioclásio e piroxênio, definida como textura diktitaxítica, é indicativa de um alto conteúdo de voláteis no magma gerador destes derrames (Goff 1996).

TIPOS DE DERRAMES BASÁLTICOS

De acordo com Macdonald (1953) os derrames basálticos podem ser distinguidos, com base nas feições de superfície e estruturas, em *pahoehoe*, 'a'a e lava em bloco.

Derrames *pahoehoe* são identificados por suas superfícies lisas, onduladas ou em corda e por uma estruturação interna dividida em zona superior, núcleo e zona inferior (Macdonald 1953, Aubele *et al.* 1988). A dinâmica dos fluxos *pahoehoe* envolve inicialmente um avanço na forma de lobos com pequena espessura, onde a zona superior é rapidamente formada, podendo o fluxo ser posteriormente inflado se a superfície de base possuir baixa inclinação (Hon *et al.* 1994).

Os derrames 'a'a são caracterizados por topo e base escoriáceos, vesículas alongadas e por reenclências das zonas escoriáceas na porção central maciça em função do avanço do derrame (Macdonald 1953; Kilburn 1990). Derrames deste tipo são for-

mados quando a lava é transportada em canais abertos, em geral associada a altas taxas de erupção (Macdonald 1953; Pinkerton & Sparks 1976; Rowland & Walker 1990).

Lavas em bloco possuem uma porção superior formada por fragmentos angulosos que apresentam superfícies lisas e dimensões regulares, sendo os fragmentos freqüentemente poliedrais (Macdonald 1953). Lavas em bloco são geralmente formadas por magmas com maior viscosidade, de composição andesítica, dacítica ou riolítica (Schmimcke 2004).

TERMINOLOGIA E ASPECTOS DE CAMPO

A terminologia utilizada na descrição dos tipos de derrames basálticos e das estruturas relacionadas é fundamentada na investigação de fluxos de lavas ativos, constatando-se um predomínio de expressões e definições cunhadas no Havaí. A grande variedade de termos descritivos, utilizada por diversos autores, faz com que expressões distintas sejam referidas para estruturas semelhantes.

Estes termos são também empregados no estudo de províncias basálticas continentais, apesar da cautela requerida para a utilização direta em seqüências mais antigas. Outro fato a ser considerado é que a dinâmica do vulcanismo gerador das PBCs, provavelmente foi diferente em alguns aspectos, do vulcanismo havaiano.

Muitos dos termos descritivos citados na literatura foram propostos a partir da comparação com estruturas ou morfologias de objetos conhecidos. Dada a origem inglesa destas expressões, optamos pela tradução literal destas, mantendo a expressão original ao lado do termo em português. Exceção foi feita em relação aos termos *pahoehoe* e 'a'a, de origem havaiana, para os quais a grafia original foi mantida.

Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos em estudos vulcanológicos de detalhe que se concentraram em cinco áreas localizadas na porção oeste do estado do Paraná (Fig. 2). A localização dos principais afloramentos estudados se encontra na tabela 1.

Produtos eruptivos

Lobo (*flow lobe*)

Expressão utilizada para descrever pequenos corpos de lava, com forma de lobo em planta, que geralmente apresentam bordas resfriadas. Na FSG,

Tabela 1 - Localização (coordenadas UTM) e altitude dos principais afloramentos das áreas estudadas.

Principais afloramentos	Coordenadas (UTM)		Elevação
Toledo			
- afl. 1 Pedreira Municipal	7259736	0219360	425 m
- afl. 2 rio Toledo BR-467	7262226	0226749	515 m
- afl. 3 Pedreira Vila Nova	7266376	0219681	520 m
Rio Quitéria			
- afl. 1 Ponto 13 - topo do perfil	7256284	0802792	405 m
- afl. 2 Rio Quitéria - base do perfil	7256315	0800992	260 m
Ponte Queimada			
- afl. 1 Pedreira Diamante	7236602	0796180	500 m
- afl. 2 Ponto 9 - topo perfil	7241684	0787065	405 m
- afl. 3 Pedreira Ponte Queimada	7242845	0784081	380 m
Matelândia			
- afl. 1 Castelinho	7203791	0199057	480 m
- afl. 2 BR-277 (corte)	7204854	0200492	575 m
- afl. 3 Pedreira Itatiba	7202871	0198359	535 m
Cascavel			
- afl. 1 Pedreira Petrocon	7232973	0250477	690 m
- afl. 2 Pedreira Rio Quati	7230560	0251518	670 m
- afl. 3 Pedreira Pavimar	7216842	0237999	670 m

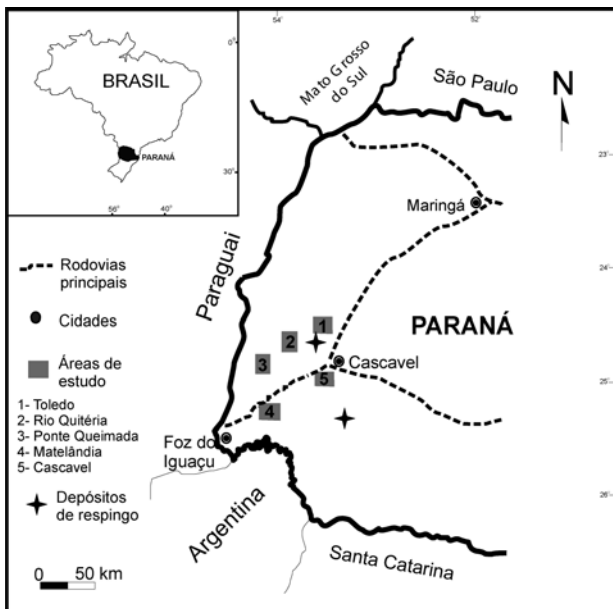


Figura 2 - Mapa da região oeste do estado do Paraná com a localização das áreas estudadas.

Guidicini (1970) descreveu subdivisões nos derrames por ele denominadas de “derrames secundários”. Posteriormente, Moler & Cabrera (1976) utilizaram o termo “subderrames” para estas estruturas. Os termos utilizados por estes autores são equivalentes aos lobos.

Na porção oeste do Paraná identificou-se lobos do tipo S (*spongy*, de Walker 1989) e do tipo P (*pipe vesicle* de Wilmouth & Walker 1993), sendo o uso do termo, restrito aos lobos que podem ser delineados em afloramento (Fig. 3A).

Lobos do tipo S são caracterizados pela distribuição homogênea das vesículas, enquanto os

do tipo P possuem vesículas em forma de tubo (*pipes*) na base, e bordas maciças. O tipo P equivale aos derrames *pahoehoe* densos e vítreos (*dense glassy pahoehoe*) descritos por Hon *et al.* (1994).

A dinâmica de erupção dos lobos do tipo P envolve temperaturas de extrusão inferiores aos do tipo S, gerando lobos com bordas vítreas e porções centrais com maior cristalinidade. Estas características indicariam que os lobos do tipo P seriam formados a partir de magmas com um maior tempo de residência antes da extrusão. Este intervalo de tempo favoreceu a exsolução dos voláteis presentes no magma (Wilmonth & Walker 1993; Oze & Winter 2005). Alternativamente, Hon *et al.* (1994) sugerem que os *pahoehoe* densos e vítreos (lobos tipo P) podem ser gerados por lavas pressurizadas, onde a zona vítrea e densa causaria o aumento da pressão interna do lobo, dissolvendo os voláteis presentes e inibindo a formação de vesículas.

Segundo Self *et al.* (1997), os lobos das PBCs possuem dimensões de dezenas de centímetros até vários quilômetros. Na PBC do Columbia River este termo é utilizado para lobos com grande extensão, superfície de topo plana e espessura de até 50 m. Hon *et al.* (1994) denominaram estes lobos de derrames em lençol (*sheet flows*), tendo em vista que estes derrames possuem grande extensão e terem sido produzidos por uma única e contínua efusão. Neste trabalho a expressão lobo é utilizada somente quando estas feições podem ser delimitadas em afloramento.

O avanço dos lobos pode ser marcado pela formação de feições projetadas semelhantes a dedos

(*toes*), que são lobos com pequenas dimensões. Na área estudada estas estruturas foram também preservadas (Fig. 3B).

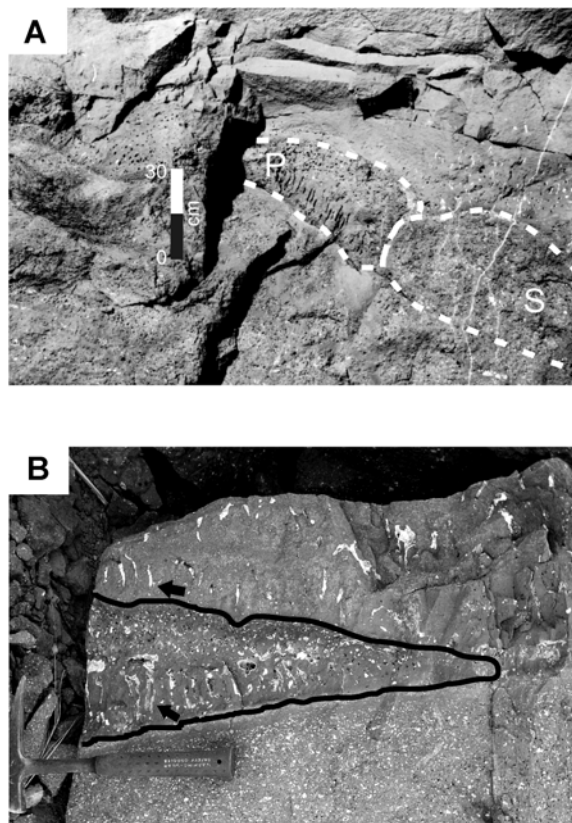


Figura 3 - A) Lobos do tipo P e do tipo S; B) Projeção de lobos de pequena dimensão formando feições semelhante a dedos (*toes*) em seção longitudinal ao avanço da lava. Setas marcando as vesículas do tipo *pipe*.

Derrame (*lava flow*)

Expressão utilizada para descrever um derrame gerado por uma única e contínua efusão. Na área estudada a estimativa da espessura dos derrames foi feita com base em derrames completos ou em derrames que possuem a zona superior totalmente preservada. Os derrames têm espessura média entre 20 e 30 m, e podem ter sido gerados pela aglutinação de vários lobos (derrame composto) ou por um lobo único (derrame simples). Identificaram-se os dois tipos, onde o tipo simples ocorre nas zonas proximais de efusão evoluindo, dependendo do caso, para um conjunto de lobos (derrame composto) na porção mais distal.

Campo de derrames (*flow field*)

Termo utilizado para denominar um conjunto de derrames gerados por um evento eruptivo. Campos de derrames não foram separados na área investigada, possivelmente em função da escala de

trabalho, pois esta unidade é, em geral, identificada em escala regional. Considerando a grande extensão, o volume da FSG e a intensa atividade vulcânica, é plausível a ocorrência deste tipo de unidade. A análise de perfis de raio gama em poços profundos pode ser uma ferramenta útil para a delimitação dos campos de derrames.

Feições de superfície

As feições de superfície de um derrame refletem a situação da crosta superior após a sua imediata solidificação e são relacionadas às condições vigentes do fluxo ativo de lava abaixo da crosta (Kilburn 1990). Estas feições marcam as características do fluxo naquele momento. Modificações de natureza química, variações na taxa de erupção, oscilações do relevo e variações da taxa de deformação implicam em mudanças nas feições de superfície geradas (Macdonald 1953; Peterson & Tilling 1980).

Derrames *pahoehoe* e *'a'a* são diferenciados a partir das feições de superfície, tendo em vista os diferentes mecanismos de geração destas estruturas (Kilburn 1990). De acordo com Rowland & Walker (1990) os derrames *pahoehoe* formam-se com baixa taxa de efusão (< 5-10 m³/s), enquanto os do tipo *'a'a* são gerados por taxas superiores (>5-10 m³/s).

Observa-se no Havaí que muitos derrames com feições de superfície do tipo *pahoehoe* ocorrem nas porções próximas ao conduto e se transformam em feições de superfície do tipo *'a'a* na região distal (Macdonald 1953; Peterson & Tiling 1980). Lipman & Banks (1987) observaram que feições de superfície de um derrame simples do vulcão Mauna Loa exibe tipicamente *pahoehoe* na porção proximal, seguida de *pahoehoe* em placas para *'a'a*, na porção distal.

A transição de *pahoehoe* para *'a'a*, até recentemente tida como irreversível (Macdonald 1953; Peterson & Tiling 1980; Kilburn 1981), tem sido questionada por Hon *et al.* (2002), que sugerem condições reversíveis para lavas com temperaturas entre 1.125 e 1.140° C, que podem produzir tanto derrames *pahoehoe* como *'a'a*, dependendo da taxa de deformação.

Depósitos proximais ou depósitos de respingo (*spatter*)

A identificação de depósitos proximais é importante para a determinação e localização das zonas de conduto. Em erupções basálticas estes depósitos são frequentemente formados por fragmentos de

lava, que ao atingirem a superfície são amalgamados e solidificados gerando os depósitos de respingo (*spatter*). A acumulação destes fragmentos (bombas e lápilis), em torno de condutos circulares, gera os cones de respingo (*spatter cone*) e as trincheiras de respingo (*spatter rampart*).

Este tipo de depósito foi identificado na Pedreira Municipal de Toledo (Tab. 1) e em uma pedreira no município de Nova Prata do Iguçu (Fig. 4 coordenadas E7152752, N0313113; Fig. 4A).

Pahoehoe

Nos derrames *pahoehoe* as superfícies são lisas, onduladas ou em cordas. Estas últimas se formam quando a fina crosta do derrame, ainda flexível, é deformada devido ao movimento da lava (Fink & Fletcher, 1978). Segundo Hon *et al.* (1994), cerca de 20-30 % das superfícies dos derrames *pahoehoe* do Havaí têm feições do tipo corda.

Na área estudada, feições superficiais em corda são geralmente associadas com lobos formadores de derrames compostos e as melhores exposições localizam-se na área da Ponte Queimada (Fig. 2). Padrões em corda com excelente estado de preservação podem ser observados em blocos rolados (Fig. 4B) e em seções verticais (Fig. 4C).

Feições do tipo festões em corda (Fig. 4D, *ropy festons*) são geradas quando a crosta flexível é dobrada, sendo esta feição relacionada ao aumento do suprimento de lava na porção frontal do derrame ou a uma quebra brusca da topografia (Fink & Fletcher, 1978).

Pahoehoe do tipo pasta de dente (*toothpaste pahoehoe*)

Dados obtidos por Rowland & Walker (1987) sugerem que lavas *pahoehoe*, do tipo pasta de dente (*toothpaste pahoehoe*), representam a transição de *pahoehoe* típicas para 'a'a. Feições de superfície, do tipo pasta de dente, foram identificadas na área da Ponte Queimada (Fig. 4E). As principais diferenças em relação às *pahoehoe* são as superfícies com sulcos (ranhuras) longitudinais, orientadas paralelamente à direção de movimento da lava ou a superfície recoberta de pequenos espinhos e ondulações transversais de escala maior que as cordas.

Pahoehoe em placas (*slabby pahoehoe*)

Fragmentos de superfícies com lava em corda podem ser englobados durante o movimento da lava subjacente formando *pahoehoe* em placas (Peterson & Tilling, 1980). Na área estudada as la-

vas *pahoehoe* em placa são geralmente associadas a derrames compostos, formados por pequenos lobos tipo P. As placas podem apresentar orientações variáveis e de forma localizada se observa o processo de fragmentação (Fig. 4F).

A ocorrência de *pahoehoe* em placas pode ser relacionada aos estágios iniciais da transição de lava *pahoehoe* para 'a'a (Peterson & Tilling 1980; Rowland & Walker 1987) ou à geração de lobos (Hon *et al.* 1994), que emergem da porção frontal de derrames espessos (*breakouts*).

No caso investigado, a associação de *pahoehoe* em placas com pequenos lobos (*breakouts*) e a ausência de lavas 'a'a nas proximidades sugerem que estas feições estejam relacionadas à formação de lobos na porção frontal de derrames.

Bolhas de gás (*gas blisters*)

Na superfície de lavas *pahoehoe* ocorrem também bolhas formadas pela liberação e expansão de gases vulcânicos para a superfície dos derrames. Estas bolhas são formadas por finas paredes vítreas e o acúmulo de gases pode gerar estruturas de rompimento, como as observadas na área (Fig. 4G).

'a'a

Derrames 'a'a são relativamente raros em PBCs, sendo descritos no Columbia River nas proximidades das áreas de conduto (Swanson & Wright 1980; Reidel 1983). De acordo com Self *et al.* (1997) poucos derrames da PBC do Columbia River podem ser considerados verdadeiros 'a'a, tendo em vista a ausência de uma zona escoriácea na base.

A ocorrência de derrames 'a'a na área estudada é rara, sugerindo uma contribuição subordinada deste tipo de derrame na sucessão vulcânica da porção oeste do Paraná. Entretanto, estudos de detalhe são necessários para determinar a importância deste tipo de derrame para a seqüência vulcânica da FSG.

Os derrames definidos como 'a'a têm espessuras de até 1 m, são geralmente incompletos, com uma zona escoriácea no topo e a porção central maciça (Fig. 4H). A zona de base é raramente observada, porém a ocorrência de reentrâncias da zona de topo na porção central maciça sugere que estes derrames sejam do tipo 'a'a.

DISCUSSÃO

As PBCs são formadas por um grande núme-



Figura 4 - (A) depósito do tipo *spatter* (localização E7152752, N0313113); (B) lava em corda em bloco rolado; (C) lava em corda em perfil vertical; (D) superfície com festões em corda; (E) superfície com pahoehoe tipo pasta de dente(note as ranhuras paralelas ao sentido do fluxo e ondulações transversais, sentido do fluxo para a direita); (F) detalhe do processo de fragmentação da superfície em corda formando pahoehoe em placas; (G) superfície lisa de pahoehoe com feição preservada de uma bolha de gás (seta); (H) derrame 'a'a com porção superior escoriácea e núcleo maciço. Localização: Cascavel, afloramento1, Tab.1. Fotos B a H- localização: Ponte Queimada, afloramento 1, Tab. 1.

ro de derrames, gerados durante um curto período de tempo em ambiente continental (Self *et al.* 1998). Várias PBCs são associadas temporalmente com mudanças ambientais globais e extinções em massa (Courtillet *et al.*, 1986; Stothers & Rampino, 1990; Wignall, 2001) e a identificação do estilo eruptivo destas seqüências vulcânicas é determinante para a avaliação do impacto ambiental.

A erupção de basaltos continentais foi primeiramente explicada por um modelo utilizando fluxos turbulentos, que requeria taxas de erupção extremamente altas (Shaw & Swanson 1970). Estudos recentes propõem um modelo envolvendo fluxos inflados com taxas de erupção menores (Hon *et al.* 1994; Self *et al.* 1997; 1998). Este modelo é baseado no reconhecimento de fluxos compostos do tipo *pahoehoe* em PBCs, como no Columbia River Basalts (CRB) e no Deccan. Segundo Hon *et al.* (1994), a erupção dos derrames basálticos ocorreria durante meses ou anos, atenuando desta forma os efeitos ambientais.

Na porção oeste do Paraná predominam os derrames do tipo *pahoehoe* simples e compostos, que exibem características típicas de fluxos inflados como: a estruturação interna (zona superior, núcleo e zona inferior); fraturas geradas pela inflação na zona superior, por vezes preenchidas por injeções de lava (*squeeze-ups*) e pela presença de lobos pouco espessos na porção frontal de derrames inflados (Waichel *et al.* 2006).

Estimativas do tempo de duração da atividade eruptiva que inflaram os derrames e lobos podem ser obtidas com base na espessura da porção superior (Hon *et al.* 1994, Self *et al.* 1998):

$$t = 164,8 H^2 \quad (1)$$

onde t é o tempo em horas e H é a espessura da porção superior do derrame.

Na área estudada, as estimativas variam de poucas horas até vários meses, sendo que em um derrame com 12 m de zona superior, o tempo obtido foi de 33 meses (Waichel *et al.* 2006). Estes dados sugerem que a erupção dos derrames na área estudada pode ter ocorrido no intervalo de meses ou anos, diminuindo o impacto ambiental causado.

Estudos abordando aspectos vulcanológicos em outras áreas da FSG são necessários para uma melhor estimativa da duração do vulcanismo. A maioria dos trabalhos que tratam da FSG, focalizam a geoquímica de rocha e isotópica, em geral organi-

zando os dados em nível regional, onde os aspectos referentes a estruturas e tipos de derrame têm caráter subordinado.

A amostragem dos trabalhos de petrologia da FSG é concentrada na porção maciça dos derrames, que corresponde à porção central destes, onde supostamente as amostras não apresentam modificações significativas em relação à composição original. Este fato explica a baixa freqüência de bibliografia abordando os tipos de derrames e estruturas internas da FSG, apesar deste vulcanismo representar uma das maiores províncias basálticas do mundo. Outros aspectos como a falta de exposição e a descontinuidade dos afloramentos também não encorajam investigações sobre este tema. Apesar destas dificuldades, no oeste do Paraná é possível distinguir feições de superfície dos tipos '*a'a*' e *pahoehoe*, sendo estes últimos, do tipo simples e composto.

As feições de superfície em corda ocorrem com mais freqüência nos derrames *pahoehoe* compostos. Este fato provavelmente está relacionado com o modo de erupção destes derrames, que são formados por taxas de erupção inferiores em relação aos derrames simples (Walker 1971; Blake & Bruno 2000) e pelo grande número de superfícies geradas.

Os derrames da porção oeste do Paraná (Fig. 4) possuem extensões laterais de até 50 km (Waichel *et al.* 2006) e podem ser subdivididos em porções proximais, medianas e distais. O reconhecimento destas porções se baseia nas feições de superfície (tipo *pahoehoe* ou '*a'a*'), espessura, natureza do derrame (simples/composto) e nas estruturas internas (zonação, estruturas de segregação, *pipe vesicles*).

Na porção proximal os derrames *pahoehoe* são espessos, com uma zona superior e um núcleo maciço que compõem quase todo o derrame. Derrames completos não foram observados no campo, possivelmente devido à espessura destes, que é da ordem de 40 a 70 m. Estes derrames compõem uma unidade de resfriamento única caracterizando um derrame simples.

Na porção mediana predominam derrames *pahoehoe* simples, com espessuras entre 20 e 30 m. Constatou-se que em alguns locais os derrames exibem uma natureza composta, subordinada, formando alguns lobos.

Na porção distal que marca a frente de avanço do derrame, predominam derrames compostos, de até 5 m de espessura, formados por lobos de peque-

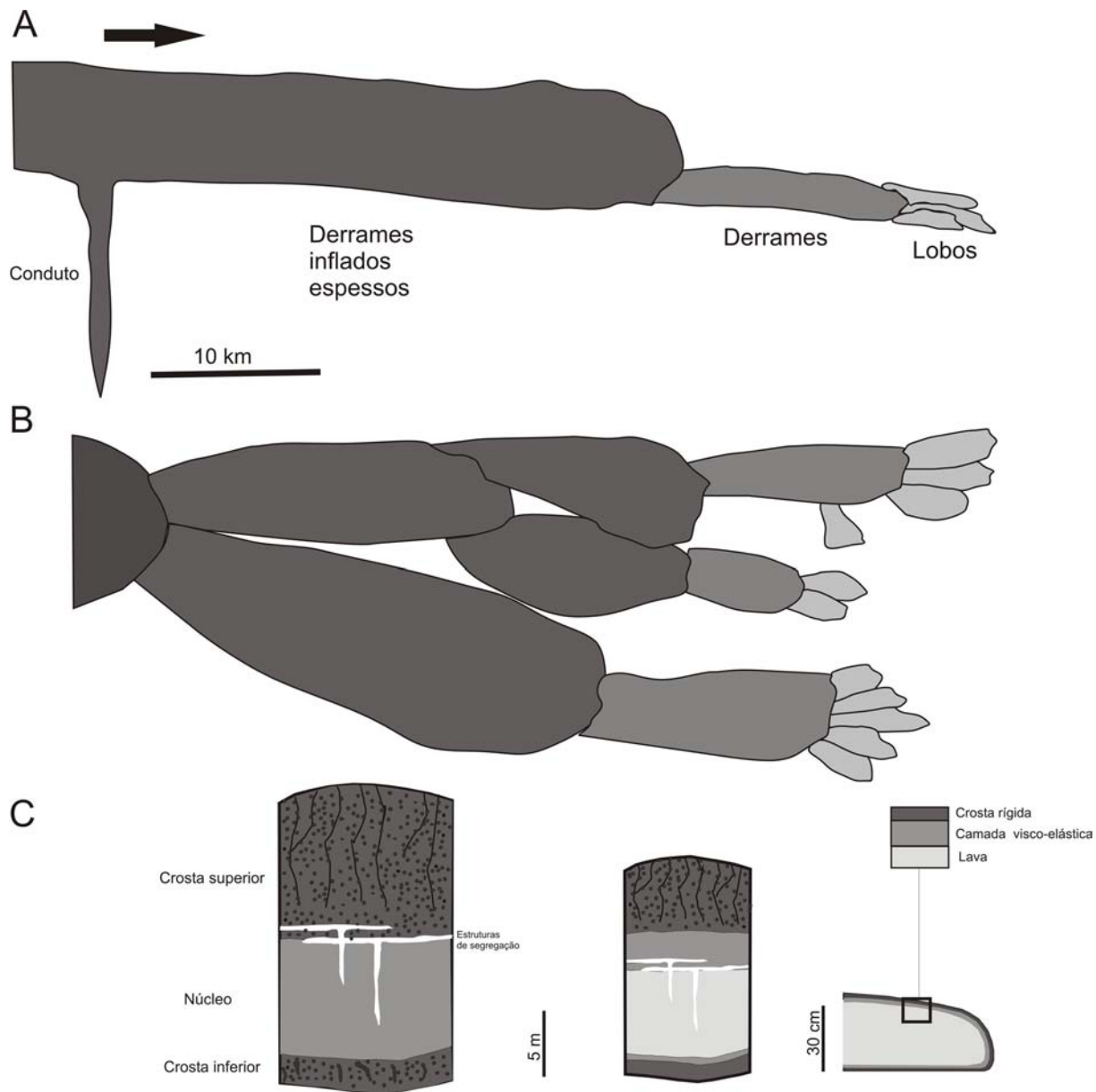


Figura 5 - Estruturação dos derrames da FSG na porção oeste do Paraná mostrando a divisão em porção proximal, mediana e distal em perfil lateral (A) e em planta (B); (C) estrutura interna ao longo do derrame.

na espessura (<2 m).

A natureza fissural da erupção e o tipo de estruturação dos derrames devem ser considerados em correlações estratigráficas na FSG. A condição fissural do vulcanismo impõe diferentes volumes de emissão de lavas ao longo de uma mesma fissura, limitando desta forma a largura dos derrames. Nas áreas onde os condutos são paralelos, as lavas podem convergir, colocando lado a lado derrames de fácies similares ou repetir um mesmo tipo de fácies. Quanto à estruturação deve-se atentar que os derrames podem atingir distâncias da ordem de 50 km, mudando as estruturas internas e diminuindo de espessura em direção às porções distais.

Correlações estratigráficas entre fácies que utilizam cotas altimétricas podem estar correlacionando porções centrais de unidades distintas, que podem ou não pertencer ao mesmo derrame.

CONCLUSÕES

Estudos realizados na FSG na porção oeste do Paraná permitem as seguintes conclusões:

1. a morfologia dos derrames e as diversas estruturas identificadas nos basaltos da FSG permitem classificá-los como dos tipos *pahoehoe* e *'a'*;

2. predominam os derrames do tipo *pahoehoe* simples e compostos;
3. o uso da terminologia utilizada para a descrição dos tipos de derrames e das estruturas de fluxos de lavas ativos (Havaí), mostrou-se apropriado para os trabalhos de campo desenvolvidos na FSG;
4. foram identificados lobos e derrames na área estudada. Os lobos do tipo P (*pipe*) têm vesículas em forma de *pipes* na base e bordas maciças; os do tipo S (*spongy*) são caracterizados pela distribuição homogênea das vesículas. A utilização dos termos S e P devem ser restritas aos lobos que podem ser delineados em afloramento;
5. as diversas feições de superfície, relacionadas com derrames *pahoehoe* e *a'a* e tipos associados (*pahoehoe* tipo pasta de dente e em placas), encontram-se bem preservadas na área e são de fácil reconhecimento;
6. os derrames se dividem em relação ao conduto em três porções: proximal, mediana e distal. Na porção proximal os derrames *pahoehoe* são espessos (40-70 m) e apresentam a zona superior e o núcleo maciço bem delimitado. Na porção mediana predominam derrames *pahoehoe* simples, com espessuras entre 20 e 30 m, e localizadamente, ocorrem derrames compostos. Na porção distal, que marca a frente de avanço do derrame, predominam derrames *pahoehoe* compostos de até 5 m de espessura, formados por lobos de pequena espessura (<2 m).

REFERÊNCIAS

- Araújo, J. S.; Marques, J. D.; Oliveira, C. A.; Maranesi, D. A. 1987. Derrames secundários em basaltos de Porto Primavera. In: Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, 5, 1987, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, SBG, v. 1, p. 373-377.
- Aubele, J.C.; Crumpler, L.S. & Elston, W.E. 1988. Vesicle zonation and vertical structure of basalt flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 35:349-374.
- Bellieni, G.; Comin-Chiaromonti, P.; Marques, L.S.; Melfi, A.J.; Piccirillo, E.M.; Nardy, A.J.R. & Roisenberg, A. 1984. High- and Low Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrogenetic and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen**, 50:272-306.
- Blake, S. & Bruno, B. C. 2000. Modelling the emplacement of compound lava flows. **Earth and Planetary Science Letters**, 184:181-197.
- Courtillot, V.; Besse, J.; Vandamme, D.; Montigny, R.; Jaeger, J.J. & Cappetta, H. 1986. Deccan flood basalts at the cretaceous/Tertiary boundary. **Earth and Planetary Science Letters**, 80:361-374.
- Derby, O. A. 1878. A geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil. **Arquivo do Museu Nacional**, 3: 89-96, Rio de Janeiro.
- Fink, J.H. & Fletcher, R.C. Ropy pahoehoe surface folding of a viscous fluid. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 4: 151-170, 1978.
- Guidicini, G. 1970. Derrames secundários em basaltos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 19(1): 91-93.
- Guidicini, G. & Campos, J. O. 1968. Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 17(1): 15-28.
- Guimarães, D. 1933. A província magmática do Brasil Meridional. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, 64. 70 p., Rio de Janeiro.
- Goff, F. 1996. Vesicle cylinders in vapor-differentiated basalt flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 71:167-185.
- Hon, K.; Kauhikaua, J.; Denlinger, R. & Mackay, K. 1994. Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows: Observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Havaí. **Geological Society of America Bulletin**, 106: 351-370.
- Kilburn, C. 1981. Pahoehoe and aa lavas: a discussion and continuation of the model of Peterson and Tilling. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 11(2-4):373-389.
- Kilburn, C. 1990. Surfaces of Aa flows-fields on Mount Etna, Sicily: Morphology, rheology, crystallization and scaling phenomena. In: Fink, J.H. (Ed.). **Lava Flows and Domes**, Berlin, Springer-Verlag, p. 129-156.
- 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**, 103:1-61.
- Lipman, P.W. & Banks, N.G. 1984. Aa flow dynamics, Mauna Loa. US **Geological Survey Prof. Paper**, 1350(2): 1527-1567.
- Macdonald G.A. 1953. Pahoehoe, aa and block lava. **American Journal of Science**, 251(3):169-191.
- Mantovani, M.S.M.; Marques, L.S.; De Sousa, M.A.; Civetta, L.; Atalla, L. & Innocenti, F. 1985. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State, southern Brazil. **Journal of Petrology**, 26:187-209.
- Melfi, A.J.; Piccirillo, E.M. & Nardy, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin an introduction. In: Piccirillo EM, Melfi AJ (Eds.) **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects**. São Paulo, IAG-USP. p. 1-13.
- Milner, S.C.; Duncan, A.R.; Whittingham, A.M. & Ewart, A. 1995. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneous province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 69:137-157.
- Mincato, R.L. 2000. **Metalogenia dos elementos do grupo da platina com base na estratigrafia e geoquímica da Província Ígnea Continental do Paraná**. São Paulo. 172p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- Moler, W.A. & Cabrera J.G. 1976. Características de fundações sobre rochas basálticas. In: Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, 1, 1976, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG, v. 2, p. 197-216.
- Oze, C. & Winter, J.D. 2005. The occurrence, vesiculation and solidification of dense blue glassy pahoehoe. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 142:285-301.
- Pinkerton, H. & Sparks, R.S.J. 1976. The 1975 sub-terminal lavas, Mount etna: A case history of the formation of a compound lava field. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 1:176-182.
- Peate, D.W. 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: Mahoney JJ, Coffin M (Eds.) **Large Igneous Provinces**. Washington DC, AGU. p. 217-245 (Monograp., 100).
- Peate, D.W.; Hawkeswort, 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.
- Peterson, D.W. & Tilling, R.I. 1980. Transition of basaltic lava from pahoehoe to aa, Kilauea Volcano, Havaí: field observations and key factors. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 7:271-293.
- Reidel, S. P. 1983. Stratigraphy and petrogenesis of the Grande Ronde

- basalt from the deep canyon country of Washington, Oregon and Idaho. **Geological Society of America Bulletin**, **94**:519-542.
- Renne, P.R.; Ernesto, M.; Pacca, I.; Coe, R.S.; Glen, J.M.; Prévot, M. & Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, **258**:975-979.
- Rowland, S.K. & Walker, G.P.L. 1987. Toothpaste lava: characteristics and origin of a lava-structural type transitional between pahoehoe and aa. **Bulletin of Volcanology**, **49**(4):631-64.
- Rowland, S.K. & Walker, G.P.L. 1990. Pahoehoe and aa in Havaí: volumetric flow rate controls the lava structure. **Bulletin of Volcanology**, **52**(8):631-64.
- Schmincke, H.U. 2004. **Volcanism**. Berlin, Springer-Verlag, 324 p.
- Swanson, D.; Wright, T.L.; Hooper, P.R. & Bentley, R.D. 1979. Revisions in stratigraphic nomenclature of the Columbia River Basalt Group. **US Geological Survey Bulletin**, 1457-G, 59p.
- Self, S.; Thordarson, T.; & Keszthelyi, L. 1997. Emplacement of continental flood basalts flows. In: Mahoney JJ, Coffin M (eds.) **Large Igneous Provinces**, Washington DC, AGU. p. 381-410 (Monograp., 100).
- Self, S.; Keszthelyi, L. & Thordarson, T. 1998. The importance of pahoehoe. **Annual Reviews Earth Planetary Science**, **26**:81-110.
- Shaw, H. & Swanson, D. 1970. Eruption and flow rates of flood basalts. Second Columbia River Basalt Symposium, 1970, Cheney, Washington. **Proceedings.....**, Cheney, AGU. p. 271-299.
- Stothers, R.B. & Rampino, M.R. 1990. Periodicity in flood basalts, mass extinctions and impacts: a statistical view and a model. **Geological Society of America Special Paper**, **242**:9-18.
- Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Hawkeswort, C.J. & Mantovani, M.S.M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, **121**:333-348.
- Walker, G. P. L. 1971. Compound and simple lava flows and flood basalts. **Bulletin of Volcanology** **35**:579-590.
- Waichel, B.L.; Lima, E.F.; Lubachesky, R. & Sommer, C.A. 2006. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. **Bulletin of Volcanology**, **68**: 599-610.
- Wignall, P. B. 2001. Large igneous provinces and mass extinctions. **Earth and Science Reviews**, **53**:11-33.
- White, I. C. 1908. Relatório Final da Comissão das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, **Imprensa Nacional**, 617p.
- Wilmouth, R.A. & Walker, G.P.L. 1993. P-Type and S-type pahoehoe: a study of vesicle distribution patterns in Hawaiian lava flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **55**:129-142.

