

# OS VULCÕES

## CADERNO DO PROFESSOR

Elaboração: geólogo Marcell Leonard Besser, doutor em Geologia e pesquisador em geociências do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM).

Indicação multidisciplinar: Geografia, Química, Física, Biologia e História.

### VULCÕES E VULCÕES

A atividade vulcânica é uma força extraordinária da natureza, ao mesmo tempo assombrosa e encantadora. Muitas lendas, mitos e histórias de vários povos foram criadas devido ao medo e à admiração do fogo indomável dos vulcões. Essas montanhas fumegantes têm interferido no destino da nossa espécie através dos séculos e milênios.

Erupções vulcânicas são capazes de soterrar cidades e vales inteiros, interromper o tráfego aéreo por semanas e meses, alterar repentinamente o clima do planeta, e, o mais formidável, as erupções vulcânicas criam novas terras que antes não existiam, transformando a lava em nova rocha, que depois tornar-se-á solo fértil para florestas e plantações (Figura 1).



Figura 1: Erupção do vulcão Bárðarbunga em 2014, Islândia. Fonte: Museu *Wonders of Iceland*.

Neste exato momento, enquanto você pesquisa sobre o assunto, uns 20 ou 30 vulcões estão em erupção em algum lugar do mundo. Você está perto de um deles? Além destes, existem mais uns 1.300 que podem acordar em algum momento no futuro. Um vulcão pode ter o *status* ou a condição de **ativo** ou **extinto**. Ativo significa que o vulcão está “vivo”, e ele pode estar “acordado” (quando **em erupção**) ou então “dormindo” (quando **adormecido**). O *status* de extinto, por outro lado, indica que o vulcão já “morreu” e não acordará mais (Figura 2).

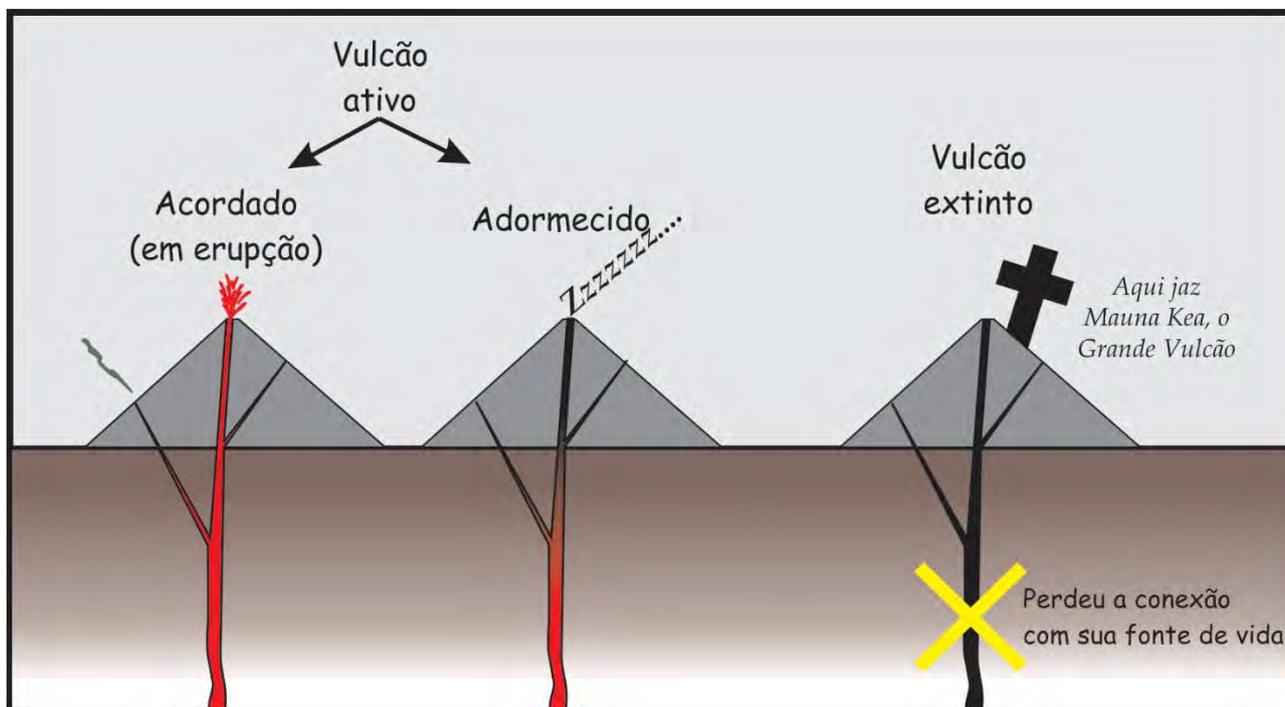


Figura 2: Condição ou *status* dos vulcões: ativo (em erupção ou adormecido) ou extinto (morto), quando o vulcão perdeu a conexão com sua fonte de alimentação subterrânea. Fonte: MLL Besser.

## O QUE É UM VULCÃO E O QUE É O VULCANISMO?

O **vulcão** é a feição geológica construída por meio de sucessivas erupções de magma, geralmente com forma cônica no relevo. Pode ser formado pela acumulação de partículas, como as **cinzas**, ou pelo escoamento de **lavas**, ou então por uma combinação de camadas de cinza e camadas de lava. Os vulcões são ditos emersos, quando estão nos continentes e ilhas, e submarinos, quando estão abaixo do nível dos oceanos. A palavra «vulcão» deriva do nome do deus do fogo da mitologia romana antiga: **Vulcano**.

**Vulcanismo** é o processo geológico da expulsão do magma através de um conduto que conecta o interior do planeta com a superfície, como um túnel ou uma fenda pela qual os geólogos podem saber mais sobre o interior do mundo. O resultado do vulcanismo é a formação dos vulcões e das **rochas ígneas**, especialmente as **extrusivas** ou **vulcânicas**. Essas rochas, formadas pelos vulcões, cobrem atualmente cerca de 7% de toda a superfície dos continentes e compõem quase que a totalidade dos assoalhos oceânicos. O vulcanismo é essencial para a existência e evolução da vida na Terra como a conhecemos. Planetas sem vulcanismo são considerados mundos mortos.

## ORIGEM DOS VULCÕES

Os vulcões não aparecem aleatoriamente na Terra, eles estão conectados às fontes de magma. Portanto, os vulcões nascem sobre os limites entre as placas tectônicas ou sobre áreas muito quentes do manto terrestre, os chamados pontos quentes ou *hotspots*.

A vida de um vulcão começa no interior da Terra, muito abaixo de seus pés ou das raízes das árvores. Primeiro, é necessário produzir e armazenar o magma, que é o alimento dos vulcões. O **magma** é um material de alta temperatura composto por líquidos e gases dissolvidos, que pode também carregar cristais já formados. Sua origem é o derretimento de rochas do manto ou das partes profundas da crosta, processo que acontece em profundidades entre 50 e 500 km abaixo da superfície. **Atenção!** O manto terrestre é sólido e formado por rochas em estado plástico (que conseguem deformar-se sem quebrar ao longo do tempo geológico, parecido com uma cera, por exemplo). Apenas em alguns locais muito específicos, dentro do manto e da crosta, é possível encontrar o magma em formação ou armazenado. O núcleo externo, embora seja completamente líquido, não é formado por magma, mas por ferro em estado de fusão. Não confunda esses materiais com o magma!

A maioria dos magmas são chamados de **magmas silicáticos**, porque sua parte líquida contém, como principais componentes, oxigênio (O) e silício (Si) combinados, formando o íon **silicato** ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ). Esse composto químico é importantíssimo, pois forma a estrutura-base de praticamente todas as rochas da Terra. Os magmas silicáticos carregam também alumínio, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e titânio, dentre outros elementos menos abundantes, incluindo outros metais. Curiosamente, existem outros tipos de líquidos magmáticos, como os magmas carbonáticos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) (Figura 3) e os sulfetados (S), que são raríssimos aqui na Terra, mas ocorrem abundantemente em outros astros.



Figura 3: O incomum magma carbonático pode ser visto saindo na forma de lavas pretas do vulcão Ol Doinyo Lengai, na Tanzânia. Quando resfriadas, tornam-se brancas. Foto: Olivier Grunewald/National Geographic.

A composição da fase gasosa de um magma é, principalmente, água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) e gases sulfurosos (SO<sub>2</sub>, enxofre), dentre outros; tudo isso está dissolvido dentro do magma. Por isso, um vulcão expelle, além de lava, nuvens de gases e vapores através de suas fumarolas (Figura 4).



Figura 4: As áreas vulcânicas liberam vapores do magma através de fumarolas, como as de Sol de Mañana, na Bolívia. Foto: MLL Besser.

Depois de gerado, por ser mais leve que as rochas em volta, o magma sobe através de fissuras, fendas e fraturas até encontrar um local onde possa se acumular. O processo de subida do magma é chamado de migração e o espaço onde ele se acumula é denominado de **câmara magmática** (Figura 5).

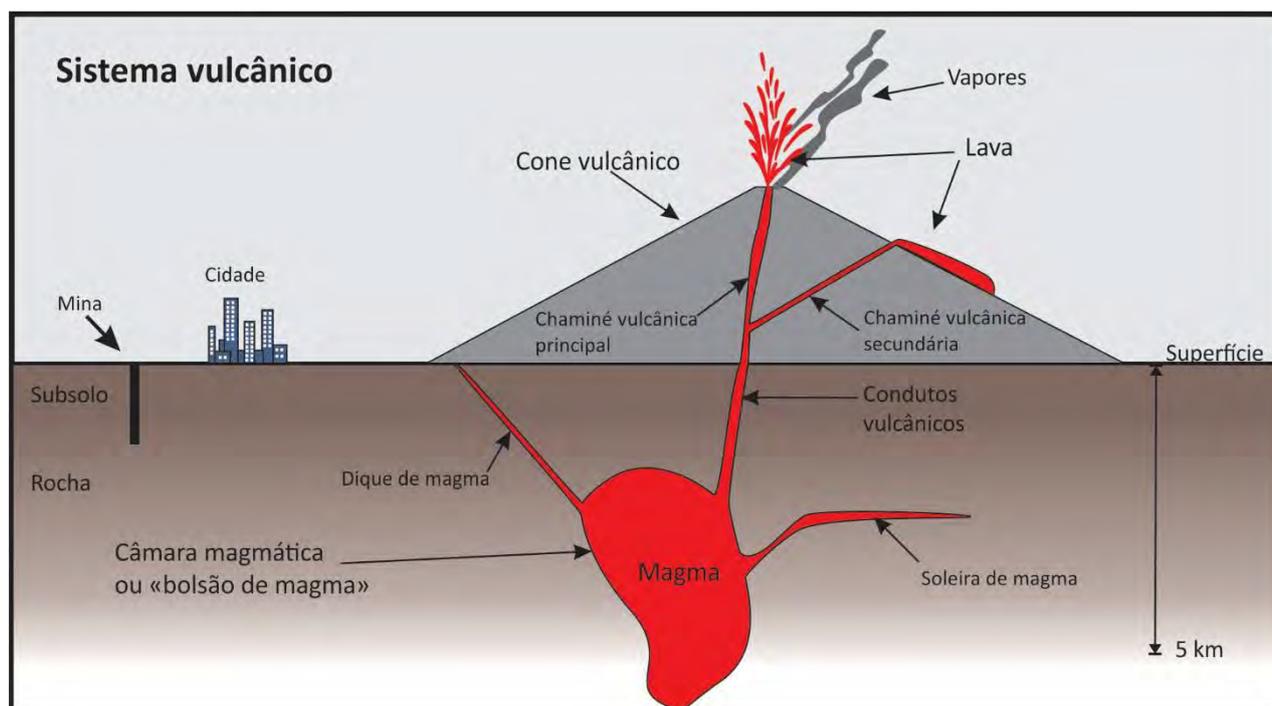


Figura 5: Partes que compõem um sistema vulcânico, a câmara magmática, os condutos vulcânicos e a montanha vulcânica. Fonte: MLL Besser.

A câmara magmática alimenta os vulcões de tempos em tempos. Mas é necessário um gatilho que abra as portas da câmara e liberte o magma para que ele alcance a superfície. Assim como uma bexiga que é soprada até estourar, a pressão interna da câmara magmática aumenta conforme é alimentada por mais e mais magma, até explodir. O magma então espalha-se em direção à superfície, através dos **condutos vulcânicos** localizados nas raízes dos vulcões adormecidos, e sobe rapidamente, causando abalos sísmicos estrondosos e acordando o vulcão do seu sono profundo.

O magma expelido do conduto vulcânico é denominado **lava** (Figura 6). Os tipos diferentes de lava são como materiais de construção dos vulcões. Assim como diferentes materiais, como madeira, tijolo, concreto, gesso ou bambu permitem construir casas e prédios das formas mais variadas imagináveis, tipos diferentes de lavas criam arquiteturas vulcânicas distintas e incríveis (Figura 7).



Figura 6: Lago de lava transbordando, vulcão Nyiragongo, no Congo. Como escala, observe a pessoa no canto inferior esquerdo da foto. Foto: Olivier Grunewald.

A **composição química** das lavas é como o DNA dos seres vivos, cada lava tem a sua. Agora, lembre-se do silício e do oxigênio formando uma equipe, o silicato ( $\text{SiO}_4^{-4}$ ). Pois bem, algumas lavas contêm mais silício em sua composição, enquanto outras contêm menos. As lavas com mais silício têm temperatura mais baixa (aproximadamente  $800^\circ\text{C}$ ) e são mais viscosas, difíceis de escoar. É como se o silício deixasse a massa da lava mais rígida, assim como uma massa de bolo mais viscosa é mais difícil de escoar na forma. Já as lavas com menos silício na sua composição química são mais quentes (por volta de  $1.200^\circ\text{C}$ ) e fluem com mais facilidade, formando rios de lavas.

A Terra tem muitos tipos de lavas e, conseqüentemente, muitos tipos de vulcões. É claro que o ambiente geográfico onde o vulcão está nascendo também influencia a sua forma e sua arquitetura. Por exemplo, a presença de água, de neve ou de gelo altera o comportamento da lava e, por conseqüência, modifica a forma final da montanha vulcânica. Lavas submarinas têm

comportamento totalmente diferentes das lavas subaéreas. Lavas extravasadas debaixo de geleiras também escondem surpresas muito interessantes.



Figura 7: Monte Bromo, Ilha de Java na Indonésia, é um belíssimo vulcão ativo muito visitado por turistas (primeiro plano à esquerda, com a nuvem de vapores). A intensidade das chuvas da ilha esculpe o vulcão, formando ranhuras e sulcos. Fonte: <https://www.wallpaperflare.com/volcano-landscape-nature-mount-bromo-mountain-beauty-in-nature-wallpaper-pdnqc/download/1920x1080>

Dois parâmetros essenciais definem o comportamento de uma lava: **viscosidade e conteúdo de bolhas**. As lavas podem ser muito viscosas, como uma pasta de dente ou uma massa de concreto espessa; pouco viscosas (mais “líquidas”), como o mel, por exemplo. Podem conter muitas bolhas de gás, semelhante a um suflê espumoso, ou a uma clara de ovo batida em neve ou ainda ao *drink Moscow Mule*, ou poucas bolhas de gás, como um *shampoo* com algumas bolhas de ar dispersas ou então como uma massa pouco aerada de um bolo.

As diferenças de viscosidade e conteúdo de bolhas entre as lavas são muito importantes e definem como será o estilo da erupção vulcânica e, por conseguinte, como será o vulcão. Podemos estabelecer uma relação entre a viscosidade da lava e **explosividade**. Lembre-se que quanto mais rico em silício o magma for, mais viscosa será a lava. E quanto mais viscosa, com mais eficiência a lava consegue prender bolhas de gás em seu interior, como uma massa aerada de pão, que quanto mais seca, mais irá prender as bolhas da fermentação. Assim, quanto mais a lava consegue prender as bolhas, mais explosiva ela se torna. Logo entenderemos o porquê disso. Vamos considerar o mecanismo responsável por criar uma erupção vulcânica.

## COMO ACONTECE A ERUPÇÃO?

Uma excelente analogia com uma erupção vulcânica pode ser feita quando você abre rapidamente uma garrafa de refrigerante e a espuma derrama para fora, levando consigo parte do refrigerante junto. Vamos entender o passo a passo de uma erupção usando esse exemplo.

Observe que antes de abrir a garrafa não é possível ver as bolhas de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) no refrigerante. Isso acontece porque o conteúdo da garrafa está pressurizado (note como é mais difícil apertar uma garrafa de água gaseificada do que uma garrafa de água sem gás, que não está sob pressão). Quando a garrafa é aberta, acontece um rápido alívio de pressão (**descompressão**) e você escuta o som típico que aguça a vontade de beber. O som sibilante (*tsssss...*) indica que o gás está saindo da garrafa e a pressão interna está caindo rapidamente. Ao mesmo tempo, você observa incontáveis bolhas se formando e espumando o refrigerante, sinal de que vai derramar.

Com a queda da pressão, o gás, que antes estava **dissolvido** no líquido, agora está **exsolvido**, ou seja, separado do líquido na forma de bolhas, por isso você passa a enxergá-las. E por que o refrigerante “sobe” dentro da garrafa? A explicação é simples: primeiro, lembre-se que os gases podem ser comprimidos, diferentemente dos líquidos e sólidos. No processo de formação de bolhas, acontece uma expansão do gás carbônico que estava comprimido, e, por isso, o refrigerante aumenta de volume e não cabe mais na garrafa, ocupando mais espaço, subindo e derramando-se (Figura 8). Ao tentarem sair da garrafa, as bolhas levam consigo parte do refrigerante. Entretanto, se você fizer a descompressão bem devagar vai notar que é possível evitar o transbordamento. Nessa situação, o processo de vesiculação fica tão lento que existe tempo para as bolhas formarem-se e escaparem do líquido e da garrafa aos poucos.

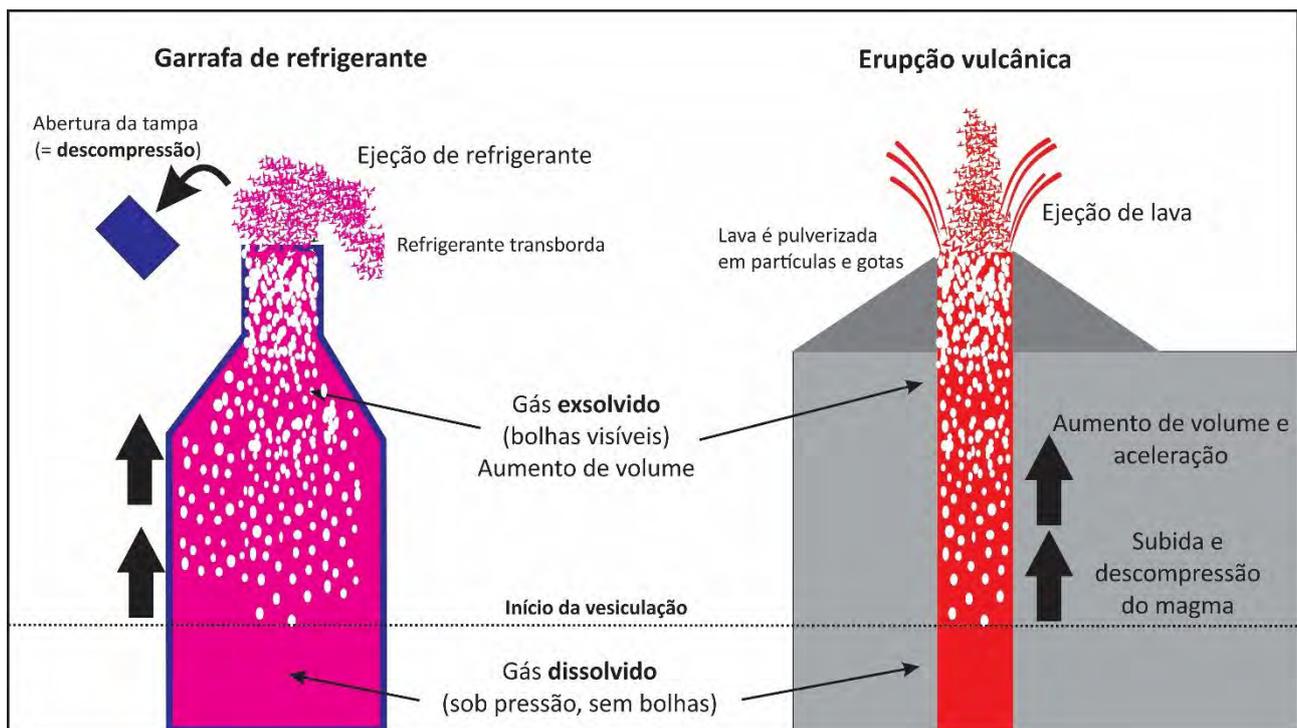


Figura 8: Mecanismo eruptivo comparado à abertura de uma garrafa de refrigerante. Fonte: MLL Besser.

De forma muito parecida, o magma que é liberado pela abertura da câmara magmática, também passa por uma queda de pressão (**descompressão**) e expande-se, causando o surgimento de bolhas (**vesiculação**). Quanto mais o magma sobe através do conduto vulcânico, mais ele descomprime e mais aumenta em volume (Figura 8). Como o conduto é estreito e rígido (por ser rochoso), o que acontece é uma aceleração da velocidade de subida do magma, terminando num

espirro de lava para fora do vulcão. Este esguicho de lava pode chegar até 300 m de altura, como foi observado na erupção islandesa de 2021 (Figura 9).

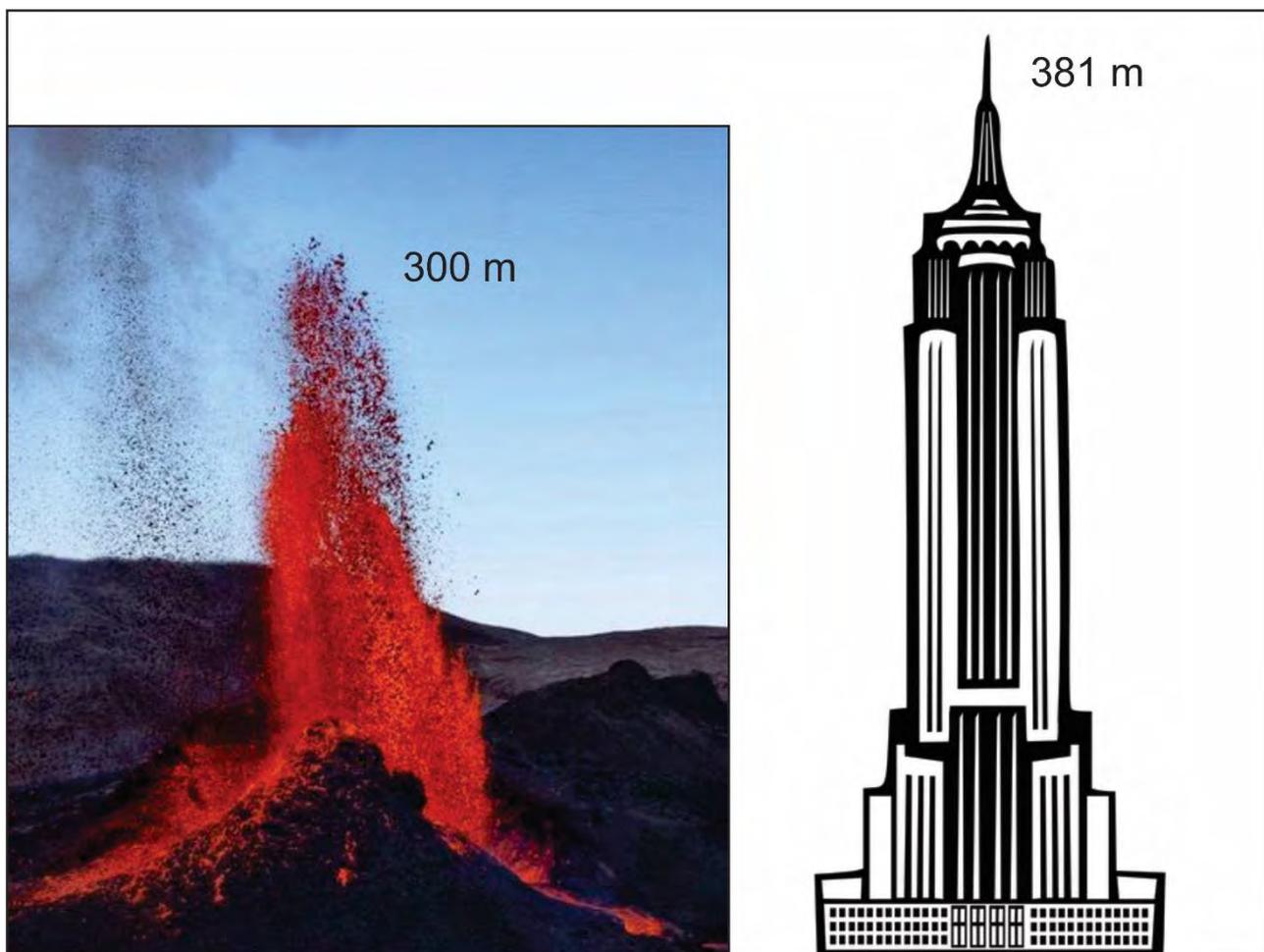


Figura 9: Jatos de lava jorram do vulcão islandês até de 300 m de altura a cada 10 minutos. Ao lado, como comparação de tamanho está o famoso *Empire State Building* em Nova York (EUA), com 381 m de altura. Foto do vulcão Fagradalsfjall: @gislio/twitter ou <https://www.volcanodiscovery.com/>

Agora veremos duas situações eruptivas naturais muito comuns, mas com características opostas. Caso o magma tenha **baixa viscosidade** e **baixo conteúdo de gases**, durante a decompressão poucas bolhas irão aparecer e o magma expandir-se-á menos dentro do conduto. Isso o impulsionará com menor velocidade para cima. Além disso, devido à baixa viscosidade, as bolhas que surgem com a decompressão conseguem aglutinar-se umas com as outras formando bolhas maiores que escapam do magma, estourando na cratera do vulcão, como as bolhas de um caldeirão de polenta fervente e borbulhante. Quando elas arrebentam, espirram pingos de lava para cima e para os lados do vulcão, criando os chamados **cones de respingos**, estruturas de forma cônica ao redor do orifício vulcânico, erguidas pela acumulação de pingos e gotas de lava retorcidas e sem forma que depois transformam-se em rocha. O tipo de erupção que cria os cones de respingos é responsável também por originar os **derrames de lava** que escorrem ao redor do vulcão e podem fluir por centenas de metros ou mesmo por quilômetros; essa erupção é denominada de **efusiva** (Figura 10).

Na situação eruptiva oposta, o magma que alimenta o vulcão tem **alta viscosidade** e **alto conteúdo de gases**. Nesse caso, durante a decompressão muitas bolhas irão aparecer e o magma expandir-se-á muito dentro do conduto, forçando uma rápida ascensão em direção à cratera. Como o magma é mais viscoso, ele não permite que as bolhas escapem facilmente. O que temos é uma massa incandescente cheia de bolhas em rápida subida por um túnel estreito que é lançada do vulcão em uma velocidade extraordinária. O resultado da erupção vulcânica é uma **coluna eruptiva** formada por lava pulverizada em milhões de partículas. A coluna eruptiva pode alcançar até 40 km de altura; essa erupção é denominada de **explosiva** (Figura 10).

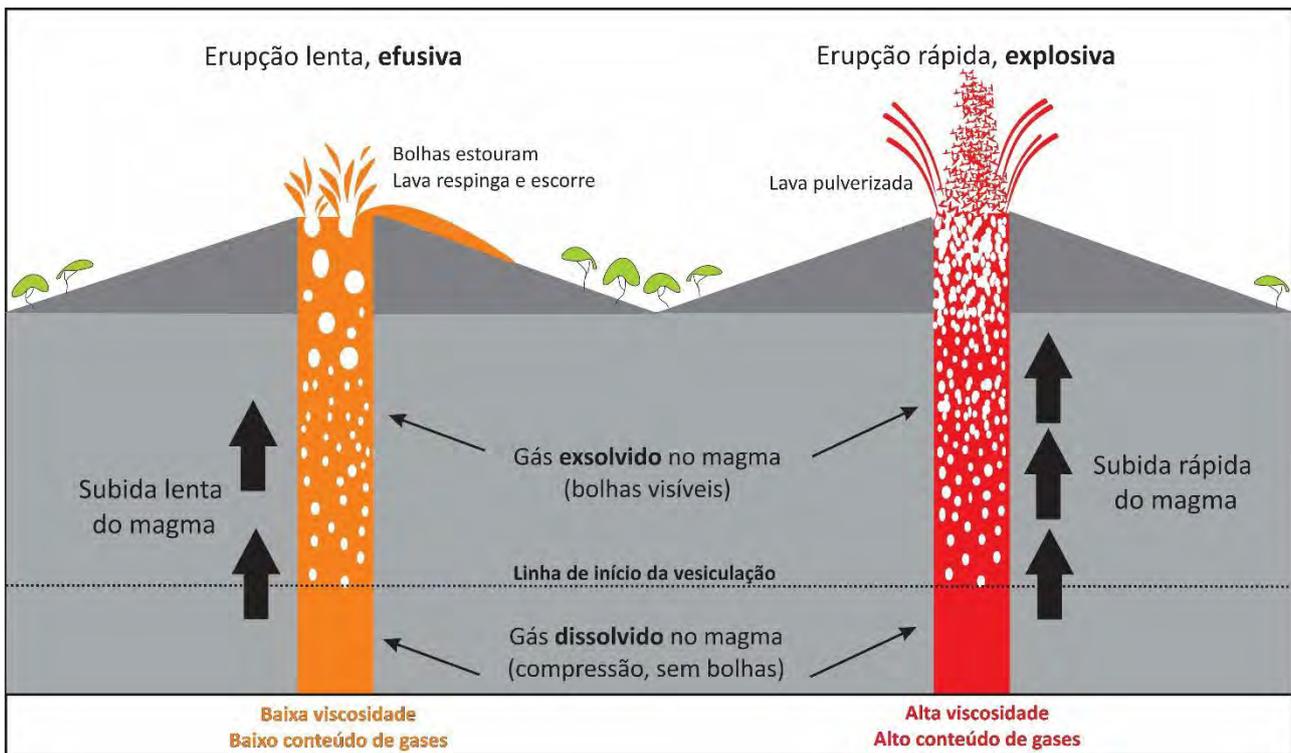


Figura 10: Tipos clássicos de erupção (efusiva x explosiva). O vulcão da esquerda é alimentado por magma de baixa viscosidade e baixo conteúdo de voláteis, enquanto o vulcão da direita é alimentado por magma muito viscoso e com alto conteúdo de voláteis. Fonte: MLL Besser.

## TIPOS DE VULCÕES

### VULCÕES CONSTRUÍDOS POR LAVAS MAIS VISCOSAS

Em uma erupção de lavas muito viscosas repletas de bolhas de gás teremos um poder explosivo muito grande. A erupção pode ser tão violenta que é capaz de destruir o topo do vulcão ou até mesmo a montanha inteira. Durante a erupção, as rochas, que formavam a montanha vulcânica já existente, explodem junto e são estilhaçadas e pulverizadas em incontáveis pequenas partículas. Todo esse volume de material vai para a atmosfera através da **coluna eruptiva** (Figura 11). A lava nova, responsável pela erupção em andamento, também é lançada aos ares e dispersa em micro gotas ou então em enormes bombas vulcânicas lançadas a centenas de metros do vulcão.

As partículas ou fragmentos, de origem exclusivamente vulcânica, são chamados pelos geólogos de **piroclastos**. A palavra tem origem no idioma grego, *pyros* (incêndio) e *klastus* (quebrado), remontando a História Antiga, quando aconteceu a destruição das cidades romanas de Pompeia e Herculano pela erupção do vulcão Vesúvio no ano 79 d.C. Nesse episódio trágico, os piroclastos, ou “fragmentos incendiados”, caíram sobre as cidades, soterrando-as e sufocando seus habitantes.



Figura 11: Erupção explosiva criada por lavas de alta viscosidade e alto conteúdo de bolhas. Observe a altura de 15 km da coluna erupativa acima do vulcão Calbuco, Chile, 2015. Foto: Jorge Nauto.

Os geólogos classificam os piroclastos com relação ao tamanho. As **cinzas** são as menores partículas e tem um diâmetro de até 2 mm. Os **lapillis** são um pouco maiores, com diâmetro entre 2 mm e 6,4 cm. Acima disso, os piroclastos são denominados de blocos ou bombas (>6,4 cm). O **bloco** é um estilhaço de rocha já existente, arrancada do contudo ou da montanha vulcânica durante a erupção. A **bomba vulcânica** é formada por lava jovem. Quando as bombas maiores são lançadas, elas não resfriam completamente durante a queda e seu interior permanece incandescente. Ao colidirem com o chão, a crosta solidificada racha-se adquirindo um aspecto de “crosta de pão” (Figura 12).

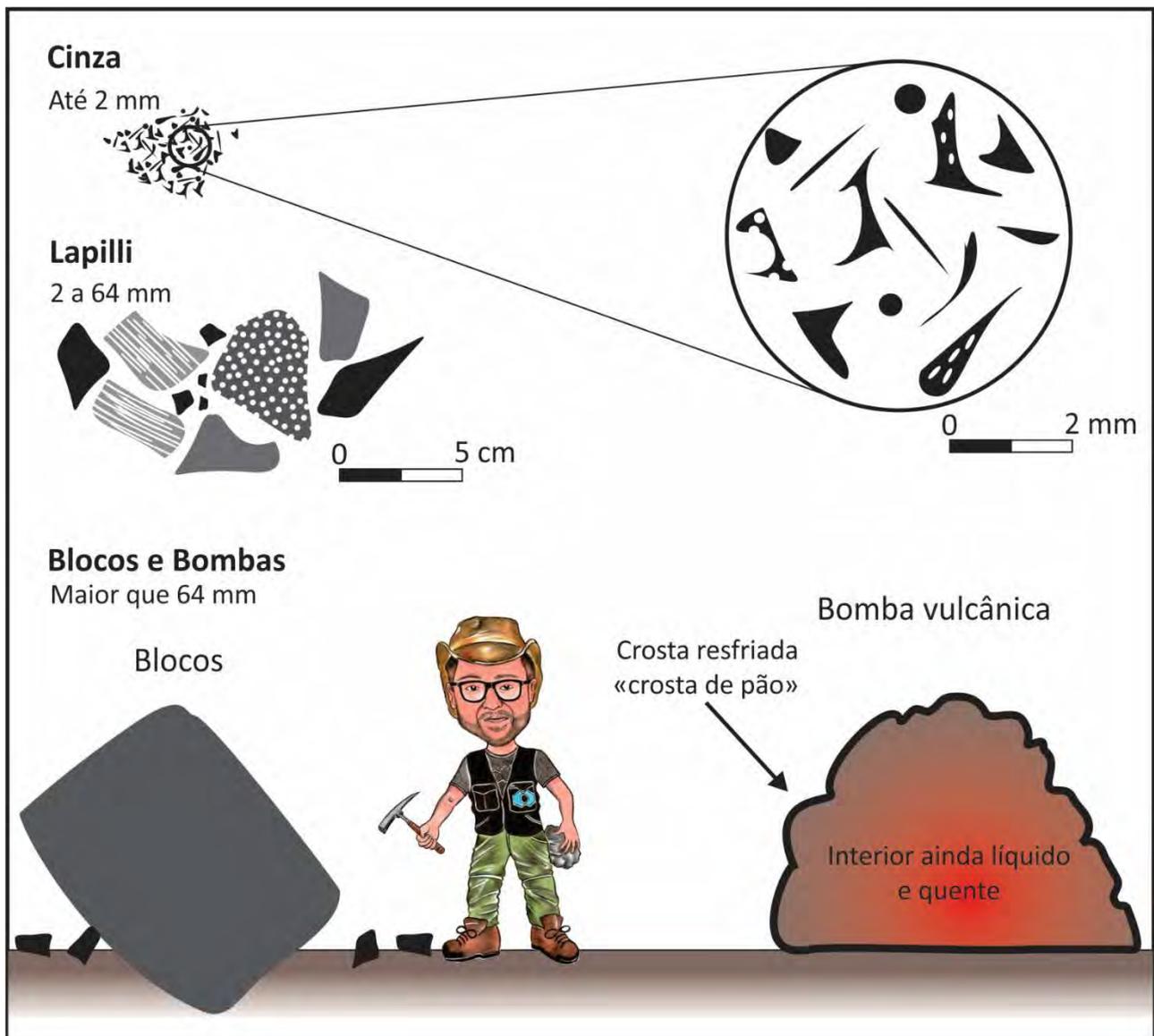


Figura 12: Classificação dos piroclastos (fragmentos vulcânicos) de acordo com o tamanho das partículas. A composição pode variar bastante. Fonte: MLL Besser.

As gotículas menores da lava pulverizada durante a erupção são resfriadas rapidamente em contato com o ar e formam pequenos cacos pontiagudos de **vidro vulcânico** que são levados facilmente pelos ventos. É essa cinza que pode paralisar o motor de um avião que passa próximo de um vulcão em erupção. Por isso, recomenda-se o fechamento do espaço aéreo em áreas afetadas pelas cinzas, o que causa prejuízos enormes para o setor de aviação, como aconteceu na Europa em 2010, com a erupção do vulcão islandês Eyjafjallajökull (se pronuncia “êia”-“fiátla”-“iôcutl”).

Ao observarmos as erupções vulcânicas explosivas do espaço por meio dos satélites, conseguimos acompanhar o deslocamento de uma pluma de cinzas que arrasta-se pela atmosfera empurrada pelos ventos predominantes (Figura 13). As plumas podem vagar por centenas a milhares de quilômetros, derrubando aos poucos as cinzas vulcânicas sobre o solo. Quanto mais alta for a coluna eruptiva, maiores as chances de as cinzas alcançarem as camadas mais altas da atmosfera e, então, espalharem-se por distâncias mais longas. O processo no qual as cinzas são depositadas no solo é chamado de **queda de cinzas**. As camadas de queda são bem mais espessas

nas proximidades da erupção, podendo chegar a alguns metros nos arredores do vulcão, e, mais delgadas quanto mais distante do vulcão, podendo acumular alguns centímetros ou mesmo milímetros de cinzas sobre o chão. Na erupção no Complexo Vulcânico Puyehue-Cordón-Caulle, no Chile, as cinzas chegaram até o sul do Brasil. Em algumas cidades, como em Curitiba, uma garoa fina derrubou cinzas sobre carros e telhados, a 2.700 km de distância da erupção do vulcão chileno.

Se terras tão distantes podem ser afetadas por uma erupção, você consegue imaginar o estrago que um vulcão faz ao redor do centro eruptivo?



Figura 13: A pluma de cinzas deixa um rastro na atmosfera, impulsionada pelos ventos vindos do oeste. Erupção do Complexo Vulcânico Puyehue-Cordón-Caulle, Chile, 08/07/2011. Fonte: Nasa.

Um dos processos mais perigosos de uma erupção explosiva acontece quando a coluna eruptiva perde sustentação e colapsa sobre si mesma, criando um **fluxo piroclástico** devastador. O fenômeno é formado por uma densa nuvem de gás, cinzas e lapillis em altíssima temperatura (200°C a 700°C) que desloca-se rente ao chão encosta abaixo do vulcão, com velocidade geralmente superior a 80 km/h. Os fluxos piroclásticos derrubam, quebram, queimam, carregam ou enterram tudo que estiver em seu caminho, edifícios, florestas e áreas agrícolas. É praticamente impossível fugir ou escapar de um fluxo piroclástico (Figura 14).



Figura 14: Fluxo piroclástico da erupção do vulcão Sinabung (Sumatra, Indonésia), em 2015, causado pelo colapso de parte do vulcão. Fonte: <https://www.volcanodiscovery.com/>.

As lavas viscosas cheias de bolhas de gás formam um tipo de rocha muito curiosa chamada **púmice** ou **pedra-pomes**, repleta de cavidades ocas, o que a torna extremamente leve. Os púmices até mesmo flutuam na água e podem percorrer, boiando, centenas de quilômetros em mar aberto, até depositarem-se em praias distantes dos vulcões que os criaram (Figura 15). Na Cordilheira dos Andes, existem regiões cobertas por camadas espessas formadas de fragmentos de púmices, indicando que estes locais já foram palco de erupções catastróficas de lavas viscosas e repletas de bolhas de gás.

O vulcão construído a partir dos materiais e processos geológicos que vimos até agora é chamado de **vulcão composto**. Esse estilo de arquitetura vulcânica tem uma forma típica de cone, com laterais bem íngremes, e é formado por sucessivas erupções explosivas, com fluxos piroclásticos e queda de cinzas, intercaladas por algumas erupções mais calmas com geração de derrames de lavas viscosas (Figura 16). Ao escalar um vulcão composto, vamos encontrar muitos fragmentos de púmices quebrados de diversos tamanhos, desde cinza até blocos. Os fragmentos maiores, geralmente, estão mais próximos da cratera do vulcão, enquanto os menores e mais finos ficam mais longe. Se encontrarmos piroclastos grandes longe do vulcão, pode ser uma boa pista de quão poderosa foi sua última erupção. Países situados em regiões de encontro de duas placas tectônicas, como Chile, Argentina, Bolívia, Colômbia, Equador, Estados Unidos da América, Itália, Japão, Indonésia e Filipinas têm muitos vulcões compostos em seu território, o que torna importantíssimo o monitoramento preventivo. O vulcão Etna, na Itália, é um dos vulcões compostos mais ativos do mundo.



Figura 15: Púmice ou pedra-pomes é uma rocha formada por vidro vulcânico a partir do resfriamento de lavas muito viscosas e com alto conteúdo de bolhas de gás, por isso é muito porosa e muito leve. Amostra de púmice coletada na praia de Atenas, Grécia. Foto: MLL Besser.

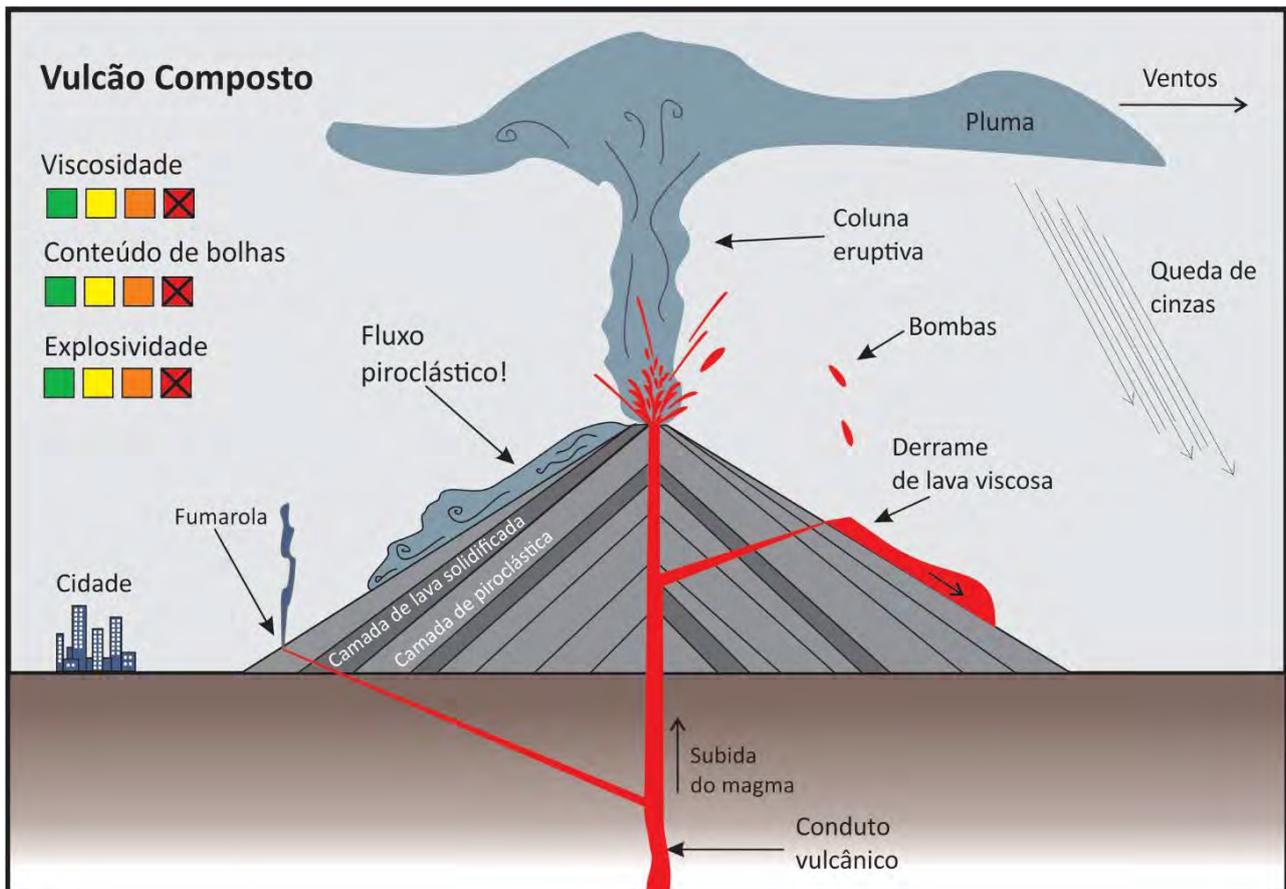


Figura 16: Vulcão composto formado a partir de uma intercalação de sucessivas camadas de piroclastos com algumas camadas de lavas. Observe os processos e os materiais naturais envolvidos na construção do vulcão. Fonte: MLL Besser.

Em um outro cenário geológico, imagine as lavas muito viscosas, mas que possuem um conteúdo muito baixo de bolhas de gás. Essas lavas são expulsas lentamente da cratera dos vulcões e, como têm dificuldade em escoar para longe, acabam acumulando-se até formar um **domo** (Figura 17). Algumas vezes as lavas são tão rígidas, que formam **torres**, em vez de domos, estruturas extremamente altas e íngremes, mas muito raras na natureza.

A parte externa ou a capa do domo de lava resfria-se rapidamente em contato com o ar. Ao solidificar-se, é transformada em vidro vulcânico de cor preta, a **obsidiana**. Existem derrames e domos de lava inteiramente formados por obsidiana (Figura 18). As espécies humanas do passado usavam essa rocha para fabricar ferramentas de corte, caça e pesca, pois o vidro vulcânico é muito afiado. Quando o resfriamento da lava é um pouco mais lento, forma-se uma rocha vulcânica chamada **riolito**. Muitos domos são construídos por blocos de riolitos, como o domo do vulcão Chaitén, que foi erguido em poucos meses (Figura 19).

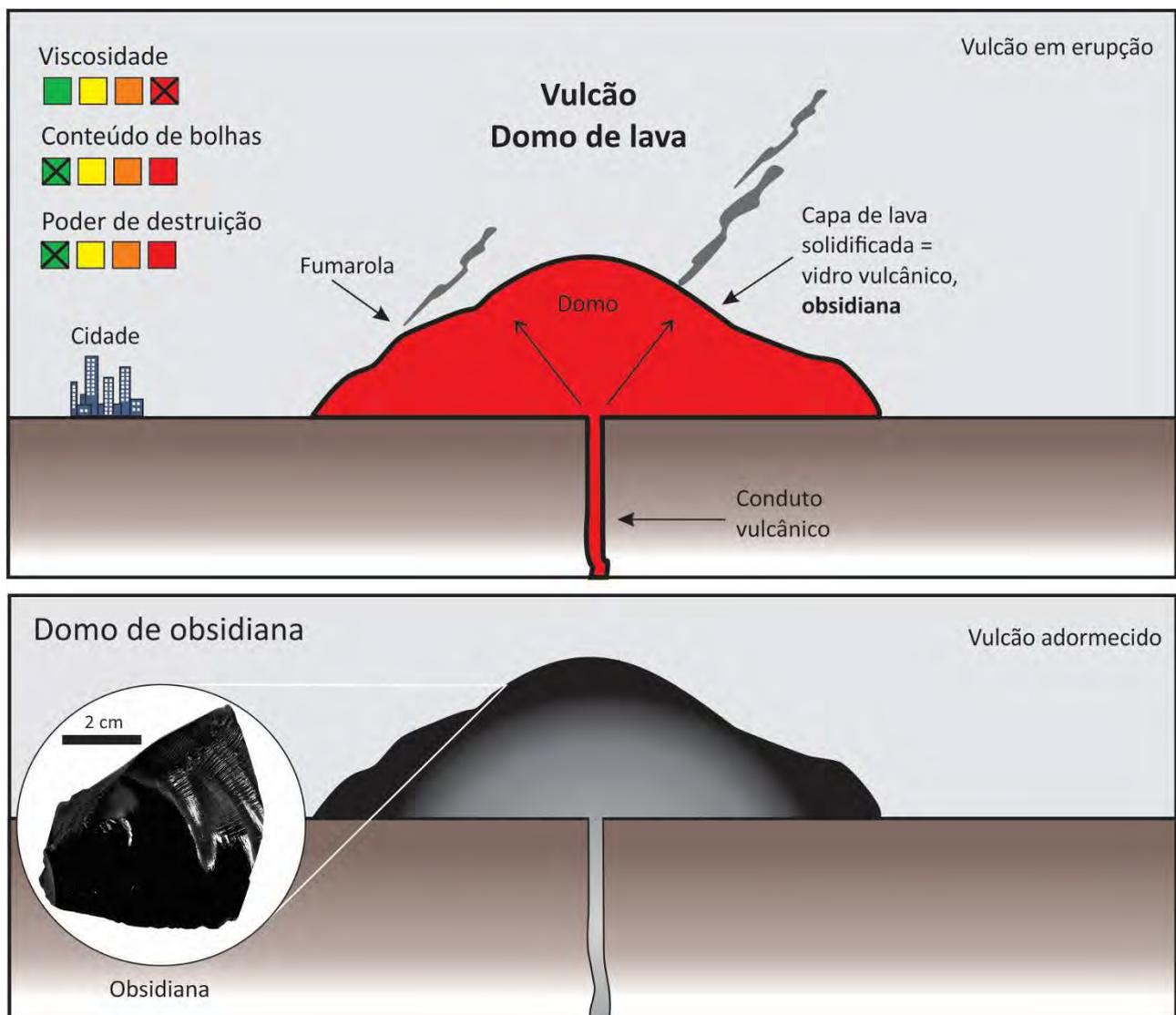


Figura 17: Formação de um domo de lava durante a erupção de lavas muito viscosas, mas com pouco conteúdo de gás. O resfriamento rápido e a solidificação da lava formam um vidro vulcânico preto, a obsidiana. Fonte: MLL Besser.



Figura 18: Derrames de obsidiana do vulcão de Laugahraun, Islândia. Foto: MLL Besser.



Figura 19: Domo de riolito erguido por uma erupção efusiva lenta que se prolongou após a erupção explosiva do vulcão Chaitén, em 2008, no sul do Chile. O domo tem cerca de 1,5 km de largura e 350 m de altura e cresceu no interior da cratera que se formou após a erupção ter explodido o antigo domo de obsidiana com idade de 10.000 anos. Foto: Sam Beebe.

## VULCÕES CONSTRUÍDOS POR LAVAS MAIS FLUIDAS

Quando as lavas são mais fluidas (menor viscosidade), erupções explosivas são difíceis de acontecer, ao passo que erupções calmas e efusivas são frequentes. Podemos comparar esse tipo de erupção com o mel ou a calda de chocolate sendo espalhada sobre um bolo ou com o shampoo saindo do frasco. O processo de saída da lava da chaminé vulcânica para se espalhar na superfície é denominado de **extravasamento**. As lavas extravasadas podem formar **lagos de lava**, quando aprisionadas pelo relevo ou escoar como rios muito compridos e incandescentes que depois de resfriados são chamados de **derrames vulcânicos** (Figura 20).



Figura 20: Fontes fumegantes borrifam pingos de lava muito fluida ao redor dos orifícios vulcânicos construindo os cones de respingos. Observe os derrames de lava que extravasam a partir das crateras e escorrem para os lugares mais baixos, criando formas rochosas estranhas. Vulcão Bárðarbunga, Islândia (2014). Fonte: Museu *Wonders of Iceland*.

O empilhamento de vários dos derrames vulcânicos uns sobre os outros, ao longo do tempo, irá formar um grande vulcão na forma de um escudo medieval deitado, como um prato virado para baixo sobre uma mesa. Os **vulcões em escudo** podem ser enormes e possuem encostas bem suaves e fáceis de subir, pois são muito largos na base (Figura 21). O maior vulcão ativo do mundo é o Mauna Loa, situado no Havaí, um vulcão em escudo que atinge 4.169 m de altitude acima do nível do mar. Se contarmos sua altura desde a base enraizada no assoalho oceânico, teremos

incríveis 10.000 m, ultrapassando o Monte Everest. Também no arquipélago havaiano, está o vulcão Kilauea, conhecido como o mais ativo do mundo. (Figura 22).

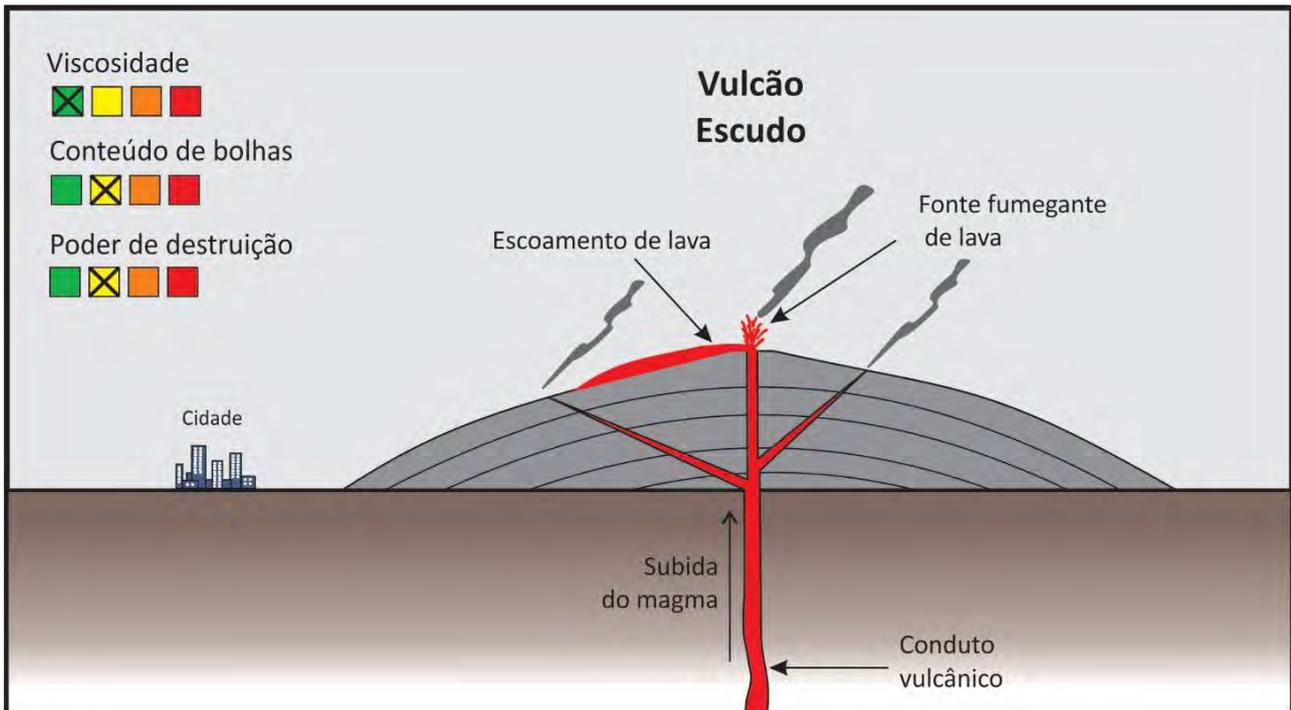


Figura 21: Vulcão escudo formado pelo extravasamento de sucessivos derrames de lavas. Fonte: MLL Besser.



Figura 22: Fonte de lava construindo cone de respingos e alimentando um derrame canalizado, o qual segue diretamente para o oceano. Vulcão Kilauea, Havaí (2018). Foto: *Hawaiian Volcano Observatory* <https://www.usgs.gov/>

Uma erupção efusiva de lava mais fluida pode acontecer através de um orifício ou boca vulcânica **circular e central** (Figura 23). Porém, também pode acontecer de outra maneira muito curiosa, por meio de fendas compridas no terreno. Essas fendas são chamadas de fissuras e, quando a lava extravasa através delas, dizemos que a erupção é do tipo **fissural** (Figura 24).



Figura 23: Erupção efusiva a partir de um orifício ou boca vulcânica central, vulcão Fagradalsfjall, Islândia (2021). Observe a semelhança com um caldeirão borbulhante. Foto: Jay March.

As erupções efusivas de lavas fluidas são responsáveis por criar a rocha vulcânica mais abundante da Terra, o **basalto**. Existem basaltos formando o assoalho dos oceanos, os platôs submarinos, muitas das ilhas vulcânicas e também os planaltos vulcânicos continentais, como é o caso do próprio Planalto Meridional do Brasil, formado em grande parte por basaltos da Era

Mesozoica. Além disso, crateras preenchidas por basaltos podem ser facilmente vistas durante a noite na parte mais escura da superfície lunar. Tente localizá-los na próxima Lua Cheia.



Figura 24: Erupção fissural de lavas basálticas no Havaí. Fonte: <https://www.usgs.gov/>

A superfície das lavas em contato com o ar é resfriada rapidamente, formando uma película finíssima de vidro vulcânico sobre a lava. Ao passo que o derrame de lava continua se movendo, ele arrasta esta película recém-resfriada, enrugando, enrolando e retorcendo-a como uma corda (Figura 25). Conseguimos um efeito semelhante enrugando a casquinha recém-resfriada de uma polenta na panela.



Figura 25: **Basaltos em cordas** formados por lavas da erupção do vulcão Askja, na Islândia. Foto: MLL Besser.

Por último, vamos imaginar um magma muito fluido que em processo de subida dentro do conduto vulcânico encontra, de repente, muita água. Pode ser uma camada rochosa subterrânea encharcada de água ou mesmo um lago raso na superfície. Nesse caso, o magma, que originalmente tinha uma quantidade mínima de gás dissolvido, agora depara-se com um repentino “balde de água fria”, literalmente. A água é vaporizada de imediato e é incorporada ao magma, tornando-o extremamente explosivo e desencadeando uma **erupção hidrovulcânica** (Figura 26).



Figura 26: Ao encontrar um aquífero ou um lago superficial, o magma torna-se muito explosivo, como observado na erupção hidrovulcânica sobre a cratera inundada de Halema'uma'u, no Haváí (1924). Foto: K. Maehara, <https://www.nps.gov/>.

Erupções hidrovulcânicas criam quantidades muito grandes de cinzas e lapillis, além de rochas cheias de cavidades ocas, chamadas de **escórias**, parecidas com os púmices, porém escuras e mais densas, incapazes de flutuar na água. O avanço de uma erupção hidrovulcânica, geralmente, produz um belíssimo **cone de escórias**, um amontoado de piroclastos escoriáceos dispostos em forma circular ao redor da cratera do vulcão (Figura 27 e Figura 28). Com o passar do tempo, o vulcão adormece ou se extingue e a água volta a acumular-se em sua cratera, formando um lago ou mais especificamente um **maar** (Figura 29).

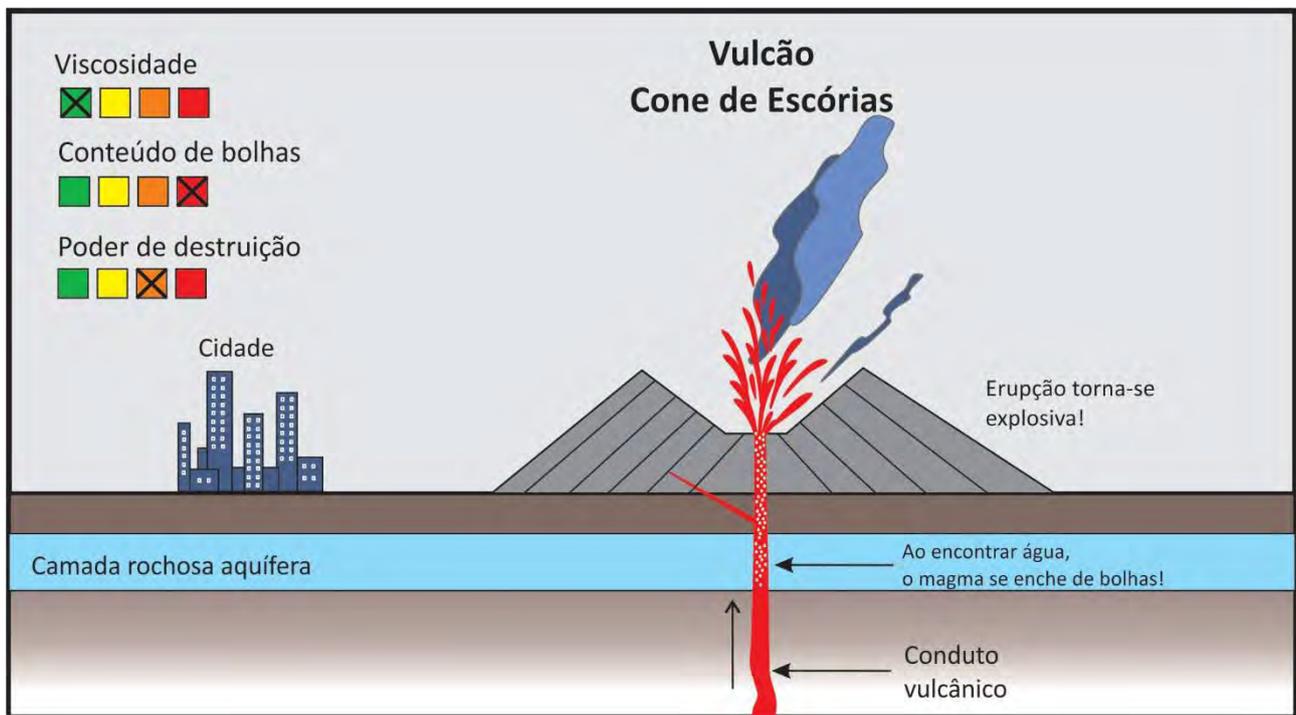


Figura 27: Cone de escórias formado a partir de uma erupção hidrovulcânica, que ocorre quando o magma interage com a água ao interceptar uma camada aquífera e se encher de bolhas. Fonte: MLL Besser.



Figura 28: Cone de escórias formado por uma erupção hidrovulcânica. Vulcão Hverfjall, Islândia. Fonte: <https://icelandthebeautiful.com/hverfjall/>.



Figura 29: Após uma erupção hidrovulcânica, o cone de escórias é transformado em um lago, chamado maar. Região do Parque Vulcânico de Eifel, Alemanha. <https://www.eifel.info/en/nature/volcanicity-in-the-eifel>.

### EXISTEM VULCÕES ATIVOS NO BRASIL?

Não existem vulcões ativos no Brasil, nem em erupção, nem adormecidos. Mas o vulcão extinto mais jovem que se tem conhecimento fica na Ilha de Trindade, a cerca de 1.200 km da costa do estado do Espírito Santo e é conhecido como **Vulcão do Paredão**. Estima-se que sua última erupção aconteceu por volta de 200.000 anos atrás, mas não se tem certeza ainda se ocorreu alguma outra atividade eruptiva mais recente. A Ilha de Trindade é de origem vulcânica e no extremo sudeste da ilha é possível ver parte do cone do Vulcão do Paredão ainda preservada, o que permite chamá-lo, de fato, de vulcão extinto (Figura 30).



Figura 30: Parte do cone do Vulcão do Paredão (à esquerda, terreno vermelho), na Ilha de Trindade. Foto: Simone Marinho.

## IMPORTÂNCIA DO VULCANISMO

Os vulcões fazem parte do lento processo de resfriamento do planeta Terra, que tem levado bilhões de anos. Assim como uma panela de pressão continua chiando mesmo depois do fogão ser desligado, a Terra continua aliviando sua pressão e calor por meio dos vulcões. Eles sinalizam a respiração do planeta, pois é através dos túneis e condutos nas raízes dos vulcões que as profundezas ferventes da Terra exalam vapores e expelem rocha derretida, permitindo a continuidade da tectônica global. Isso quer dizer que o vulcanismo faz parte do motor da tectônica de placas, um mecanismo de **reciclagem da crosta terrestre** que deve perdurar por bilhões de anos. A Cordilheira dos Andes é uma extensa cadeia de montanhas que margeia o oeste da América do Sul e é um perfeito exemplo de como a crosta terrestre reciclada renasce através dos vulcões (Figura 31).

A Terra é um planeta ativo, com uma superfície em constante e geralmente lenta mudança. Os processos vulcânicos e os terremotos são os mais evidentes exemplos da dinâmica da litosfera. Mas, em um planeta morto, como pode ser o caso de Marte, a tectônica global não existe mais. Sem a movimentação e reciclagem das placas tectônicas, a dinâmica planetária é precária, cadeias de montanhas não se erguem, bacias oceânicas não se abrem e há raros vulcões para alimentar a atmosfera com vapor d'água e outros gases essenciais para a vida. Caso a tectônica de placas da Terra fosse interrompida neste exato momento, o implacável processo erosivo consumiria todas as altitudes criando um planeta arrasado e submerso por um vasto oceano, tempestuoso na superfície e gelado nas profundezas.



Figura 31: Vulcão Llaima, na região de Araucania, no Chile. Foto: Mpazmarzolo.

## EXISTEM VULCÕES EXTRATERRESTRES?

O planeta Marte abriga o maior vulcão do Sistema Solar, o Monte Olimpo, um monstruoso vulcão em forma de escudo com 25 km de altura (quase três vezes a altura do Monte Everest). Em Vênus, há indícios de atividade vulcânica e 65% de sua superfície é composta por derrames antigos de lavas basálticas. Vulcões ativos são encontrados em Io, Encéadalo e Tritão, satélites naturais dos planetas Júpiter, Saturno e Netuno, respectivamente. Entretanto, o vulcanismo extraterrestre difere um pouco daquele que conhecemos na Terra. Em Tritão, por exemplo, há vulcões de gelo, e em Io, há vulcões de enxofre.

Em Marte, o que nos chama a atenção é o monstruoso Monte Olimpo, localizado no Planalto de Tharsis, na região equatorial do planeta. A base do vulcão estende-se por cerca de 600 km de diâmetro, preenchendo uma área parecida com a do estado do Mato Grosso do Sul. As crateras vulcânicas antigas encontradas no topo do vulcão têm até 85 km de diâmetro. A título de comparação, o Monte Olimpo tem aproximadamente 2,3 vezes a altura do vulcão terrestre havaiano Mauna Loa, com 10 km de altura desde o assoalho oceânico. Muitos vulcões marcianos têm a mesma forma em escudo dos vulcões terrestres e, por lá, também é possível encontrar derrames de lavas muito semelhantes aos da Terra (Figura 32). Um detalhe interessante é como a baixa pressão atmosférica de Marte, cem vezes menor que a da Terra, deve ter influenciado os estilos eruptivos. Imagine o magma sendo descomprimido em Marte, ele iria encontrar muito mais facilidade em criar bolhas, deixando as erupções muito mais explosivas. É possível que magmas com a mesma composição se comportem de forma diferente em Marte e na Terra.



Figura 32: Derrame de lava em Marte, no centro de uma estrutura circular. Fonte: Nasa.

Io é um pouco maior que a Lua, com 3.642 km de diâmetro, e geologicamente mais ativo que a própria Terra. São observados centenas de vulcões, alguns com dezenas de quilômetros de

diâmetro. Devido à baixa gravidade de Io, os vulcões conseguem jorrar a uma velocidade de 3.600 km/h até uma altura de 300 km, criando nuvens de fragmentos em forma de grandes guarda-chuvas que precipitam na superfície cobrindo as crateras e remodelando completamente a paisagem. Algumas erupções conseguem ultrapassar a velocidade de escape de que é de 9.000 km/s, fugindo para o espaço e contribuindo para alimentar anéis planetários ao redor de Júpiter com a poeira vulcânica. Io tem o núcleo de ferro e o manto de silicato e enxofre, e seus vulcões expõem lavas basálticas ricas em magnésio e também enxofre líquido. Mesmo sendo um pequeno astro, que deveria ter se resfriado há muito tempo, Io mantém seu calor interno por causa do efeito das marés gravitacionais. A cada 43 horas, Io faz uma volta ao redor de Júpiter, sempre com a mesma face voltada para o planeta. No momento de aproximação máxima, a atração gravitacional de Júpiter deforma Io, intumescendo sua crosta em direção ao planeta em uma centena de metros. A crosta de Io volta ao lugar no momento de afastamento máximo. A fricção entre as camadas rochosas internas de Io, causada por esta distensão gravitacional, gera o calor necessário para manter seu interior muito quente e capaz de alimentar vulcões similares aos da Terra.

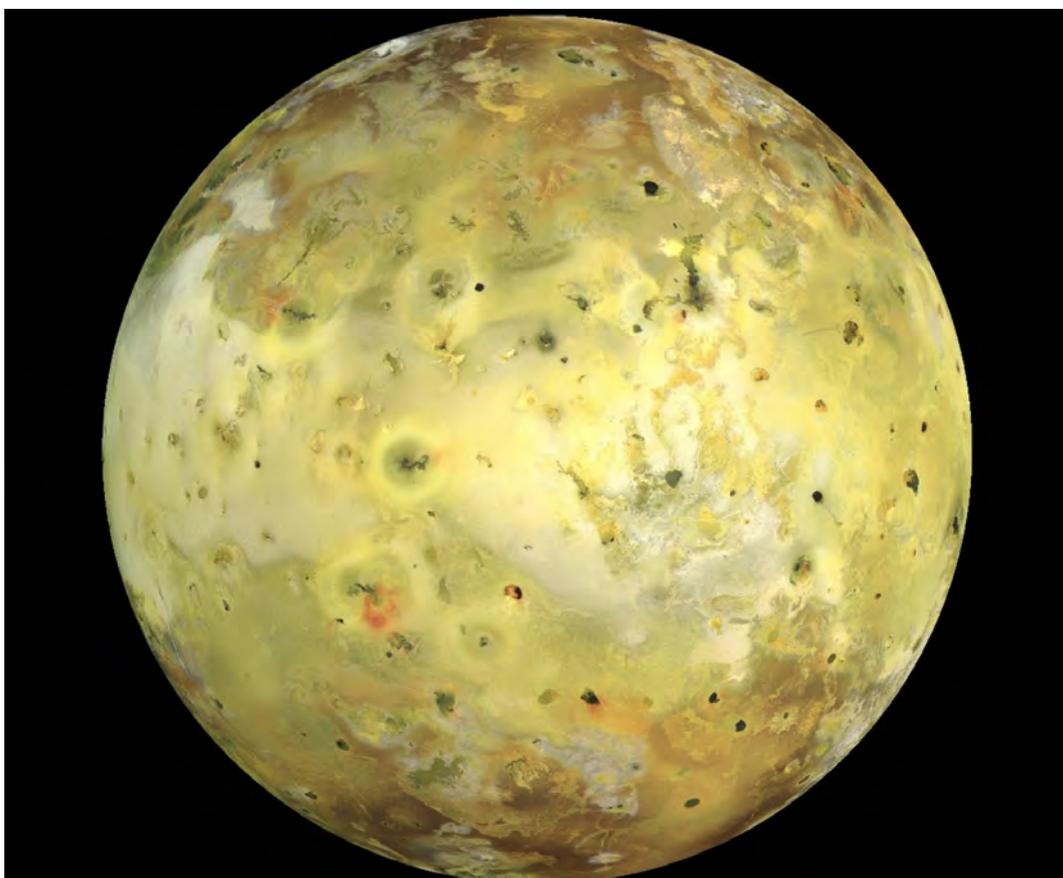


Figura 33: Io é geologicamente muito ativa. Observe os vulcões pontilhando a superfície.

## ERUPÇÕES ESPECIAS: OS LAHARES

Quando quantidades enormes de água interagem com uma erupção vulcânica, temos o cenário ideal para a formação dos **lahares**. São fluxos muito densos de lama vulcânica compostos por material piroclástico e água que arrastam e soterram tudo por onde passam. Os lahares podem carregar rochedos do tamanho de caminhões ou casas e podem soterrar vales e vilarejos por

completo. Eles assemelham-se a uma massa de concreto espessa, que apenas uma betoneira consegue mexer. A palavra lahar provém do idioma javanês e é usada para descrever esse tipo de fluxo de lava vulcânica. Não existe uma tradução para o português.

A erupção do vulcão Nevado del Ruiz, na Colômbia, foi a mais mortal do século XX. Em novembro de 1985, a cidade de Armero, situada a cerca de 45 km do vulcão, foi soterrada por metros de lama vulcânica. Sem aviso prévio e de noite, a população foi tomada de surpresa, o que tornou este desastre ainda mais mortal, ceifando mais de 25.000 vidas. Quando a erupção começou, os fluxos piroclásticos derreteram rapidamente a neve sobre o topo do vulcão. A água gerada pelo derretimento desceu encosta abaixo empurrando grandes quantidades de cinzas e solo, criando lahares que foram ganhando velocidade conforme afundavam nas ravinas e vales muito estreitos. A cidade Armero foi a mais atingida porque ficava exatamente na saída de um dos vales para a planície. As fotografias feitas após a tragédia de Armero são extremamente tristes e comoventes. A cidade de Armero foi apagada do mapa naquela noite.

Em abril de 2008, o vulcão Chaitén, no sul do Chile, acordava de um silencioso sono de 10.000 anos (Figura 34), colocando em alerta a população dos vilarejos remotos (Figura 35).



Figura 34: Coluna eruptiva do vulcão Chaitén, em 2008. Compare o tamanho da coluna com as montanhas ao fundo. Fonte: <http://volcanoes.usgs.gov/vdap/activities/responses/chaiten.php>.



Figura 35: A população dos vilarejos começa a ser rapidamente evacuada. Observe a paisagem coberta pelas cinzas e as pessoas usando máscaras para evitar a inalação dos minúsculos e cortantes cacos de vidro vulcânico. Foto: Governo do Chile. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40168659>

A primeira coluna eruptiva pulverizou o antigo domo de obsidiana que selava o cume do vulcão Chaitén e levou aos ares toda a floresta que crescia sobre ele, rasgando os céus por 25 km. Uma onda de choque supersônica varreu as encostas da montanha, cortando ao meio árvores como se fossem gravetos. Árvores tombadas, cortadas, quebradas e carbonizadas podiam ser vistas muitos anos depois da erupção nas vertentes do vulcão (Figura 36).



Figura 36: Devastação causada pelos fluxos piroclásticos e lahares. Foto: MLL Besser (2013).

A ascensão das cinzas e vapores vulcânicos na coluna eruptiva causou a sucção do ar úmido circundante que era conduzido para cima e, ao se resfriar, condensava-se provocando chuvas torrenciais. Esse fenômeno desencadeou um conjunto de lahares. Iniciaram-se nos depósitos de cinzas encharcados das altas encostas do vulcão e desceram pelas vertentes. Ao chegarem à cidade, arrastaram construções, arrancaram pontes, mudaram o curso de rios e soterraram boa parte das casas e da orla, avançando mar adentro em alguns quilômetros (Figura 37). A população foi totalmente evacuada a tempo e não houve mortes.



Figura 37: Destruição no vilarejo de Chaitén causada por um lahar. Foto: Javier Rubilar.  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4290827>

## ERUPÇÕES ESPECIAS: VULCÕES SUBGLACIAIS

**Geleira** é uma massa de gelo permanente (não desaparece no verão), formada pela compactação da neve ao longo dos anos e séculos. Quando um vulcão nasce por baixo de uma geleira, confinado por centenas de metros de gelo, temos uma **erupção subglacial**. Inicia-se então uma luta violenta entre duas poderosas forças da natureza. Quem vencerá? Sempre o vulcão sairá campeão, mas a geleira fará um enorme estrago no vulcão e na paisagem em volta. O primeiro episódio da batalha é um enorme dilúvio causado pelo derretimento repentino do gelo pelo calor da lava.

O calor da lava expelida, cuja temperatura pode chegar a 1.200°C, é capaz de perfurar a geleira, derretendo quantidades impressionantes de gelo rapidamente e criando lagos temporários

no interior ou sob a mesma. Com a subida do nível da água nos lagos, a pressão na base da geleira torna-se tão grande que a água pode levantar o gelo e escapar por baixo, ou, irromper através de uma fissura glacial. Neste momento, o desastre é iminente. A água liberada gera uma inundação repentina e descomunal que pode percorrer dezenas de quilômetros (Figura 38). Esse evento é chamado de Jökulhlaup, palavra em islandês que significa literalmente «**inundação glacial**» (*jökull* = geleira, *hlaup* = inundação).



Figura 38: Inundação catastrófica causada pela luta entre o gelo e o fogo dos vulcões. Observe a fúria da água liberada do interior da geleira, na Islândia. Foto: T. Jóhannesson.

A inundação que se seguiu da erupção subglacial do vulcão Gjalp, na Islândia, atingiu uma vazão de 45.000 m<sup>3</sup>/s, 25 vezes o volume de água que despenca nas Cataratas do Iguaçu por segundo (Figura 39). Em 1755, uma inundação glacial causada pela erupção do vulcão Katla, também na Islândia, chegou a uma vazão de 400.000 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a duas vezes o volume de água que chega ao mar através do rio Amazonas a cada segundo.



Figura 39: Erupção subglacial do vulcão Gjalp, na Islândia em 1996. Foto: O. Sigurdsson.

Conforme o vulcão sob a geleira derrete o gelo, começa a se formar um bolsão de água líquida ao redor de sua cratera (Figura 40). Quando a lava quente encontra a água do degelo, resfria muito rápido e instantaneamente se solidifica, formando uma capa de vidro vulcânico. A capa de vidro é muito frágil e quebra-se tão logo formada, criando milhares de pequenos «cacos de vidro» que escorregam para dentro do lago subglacial.

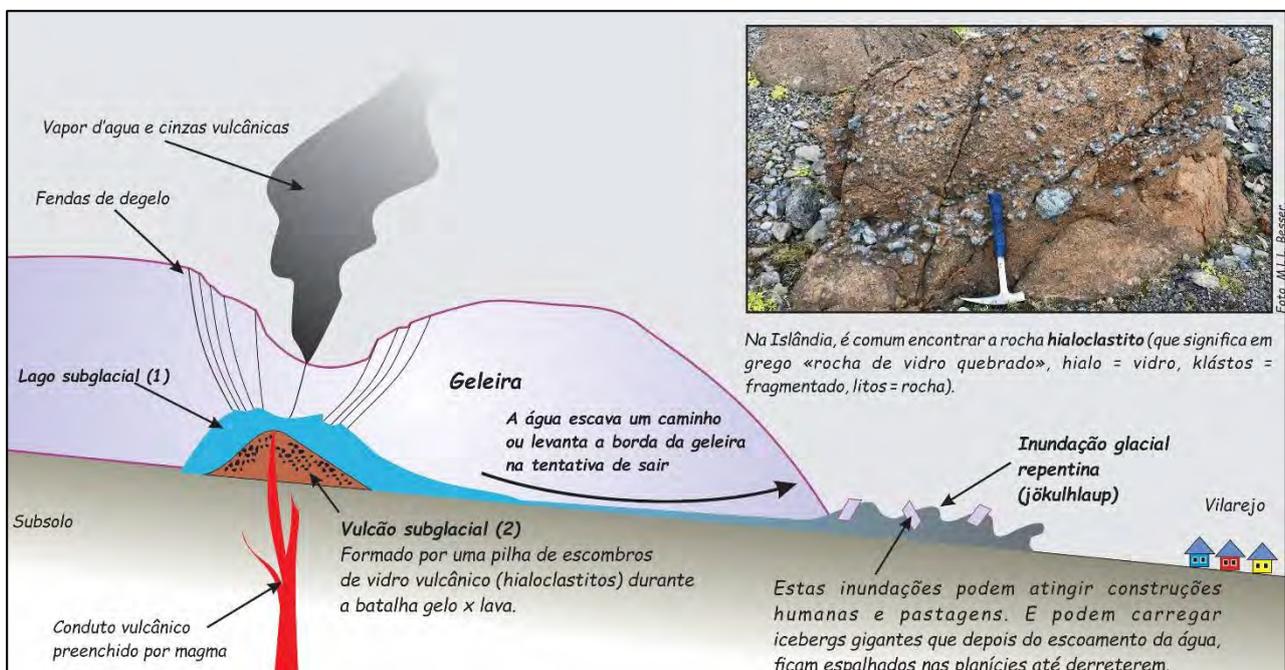


Figura 40: Modelo de erupção subglacial, típica de regiões vulcânicas glaciais. Fonte: MLL Besser.

A rocha vulcânica formada durante a batalha gelo x lava é chamada pelos geólogos de **hialoclastito**. Essa palavra significa, literalmente, “rocha de vidro quebrado”. Imagine qual seria a

forma de um vulcão formado por camadas de escombros que cresceu dentro de uma geleira. Primeiro, o vulcão só será visível depois que a massa de gelo que o envolve derreter por completo. Mas isso não acontece rápido, pode levar séculos ou milênios para uma geleira derreter por inteiro.

Por isso, os geólogos observam os vulcões um pouco mais antigos que já foram libertados da “prisão de gelo” pelo derretimento de geleiras que hoje não existem mais. Esses vulcões são chamados de **tuya** e tem forma de mesa, com laterais íngremes, indicando que estavam aprisionados pela geleira, e topos planos, uma pista de que cresceram tanto que até ultrapassaram a altura da geleira (Figura 41).

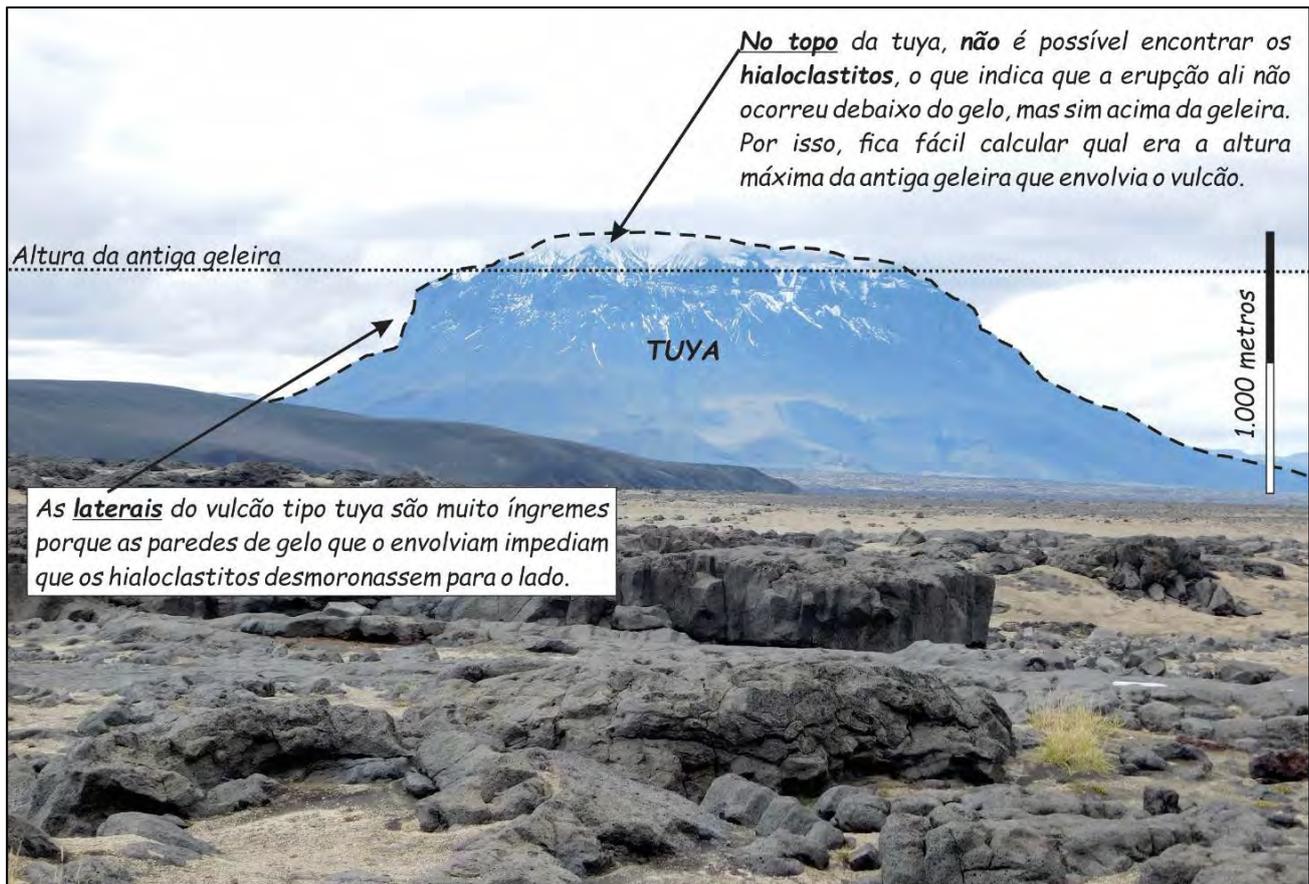


Figura 41: Vulcão tuya de Herðubreið, na Islândia. Foto M.L.L. Besser.

Na Islândia, é possível ver muitas tuyas, que se formaram durante a última Idade do Gelo. Quando as erupções subglaciais acontecem através de longas fissuras, o temos um alinhamento de vários vulcões, conectados um ao outro, os **tindar** (Figura 42).

O estudo dos vulcões subglaciais é importante, pois por meio deles é possível estimar qual era a altura e o tamanho das geleiras que os envolviam e, assim, saber qual foi a extensão máxima do gelo durante os períodos mais frios do passado remoto (Figura 43). Essas informações permitem que os cientistas comparem a velocidade do derretimento de geleiras antigas com as geleiras atuais e concluam o quanto a mudança climática está intensificando a perda dos ambientes glaciais na Terra.



Figura 42: Vulcões subglaciais extintos do tipo tindar, na Islândia. Foto: MLL Besser.

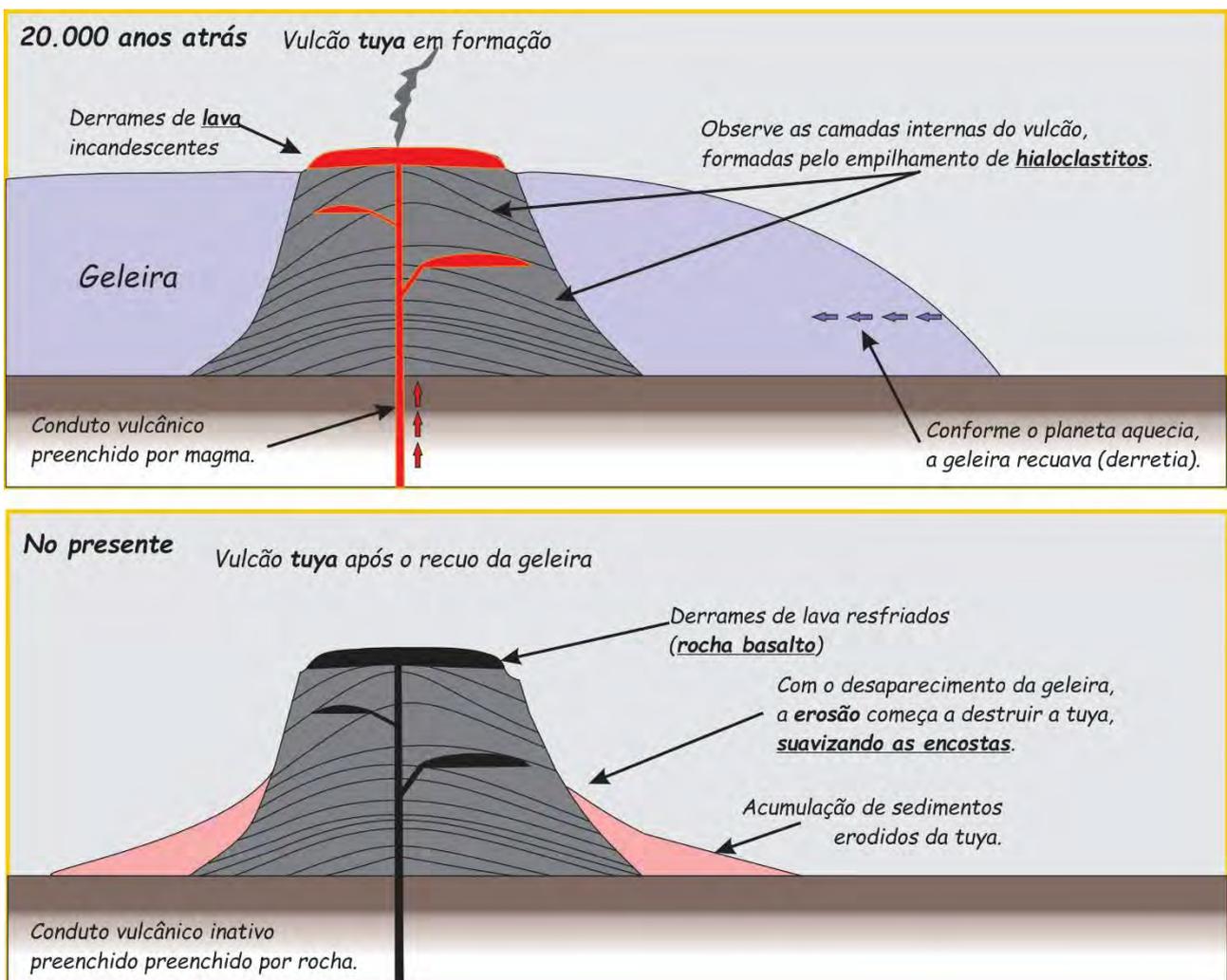


Figura 43: Após o recuo da geleira, o vulcão passa a ser totalmente exposto à ação erosiva da água e começa a desmoronar. Fonte: MLL Besser.