

O Brasil tem extensas áreas com dunas de areia, tanto em regiões costeiras (no Maranhão, por exemplo) quanto em planícies de aluvião (destacando-se as do vale do rio São Francisco, como entre as cidades baianas de Barra e Pilão Arcado). Há ainda, no Nordeste, vasta área de clima semi-árido. Mas em nenhum ponto do país existe uma região realmente desértica. No passado, porém, grande parte do território brasileiro era ocupada por imenso deserto, depois recoberto por um dos maiores processos de vulcanismo ocorridos no planeta nos últimos 500 milhões de anos. Este artigo conta como era esse deserto e o que causou seu desaparecimento.



**Fernando Flávio Marques de Almeida**

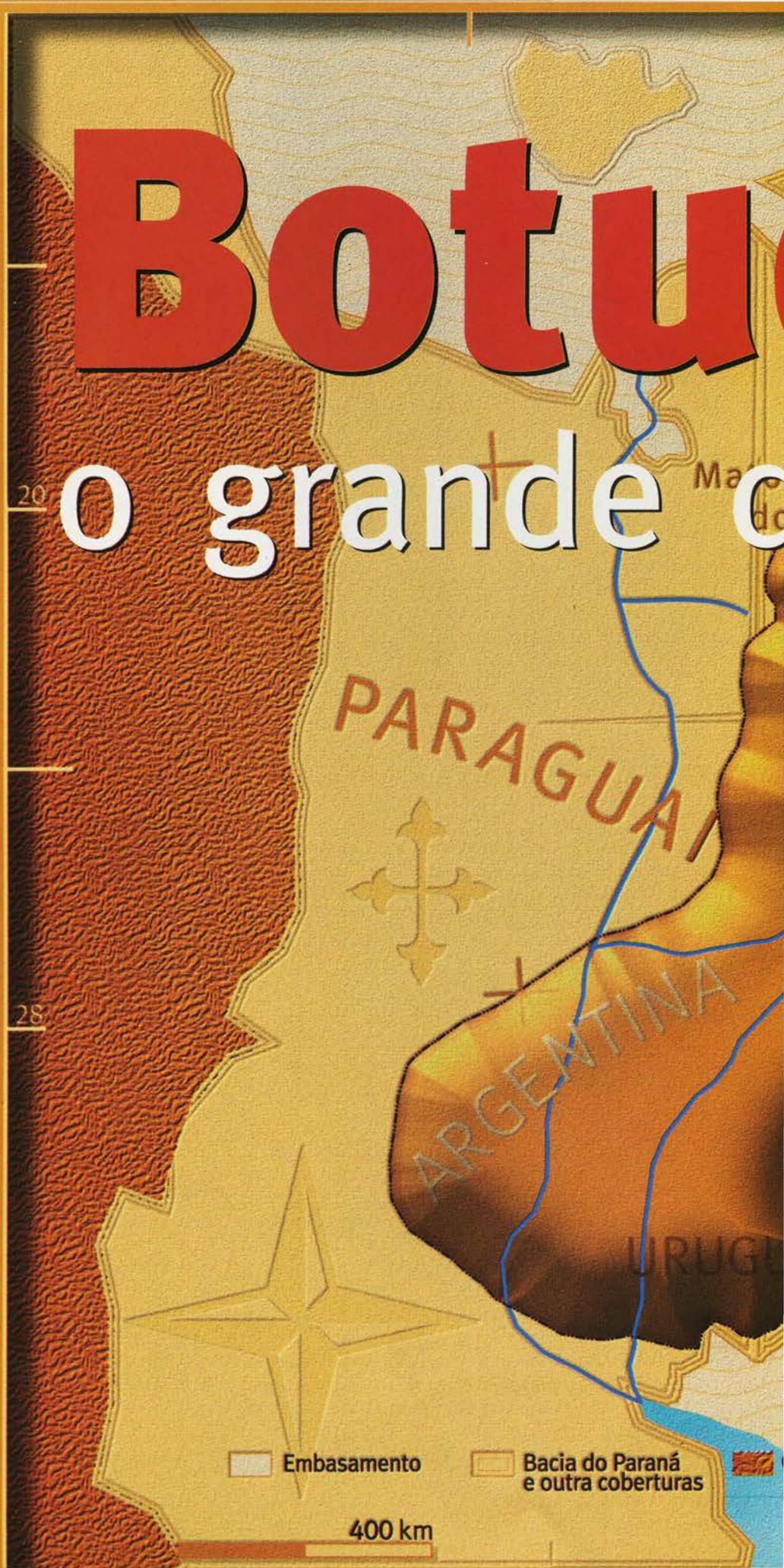
Escola Politécnica,  
Universidade de São Paulo  
(professor aposentado)

**Celso Dal Ré Carneiro**

Departamento de Geociências  
Aplicadas ao Ensino,  
Universidade Estadual  
de Campinas

# Botu

## o grande c



# catu eserto brasileiro



As atuais regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul estão, em grande parte, contidas em uma extensa região geológica denominada bacia do Paraná. Há cerca de 150 milhões de anos toda essa área tinha relevo mais ou menos plano e provavelmente era cercada por áreas mais elevadas. Além da parte brasileira, a bacia incluía áreas no noroeste do Uruguai, no leste do Paraguai e no nordeste da Argentina, onde tinha continuação na chamada bacia Chaco-Paraná.

Ventos e cursos d'água, em especial os primeiros, acumularam enorme volume de areia nessa área, no intervalo entre 150 e 130 milhões de anos atrás, formando extenso deserto (figura 1). Pesquisas geológicas identificaram os limites dos processos de erosão que produziram toda essa areia, ainda exposta nas vertentes das serras situadas em torno da antiga bacia. Isso permitiu estimar o tamanho do deserto. Os limites envolvem uma área de cerca de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, que aumenta para 1,5 milhão de km<sup>2</sup> (tamanho equivalente ao do maior estado brasileiro, o Amazonas), somando-se outros depósitos arenosos do mesmo tipo em Mato Grosso e Rondônia.

Os sedimentos componentes do deserto são chamados de formação Botucatu no Brasil, mas têm outros nomes no Uruguai (Taquarembó) e no Paraguai (Misiones). Na Argentina, são conhecidos como Misiones (na província de mesmo nome) e como membro Solari da formação Curuzú Cuatiá (na bacia Chaco-Paraná).

O areal foi coberto por derrames de lavas, a partir de um dos mais extensos processos de vulcanismo de fissura do mundo (ver 'Vulcões no Brasil', em *Ciência Hoje* nº 62), que produziu rochas basálticas conhecidas hoje como formação Serra Geral. Nesse



**Figura 2.** Estratificação cruzada em paredão de arenito da formação Botucatu, formado pela erosão marinha na praia de Torres (RS), mostrada pelas diferentes posições das camadas de sedimentos

tipo de vulcanismo, a lava derrama-se a partir de rachaduras no solo, sem a presença de vulcões típicos, em forma de cone. Parte desse enorme derramamento ocorreu ainda durante a deposição da areia do antigo deserto. Isso é confirmado pela existência, na região, de camadas arenosas entre diferentes derrames de lavas basálticas.

As camadas arenosas, porém, não definem claramente a área total coberta de areia no antigo deserto. No oeste de Minas Gerais e no sul de Goiás, por exemplo, as lavas derramaram-se sobre rochas cristalinas pré-cambrianas (com mais de 570 milhões de anos) ou paleozóicas (entre 570 e 250 milhões de anos). Não se sabe se ali não houve deposição de areia ou se a erosão a carregou para outras áreas.

## A origem do areal

A formação Botucatu situa-se sobre rochas triássicas (entre 250 e 205 milhões de anos) ou pré-cambrianas. A espessura das camadas arenosas alcança até 300 m, mas em alguns locais é de menos de 20 m e em outros não há vestígios de areia.

Os arenitos (rochas formadas pela cimentação da areia) encontrados na região são tipicamente de origem eólica: a areia original tinha granulação em geral fina ou média e depositou-se em lâminas inclinadas, que se acumularam de modo específico (chamado pelos geólogos de estratificação cruzada) (figura 2). A grande quantidade de areia produziu conjuntos de dunas médias e grandes, presentes na formação brasileira antes e durante os primeiros derrames de lava.

**Figura 3.** Ventifactos da formação Botucatu, encontrados na serra da Rifaina (SP)

Os arenitos da formação Botucatu são compostos, em mais de 95%, de grãos de quartzo médios ou finos, quase não existindo silte ou argila (materiais com granulação ainda menor), e podem conter pequena fração de outras rochas (quartzito e feldspato) e resíduos de minerais de maior densidade. Com frequência os grãos estão envoltos por óxido férrico, que torna a rocha mais coesa e lhe dá coloração avermelhada ou amarelada. Sua consistência varia: às vezes são tão duros que permitem a retirada de lajotas para pisos ou revestimento para construção civil. Algumas das lajotas exibem detalhes curiosos: pegadas de animais, pequenos orifícios (talvez causados por pin-

gos de chuva) e ondulações superficiais desenhadas pelo vento.

Em vários níveis da formação Botucatu, mesmo entre as lavas mais altas (como nas cachoeiras do rio Paraná), há camadas de sedimentos trazidos por correntes de água, com espessura de até poucos metros. Tais camadas também são típicas: têm grãos menores (argilas, siltes e areias finas) depositados pelas águas também de modo específico (estratificação plano-paralela). A pouca extensão desses depósitos mostra que decorrem de pequenos representamentos.

Em certos locais há depósitos com pedregulho em diferentes tamanhos, às vezes formando pedrinhas de arestas desgastadas pelo atrito (seixos). Esse material, mais freqüente junto às rochas da base da formação Botucatu ou pouco acima, indica em alguns casos a ocorrência de torrentes periódicas. Há ainda seixos com marcas de erosão eólica (chamados de ventifactos), comuns nas planícies desérticas (figura 3).

Uma amostra bem expressiva da formação Botucatu está na região de Franca, no extremo nordeste do estado de São Paulo, na rodovia que desce a serra de Rifaina em direção à cidade do mesmo nome, próxima à divisa com Minas Gerais. Ali, a formação situa-se diretamente sobre o embasamento da antiga bacia sedimentar.

Junto às rochas da base existe uma camada (de pouco mais de um palmo) de arenito grosso, com seixos bem rolados de quartzo e quartzito, incluindo ventifactos de até 25 cm de diâmetro. Alguns seixos ainda têm o chamado verniz do deserto, uma cobertura de óxidos férricos que os torna escuros. Logo acima há 70 cm de lutito vermelho (rocha

composta de silte) e arenito subsidiário, recobertos por uma camada de arenito argiloso esbranquiçado (1,55 m de espessura) típico de depósito fluvial. A seguir está a camada principal de arenito eólico (cerca de 60 m), situada sob um derrame basáltico. Este e outros dois derrames sustentam a serra de Rifaina, e entre os dois mais altos há outra camada de arenito eólico. A camada intercalada contém sedimentos de origem aquosa (cerca de 2 m), nos quais existem impressões de antigos conchostreços.

Os fósseis conhecidos da formação Botucatu não permitem datar com precisão o início da sedimentação, estimado em 150 milhões de anos ou pouco mais (figura 4) com base em outras informações geológicas. No Rio Grande do Sul, por exemplo, fósseis encontrados na formação Rosário do Sul (perto de Santa Maria) foram datados em cerca de 210 milhões de anos, fixando um limite máximo de idade para a formação Botucatu, situada pouco acima. Sabe-se ainda, pela datação das lavas que mostram camadas de arenito intercaladas, que a sedimentação ainda acontecia na época do vulcanismo basáltico, há cerca de 133 milhões de anos.

Na opinião unânime dos que a estudam, em campo e no laboratório, a formação Botucatu é um depósito desértico, por causa do modo de sedimentação, dos tipos de rochas, da presença de ventifactos e da vasta área, conservando suas características mesmo quando intercalada nos derrames de lavas. Além disso, não contém qualquer indício de estruturas ou organismos marinhos, e não parece aceitável que depósitos tão uniformes pudessem cobrir área tão grande em um ambiente fluvial.

## Dunas e clima árido

A origem e as transformações das rochas da formação Botucatu, e de formações próximas e muito semelhantes, confirmam que os depósitos ocorreram em ambiente de deserto climático, de interior continental, com grande extensão de dunas. Fora da área das bacias a superfície do deserto seria sobretudo de natureza rochosa.

Os desertos climáticos surgem quando climas quentes e temperados tornam-se cada vez mais áridos, por diversas causas. Uma delas é o afastamento do

litoral, pois o ar oceânico não leva umidade para o interior de um grande continente: ao atravessar grandes extensões territoriais esse ar sofre aquecimento e eleva-se, carregando com ele a umidade e ressecando o solo. Os depósitos da formação Botucatu ocorreram em bacias situadas, na época, no centro-sudoeste do continente Gondwana, longe dos oceanos, antes que a África se separasse da América do Sul.

É provável que o antigo deserto fosse bem maior que a imensa área de dunas preservada nas bacias do Paraná e do Chaco-Paraná. Na península Arábica, a proporção da área coberta de dunas é maior que em qualquer outro deserto moderno. Mesmo assim, só ocupa um terço da região desértica. No Saara, as dunas cobrem apenas um quinto da área total, de 8 milhões de km<sup>2</sup>. Tais exemplos indicam que o deserto Botucatu, só na América do Sul, poderia atingir vários milhões de quilômetros quadrados.

Como o deserto formou-se no interior do megacontinente Gondwana, antes da separação da América do Sul, seria de se esperar sua continuação na África. É o que parece acontecer no sudoeste africano. Na atual Namíbia há derrames basálticos (formação Etendeka) idênticos e da mesma idade que os do Brasil (formação Serra Geral). Sob os derrames africanos existem depósitos arenosos (formação Clarens) também de origem eólica e notavelmente semelhantes aos da formação Botucatu, que podem ser vistos como extensões do mesmo deserto.

A grande aridez do deserto Botucatu é confirmada por dois fatos. O primeiro é a escassez, na época, de depósitos de água, embora existissem alguns, como acontece no Saara e em outros desertos atuais. O segundo é a ausência, sobre os derrames de lavas ou na base de camadas arenosas intercaladas em derrames, de qualquer indício de decomposição química das rochas, o que indicaria a presença de clima úmido.

As duas bacias onde a areia se depositou, na formação Botucatu, não passaram pelos processos geológicos que geram montanhas ou cadeias montanhosas, e sim por outro tipo de movimento tectônico, um moderado 'afundamento'. Em geral, a área de contato entre os arenitos e sedimentos anteriores

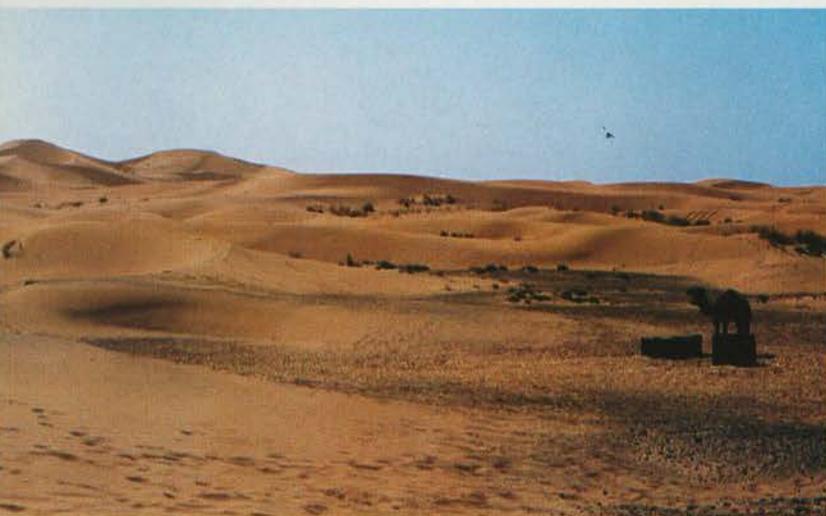


**Figura 4.** Escala simplificada de tempo geológico, em milhões (m.) ou bilhões (b.) de anos, com as épocas prováveis de formação do deserto Botucatu e de erupção das lavas da formação Serra Geral



**Figura 5.** Superfície coberta de seixos arredondados – *reg* – no assoalho rochoso do deserto do Saara marroquino

**Figura 6.** Dunas com vegetação no grande *erg* Chebi, no Saara ocidental, na região de Merzouga, perto de Rissani (Marrocos)



não mostra irregularidades que indiquem deposição em relevos acidentados, o que é reforçado pela continuidade dos depósitos de areia. Nesse sentido, o deserto Botucatu era diferente dos grandes desertos modernos, dominados por relevos montanhosos, como os *djebels* do Saara. Não se sabe como era o relevo em torno da área coberta pelas dunas, pois ele foi destruído em ciclos erosivos posteriores.

Quando os derrames de lava da formação Serra Geral começaram, os depósitos de areia já eram espessos. O vulcanismo foi acompanhado pela movimentação de grandes fraturas do terreno (falhas) e por deformações que facilitaram o escoamento da lava superaquecida. Tais fenômenos mudaram a paisagem do deserto, tornando o relevo acidentado, com elevações antes raras.

## Água: recurso raro

O Botucatu, assim como os desertos modernos, não era totalmente desprovido de água. Rios vindos de regiões úmidas distantes podem entrar em desertos, como os *oueds* do Saara argelino – o Saoura, por exemplo, avança 600 km na área desértica. Intermitentes e com frequência torrenciais, os *oueds* arrastam para o deserto muitos detritos rochosos, e sua água perde-se por evaporação ou infiltração no solo. Alguns nascem em montanhas ou planaltos dentro do deserto, a partir da água das chuvas contida no solo e liberada em fontes.

No Saara existem depósitos naturais de água (*gueltas*) no leito dos *oueds* ou em pequenos cursos surgidos em depressões entre dunas, onde o lençol freático aflora. Um deserto de longa duração passa por períodos de maior ou menor aridez, o que é comprovado, no Saara, por indícios e restos de animais e plantas achados nas dunas, e até por gravuras de grandes mamíferos deixadas ali por antigos grupos humanos.

Em vários lugares da formação Botucatu há sedimentos típicos de *oueds*, às vezes torrenciais, sobretudo na base das dunas (anteriores a elas, portanto). Também existem sedimentos típicos de lagos, a diferentes alturas dos depósitos arenosos e até entre os derrames vulcânicos. As lavas da formação Serra Geral, porosas, permitiam a penetração da água das chuvas, que depois alimentavam *oueds* e *gueltas*.

Dois agentes de erosão atuam nos desertos quentes: água e vento. A ação de ambos não pode ser avaliada devidamente no deserto Botucatu, por ter sido ocultada pelas sucessivas camadas de arenito e pelas lavas. Mas sedimentos bem típicos de *oueds* encontrados na base desse deserto e os indícios de dunas associadas a tais sedimentos confirmam que o ambiente já era desértico desde o início.

O vento, agindo sobre os sedimentos trazidos pelos rios para uma planície, retira areias finas, siltes e poeiras, deixando a areia grossa e o cascalho. As areias finas formam as dunas, enquanto siltes e poeiras sobem a maior altura, sendo depositados em regiões úmidas distantes, onde formam solos argilosos chamados de *loess*.

A erosão, o transporte e a deposição pelo vento criam, no Saara argelino, três tipos de superfície. O *hamada* é o assoalho com fragmentos de rochas e sem areia e materiais mais finos. Os *regs* (figura 5) são superfícies cobertas por pedregulhos, que surgem da fragmentação de rochas (*regs* de fragmentação) ou da erosão pelo vento de sedimentos trazidos por rios ou torrentes (*regs* aluviais). No primeiro caso, as pedras são quebradas pelas grandes variações de temperatura entre o dia e a noite ou pela

ação combinada das raras chuvas (caindo sobre pedras aquecidas pelo Sol). No segundo, o vento retira materiais finos e deixa na superfície os pedregulhos. Já os *ergs* são os extensos 'mares' de dunas (figura 6).

No deserto Botucatu não foram encontrados *hamadas* ou *regs* de fragmentação, mas em certos depósitos mistos em São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul há *regs* aluviais com ventifactos. O antigo deserto apresentava sobretudo *ergs* e pequenos conjuntos de dunas intercalados entre lavas mais antigas.

Levados pelo vento, os grãos de areia rolam no chão e chocam-se com outros grãos e rochas. O contínuo desgaste os deixa arredondados e com a superfície fosca. O processo é mais intenso do que na areia arrastada em rios ou no mar, pois nesses casos a distância e velocidade do transporte são menores e a água atenua o atrito. As características da areia do deserto Botucatu – alta esfericidade, acentuado rolamento, superfície fosca e grãos uniformes – comprovam o transporte e a erosão eólica.

As dunas surgem onde uma irregularidade na superfície, uma pedra, um tufo de vegetação ou mesmo um turbilhão do vento provocam deposição de areia. O acúmulo, uma vez iniciado, 'prende' mais areia. Na face da duna em que o vento bate, menos inclinada que a outra, os grãos de areia são deslocados pelo vento (figura 7) até a crista, de onde são lançados na face oposta. Assim, a areia levada de uma das faces deposita-se na outra, levando a duna a 'mover-se' aos poucos na direção do vento.

Esse processo de acúmulo (estratificação cruzada) superpõe as lâminas de areia em camadas que podem exceder 100 m de extensão e têm direção coincidente com a do movimento da duna. Quando muda o vento, e portanto o deslocamento da duna, as camadas passam a ter inclinação diferente. Tal tipo de estratificação é a característica principal do antigo deserto brasileiro, onde o vento, segundo estudos sobre a direção das lâminas de areia, soprava de norte a nordeste (em São Paulo e Minas Gerais) e de sudoeste a oeste-sudoeste (em Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Uruguai).

A origem da imensa quantidade de areia da formação Botucatu é uma questão ainda não totalmente esclarecida, o que também acontece com a maioria dos grandes 'mares' de dunas do mundo.

Os depósitos fluviais, na base da formação, revelam que parte da areia chegou às duas bacias transportada por rios periódicos torrenciais, sobretudo no início do processo. Mas não se deve esquecer que essa formação, e as correlatas, repousam sobre

rochas formadas em grande parte por sedimentos arenosos ainda mais antigos. A maior parte das areias do deserto brasileiro deve ter surgido da erosão dessas rochas. Uma prova dessa 'reciclagem' está nos resíduos de minerais pesados, já que prevalecem os mais estáveis: zircão, rutilo e turmalina. Grãos de turmalina encontrados em São Paulo, por exemplo, foram rolados, depois cresceram nas camadas de rochas e em seguida foram de novo rolados por ventos.

A aparente ausência de evaporitos, ou seja, rochas formadas por resíduos da evaporação de águas carregadas de substâncias químicas (depósitos de sal-gema, por exemplo), também precisa ser mais bem estudada. Eles não existem tanto no deserto Botucatu quanto no equivalente sul-africano, a formação Clarens, mas são frequentes nos grandes desertos quentes modernos. A formação Botucatu apresenta evidências de ter se originado da reciclagem de rochas grandemente arenosas, o que pode explicar por que não houve a salinização das águas do deserto.

Figura 7. Ação do vento no transporte dos grãos de areia e na formação de uma duna típica

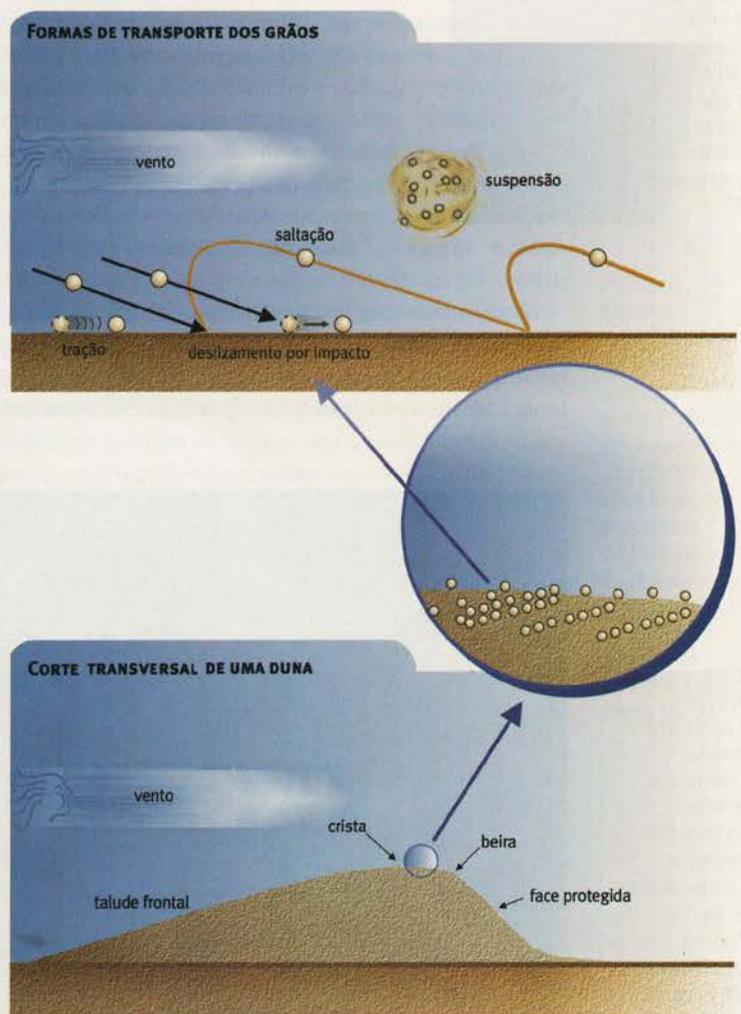


Figura 8. Ao lado pistas delicadas podem ser encontradas na superfície da areia, como estas, de invertebrados, no Saara argelino, a leste do oásis de Béni Abbes



FOTO F.F.M. DE AMÉDIA

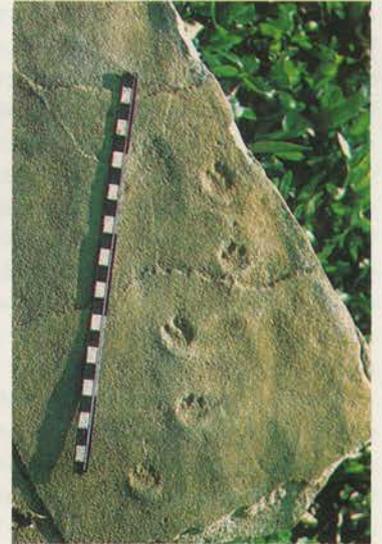


FOTO G.L. LEONARDI

Figura 9. Acima à direita, pista de vertebrado em duna do deserto Botucatu (escalas de centímetros), em placas de arenito encontradas em Araraquara (SP)

### Vida entre as dunas

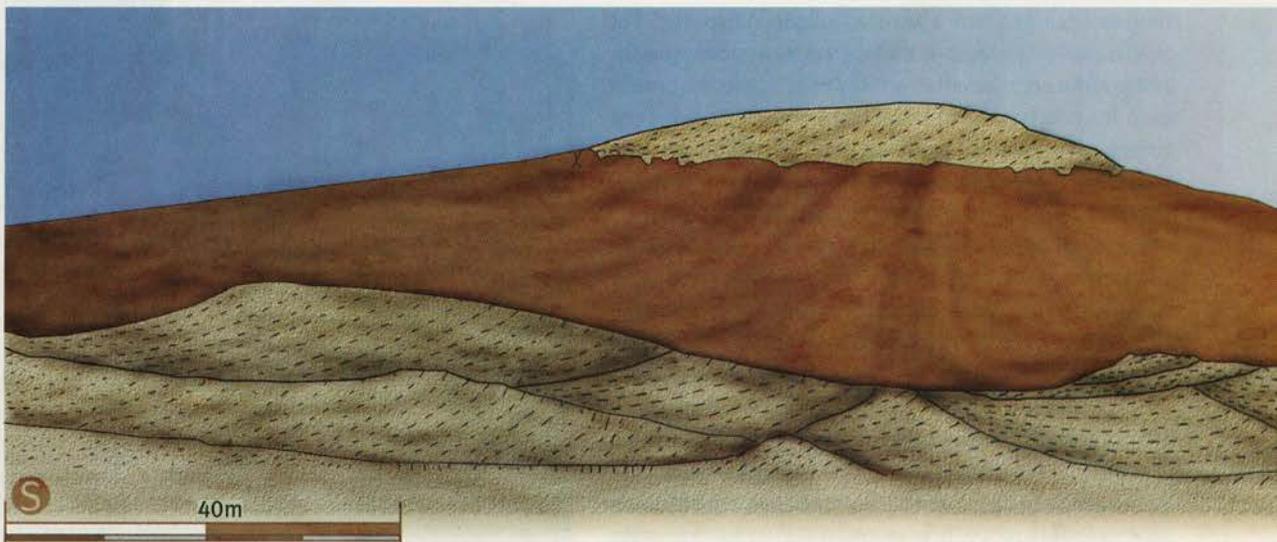
Em todos os desertos quentes atuais existe vida animal e vegetal, adaptada às grandes variações de temperatura (até cerca de 50°C em 24 horas, no Saara), à escassez de alimentos e às chuvas raras e às vezes torrenciais. Sementes germinam e ovos amadurecem durante o período de chuvas. Insetos, aracnídeos e outros invertebrados, assim como vertebrados pequenos e médios, enterram-se na areia ou buscam abrigo em cavidades nos rochedos, e saem ao anoitecer e ao amanhecer em busca de água e alimento, deixando impressas pegadas e pistas (figura 8).

Tipos diversos de gramíneas e outros vegetais podem ser vistos nos vales dos *oueds* e à borda das *gueltas*, ou ainda no sopé de certas dunas onde o lençol freático está perto da superfície. Sobrevivem

mesmo a estiagens prolongadas, pois têm raízes profundas, que se estendem por grandes áreas. Em certas áreas do Saara há répteis, pequenos mamíferos e até peixes capazes de sobreviver vários dias sem água. Assim, não é estranho que existam impressões de animais em materiais que um dia fizeram parte do deserto Botucatu.

Em lajes de pavimentação usadas em algumas cidades paulistas e nas pedreiras de onde foram retiradas, destacando-se as da região de Araraquara, há pegadas de pequenos vertebrados (figura 9). Estudos de 1980 mostraram que pertencem a pelo menos 24 animais, dos quais oito seriam dinossauroídeos, sete teromorfos e nove talvez fossem mamíferoídeos. Também há rastros de invertebrados e restos de crustáceos. No Uruguai, próximo a Taquarembó, foram encontrados fósseis de dois peixes e moluscos gastrópodes, em áreas onde existiu água.

Figura 10. Esquema de corte em ferrovia na serra de Botucatu, mostrando a estrutura de duas dunas (na parte inferior), não alteradas pela lava que as cobriu



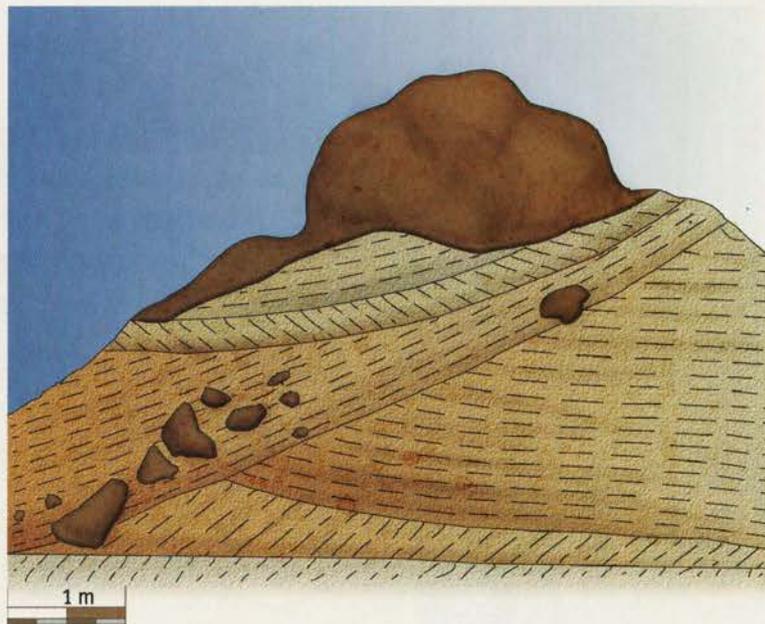
## Lavas cobrem a areia

As bacias do Paraná e Chaco-Paraná já estavam cobertas por dunas e alguns sedimentos de erosão pela água quando ocorreu o fenômeno vulcânico que 'inundou' o grande deserto – prenúncio das fraturas que dividiram o megacontinente Gondwana, separando a América do Sul da África. No intervalo entre 133 e 120 milhões de anos atrás, milhares de fendas abriram-se na crosta terrestre, nas duas bacias e em suas proximidades, e através delas derramaram-se lavas em geral basálticas. Algumas das fendas encheram-se de lava, formando diques rochosos hoje expostos, às vezes com profundidade desconhecida.

O grande deserto foi coberto não por vulcanismo explosivo, mas por vulcanismo de inundação: uma sucessão de lençóis de lava de diferentes espessuras. Ao sair das fendas, aquecidas a cerca de 1.200°C, as lavas, muito fluidas, espalhavam-se sobre as dunas preservando suas formas (figura 10). A maiores distâncias, já em parte endurecidas, as lavas alteravam a paisagem.

São muito raros na formação Serra Geral os depósitos ricos em sílica, comuns quando há vulcanismo explosivo – as lavas muito fluidas, como as dessa formação, são pobres em sílica. Apenas lavas mais novas, do sul do Brasil e do Uruguai, são de um tipo mais rico em sílica. No entanto, alguns blocos de lava e pequenos fragmentos desse material (chamados de *lapilli*) foram encontrados associados às antigas dunas, talvez lançados por explosões ocorridas no interior das lavas (figura 11).

Na parte central da bacia do Paraná, onde os derrames são mais espessos, a pilha vulcânica atinge 1,7 km de espessura. A área que ocupam hoje é de cerca de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, mas originalmente sua



**Figura 11.** Esquema de corte em ferrovia na serra de Botucatu, mostrando fragmentos de lava vesicular (abaixo, à esquerda) intercalados no arenito das dunas

extensão era bem maior, a julgar pela presença de diques nos entornos da bacia.

Acredita-se que os derrames vulcânicos não ocorreram ao mesmo tempo em toda a bacia e regiões próximas, mas com o tempo as lavas cobriram tanto as dunas quanto as áreas de fornecimento de areia. Por isso as intercalações de areia entre as lavas são raras na parte superior da pilha vulcânica, onde aparecem com maior frequência sedimentos trazidos pela água da chuva ao correr para pequenas bacias formadas entre os derrames. Essas camadas, com centímetros a poucos metros de espessura, compõem-se de areia, silte e argila, têm estratificação plano-paralela e podem incluir fragmentos de basalto, mostrando que a água corria sobre as lavas.

O paleodeserto Botucatu, portanto, deu lugar a uma paisagem rochosa, de planícies e planaltos de lavas. Escondidas em sua maior parte sob essa cobertura de basaltos, as camadas de arenitos, de alta porosidade e condutividade hidráulica, facilitam a acumulação de água. Isso permitiu a formação de uma das maiores reservas subterrâneas de água doce do planeta. Discutir o uso sustentável dessa água é de grande importância para vários países, em função da extensão do reservatório e de sua vulnerabilidade à poluição e à exploração descontrolada.

A formação Botucatu e outras vinculadas a ela constituem a principal parte do reservatório subterrâneo de água das bacias do Paraná e do Chaco-Paraná. Esse reservatório, um dos maiores do mundo, com cerca de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, foi batizado recentemente de aquífero Guarani. Essas águas estão situadas nos países que hoje compõem o bloco econômico do Mercosul, e seu aproveitamento exigirá acordos internacionais, além de mais estudos regionais e locais.

### Sugestões para leitura

- ALMEIDA, F.F.M. 'Botucatu, um deserto triássico da América do Sul', *Notas Preliminares e Estudos*, nº 86, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 1954.
- CARNEIRO, C.D.R. & ALMEIDA, F.F.M. 'O sertão já virou mar', *Ciência Hoje*, v. 21, nº 122, setembro de 1996.

