

# Guardiãs do tempo

Cavernas revelam como era o clima no hemisfério Sul há 100 mil anos

CARLOS FIORAVANTI

**I**vo Karmann entrou no curso de geologia da Universidade de São Paulo (USP), em 1977, para estudar em profundidade as cavernas que adorava explorar desde os tempos de garoto. Mas naquela época as cavernas ainda eram vistas apenas como uma alternativa para o turismo de aventura – e no Brasil pouco interessavam do ponto de vista geológico. Karmann insistiu, conquistou a atenção de uns raros professores que se dispuseram a orientar suas pesquisas, tornou-se ele também professor da USP, formou uma equipe e, quase 30 anos depois, provou que as cavernas abrigam uma formidável matéria-prima para a geologia, capaz de registrar as mudanças no clima e na vegetação ao longo de milhares de anos.

Após associar uma série de dados colhidos dentro e fora de uma caverna de Santa Catarina e outra de São Paulo, Karmann e seu grupo de alunos, quase todos caverneiros, como também são chamados, concluíram que ao longo dos últimos 116 mil anos houve uma intensa variação no regime de chuvas das regiões Sul e Sudeste do Brasil: os aguaceiros do passado ou, na situação inversa, a maior escassez de chuva se devem principalmente à maior ou menor intensidade da radiação solar – a insolação –, que varia de acordo com a inclinação do eixo de rotação da Terra, em ciclos de cerca de 23 mil anos. Dependendo da inclinação do eixo da Terra pode haver mais sombra no hemisfério Norte e maior cobertura solar no hemisfério Sul – ou o contrário.

Essas descobertas sobre o comportamento do clima no passado ajudam a refinar os modelos de simulação climática, que vão fornecer previsões mais confiáveis à medida que refletirem o passado com mais precisão. “A insolação de verão está aumentando nos últimos 4 mil anos na região Sul, fazendo com que os verões no litoral de Santa Catarina se tornem gradativamente mais chuvosos”, diz Francisco William da Cruz Jr., ex-aluno de mestrado e de doutorado de Karmann e primeiro autor de um estudo publicado em março na *Nature* com esses achados. “É uma tendência natural que deve se manter nos próximos mil anos, sem considerar as intervenções humanas sobre o clima.”

A maior insolação, como esse grupo da USP verificou, intensifica a circulação dos ventos úmidos que chegam do Atlântico, a leste, e alimentam a Floresta Amazônica. Chamados de alísios, esses ventos circulam na baixa atmosfera, próximos à superfície, se desviam para o sul ao entrarem na Amazônia e trazem a umidade para as regiões Sudeste e Sul do Brasil. Chegam também ao norte da Argentina e do

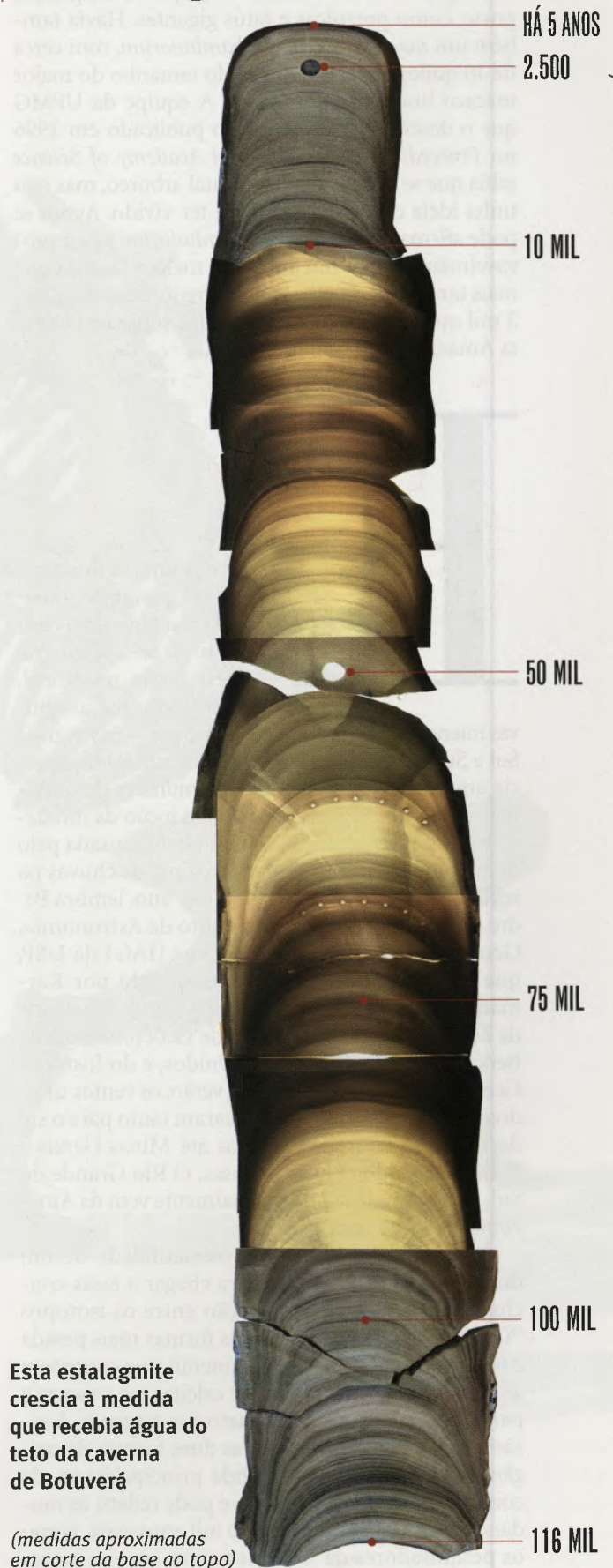
Paraguai, favorecendo a formação de nuvens e de chuva. Em tempos de menor insolação, os alísios se aquietam e a umidade que origina a chuva nas regiões Sul e Sudeste provém principalmente do Atlântico Sul.

**Floresta e sertão** - O deslocamento da umidade das proximidades do equador fez chover mais também no semi-árido nordestino. “No Nordeste as mudanças climáticas e ambientais foram radicais”, diz Augusto Auler, geólogo do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), co-autor de um artigo sobre o antigo clima do Nordeste, publicado em dezembro na revista *Nature*, e primeiro autor de outro, divulgado também no final do ano na *Journal of Quaternary Science*. Esses trabalhos mostram que a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), uma região da atmosfera carregada de umidade que se desloca no sentido norte-sul sobre o oceano, próximo ao equador, já esteve mais para o sul – mais próxima do Nordeste brasileiro – e trouxe a água que nutriu uma floresta tropical. Depois, quando a ZCIT se continha a norte, sem se aproximar tanto do continente, voltava a imperar uma paisagem semelhante à atual. Estudos de outros grupos já haviam levantado os resquícios de antigas matas úmidas no Nordeste, mas faltava mostrar exatamente em que épocas do passado o sertão havia virado floresta.

A última vez que houve por ali uma mata alta, verde e viçosa, tão vasta a ponto de provavelmente unir a Amazônia à Mata Atlântica, foi há cerca de 15 mil anos. Mas antes no interior do Nordeste já haviam reinado a seca e a vegetação esparsa, semelhante à atual. A floresta, alimentada pelos ventos úmidos, vicejou por breves períodos de poucos milhares de anos – há cerca de 39 mil, 48 mil e 60 mil anos, para citar apenas os intervalos mais próximos – que correspondem às fases de chuvas mais intensas e constantes. O período mais longo em que uma floresta semidecídua – que perde as folhas por alguns meses do ano – povoou a terra hoje seca do Nordeste durou quase 5 mil anos, de 68 mil a 63 mil atrás, de acordo com os estudos realizados por Auler em conjunto com pesquisadores das universidades de Minnesota, nos Estados Unidos, de Bristol, na Inglaterra, e de Taiwan, na China. No Brasil, contou com a colaboração da bióloga Patrícia Cristalli, da Universidade de Mogi das Cruzes e da USP.

Essa equipe percorreu o interior e os arredores de duas cavernas do interior da Bahia, a Toca da Barriguda e a Toca da Boa Vista, a maior do hemisfério Sul, com 108 quilômetros de extensão. Auler e sua equipe colheram e analisaram as estalagmites das cavernas, como o grupo da USP, mas foram além e estudaram também fósseis de folhas encontrados em depósitos de calcita – mineral composto de carbonato de cálcio – acumulados a céu aberto. Foi possível assim reconstituir, além das formações

## Gota a gota



vegetais de até 210 mil anos atrás, os animais que viviam por ali. Não faltavam exemplares de grande porte, como preguiças e tatus gigantes. Havia também um macaco, o *Caipora bambuiorum*, com cerca de 40 quilogramas e o dobro do tamanho do maior macaco brasileiro, o miqui. A equipe da UFMG que o descreveu em um artigo publicado em 1996 no *Proceedings of the National Academy of Science* sabia que se tratava de um animal arbóreo, mas não tinha idéia de quando poderia ter vivido. Agora se pode afirmar que o *Caipora bambuiorum* viveu provavelmente há 15 mil anos, em meio à floresta que mais tarde cederia espaço ao corredor seco de quase 3 mil quilômetros de extensão que separa a Floresta Amazônica da Mata Atlântica.

# E

m conjunto, os dois grupos de pesquisa conferem uma dimensão continental ao estudo de paleoclimas no Brasil, mostrando que as chuvas intensas que caíram – e ainda caem – nas regiões Sul e Sudeste podem originar-se da umidade da bacia amazônica, transportada por milhares de quilômetros. Também sugerem que a redução da umidade na Floresta Amazônica, atualmente causada pelo desmatamento, pode alterar o regime de chuvas na região Sul. Foi o que aconteceu este ano, lembra Pedro Leite da Silva Dias, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, que participou do trabalho conduzido por Karmann e Cruz, com pesquisadores da Universidade de Massachusetts e do Centro de Geocronologia de Berkeley, ambos dos Estados Unidos, e do Instituto Geológico, de São Paulo. Neste verão, os ventos úmidos da Amazônia não se deslocaram tanto para o sul do equador. Chegaram apenas até Minas Gerais e Bahia, causando chuvas intensas. O Rio Grande do Sul, sem a umidade que normalmente vem da Amazônia, padecia com a seca.

Evidenciou-se também a versatilidade de um dos métodos empregados para chegar a essas conclusões: a análise da proporção entre os isótopos  $^{18}\text{O}$  e  $^{16}\text{O}$ , que correspondem às formas mais pesada e mais leve do oxigênio, nos minerais que compõem as estalagmites – as colunas de calcita que crescem a partir do piso em direção ao teto das cavernas. A razão é que a proporção entre as duas formas de oxigênio nas estalagmites depende principalmente da composição da água de chuva e pode refletir as mudanças atmosféricas de até 500 mil anos atrás, como os pesquisadores da USP atestaram em um artigo

recém-aceito na *Chemical Geology*. A bióloga Marie-Pierre Ledru, especialista em pólenes da Universidade de Montpellier II, da França, usou as informações obtidas pela equipe da USP na caverna de Santana para completar as que ela própria conseguiu analisando pólenes, cujo método de datação pode chegar a no máximo 40 mil anos. Seu objetivo era datar e recompor a antiga vegetação de Colônia, uma depressão circular de quase 4 quilômetros de diâmetro no extremo sul da cidade de São Paulo, resultante possivelmente do impacto de um meteorito ou de um fragmento de cometa. Os resultados do estudo de Marie-Pierre em conjunto com a equipe da USP, publicados neste mês na revista *Quaternary Research*, indicam que os períodos de expansão de florestas nessa área que lembra a cratera de um vulcão coincidem aproximadamente com as variações na circulação atmosférica dos últimos 110 mil anos.

**Quando a teoria não é suficiente** - Mas houve muitas pedras no caminho dessas descobertas que conseguiram relacionar a proporção entre os isótopos de oxigênio nas estalagmites ao longo de milhares de anos com as mudanças na circulação atmosférica global. Karmann, Cruz e Oduvaldo Viana Jr., estudante de mestrado de Karmann, começaram em 1999 a visitar uma vez por mês as cavernas de Santana, no Vale do Ribeira, sudeste do Estado de São Paulo, e de Botuverá, a leste de Santa Catarina. Não iam apenas como apreciadores de cavernas, mas como pesquisadores, equipados para colher a água que goteja do teto e com o passar do tempo forma as estalagmites. Trouxeram também amostras das próprias estalagmites para análise em laboratório.

Após dois anos de trabalho, a equipe formada também pelo geógrafo José Ferrari, do Instituto Geológico de São Paulo, já havia descoberto a idade de duas estalagmites. Uma delas tinha 1,6 metro de comprimento e havia sido retirada de um ponto a 300 metros abaixo da superfície e a 1.500 metros da entrada da caverna de Santana, ao qual se chega percorrendo um rio subterrâneo. A outra, de 70 centímetros, fora coletada a 110 metros de profundidade e a 300 metros da boca da caverna de Botuverá. Cruz e Warren Sharp, do Centro de Geocronologia de Berkeley (BGC), Estados Unidos, fizeram a datação das estalagmites e concluíram que ambas tinham entre 111 e 116 mil anos. Era um ótimo começo, já que se tratava provavelmente dos registros mais antigos obtidos do final do último período de glaciação na América do Sul, quando as massas de gelo nos pólos Norte e Sul se expandiram e a linha da costa recuou, como se a maré baixasse bastante – em torno de 100 metros em média.

Feita a datação das estalagmites, o grupo da USP começou a preparar um gráfico sobre a variação, ao longo do tempo, da proporção entre as duas formas de oxigênio acumuladas ao longo do eixo de crescimento das estalagmites. Nas regiões tropicais do



## Os animais que saem das cavernas

É possível descobrir as épocas em que choveu mais ou menos intensamente examinando a espessura e a transparência das camadas de calcita de estalagmites como esta, de Botuverá. A análise da composição dos minerais, a datação das estalagmites e o estudo de fósseis vegetais e animais permitem reconstituir o clima, a flora e a fauna de uma região no passado. Preguiças-gigantes como esta ao lado viveram em meio às florestas que há milhares de anos cobriram o atual sertão do Nordeste.



planeta a variação entre elas costuma indicar as épocas em que choveu mais ou menos, porque a forma mais pesada, <sup>18</sup>O, se perde com as primeiras chuvas, deixando a água cada vez com mais <sup>16</sup>O. A curva da proporção entre as duas formas de oxigênio acompanhava a variação da insolação, mas a única teoria então à mão – segundo a qual a proporção entre <sup>18</sup>O e <sup>16</sup>O deveria responder diretamente ao volume de chuva – não explicava os resultados.

“**F**

icamos no escuro”, conta Karmann, lembrando-se das vezes em que esteve nas cavernas e de repente acabava a carga de carvão que gerava a luz para iluminar o caminho. Cogitaram que poderia haver mais de uma origem da água da chuva – o problema é que não tinham como provar. Mas estavam certos. “O maior mérito desse trabalho é justamente mostrar que a umidade do Sul e Sudeste pode ter origens bastante diferentes”, comenta Pedro Dias, professor do IAG da USP a quem os geólogos pediram ajuda após sofrerem um ano em silêncio. E era relativamente simples. De acordo com Dias e sua equipe do IAG, as intensas chuvas do passado – e as de hoje também – nas regiões Sul e Sudeste resultam da umidade que chega da Amazônia ou do Atlântico Sul. Atiçados pela insolação, os ventos alísios provenientes da Amazônia ajudam a adensar com mais umidade a região da atmosfera conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS ou SACZ na sigla em inglês). Alimentada também pela umidade que recebe do próprio oceano ao sul do equador, a ZCAS é um vasto conjunto de nuvens, às vezes com até 5 mil quilômetros de extensão, orientado no sentido noroeste-sudeste, que cruza o litoral brasileiro entre 18 e 25 graus de latitude sul.

Quando a insolação é maior, há mais calor e umidade dos trópicos. A ZCAS se intensifica e se desloca mais em direção ao sul, fazendo chover mais nessa região. É quando predomina a forma mais leve de oxigênio, o <sup>16</sup>O – a mais pesada ficou para trás com a chuva que

caiu no caminho. Na situação inversa, quando a insolação é menor no hemisfério Sul (e maior no hemisfério Norte), diminuem o calor e os ventos alísios – e quase não chega umidade da Amazônia. “Quando chove menos no verão”, comenta Andréa Cardoso, da equipe do IAG, “a ZCAS se enfraquece ou permanece mais ao norte”. A umidade que chega à região Sul e Sudeste provém então de uma fonte mais próxima, o Atlântico Sul. Trazida pelos ventos que sopram do oceano para o continente e pelas massas de ar polares, essa umidade resulta em um clima mais seco que o observado nos invernos atuais na região Sul. É quando predomina o oxigênio mais pesado, <sup>18</sup>O, que não teve tempo de precipitar, já que a distância até o continente é relativamente curta.

**Ilhas de verde** - Esse vaivém do ar úmido da atmosfera para o sul do equador explica também como cresceram as florestas úmidas no território hoje ocupado pela Caatinga, de acordo com os estudos coordenados por Auler. No semi-árido nordestino a intensificação da umidade promove a expansão das matas que habitam os terrenos mais altos e das florestas do Cerrado, um ambiente acostumado a variações climáticas intensas. Quando a umidade se vai, o solo seca e a floresta se retrai. Atualmente ainda existem algumas ilhas de vegetação verde e densa – os chamados brejos – em meio à tórrida Caatinga. Crescem ao pé de serras, como nas chapadas de Borborema, Araripe e Ibiapaba, em altitudes que variam de 500 a mil metros, favorecidas pelo clima atual.

“Esses trabalhos me abriram os olhos para o valor das informações retiradas das cavernas”, reconhece Pedro Dias, um matemático de formação que enveredou pelo estudo do clima há três décadas – este poucas vezes em cavernas e, diz ele, não gostou muito. Certamente ainda sairão mais coisas. Meses atrás, enquanto Francisco Cruz examinava estalagmites de outras cavernas do Brasil na Universidade de Massachusetts, em Amherst, cidade próxima a Nova York, Ivo Karmann suava a camisa no laboratório trabalhando com uma estalagmite de um metro e meio de comprimento. “Acho que esta vai chegar nos 150 mil anos”, comentou, preparando-se para serrar, abrir e furar mais uma fatia da coluna de rocha extraída da caverna de Santana, que ainda não foi estudada tanto quanto a de Santa Catarina. ●

## OS PROJETOS

*Registros paleoambientais do Quaternário em sistemas cársticos*

### MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio à Pesquisa

### COORDENADOR

IVO KARMANN – IG/USP

### INVESTIMENTO

R\$ 103.316,08 (FAPESP)

*O Quaternário tardio em áreas continentais*

### MODALIDADE

Bolsa de Pós-doutorado

### COORDENADOR

AUGUSTO AULER – IGC/UFMG

### INVESTIMENTO

R\$ 45.000,00 (CNPq)