

Este relevo se move

Grupo de Rio Claro pesquisa alterações geológicas dos últimos 15 milhões de anos, para sabermos ao certo onde pisamos

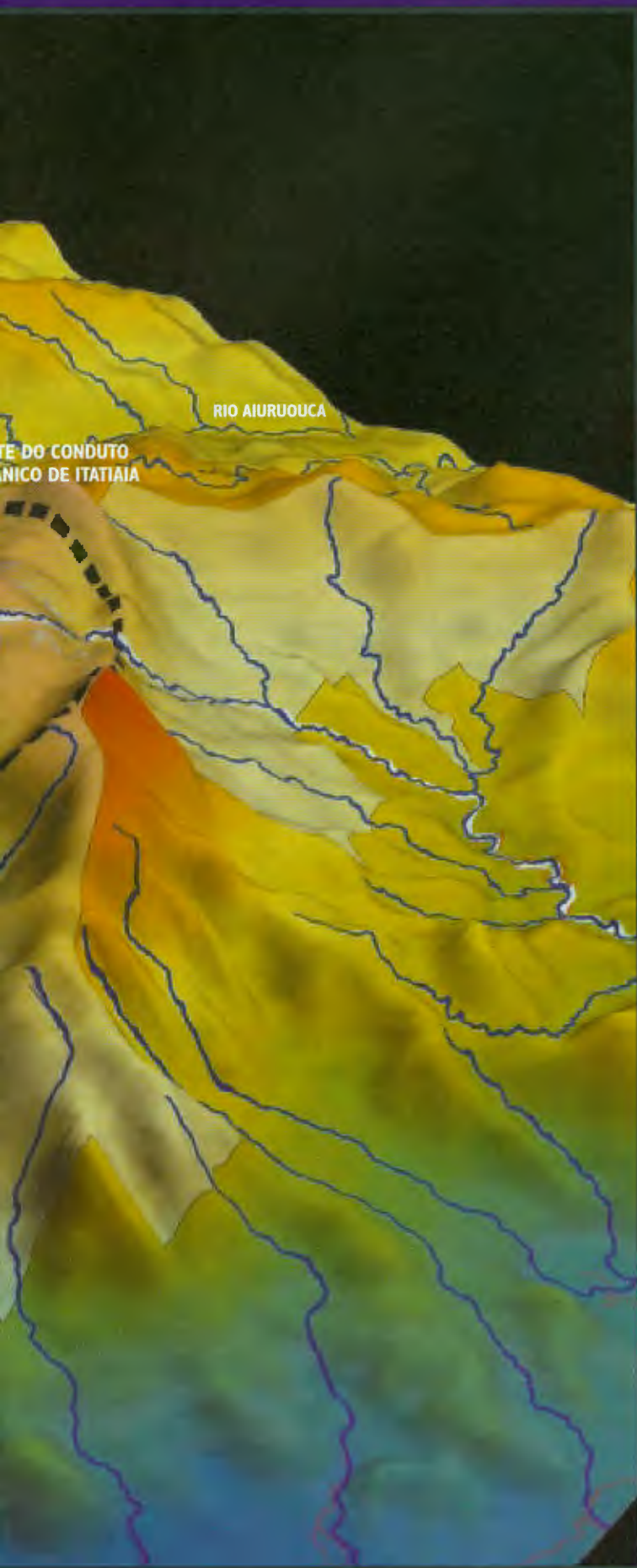
ULISSES CAPOZOLI

Para prever o que pode acontecer daqui para a frente, pesquisadores brasileiros estudaram os movimentos da Terra nos últimos 15 milhões de anos no Sudeste brasileiro. Apoiados na teoria das placas tectônicas e da deriva continental, que hoje norteia as Geociências, eles acumularam dados que mostram o passado e o presente, além de delinear o futuro geológico da região.

Esses resultados ajudam a garantir a estabilidade geológica de obras – especialmente rodovias, túneis, hidrelétricas e usinas nucleares – e a prever fenômenos perturbadores, como os deslizamentos de encostas, além de fornecer pistas para a descoberta de jazidas minerais e de água.

Concluído em junho com financiamento de R\$ 395 mil da FAPESP, o projeto temático *Neotectônica, Morfogenese e Sedimentação Moderna no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes* cobre uma área de 400 mil quilômetros quadrados que inclui o território paulista e ainda partes dos estados do Paraná e do Rio de Janeiro, além do sul de Minas. Foi desenvolvido em quatro anos por um grupo

A história da paisagem: vulcões erodiram e restaram as chaminés (*condutos do magma*), que formam os picos da Serra da Mantiqueira



do Departamento de Petrologia e Mineralogia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (Unesp) no câmpus de Rio Claro, coordenado pelo professor Yociteru Hasui.

Nas ruas tranqüilas de Rio Claro, não se imagina os relatos impressionantes que o professor Hasui gravou em seus arquivos, mostrando os movimentos geológicos na paisagem do Sudeste: há porções que se elevam e sofrem erosão continuada, enquanto outras afundam e são assoreadas por sedimentos. Isso produz modificações no relevo, nos cursos d'água, nas fontes termais e nos solos.

Como se fossem enormes organismos vivos, as serras do Mar e da Mantiqueira crescem, enquanto a metade oeste do Estado de São Paulo afunda, o que muda o relevo e altera os cursos de rios. Uma larga faixa em que o rio Paranapanema escoia, e que se prolonga para o Rio de Janeiro, tem trechos que afundam e outros que se elevam lentamente, um fato até então desconhecido e que deverá ser incluído em mapas e livros-texto de geologia.

Os rios adaptam-se às mudanças de relevo e ganham trechos acidentados, com *canyons*, corredeiras e cachoeiras – ou calmos, com meandros e planícies sujeitas a inundações. Detectaram-se muitos casos de rios que sofreram grandes desvios: no cotovelo da região de Guararema, por exemplo, o Paraíba tem um desvio de quase 180°.

Um exemplo dramático de previsão feita no estudo é o do rio Grande, um dos formadores do Paraná: nas suas cabeceiras, ele corre para leste, mas a lenta escavação que o rio Aiuruoca faz na serra da Mantiqueira acabará por capturar as cabeceiras do Grande e fazer com que esse formador do Paraná corra para norte, alterando radicalmente as condições ambientais da área. Nada a temer, por ora: isso só ocorrerá ao final de um tempo geológico ainda não mensurado – e tempos geológicos são longos.

Concentrado nos últimos 15 milhões de anos – um piscar de olhos na história de 4,6 bilhões de anos do planeta –, o grupo da Unesp usou um conjunto inovador de métodos indiretos para determinar a estabilidade dos terrenos. A equipe de Hasui também já iniciou uma investigação mais consistente da placa tectônica Sul-Americana,

a balsa rochosa em que viaja o Brasil. Ela está em movimento, como as demais placas em que se divide a litosfera – a camada sólida mais externa da Terra, que inclui a crosta e a parte de cima do manto pastoso, e tem cerca de 200 quilômetros de espessura. O movimento produz tremores de terra, vulcanismo e elevação de montanhas na região andina, além de alterar a estabilidade de terrenos em seu interior, que inclui todo o Brasil.

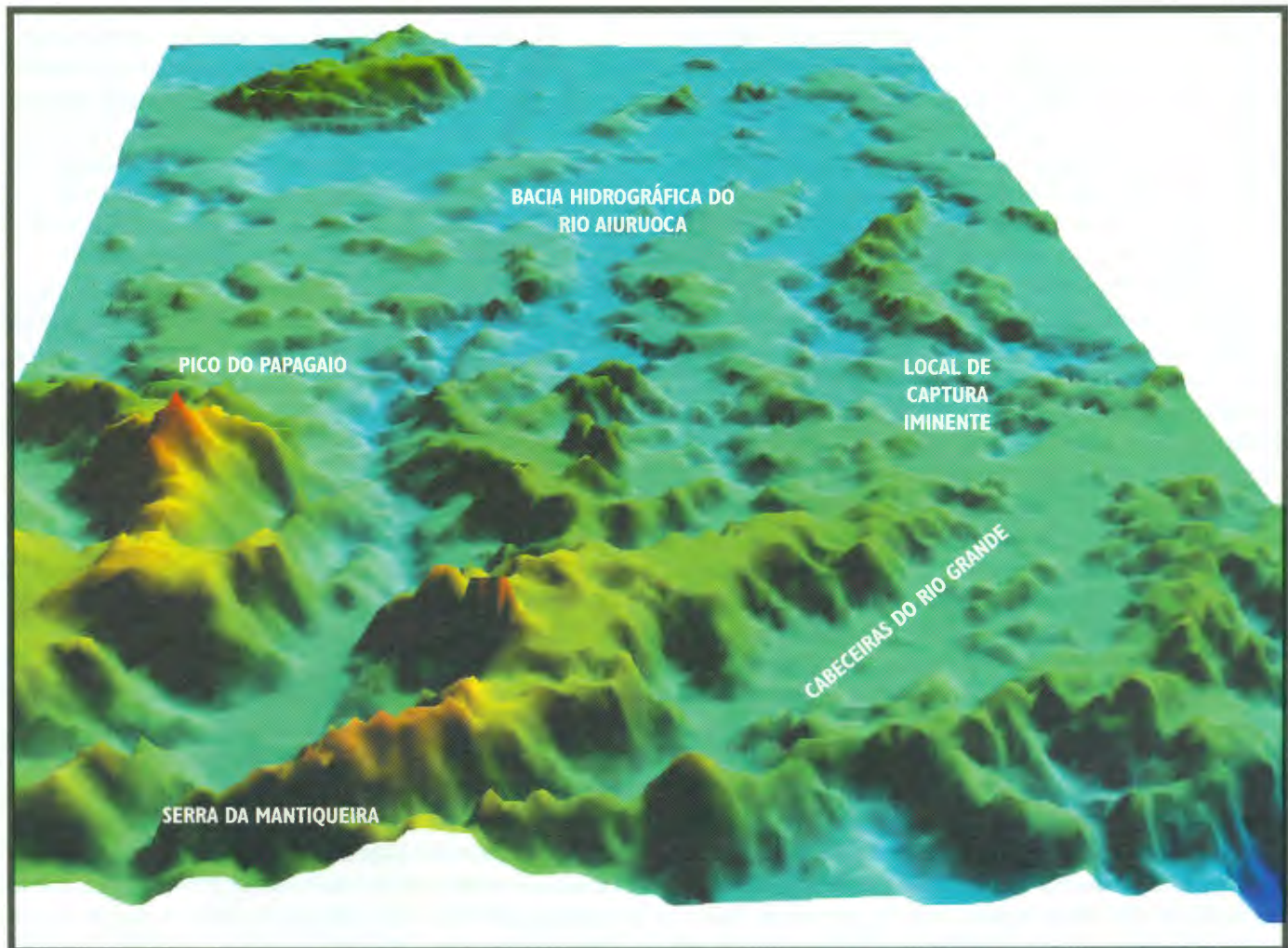
Líder do grupo da Unesp, que tem a colaboração de pesquisadores de outras universidades brasileiras e da Universidade de Freiburg (Alemanha), Hasui recolhe dados que abrangem pólenes fossilizados, registros de antigos sismos (terremotos), espessura e tipo de sedi-



mentos, lento crescimento de montanhas e afundamento de regiões.

O trabalho é um refinamento da teoria do geofísico alemão Alfred Wegener, que explicou a origem dos continentes com base no movimento das placas tectônicas (*ver quadro*). Desde que foi proposta, essa teoria seduziu um número crescente de pesquisadores, determinados a explicar não só os terremotos, mas também o vulcanismo e a formação de cadeias de montanhas tão distantes e diversas como as do Himalaia e da Mantiqueira. Tentava-se associar esses fenômenos ao atrito ou à separação das bordas das placas.

E, até fins dos anos 80, diz Hasui, pensava-se que o interior das placas, enormes balsas rochosas que flutuam sobre o manto, era formado por “regiões estáticas e tranqüilas”.



A captura de um rio: o rio Aiuruoca está escavando a serra e vai encontrar as nascentes do rio Grande, que então mudará de trajeto

O problema é que as observações só confirmavam em parte essa previsão teórica: eram insuficientes. Por que, por exemplo, ocorrem sismos no interior das placas, em lugares muito distantes das bordas, como é o caso das regiões paulistas de Pinhal ou São Luís do Paraitinga? Isso significava que mecanismos desconhecidos provocavam esses tremores e deveriam ser explicados satisfatoriamente.

As investigações no interior das placas ganharam impulso no início dos anos 90. Os pesquisadores partiram de pistas antigas, as falhas (fissuras) geológicas. A questão básica, ainda não respondida inteiramente, é: qual a estrutura do subsolo e como se comportam as rochas em cada região? Hasui diz que, para esclarecer as dúvidas, é preciso estudar o interior das placas com uma visão algo diferente da adotada para suas bordas e também restringir as investigações a tempos mais recentes.

Em busca dos dados que preencham grandes vazios teóricos no espaço e no tempo, a equipe reuniu geólogos, geomorfólogos, geofísicos, estudiosos do solo, especialis-

tas em datação de sedimentos e em informática. Da combinação dos estudos emergiram os dados do trabalho, que se desdobrará em novos projetos, já que a área estudada não chega a cobrir 5% do território brasileiro.

As medidas obtidas são quase todas indiretas e se enquadram no quebra-cabeça que Wegener começou a montar há quase um século. Para saber a taxa de crescimento das serras da Mantiqueira e do Mar, por exemplo, examina-se o perfil de áreas mais baixas, onde se acumulam os sedimentos trazidos do alto pela chuva ou pelo vento. Então, a datação do pólen com a técnica de carbono-14 permite obter a idade de camadas de sedimento. A partir daí, por cálculos relativamente simples, avalia-se o material perdido por erosão e a relação de levantamento/afundamento entre as áreas consideradas.

Informações colhidas por sismógrafos (sensores de tremores de terra) permitem traçar o perfil rochoso de cada região estudada. Coletas de amostras e observações do comportamento de certas áreas indicam efeitos de pressões e movimentos rochosos que, para um investigador meticoloso, podem relatar fatos acumulados em milhões de anos.

A própria topografia de uma região, como a da serra próxima de Rio Claro, é testemunha de processos

geológicos iniciados em tempos remotos e que ainda não cessaram. As falhas geológicas, responsáveis por boa parte do perfil topográfico, resultam dos esforços de ruptura do continente único original, o Pangea. Outros acontecimentos entraram em cena, contudo, e o grupo brasileiro participou da descoberta deles.

As placas Sul-Americana e Africana, por exemplo, separaram-se devido ao impacto de imensos “projéteis” rochosos disparados do interior da Terra. Os disparos ocorreram a partir do limite entre o manto pastoso e o núcleo, que é uma estrutura sólida formada especialmente por ferro e níquel, materiais densos e pesados. Essa fronteira de onde saem os projéteis – com até 200 quilômetros de largura e 700 quilômetros de altura – é a Camada D”, uma esfera enrugada cujo perfil lembra os dentes irregulares de uma serra de disco.

Um desses projéteis ou plumas fósseis disparados há cerca de 130 milhões de anos, sem força para romper completamente a litosfera, foi localizado sob a bacia do Paraná, num trabalho recentemente conduzido pelo geofísico Marcelo Souza de Assumpção (ver Pesquisa FAPESP 53), do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

Mesmo sem irromper inteiramente, essa pluma fóssil foi responsável por derrames de lava que, resfriadas e transformadas ao longo do tempo, originaram as rochas que alicerçam a Cuesta Basáltica – uma serrania entre Rio Claro e São Carlos – e se decompõem nas terras roxas da região (tradução equivocada de *terra rossa*, ou terra vermelha, em italiano). Pegajosas e férteis, essas terras foram a base de muitas fortunas no oeste paulista e norte do Paraná, onde a cafeicultura prosperou por quase um século.

A presença da pluma do Paraná permitiu corrigir parte importante da teoria clássica. Até recentemente, pensava-se que só a crosta, película externa com espessura em torno de 40 quilômetros (o raio equatorial da Terra é de 6.378 km), deslizava sobre o manto. O trabalho de Assumpção revelou que parte do manto também desliza por efeito da convecção – a corrente de calor que sobe do interior quente da Terra. A usina de força que alimenta as correntes de convecção combina o calor remanescente da formação da Terra com a desintegração espontânea de átomos radioativos, como o urânio, e mesmo com a pressão gravitacional.

O grupo de Hasui não pode perder nenhuma pista, se quiser responder satisfatoriamente às dúvidas, principalmente de engenheiros responsáveis por obras de vulto. Do esforço a que as rochas estão submetidas pelo deslocamento da placa para oeste – à velocidade de 6 centímetros ao ano – depende a estabilidade geológica de cada região.

Embora pareçam sólidas e indeformáveis, as rochas que formam uma placa tectônica como a Sul-Americana deslocam-se mediante o atrito de blocos ao longo de falhas, que em geral são remanescentes de períodos tão antigos quanto o Pré-Cambriano – tempo decorrido entre a origem do planeta e 570 milhões de anos atrás. Esses deslocamentos e os terremotos que originam comprometem a estabilidade geológica e podem afetar, por exemplo, certas edificações. Mesmo na calmaria do interior das placas podem ocorrer sismos tão intensos quanto os das bordas, explica o geólogo José Augusto Miotto, da equipe de Hasui.

No Brasil, a construção de grandes reservatórios para hidrelétricas, sobretudo a partir dos anos 70, permitiu

Os saltos incômodos da ciência

“Os cientistas não parecem entender o suficiente que todas as ciências da Terra precisam contribuir com evidências para desvendar o estado de nosso planeta em tempos remotos, e que a verdade sobre a matéria só pode ser alcançada pela combinação de todas essas evidências. É só por meio de uma varredura das informações fornecidas por todas as ciências da Terra que podemos esperar determinar a ‘verdade’ aqui, ou seja, encontrar um quadro que revele todos os fatos conhecidos no melhor arranjo possível e que portanto tenha o mais alto grau de probabilidade. Além disso, temos de

estar sempre preparados para a possibilidade de que cada nova descoberta, não importa qual ciência a forneça, possa modificar as conclusões que traçamos.”

Alfred Wegener, em *A Origem dos Continentes e Oceanos*, 4ª edição

A idéia de que a Terra se move sob nossos pés, exposta em 1912 pelo geofísico e meteorologista

alemão Alfred Lothar Wegener (1880-1930), incomodou a comunidade científica. Os historiadores da ciência interpretam o trabalho de Wegener como um desdobramento da revolução do italiano Galileu Galilei (1564-1642), que destronou a Terra do centro do universo, sustentou que ela se move e, ao estudar as quatro grandes luas de Júpiter, afirmou ainda que as estrelas não estavam fixas na esfera celeste, mas também se moviam.

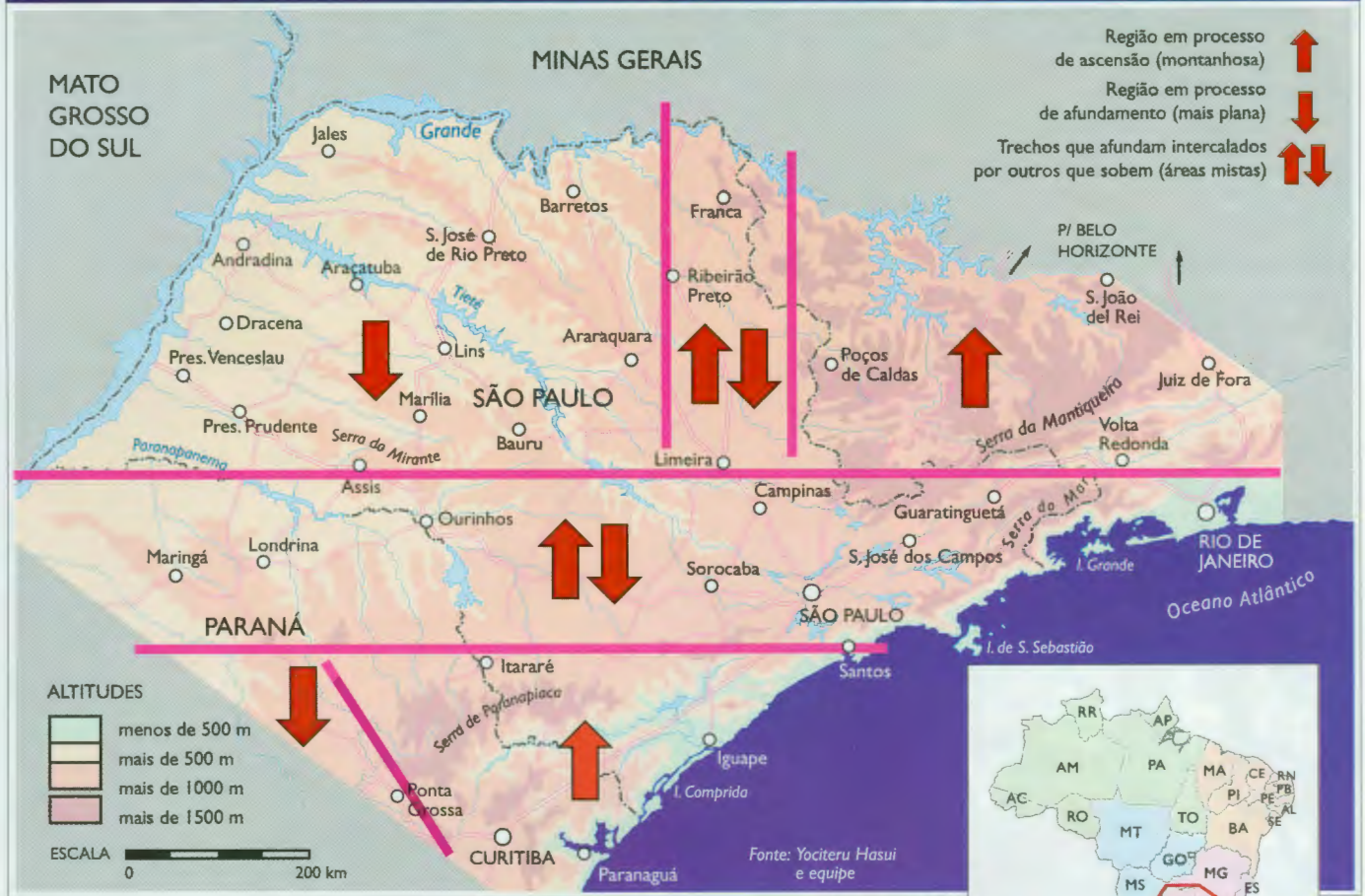
Galileu foi enquadrado como herege e



UNIVERSIDADE DE ST. ANDREWS

Galileu: pioneiro e “herege”

Movimentos tectônicos no Sudeste Brasileiro



Exame das falhas geológicas mostra o que aconteceu nos últimos 15 milhões de anos e o que está acontecendo: em São Paulo, áreas mais baixas estão afundando e as mais altas, subindo

Wegener acusado de charlatanismo. No livro *A Origem dos Continentes e Oceanos* (1915), Wegener propôs que o encaixe da costa brasileira e da África Ocidental, como peças de um enorme quebra-cabeça, não era coincidência: antes, num tempo geológico ainda sem seres humanos, o que hoje são os territórios separados do Brasil e da África faziam parte de um continente único (que ele chamou Pangea, a "terra total"), envolto por um só oceano (Pantallas, o "mar total").



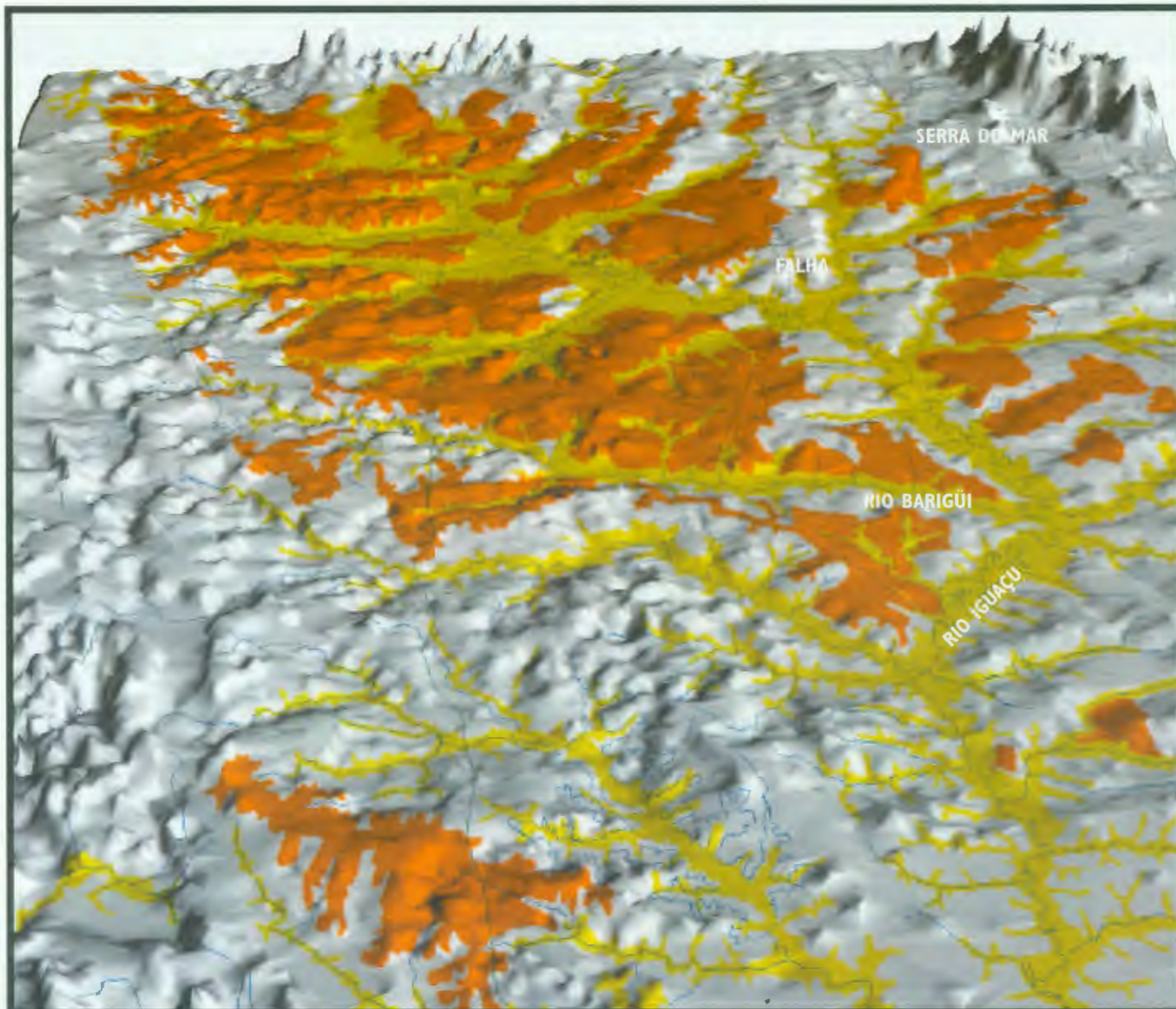
Wagener: "charlatanismo"

Como Galileu, o alemão estava certo. O reconhecimento do seu acerto só ocorreria nos anos 60, com as pesquisas do geofísico inglês Fred Vine, que trabalhou com computadores na análise de dados colhidos no fundo do oceano Índico.

As grandes revoluções científicas definem sínteses históricas de movimentos que recuam ou avançam no tempo. Neste caso, pode-se retornar a Aristarco de Samos e Eratóstenes, astrônomos gregos que viveram entre os sécu-

los IV e II a.C. e avançar até o trabalho da equipe da Unesp. Bem antes de Galileu, Aristarco foi o primeiro a defender a idéia de que a Terra gira em torno do Sol e não o contrário, como se pensou por quase 20 séculos. E Eratóstenes foi o primeiro a tomar as medidas do planeta.

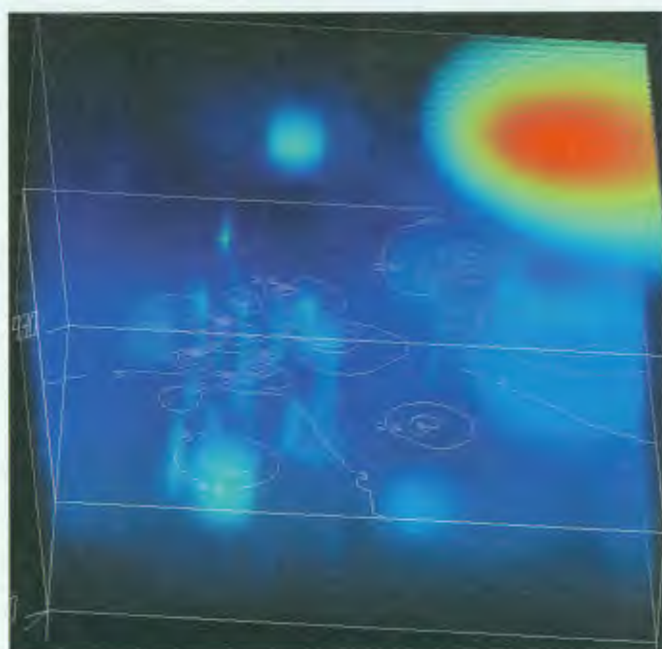
Já os brasileiros, com apoio na teoria de Wegener, querem conhecer os movimentos da superfície da Terra nos últimos 15 milhões de anos com objetivos bem práticos: dados capazes de orientar a implantação de uma enorme variedade de obras civis, além de detectar reservatórios subterrâneos de água e depósitos de minérios. Certamente não serão condenados por isso.



IMAGENS EQUIPE DO PROJETO NEOTECTÔNICA, MORFOGÊNESE E SEDIMENTAÇÃO MODERNA NO ESTADO DE SÃO PAULO E REGIÕES ADJACENTES

A geologia de Curitiba (os trechos em laranja indicam os sedimentos terciários, mais antigos, e os em amarelo, os quaternários): auxílio à pesquisa de águas subterrâneas, mais comuns em áreas com cascalho e areia (ao lado, em vermelho; as argilas, mais abundantes, estão em azul)

um conhecimento mais íntimo dessas condições, em casos chamados de “sismos induzidos”: os reservatórios paulistas de Paraibuna e Capivara, por exemplo, com 2,95 bilhões e 10,5 bilhões de metros cúbicos de água respectivamente, geraram sismos desse tipo, relata Miotto. O que ocorre nesses casos não é exatamente consequência do peso da água sobre as rochas da região, explica ele, mas um efeito combinado entre o peso e a lubrificação das falhas em locais submetidos a grandes pressões pela torção da placa. Lubrificadas as falhas, os blocos de rochas deslizam entre si e liberam a pressão sob a forma de terremotos.



As informações coletadas são amplas o bastante para que seu uso não se limite à segurança de obras. A investigação da estrutura e da composição rochosa também pode denunciar a existência de depósitos minerais. “A demanda crescente por estoques de água potável é uma boa razão para trabalhos desse tipo”, argumenta o geólogo Norberto Morales, outro colaborador de Hasui, citando o exemplo da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, em situação já crítica para o abastecimento regional.

Os pesquisadores entendem que seu trabalho tem a ver com o padrão contemporâneo do uso das terras. As



Ebert, Hasui e Morales: estudo da estrutura das rochas explica os tremores de terra provocados pelas hidrelétricas

ocupações pioneiras, baseadas quase sempre na agropecuária, não demandavam estudos detalhados e em geral os estoques de água superficiais bastavam para o abastecimento de rebanhos e alguma irrigação temporária. O padrão atual, em áreas valorizadas do Sudeste, depende crescentemente de obras pesadas e de grande oferta de água, avalia Mioto.

O desconhecimento do comportamento dos solos em obras como a de Itaipu e mesmo nas usinas nucleares de Angra dos Reis (RJ), estas edificadas numa área que índios litorâneos já haviam identificado como instável (chamavam o lugar de Itaorna, que significa “pedra podre”), não chega a oferecer riscos: as estruturas dessas obras gigantes foram dimensionadas para suportar solicitações extremas, segundo os pesquisadores. O inconveniente é que estruturas de grandes dimensões implicam custos muito elevados, como foi o caso das fundações de Angra.

Os pesquisadores estão otimistas com o trabalho, e não só pelos resultados imediatos: a formação de recursos humanos também é levada em conta. O trabalho já permitiu a conclusão de dez teses de doutorado, três mestrados e dois pós-doutorados, além de haver mais cinco doutorados em fase avançada.

Os objetivos do projeto – deslindar a evolução do meio físico nos últimos tempos geológicos, consolidar uma nova linha de investigação, formar recursos humanos para desenvolvê-la e instalar um laboratório de datação por análises de traços de fissão – que está implantado e em operação – foram atingidos. Com ele, a

Geologia ganha no conhecimento da história da Terra nos últimos tempos e a Geografia Física avança no entendimento de processos que esculpem o relevo e a rede de drenagem.

O desafio de integrar todas as áreas envolvidas, reconhecem Hasui e colaboradores, passa pelo uso e a oferta de novas tecnologias, especialmente o recurso da modelagem tridimensional por computador, que é a área de interação com a Universidade de Freiburg. O geólogo Hans Dirk Ebert, responsável por esse traba-

lho, é o elo com Freiburg, conhecida no fim do século 18 como a capital da geologia européia. É por interações como essa que os pesquisadores de Rio Claro buscam, como Alfred Wegener, uma integração científica que lhes permita avançar mais nas novas etapas de desvendamento do passado e antevisão do futuro da Terra.

PERFIL:

• YOCITERU HASUI, 62 anos, formado em Geologia (1961) pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, onde se doutorou na Escola Politécnica (1967) e fez livre-docência (1989) no Instituto de Geociências. Aposentado desde 1995 como professor titular pela Unesp-Rio Claro, é membro titular da Academia Brasileira de Ciências e da Academia de Ciências de São Paulo. Edita a revista *Geociências* da Unesp.

Projeto temático: *Neotectônica, Morfogênese e Sedimentação Moderna no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes*

Investimento: R\$ 395.000,00