

REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA

Ano XVIII

OUTUBRO-DEZEMBRO DE 1956

N.º 4

O KARST DAS VIZINHANÇAS SETENTRIONAIS DE BELO HORIZONTE.*

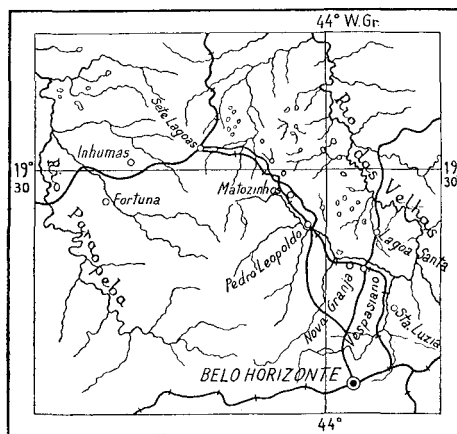
(Minas Gerais)

JEAN TRICART

Professor da Universidade de Strasburgo

Na região situada imediatamente ao norte de Belo Horizonte, em torno de Nova Granja, Pedro Leopoldo, de Sete Lagoas, aparece um tipo de *Karst* muito particular. A maior parte do relevo é constituída por colinas de encostas convexas na parte superior e côncava no sopé, cujo declive médio varia entre 10 e 20 graus. Nada as distingue do modelo cristalino que atravessa a estrada de Belo Horizonte a Pedro Leopoldo. Aqui e acolá aparecem, entretanto, traços particulares. Num lugar são alguns bancos de rochedos calcários que afloram a meia altura de um declive regular; noutro, surge uma parede calcária, formada de rochedos escarpados burilados por *lapiez*; mais adiante, aparece uma depressão fechada, ocupada por um lago. Em resumo, as formas calcárias típicas são esporádicas, isoladas. Elas não constituem um conjunto contínuo e coerente, como nas regiões cársticas características.

Começaremos, então, descrevendo as formas particulares desta região calcária, e procuraremos explicá-las.



— Croquis da região estudada, ao norte de
Belo Horizonte

I — FORMAS CALCÁRIAS

Devem-se distinguir, segundo a sua dimensão, dois tipos de formas: colinas, amontoados rochosos, dolinas, cuja unidade de dimensão é a centena de metros (6.^a ordem de grandeza), e as microformas, como os *lapiez*, as cavidades (7.^a ordem de grandeza).

* Tradução de ORLANDO VALVERDE

Nota do autor — Esse estudo pôde ser feito graças ao senhor diretor do Instituto de Tecnologia do estado de Minas Gerais, que pôs à nossa disposição um carro e um motorista, e nos fez acompanhar pelo Dr OTÁVIO BARBOSA, cuja competência nos conduziu diretamente aos pontos mais interessantes e que nos forneceu valiosas informações estratiográficas. Deixamos aqui registrado, a ambos, os nossos sinceros agradecimento e nosso profundo reconhecimento.

a) *As formas hectométricas.*

O seu caráter comum é serem descontínuas, esporádicas, isoladas no meio de formas que nada têm de típicas de uma região calcária. Essa é a particularidade essencial do *karst* das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte. Essas formas compreendem maciços rochosos calcários e depressões fechadas.

Os maciços rochosos calcários são de tipos variados e oferecem tôda uma série de têmos de transição entre a colina côncavo-conexa banal, idêntica às do escudo metamórfico, e os pilares calcários típicos dos *karsts* tropicais.

Certos maciços rochosos calcários se apresentam sob a forma de paredes abruptas, builadas por *lapiez*, sulcadas de caneluras, complicadas por recantos angulosos, cortadas por gargantas de alguns metros de largura que coincidem com as diáclases. Algumas árvores se agarram às anfractuosidades da rocha; pendem lianas ao longo das paredes, mas o calcário está em tôda parte bem visível, em nenhum lugar é completamente mascarado pela vegetação. Esses maciços são sempre isolados e aparecem num ponto qualquer da encosta das colinas côncavo-convexas, criando uma brusca ruptura no perfil do seu flanco, uma espécie de aspereza angulosa, cujas formas rochosas e agudas contrastam com a curva regular do conjunto (foto n.º 1). A forma geral desses maciços rochosos calcários é convexa, com uma parte superior grosseiramente arredondada e flancos verticais, às vêzes mesmo salientes em relação à sua parte inferior. Alguns fazem lembrar, assim, um cogumelo. O seu diâmetro é de algumas centenas de metros.

Outros rochedos calcários são de dimensões mais reduzidas, com um diâmetro de alguns metros ou de uma dezena de metros na base. Têm a forma de pilares (foto n.º 1), às vêzes basculados. Esses pilares avizinham-se geralmente dos maciços rochosos mais importantes, mas são totalmente separados deles por declives mais suaves, côncavo-convexos, sobre os quais a rocha não aflora em nenhum lugar.

Maciços calcários e pilares assemelham-se às formas típicas de montes calcários descritos nos *karsts* tropicais (Antilhas, baía de Along), mas suas dimensões são mais reduzidas.

Uma outra forma típica das cercanias de Belo Horizonte é o escarpamento calcário. Tal como as precedentes, esta forma interrompe igualmente o perfil suave e regular das colinas côncavo-convexas (foto n.º 2). Esses escarpamentos calcários apresentam-se de maneiras várias. Às vêzes, é todo o flanco de uma colina que se torna rochoso sobre uma de suas faces, apresentando paredes de calcário builado de *lapiez* e fragmentado de recantos comandados pelas juntas e diáclases, com microformas análogas às dos maciços rochosos. Nas bordas, o escarpamento calcário desaparece e funde-se no declive côncavo-convexo sobre o qual nenhum afloramento de rocha aparece. Os mais desenvolvidos desses escarpamentos assumem a forma de uma ferradura e envolvem a colina por diversos flancos. Outros são mais limitados e aparecem em somente um dos flancos, até mesmo localmente. Outros ainda, reduzem-se a uma pequena cornicha rochosa, interrompendo o declive, geralmente a meia altura, lá onde a concordância do setor côncavo inferior e do setor convexo superior assegura uma inclinação topográfica mais forte (foto n.º 3). Todo o resto da



Foto 1 — Relevos calcários residuais, 6 km ao sul de Sete Lagoas (MG) Notar o maciço de rochedos calcários em forma de verrugas surgindo sobre as garupas convexas do fundo e o pilar calcário basculado em consequência da alteração do substrato metamórfico, no primeiro plano

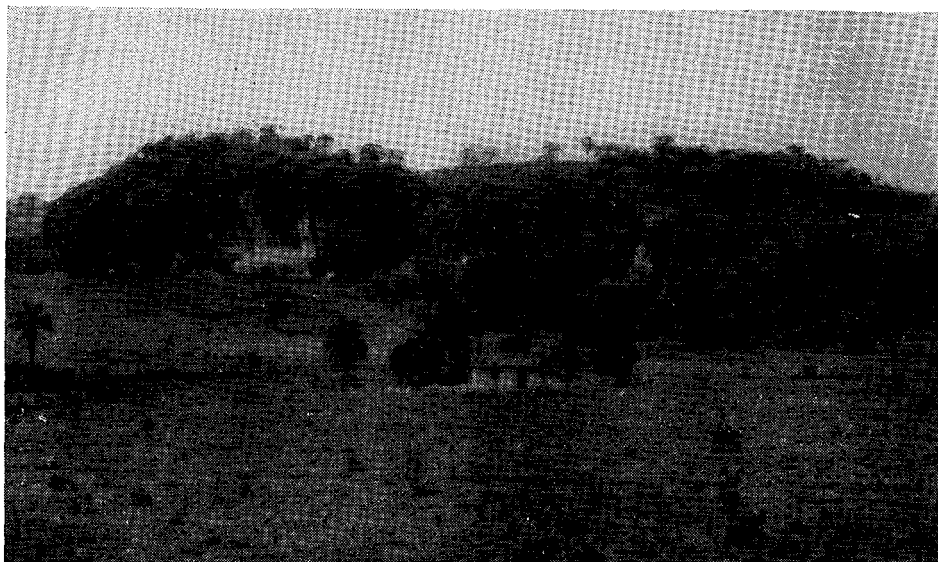


Foto 2 — "Verruga" calcária rochosa, 3 km ao norte de Matozinhos Colina calcária rochosa abrupta, surgindo de maneira insólita das ondulações suaves da região O alinhamento da escarpa corresponde provavelmente a uma falha, pondo em contato o calcário e as formações metamórficas A parte superior da parede calcária em saliência demonstra que a erosão é mais ativa na base que no alto

encosta, contíguo ao afloramento rochoso, mostra as formas banais e a espessa cobertura habitual de solo, através da qual nada transparece da estrutura. Outros escarpamentos calcários têm uma forma retilínea e interrompem bruscamente o modelado das colinas. Eles formam, muitas vezes, a vertente de um pequeno vale, que fica então fortemente assimétrico, com uma muralha abrupta de um lado e um declive côncavo-convexo do outro. Essas muralhas, como escapamentos de falhas, diminuem de altura para as suas extremidades e aí se fundem nas vertentes regulares, ao mesmo tempo que o pequeno vale deixa de ser retilíneo.

As depressões fechadas são pouco numerosas e mediocrementemente características. Elas aparecem mal no modelado geral de colinas côncavo-convexas, que é a dominante topográfica da região. Todas se localizam em vales que serpenteiam no meio dessas colinas. A maior parte delas só é fechada por um fraco aclave, flanco de uma soleira de alguns metros somente de altura. As mais profundamente entalhadas acham-se na cabeceira de pequenos vales. Tal é o caso da que contém a lagoa dos Mares, cujo nível das águas está a cerca de 30 metros de profundidade. A forma dessas depressões é geralmente circular, com um diâmetro de algumas centenas de metros. O fundo delas é ocupado seja por lagos ou brejos, seja por pequenas planícies aluviais mais ou menos pantanosas. Geralmente, a sua drenagem é subterrânea. As bordas dessas depressões são constituídas por vertentes côncavo-convexas banais, em que nem mesmo aparecem sempre rochas calcárias. Não observamos em lugar algum paredes calcárias bem desenvolvidas dominando imediatamente essas depressões fechadas (foto n.º 4).

b) *As microformas*

Se as formas hectométricas demonstram traços cársticos atenuados e muito particulares, o mesmo não acontece com as microformas. Elas são perfeitamente típicas e universalmente desenvolvidas sobre os afloramentos calcários. Podem-se distinguir os seguintes tipos delas:

— Os *lapiez* de juntas, extremamente desenvolvidos, porque todos esses calcários bem estratificados são sub-horizontais. Esses *lapiez* formam cavidades que correm a face inferior e a superior dos bancos em contacto de um lado e doutro com uma junta de estratificação. Eles acabam destacando completamente lajes no alto das tômes calcárias e dos maciços de rochedos. Em profundidade, eles dão grutas cujo teto é sustentado por pilares em que eles não se desenvolveram. Nas paredes verticais, esses *lapiez* de juntas podem chegar a formar um verdadeiro pendilhado da rocha, muito fino, pondo em relevo lâminas intermediárias de um ou dois centímetros somente de espessura, particularmente bem observáveis na pedreira de Nova Granja (foto n.º 5).

— *Lapiez* alveolares horizontais, calcados sobre a disposição das juntas, mas afetando paredes verticais de rocha aparentemente maciça. Eles formam cavidades de vários decímetros, de forma oval, com teto mais ou menos paralelo à direção das juntas e com soalho em forte declive para o exterior.

— *Lapiez* celulares, evocando o aspecto de uma esponja, formados de buracinhos contíguos muito numerosos, com um diâmetro de 1 a 3 centíme-

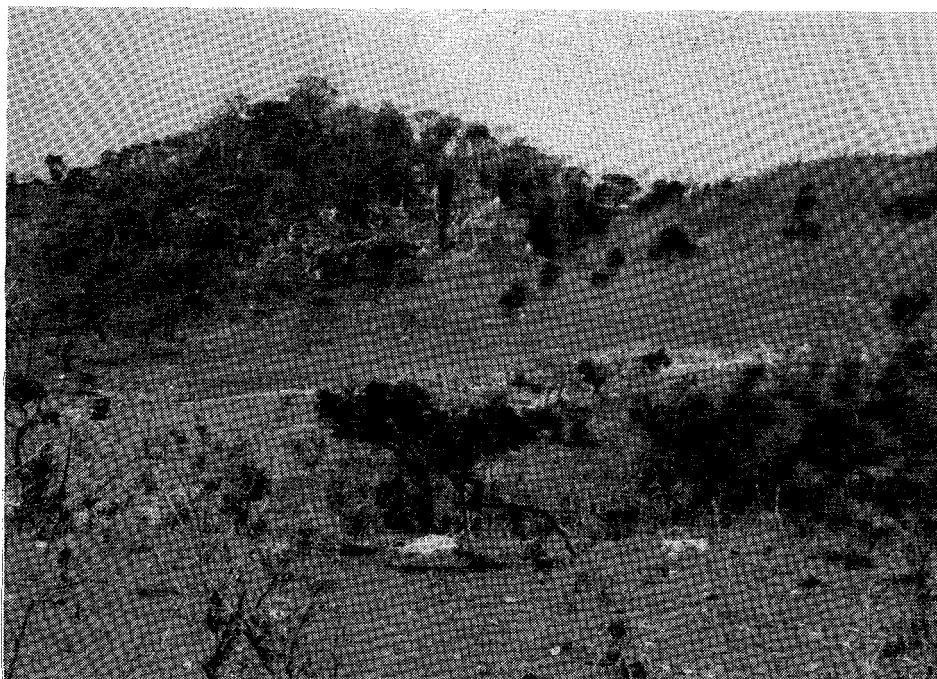


Foto 3 — Colina ruiforme calcária, em Sete Lagoas (M G) No primeiro plano e à direita, formas côncavo-convexas de colinas metamórficas com espessos solos de alteração No fundo, destacado pela erosão diferencial, um maciço calcário. Notar a cobertura florestal.



Foto 4 — Dolina perto de Campinho (Pedro Leopoldo) Depressão fechada, de fundo pantanoso, provavelmente ocupada outrora por um brejo, hoje em dia colmatado, sobretudo em consequência do ravinamento das vertentes "Karst" inteiramente coberto: em nenhum lugar o calcário aflora através dos espessos solos de alteração.

tros, separados uns dos outros por cristas agudas, cortantes, sem orientação predominante (foto n.º 6). Esses *lapiez* desenvolvem-se quer sobre certas paredes oblíquas, quer sobre a superfície, igualmente oblíqua, de blocos basculados ou desmoinados.

— *Lapiez* em maimita, parecendo porções de cilindros aproximadamente verticais. Nunca observamos nenhum completamente fechado. A forma é sempre aberta em um dos seus lados e, as mais das vezes, é constituído somente por um semi-cilindro ou dois terços de cilindro. Esses *lapiez* com oem tanto blocos perturbados, quanto paredes de rocha *in situ*, mas somente paredes pouco elevadas (foto n.º 7)

— Caneluas verticais, limitadas às paredes abruptas, que cortam, muitas vezes, sobretudo nas rochas de juntas pouco aparentes, trechos de *lapiez* de juntas. Quando a estratificação é bem nítida, essas caneluas são pouco aparentes, o que parece indicar que elas se desenvolvem menos rapidamente que os *lapiez* de juntas. Pelo fato de se formarem sobretudo nas rochas mais maciças, elas estão freqüentemente associadas aos *lapiez* alveolares horizontais (foto n.º 8)

— Diáclases alargadas em cavidades com formas de cortinas, cuja largura é sempre de vários decímetros e a altura de vários metros. A diáclase guia o alongamento da forma, mas o seu modelado resulta de uma ablação importante no calcário. As paredes verticais, ou subverticais, apresentam formas curvas, semi-cilíndricas ou mais complexas, formadas de elementos de cilindros mais ou menos oblíquos e que se cortam entre si, separando cristas agudas de faces curvas. Essas diáclases alargadas em cortinas parecem prolongar-se profundamente no interior do maciço calcário, sem serem acessíveis ao homem. Na entrada, as suas paredes apresentam *lapiez* de juntas e alvéolos, próprios das paredes verticais, associados às vezes a cavidades de forma mais irregular (fotos ns 9 e 10)

Essas microformas nos indicam os processos atuais de erosão desses calcários. O mecanismo predominante é a ablação química. Em nenhuma parte existem vestígios de uma fragmentação mecânica nas paredes. Certamente, blocos desmoinados, às vezes volumosos (vários metros cúbicos), observam-se na base dos escarpamentos mais extensos e mais elevados. Mas eles foram destacados pela erosão química. O desenvolvimento dos *lapiez* de juntas, particularmente grande no alto das paredes rochosas, isola lajes em caos instáveis. Uma parte delas cai no sopé dos escarpamentos. Numa profundidade um pouco maior, a formação de cavernas ao longo das juntas e o alargamento das diáclases em cavidades com cortinas pode isolar grandes blocos de rocha que basculam e se desmoinam. Isto se observa sempre, aqui e ali, ao pé dos grandes escarpamentos. Esses blocos desmoinados são, em seguida, coriódos por *lapiez* celulares (foto n.º 11).

Nesta ablação química, qual é a parte das ações meteóricas e a da vegetação? Parece que os *lapiez* alveolares são diretamente obra da meteorização. Eles aparecem, com efeito, sobre blocos completamente isolados, sem nenhuma vegetação, sem nenhum húmus. Em compensação, as caneluras parecem bem ser cavadas pelas águas carregadas de matéria húmica, que percolaram através dos restos vegetais, muito abundantes na parte superior dos maciços



Foto 5 — "Lapiez" de juntas sôbre uma parede, vertical, em Nova Granja (M G) $d = 4$ m



Foto 6 — Bloco de calcário corroído de cúpulas, em Nova Granja (M G) $d = 3$ m

rochosos, de declive fraco Um fato chocante, realmente, é a grande quantidade de matéria orgânica, fôlhas sêcas, gravetos, que lá se encontram. A explicação disto parece estar na secura dêsse meio, submetido a uma intensa evaporação e onde tôda a água das precipitações desaparece rapidamente nas fendas do calcáio subjacente. Esta secura é evidentemente desfavorável a uma decomposição rápida dos restos vegetais. Os *lapiez* alveolares e os de juntas muito finas, em rendilhado, parecem também desenvolver-se essencialmente sob a influência direta da meteorização. Aí não se acha vegetação e as formas são muito superficiais, não se observando nenhuma chegada de água subterrânea. O mecanismo de sua formação permanece, portanto, um enigma.



Foto 7 — “Lapiez” semi-circulares Nova Granja (M G) Notar igualmente “lapiez” em cúpulas, no primeiro plano, e “lapiez” de juntas na parede da cavidade semi-circular Abundante camada de matéria orgânica

Por outro lado, existem formas que são obra da vegetação É o caso dos *lapiez* cilíndricos e de certas superfícies curvas das diáclases alargadas. Essas cavidades são cavadas pelas raízes das árvores, que corroem o calcáio De fato, por tôda parte, nos escarpamentos calcários, crescem árvores, que alcançam 10 ou mesmo 20 metros de altura Os maciços calcários constituem um meio incultivável, em que persiste, muitas vêzes, a bela vegetação da mata de cipó As árvores vão aí buscar a umidade a profundidades muito grandes, enviando enormes raízes, de vários decímetros de diâmetro, nas diáclases (foto n.º 10). Os pêlos das radículas corroem o calcáio e dão-lhe essas formas curvas, que evocam as cortinas

Parece que, esquematicamente, a combinação das ações meteólicas diretas atacam sobretudo a rocha ao longo das juntas, dando alvéolos e os *lapiez* de juntas, com destacamento de lajes no alto dos maciços rochosos Isto se explica

fácilmente: a orientação horizontal dessas cavidades permite-lhes, uma vez fracionadas, ficarem úmidas com facilidade.

— As ações bioquímicas exercem-se, antes, ao longo das diáclases em consequência da penetração, freqüentemente muito profunda, das raízes ao longo dessas cavidades. Elas se tornam predominantes desde que as diáclases sejam suficientemente alargadas para permitir uma infiltração rápida das águas que as deixa sêcas quase imediatamente após a chuva.

As ações meteóricas e bioquímicas combinam-se para destacar grandes blocos de rochas que são, em seguida, reduzidos pela formação de *lapiez* celulares. Nos calcários tabulares, a vazão se efetua segundo uma rêde mais ou menos ortogonal, o que explica a predominância das paredes verticais, das arestas angulosas, das gargantas em cotovêlo calcadas sôbre diáclases. O escarpamento recua permanecendo abrupto, deixando atrás dêle pilares residuais mais resistentes.

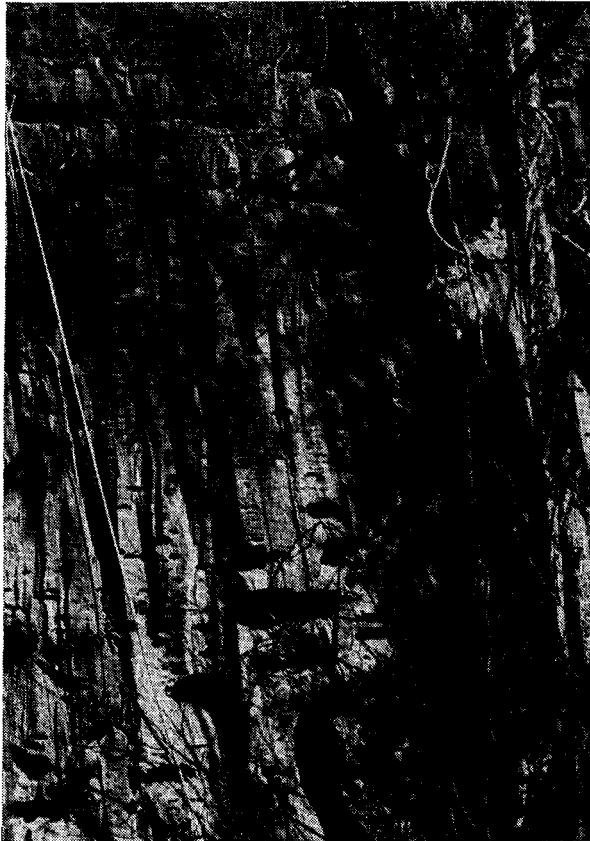


Foto 8 — Parede rochosa com caneluras, Nova Granja (M G) Combinação de caneluras e de alvéolos, na parte inferior do clichê (bancos de rochas compactas), e de caneluras e "lapiez" de juntas, na parte superior

Qual é a velocidade dêsse recuo? Questão importante, à qual só se poderá responder com precisão fazendo mensurações. É possível, entretanto, formar-se uma opinião provisória com base em diversos indícios. Em certos lugares, o recuo parece rápido. Tal é o caso na pedreira de Nova Granja, onde se obser-

vam, na parte inferior das raízes, feixes de radículas completamente separados da rocha, a cêrca de vinte centímetros da parede. Parece que essas radículas se desenvolveram ao contacto do calcáio e que elas ficaram isoladas dêle por causa do recuo da parede. Seria preciso, contudo, discutir a questão com um biologista e conhecer com precisão as condições de desenvolvimento de tais raízes (foto n.º 10). Em outros lugares, ao contrário, o recuo parece lento: depósitos de tufos, cimentando às vêzes pedaços angulosos de pedra calcária, muito diferente dos blocos que se destacam atualmente, revestem as paredes rochosas (foto n.º 12). Ora, êsses tufos não parecem mais formar-se atualmente. Alguns são, incontestavelmente, antigos. A parede que êles revestem sofre então sòmente um recuo insignificante. Seria preciso multiplicar as observações dêsse gênero, recolocando-as no seu quadro morfológico: parece verossímil que a corrosão dos pequenos rochedos seja mais lenta que a do flanco das colinas. Nas paredes verticais dos pequenos rochedos, dos pilares notadamente, a água só umedece a rocha no momento mesmo dos aguaceiros e a duração da corrosão é limitada. Sôbre o flanco das colinas, ela é armazenada, em parte, nos solos da encosta convexa superior, tornando-se aí ácida, ao contacto da matéria orgânica e do húmus, e adquirindo assim um poder maior de coirparte, nos solos da encosta convexa superior, tornando-se aí ácida, ao contacto com a rocha calcária. Tudo isso deve ser levado em consideração e belos estudos sôbre êsse assunto poderão realizar-se.



Foto 9 — Diáclases alargadas com formas de cortinas, Nova Granja (M G)

Mas êsses processos nos explicam as microfomas. Êles não levam em conta o fato essencial: a ocorrência esporádica das formas cáísticas em tôda a região. Precisamos agora discutir êsse problema.

II — A GÊNESE DO “KARST”

As grandes pedreiras das fábricas de cimento mostram-nos que as formas que acabamos de descrever constituem apenas uma pequena parte dos fenômenos cársticos da região. Muito demonstrativo a êsse respeito é a exploração da fábrica de cimento Cauê, em Pedro Leopoldo.

A pedreira entalha a vertente de uma colina de declives côncavo-conve-xos banais, em que o único relêvo denunciando a presença do calcário é uma cornicha rochosa de uma dezena de metros de altura, trespassando os solos de alteração mais ou menos no têrço superior da vertente, onde forma a base da parte convexa (foto n.º 13). Para baixo, os afloramentos calcários desaparecem e, sôbre uma garupa situada diante da pedreira, só se manifestam por uma pequena ponta de rocha e uma verruga rochosa de cêrca de 10 metros



Foto 10 — Parede esculpida em forma de cortina, Nova Granja (M. G.) Notar, no primeiro plano, as raízes, que estão aqui a mais de 10 metros da superfície

de altura e 20 de diâmetro. Para o alto, a cornicha calcária passa a degraus cada vez mais velados pelo solo de alteração que enche as cavidades da rocha e suaviza as formas. No alto da colina, o solo de alteração é perfeitamente contínuo e nenhum afloramento de calcário aparece. A vertente entalhada pela pedreira Cauê é particularmente interessante porque é típica. Ela pertence a um tipo extremamente difundido em tôda a região, como o demonstramos acima. Ora, a pedreira nos revela a sua estrutura geomorfológica.

A cornicha constitui somente uma pequena parte da massa calcária explorada pela fábrica de cimento Cauê, que se continua até o pico da colina e, na direção sul, muito além do escarpamento. Nestes setores, o calcário é inteiramente mascarado por formações de alteração, constituídas de argilas pardas e avermelhadas, ricas em grãos de quartzo, que fossilizam completamente todo um conjunto de formas cársticas. Elas entulham *lapiez* gigantescos, de 5 a 6 metros de profundidade, com 3 ou 4 de largura em cima, que isolam pináculos calcários de cristas agudas e formam toda uma rede sinuosa, rica em anastomoses (foto n.º 14). Mais abaixo, a massa calcária é esburacada de cavidades desenvolvidas à maneira de *lapiez* de juntas, porém de dimensões maiores: a sua altura atinge 0,5 a 0,6 metro, e formam toda uma rede de grutas. Essas formas de grande dimensão correspondem a um banco maciço o que dá o escarpamento de uma dezena de metros, da cornicha. Elas são muito aparentes porque os operários lhes tiram a argila, a fim de permitir a exploração do calcário para a fábrica de cimento (foto n.º 15).

As argilas que fossilizam os *lapiez* do *karst* da pedreira Cauê não são de origem detrítica. Parecem ter-se formado *in situ* e ter sofrido somente ligeiros deslocamentos por afundamento e deslize. Os grãos de quartzo que aí se encontram são resíduos da alteração do calcário. Com efeito, na parte inferior da camada explorada, vêem-se numerosos filões de quartzo penetrar na sua massa, o que explica porque a pedreira não vai até mais baixo. Este *karst* é, portanto, um *karst* coberto típico.



Foto 11 — “*Lapiez*” sobre um bloco basculado, Nova Granja (M.G.) Redução progressiva desses blocos desmoronados, pela dissolução

Isto nos permite compreender a raridade relativa dos afloramentos calcários e das formas cársticas subaéreas, mas resta ainda explicar porque, em cer-

tos lugares, o calcário aparece na superfície, ao passo que em outros êle é mascarado.

As nossas observações permitem-nos fazer intervir a combinação de dois fatores: a litologia e as oscilações paleoclimáticas.

A litologia está ligada às condições gerais de estrutura. As camadas de calcário das redondezas de Belo Horizonte pertencem à série Bambuí e são datadas do Siluriano. Elas estão em contacto imediato, em sua base, com o complexo cristalino brasileiro. Em nenhuma parte pudemos observar êsse contacto, mas tudo nos leva a crer que êle seja complicado. Com efeito, na pedreira Cauê, a base dos calcários sofreu um princípio de metamorfismo. Ela é atravessada por pequenos filões de quartzo de alguns centímetros de espessura,



Foto 12 — Depósito de tufo antigo sôbre uma parede calcária, Nova Granja (M G)

muito retorcidos, no meio de uma camada de calcários margosos violentamente amarrotada. Não se trata, portanto, de um simples enchimento filonar de fissuras abertas na massa calcária, mas de um começo de metamorfismo, posterior, além disso, à fase principal de metamorfismo do complexo brasileiro. Êle afeta sòmente uma zona de transição de algumas dezenas de metros de espessura, no máximo, e em tôda a região nota-se a juxtaposição, a distância muito pequena, de calcários puros e de rochas metamórficas típicas, como os gnaisses que afloram no corte da estrada a menos de um quilômetro da pedreira Cauê, em direção a Pedro Leopoldo.

O contacto dos calcários e do complexo metamórfico subjacente é muito irregular, tanto pelo fato do metamorfismo da base dos calcários, quanto por causa de acidentes tectônicos, notadamente numerosas pequenas falhas que põem em contacto lateral o calcário não metamorfizado e o complexo metamórfico

Tôdas as vêzes que o calcário puro está juxtaposto ao complexo metamórfico, é êste último que é desgastado pela erosão diferencial e desempenha o papel de rocha tenra. Contentemo-nos em citar alguns exemplos particularmente demonstrativos:

— Na pedreira Cauê, o declive côncavo abaixo da cornicha de calcários maciços corresponde ao complexo metamórfico em tôda a parte sul da pedreira. Isto indica que o complexo metamórfico desempenhou o papel de rocha tenra, em relação aos calcários maciços.

— A 6-8 quilômetros de Sete Lagoas, na estrada para Fortuna, os maciços rochosos calcários são circundados por um solo de alteração típico do complexo metamórfico, avermelhado, muito rico em grãos e fragmentos de quartzo. O pilar calcário basculado, da foto n.º 1, se explica pelo afundamento do complexo metamórfico subjacente, em virtude de sua alteração.

— Na estrada de Pedro Leopoldo a Sete Lagoas, sobretudo nos arredores de Matozinhos, numerosos escarpamentos calcários retilíneos dominam imediatamente solos de alteração alimentados pelo complexo metamórfico. Nós os interpretamos como pequenos escarpamentos de linha de falha.

A existência dos relevos calcários isolados, formando verrugas, de modo tão característico, sôbre as colinas metamórficas, explicar-se-ia então pelo jôgo da erosão diferencial, que teria destacado massas de calcário conservadas intactas, enquanto que as rochas encaixantes estavam metamorfizadas. Certos escarpamentos retilíneos localizados seriam escarpamentos de linha de falha constituídos por calcários postos em contacto lateral com o complexo metamórfico. Êsses fenômenos caracterizam a base da série siluiana. Mais alto, lá onde o metamorfismo não se fêz sentir, os afloramentos calcários localizados resultam da limpeza parcial de um *karst* coberto

Resta-nos agora explicar como se opeio essa erosão diferencial e como se efetuou essa limpeza parcial do *karst* coberto. É um problema de morfologia climática.

Para resolvê-lo, devemos levar em conta as oscilações paleoclimáticas.

Os cortes frescos muito numerosos nas estradas da região mostram-nos claramente a contextura das vertentes. O corte-tipo é o seguinte:

— Em cima, argilas lateríticas vermelhas em que a textura da rocha matriz está completamente apagada. Esta camada é descontínua e não ultrapassa alguns metros de espessura.

— Um horizonte de cascalhos formado de fragmentos de quartzo de alguns centímetros, dispostos em revestimento, geralmente contínuo, e truncando as argilas lateríticas vermelhas. Êle repousa, às vêzes, diretamente sôbre o metamórfico decomposto.

— Uma nova camada de argilas lateríticas, em que as côres vermelha e amarela se mesclam, composta de elementos deslizados, misturados uns com



Foto 13 — “Lapiez” limpos na pedreira Cauê, Pedro Leopoldo (M G) . Notar as cavidades subterrâneas calcadas sôbre as juntas na parte inferior da frente de talha da pedreira



Foto 14 — Grandes “lapiez” da cornicha da pedreira Cauê, Pedro Leopoldo (M G) . “lapiez” gigantescos, de 15 a 20 m de altura, cuja metade inferior é limpa artificialmente para a exploração do calcário. A metade superior, com forte declive, na vertente, foi limpa durante as fases secas pelas enxurradas e os deslises. Na base, o calcário torna-se metamórfico. Ao contato d’este nível menor permeável, os “lapiez” se ampliam, transformando-se em grutas.

os outros, cuja espessura é geralmente de 3 ou 4 metros, mas atingindo localmente, ao pé de certas vertentes, uma dezena

O revestimento de cascalho é um elemento alógeno, formado de resíduos concentrados pela erosão pluvial. Ele corresponde a um período sêco, com cobertura vegetal pouco densa (campo limpo?) Revestimentos análogos formam-se hoje em dia na mesma região sob o efeito do pastoreio excessivo. A destruição das ervas pelos animais provoca a erosão das partes finas do solo e a concentração, na superfície, dos elementos grosseiros demais para serem arrastados pelo escoamento difuso das águas, elementos êsses que são geralmente quartzosos, devido à maior resistência do quartzo à alteração.

A camada que recobre o revestimento é igualmente alógena e constitui não um solo, mas uma "formação de encosta", correspondente a um período de importante morfogênese mecânica, provavelmente também sêco. Ela foi depositada por deslizamentos, corridas de lama, talvez mesmo escoamento ou lavas torenciais. Ela indica uma fase de intenso modelamento das vertentes, atualmente terminado, pelo menos quando o homem não destrói imprudentemente a cobertura vegetal. A tendência natural, atualmente, é, de fato, a formação de um solo à custa dessas formações de encosta, que são, em alguns lugares, dissecadas por certas ravinas.

Por ocasião desses períodos secos, os solos de alteração da parte média ou superior das vertentes deslizaram e vieram acumular-se na base dos declives, à qual êles deram uma forma côncava característica (foto n.º 16). Pensamos que foi então que se deu a limpeza parcial das paredes calcárias, a exumação de certas formas de *Karst* coberto. Ao mesmo tempo, as depressões cásticas eram parcialmente entulhadas e suas formas suavizadas. Esta exumação foi influenciada por três fatores principais:

— O abrupto da encosta: quanto mais íngreme era a encosta, mais intensa era a ablação e mais fácil a limpeza. É isto que explica como as cabeças de rochedos calcários tenham sido postas a nu principalmente na parte média das vertentes, a mais íngreme, abaixo da convexidade do alto.

— A espessura das formações de alteração, que é, ela própria, função da natureza do calcário. Na pedreira de Nova Granja, que explora camadas situadas bem acima da zona metamorfizada, o calcário é muito puro, com 98% de CaCO_3 . As argilas de alteração são pouco abundantes e assumem a *facies* de uma *terra rossa* típica. Elas foram facilmente removidas pelas enxurradas e acumuladas no sopé das escarpas calcárias. Grandes paredões foram postos a nu, que sofrem a evolução cárstica subaérea. Na pedreira Cauê, o calcário é mais impuro (95% de CaCO_3) e a produção de argila de alteração é mais abundante: a remoção da rocha *in situ* foi mais difícil e está menos adiantada.

— O aspecto do contacto entre a rocha *in situ* e as formações de alteração desempenhou um papel muito grande no desenvolvimento dos deslizamentos e movimentos de massa. Nas vertentes metamórficas, a passagem progressiva a rocha decomposta favoreceu os deslizamentos que puderam afetar uma grande espessura de formações móveis e tiraram proveito de uma superfície lisa. No calcário, contrariamente, os *lapiez* cobertos dão uma superfície rugosa

NITERÓI S. GONÇALO E CIRCUNVIZINHANÇAS

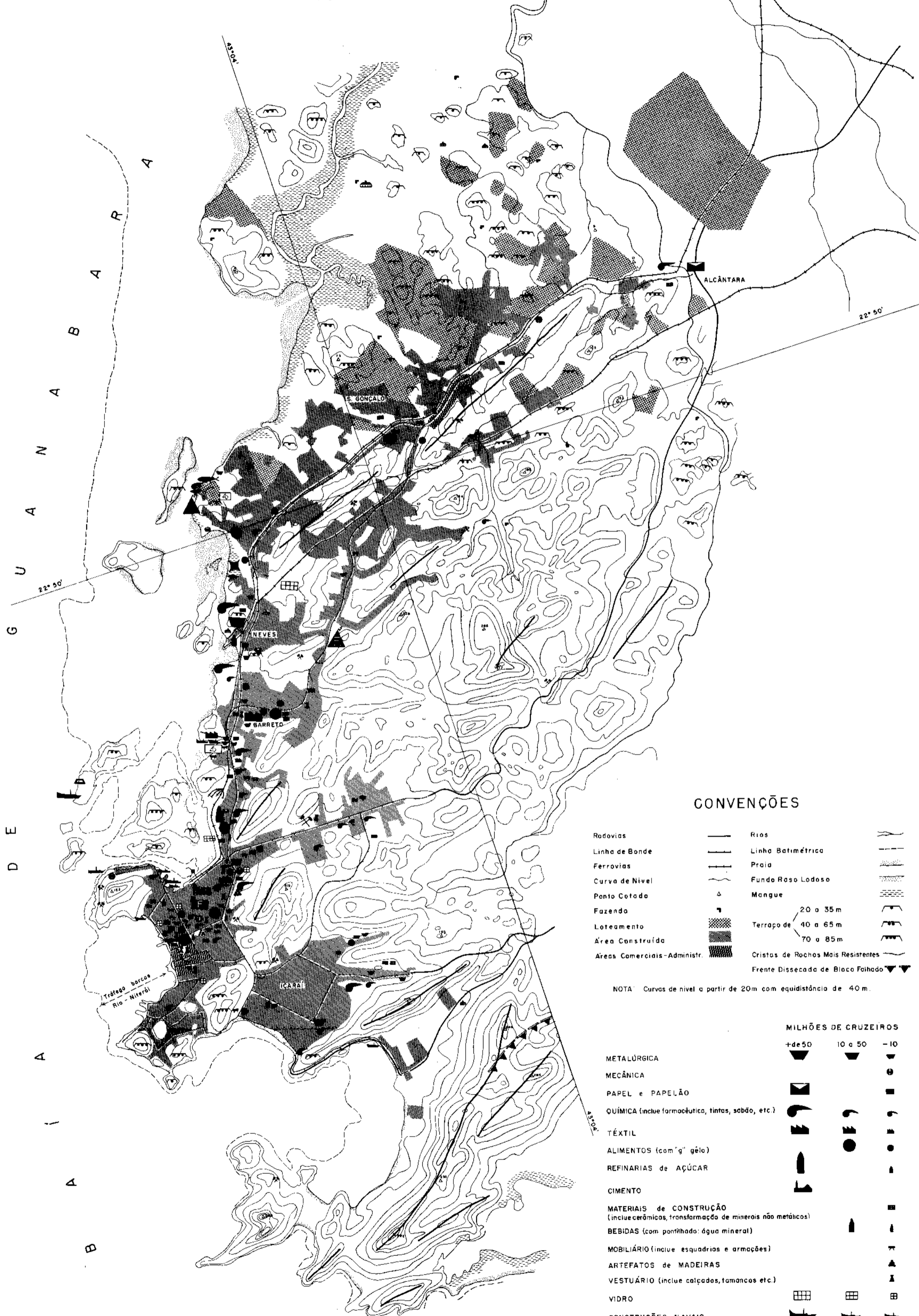
ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGIA E DE ATIVIDADES HUMANAS

CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA
DIVISÃO DE GEOGRAFIA

ESCALA



1956



CONVENÇÕES

Rodovias	—	Rios	—
Linha de Bonde	—	Linha Batimétrica	—
Ferrovias	—	Praia	—
Curva de Nivel	—	Fundo Raso Lodoso	—
Ponto Cotado	▲	Mangue	—
Fazenda	—	Terrapó de 20 a 35 m	—
Loteamento	—	Terrapó de 40 a 65 m	—
Área Construída	—	Terrapó de 70 a 85 m	—
Áreas Comerciais-Administr.	—	Cristas de Rochas Mais Resistentes	—
		Frente Dissecada de Bloco Falhado	—

NOTA: Curvas de nível a partir de 20m com equidistância de 40m.

MILHÕES DE CRUZEIROS

	+de 50	10 a 50	- 10
METALÚRGICA	▲	▲	▲
MECÂNICA	▲	▲	▲
PAPEL e PAPELÃO	▲	▲	▲
QUÍMICA (inclui farmacêutica, tintas, sabão, etc.)	▲	▲	▲
TÉXTIL	▲	▲	▲
ALIMENTOS (com "g" gelo)	▲	▲	▲
REFINARIAS de AÇÚCAR	▲	▲	▲
CIMENTO	▲	▲	▲
MATERIAIS de CONSTRUÇÃO (inclui cerâmicas, transformação de minerais não metálicos)	▲	▲	▲
BEBIDAS (com pontilhado: água mineral)	▲	▲	▲
MOBILIÁRIO (inclui esquadrias e armações)	▲	▲	▲
ARTEFATOS de MADEIRAS	▲	▲	▲
VESTUÁRIO (inclui calçados, tamancos etc.)	▲	▲	▲
VIDRO	▲	▲	▲
CONSTRUÇÕES NAVAIS	▲	▲	▲
SARDINHAS	▲	▲	▲
COUROS	▲	▲	▲
OLARIAS	▲	▲	▲
PEDREIRAS	▲	▲	▲
MOINHOS de CEREAIS	▲	▲	▲
FRIGORÍFICO	▲	▲	▲
MATADOURO	▲	▲	▲
REFINAÇÃO de SAL	▲	▲	▲
USINA TERMOELÉTRICA	▲	▲	▲
USINA de TRANSFORMAÇÃO ELÉTRICA	▲	▲	▲
PORTO	▲	▲	▲
DEPÓSITO de PETRÓLEO	▲	▲	▲

DOCUMENTAÇÃO

"Carta Porto do Rio de Janeiro" em 1:25.000 da Diretoria de Navegação 1938
 "Carta 'Baía de Guanabara'"
 "Mapa Geomorfológico da Baía de Guanabara" de Francis Ruellan (R.B.G.) C.N.G.
 "Carta 'Niterói'" em 1:50.000 do Serviço Geográfico do Exército 1933.
 "Carta São Gonçalo" em 1:20.000 da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército 1952

MAPA ORGANIZADO POR:

Pedro Pinchas Geiger e Maria Emilia de Oliveira

COM A COLABORAÇÃO DE:

Gelson Rangel Lima, Lino Ferreira de Barros,
 Maria Madalena Vieira Pinto, Nize Apolinário,
 Amélia Albo Nogueira, Maria Rita de La Roque Guimarães

Desenhado por: Martinho C. Castro

NOTA: não foram incluídas panificadoras, construções civis e tipografias.



Foto 15 — "Lapiez" cobertos na pedreira Cauê, Pedro Leopoldo (M G) Encosta regular, inteiramente atapetada de solo, que mascara completamente grandes e profundos "lapiez", os quais são limpos artificialmente para a exploração do calcário. O modelado desses "lapiez" é análogo ao dos "lapiez" de Nova Granja.



Foto 16 — Processo de isolamento de uma colina calcária, 5 km ao norte de Matozinhos (M G) Relêvo ondulado de formas amplas e irregulares, moldadas em parte pelos deslizamentos dos períodos secos quaternários. Não decurso desta dissecção foi exumada a colina calcária do centro, de flanco formado de degraus correspondentes aos bancos.

que dificultou os deslizos ancorando a cobertura móvel, que é, além disso, menos espessa. Mas as formas e as dimensões desses *lapiez* dependem da *facies* do calcário e sobretudo da espessura dos bancos. Lá onde esses *lapiez* são gigantescos, a limpeza foi particularmente difícil e foi detida, muitas vezes, no nível da parte superior dos pináculos, o que faz aflorar somente as cabeças de rochas. Uma grande parte da pedreira Cauê está neste caso. Onde os *lapiez* eram menos profundos, como na pedreira Nova Granja, a limpeza foi mais fácil.

Todos esses fatores fizeram exumar sobretudo as paredes íngremes e, notadamente, os contactos brutais por falhas ou por juxtaposição lateral de camadas metamorfizadas e de calcários puros. Eles explicam a ocorrência insólita dos rochedos calcários na paisagem, a colmatagem das depressões fechadas por formações deslizadas.

Esse estudo do *karst* das vizinhanças de Belo Horizonte permite tirar algumas conclusões de ordem geral:

— A existência de *karsts* cobertos nas regiões tropicais, enquanto que têm sido descritos essencialmente, até agora, *karsts* nus, mais espetaculares. Esses *karsts* cobertos parecem freqüentes: nós observamos em Serrana (São Paulo), *lapiez* cobertos do mesmo tipo nas brechas de falhas ricas em calcário da mina de apatita *

— Um tipo de *karst* particular, ligado a um metamorfismo parcial de uma série calcária, e caracterizado pela exumação do calcário por erosão mais rápida das formações metamórficas encaixantes, fornecendo mais produtos de alteração móveis e muito móveis.

— A importância primordial das oscilações paleoclimáticas para explicar o relevo do Brasil na vizinhança do trópico.

RÉSUMÉ

Le *karst* de la région au N de Belo Horizonte est caractérisé par l'apparition sporadique de rochers calcaires en forme de verrues ou de tours ou d'escarpements au milieu de collines aux profils concavo-convexes réguliers. Cues affleurements calcaires son réduits actuellement par les seuls processus chimiques et biochimiques qui les burinent de lapiez et de cannelures. Les racines des arbres semblent jouer un rôle déterminant dans l'élargissement des diaclases.

L'occurrence sporadique des rochers calcaires s'explique par tout une combinaison de facteurs dont les principaux sont:

— Une érosion différentielle ayant altéré plus vite et plus massivement les formations métamorphiques que le calcaire. Or, ce calcaire est partiellement métamorphisé, et de manière irrégulière, à sa base. Les noyaux de calcaire pur ont été dégagés des formations métamorphisées encaissantes, ce qui donne les massifs de rochers calcaires en forme de verrues. Les contacts brusques par petites failles ont été également mis en valeur, engendrant de petites murailles calcaires rectilignes.

— Les jeu des oscillations paléoclimatiques quaternaires, qui ont réglé cette érosion différentielle. Pendant les phases humides, les rochers métamorphiques se sont profondément altérés en produits meubles, argilo-sableux, aisément évacuables. Pendant des phases sèches, le ruissellement et les glissements ont enlevé d'importantes quantités de produits d'altération, surtout sur les pentes les plus raides, ce qui a exhumé certaines parois calcaires et nettoyé des lapiez couverts.

Cette étude montre un type nouveau de *karst*: un *karst* dans des formations partiellement métamorphisées. Elle souligne l'importance des formes de *karst* couvert dans un pays tropical, alors qu'on avait insisté jusqu'à présent sur des formes nues, notamment les *karst* à tours et mornes des Antilles. Elle démontre la nécessité de prendre en considération d'importantes fluctuations climatiques quaternaires pour expliquer la morphogénèse du relief du Brésil aux environs du 20° degrés de latitude sud.

* Visita feita sob a direção do Prof. J. DIAS DA SILVEIRA, a quem temos a satisfação de exprimir aqui os agradecimentos nossos e de J. DRESCH.

RESUMEN

El *karst* de la región al norte de Belo Horizonte es caracterizada por el apareamiento esporádico de peñascos calcáreos en forma de verrugas o de torres o de escarpas, en el medio de colinas con perfiles cóncavoconvexos regulares. Esos afloramientos calcáreos son reducidos actualmente por los únicos procesos químicos y bioquímicos, que los burilán con *lapiez* y *caneluras*. Las raíces de los árboles parecen desempeñar un papel determinante en el alargamiento de las diaclasis.

La ocurrencia esporádica de los peñascos calcáreos se explica por toda una combinación de factores, de los que son los principales:

— Una erosión diferencial que alteró más rápida y más macizamente las formaciones metamórficas que el calcáreo. Luego ese calcáreo es parcialmente metamorfozido, y de una manera irregular, en su base. Los núcleos de calcáreo puro fueron desprendidos de las formaciones metamorfozadas encajonantes, lo que forma los macizos de peñascos calcáreos en forma de verugas. Los contactos bruscos por pequeñas quiebras fueran igualmente valorados, engendrando pequeñas murallas rectilíneas.

— El juego de las oscilaciones paleoclimáticas cuaternarias, que reglaron esa erosión diferencial. Durante las fases húmedas, las rocas metamórficas fueron hondamente alteradas en productos móviles, arcillo-arenosos, fácilmente evacuables. Durante las fases secas, los chaparrones y los deslices acarrearón importantes cantidades de productos de alteración, sobre todo en los ribazos más empinados, lo que exhumó ciertas paredes calcáreas y limpió *lapiez* cubiertos.

Este estudio muestra un tipo nuevo de *karst*: un *karst* en formaciones parcialmente metamorfozadas. Él salienta la importancia de las formas de *karst* cubierto en una región tropical, al paso que, hasta ahora, se había insistido sobre formas desnudas, natadamente los *karsts* con torres y otros, de las Antillas. Él demuestra la necesidad de llevarse en consideración importantes fluctuaciones climáticas cuaternarias para explicar la morfogénesis del relieve del Brasil, en las vecindades de los 20 grados de latitud sul.

SUMMARY

The *karst* of the region North of Belo Horizonte can be characterized by the sporadic existence of calcarean mole like rocks or towers or slopes, in the middle of regular concave convex perfilled hills. These calcarean surfaces are actually reduced by the only chemical and biochemical processes, which burilize them with *lapiez* and *caneluras*. The tree roots seem to play an important role in the alargement of the diaclasis.

The sporadic occurrence of calcarean rocks can be explained by a series of factors, the principal of which are:

A differential erosion which charged more rapidly and more compactly the metamorphic formation than the calcarean soils. This calcar is partially metamorphized in its base in an irregular manner. The nuclei of pure calcar were separated of the metamorphic formation which form calcarean mole like rocks. The rough contact have equally increased in value, forming and straight walls.

The up and down of the paleoclimatic quaternary, which regulate this differential erosion. During humid periods the metamorphic rocks were greatly changed to moving lime-sandy products of easy evacuations. During the drought period the torrents and slopes carried considerable quantities of alteration products, mainly on the slopy side, which unburried some calcarean walls and cleaned out covered *lapiez*.

This study shows a new type of *karst* of partially metamorphic formations. It stresses the importance of the covered *karst* forms in a tropical region, whilst, up to now, it had been insisted on uncovered forms, especially the *karsts* with towers and hills of the Antilhas. It demonstrates the necessity of considering important climatic-quaternary fluctuations in order to explain the morphogenesis of the relief of Brazil on about 20 degrees south latitude.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Karst des Nordgebietes von Belo Horizonte ist karatesiert durch periodische Ercheinung von Kalkgesteinen in Form von Warzen, Turm und Abhaengen in Mitten von Huegeln mit regelmässigen Konkav — und Konvexprofilen. Diese Kalkgesteine werden heute durch die einzigen chemischen und biochemischen Prozesse reduziert, welche sie mit *lapiez* und Kanelierungen gravieren. Die Wurzeln der Baume scheinen eine entscheidene Rolle in der Erweiterung der Diaklasen zu spielen.

Das periodische Vorkommen von Kalkgesteinen kann durch die Kombination von gewissen Faktoren erklart werden, von denen folgende die wichtigsten sind:

— Eine Differentialerosion, die schneller und massiver die metamorfoischen Formen als die kalkarischen veraenderten. Dieser Kalkaden wird in ihrer Basis in ungleichmaessiger Art teilweise metamorfoisiert. Die Kerne des reinen Kalks wurden von den einfuengende metamorfoischen Formationen abgesprengt, welche die massiven Kalkpesteine in Form von Warzen bilden. Die ploetzliche Beruehrung durach kleine Absplitterungen waren ebenfalls von Bedeutung, da sie geradelaufende Mauern bildeten.

— Das Spiel der paleoklimatischen quaternaeren Schwingungen, regulierte diese Differentialerosion. Waehrend der feuchten Fasenurden die metamorfoischen Felsen von Grund auf in beweglichen Produkte gruendlich umgewandelt: leichte, abraeumbare und tosendige. Waehrend der Trockenphase trugen die Stroeme und die Ausgleitungen grosse Mengen von Wechselprodukten, vor allem auf den steileren Abhaengen, wodurch gewisse kalkarische Waende freigelegt und *lapiez* gereinigt wurde. Dieses Studium zeigt einen neuen Typ von Karst; einen Karst in teilweise metamorfoischen Formationen. Sie betont die Wichtigkeit der Formen des bedeckten Karsts in einer Tropenzone waehrend bis jetzt die blossen Formen vor allen des Karsts mit Turmen und Bergen der Antillen bestanden. Sie zeigt die Notwendigkeit die wichtigen klimatischen quaternaeren Schwankungen in Betracht zu nehmen, um die Morfogenese des brasilianischen Reliefs in der Nachbarschaft der 20° suedlichen Breite zu erklaren.

RESUMO

La *karst* de la regiono norde de Belo Horizonte karakteriziĝas de la sporada apero de kalkhavaj krutaj rokoj kun la formo de verukoj aŭ de turoj aŭ de krutajoj, meze de montetoj kun regula konkavaj-konvexaj profiloj. Tiuj kalkhavaj aperoj estas nun reduktitaj de la solaj procedoj Ĥemiaj kaj bioĤemiaj kiel Ĥin gravuras per *lapiez* kaj kanelajvj La radikoj de la arboj ŝajne ludas decidantan rolon ĉe la pillargigo de la diaklasoj

La sporada okazo de la kalkhavaj krutaj rokoj eksplikiĝas per tuta kombino de faktoroj, el kiuj la ĉefaj estas:

— Diferenciga erozio, kiu ŝanĝis pli rapide kaj pli masive la metamorfiajn formaciojn, ol la kalkajon. Nu, tiu kalkaĵo estas parte metamorfiigita — kaj en neregula maniero, en sia bazo La kerno de pura kalkaĵo estis elisitataj el la metamorfiigitaj formacioj enuĝigantaj, kio formas la masivaĵojn el kalkhavaj krutaj rokoj kun la formo de verukoj La abruptaj kontaktoj per malgrandaĵoj estis same valorigitaj, naskante malgrandaĵojn rektinajn muregojn

— La funkciado de la kvaternaraj paleoklimataj osciladoj, kiuj reguligis tiu diferencigan erozion Dum la malsekaj fazoj la metamorfiaj rokoj estis profunde ŝanĝitaj al moveblaj produktoj, argilasablecaj, facile evakueblaj Dum la sekaj fazoj la torentoj kaj la glitadoj transportis gravajn kvantojn da produktoj de ŝanĝo, precipe sur la plej krutaj deklivoj, kio elterigis iujn kalkecajn murojn kaj purigis kovritaĵojn *lapiez*

Ĉi tiu studaĵo montras novan tipon de *karst*, *karst* en formacioj parte metamorfiigitaj Ĉi substrekas la gravecon de la formoj de kovrita *karst* en tropika regiono, dum ĝis nun oni estis insistinta sur nudaj formoj, precipe la *karsts* kun turoj kaj montetoj, de la Antiloj Ĉi elmontras la necesecon, ke oni ekkonsideru gravajn kvaternarajn klimatajn ŝanĝiĝojn por ekspliki la morfogenezo de la reliefo de Brazilo, en la najbarajoj de la 20 gradoj de suda latitudo