

Astroblema

Domo de Vargeão, SC

Registro de impacto meteorítico
sobre rochas vulcânicas da
Bacia do Paraná

SIGEP 114

Alvaro Penteado Crósta ^{1a}

César Kazzuo-Vieira ^{1b}

Asit Choudhuri ^{1c}

Alfonso Schrank ^{1d}

O DOMO DE VARGEÃO é um dos raros exemplos de astroblemas em território brasileiro. Localizada na região oeste do estado de Santa Catarina, esta notável depressão circular possui aproximadamente 12 quilômetros de diâmetro e exibe desníveis abruptos de até 150 m entre suas bordas e as porções internas. A feição circular hoje existente nesse local representa o remanescente erosivo de uma cratera de impacto formada sobre rochas vulcânicas jurocretáceas da Formação Serra Geral pela colisão de um corpo extra-terrestre de grandes dimensões. Em seu interior, a estrutura é caracterizada do ponto de vista morfológico por sucessões de elevações e depressões topográficas arranjadas na forma de anéis concêntricos, produto de falhas rúpteis associadas ao processo de formação da cratera. Em sua parte central há um núcleo soerguido, constituído por brechas de impacto e arenitos das formações Pirambóia/Botucatu (Triássico/Jurássico) indivisas. Estes arenitos encontram-se cerca de 700 metros acima de sua posição estratigráfica normal para esta porção da Bacia do Paraná. Dentre as feições típicas de metamorfismo de impacto reconhecidas nas rochas do interior do Domo de Vargeão destacam-se a presença de *shatter cones* em arenitos e basaltos, brechas de impacto afetando basalto e arenito, além de feições planares de deformação (PDFs) em grãos de quartzo e de plagioclásio.

Palavras-chave: astroblema; cratera de impacto; metamorfismo de impacto

Vargeão Dome Astrobleme, State of Santa Catarina –
A meteoritic impact record on volcanic rocks of the Paraná Basin

Vargeão Dome is one of the few examples of astrobleme in the Brazilian territory. Located on the western part of Santa Catarina State, this conspicuous circular depression has a diameter of 12 km and depicts sharp topographic gradients of up to 150 meters between its borders and inner portions. The circular feature seems today represent the erosion remnants of the original impact crater, formed over volcanic rocks of the Serra Geral Formation (Jurassic-Cretaceous) by the collision of a celestial body. In its interior, this structure depicts a series of topographic elevations and depressions, arranged as concentric rings, probably formed by faulting associated to the crater formation process. The crater has a central uplift, comprising impact breccias and sandstones from the Pirambóia/Botucatu (Triassic/Jurassic) formations, which were vertically displaced by some 700 meters in comparison with their normal stratigraphic position in this portion of the Paraná Basin. Features due to impact metamorphism found at Vargeão include shatter cones in sandstones and basalts, impact breccias comprising fragments of basalts and sandstones and PDFs in quartz and plagioclase.

Key words: astrobleme; impact crater; impact metamorphism

INTRODUÇÃO

No Brasil apenas cinco estruturas são atualmente reconhecidas como astroblemas. Segundo Dietz (1961), astroblemas são crateras comprovadamente formadas por fenômenos de impacto de corpos extra-terrestres (genericamente chamados de ‘meteoritos’) contra a superfície terrestre, já em estágios avançados de erosão. Outras seis estruturas brasileiras podem ter origem semelhante, embora ainda não haja evidências conclusivas para as mesmas (Romano & Crósta, 2003; Crósta, 2004).

Entre esses cinco astroblemas está o Domo de Vargeão, localizado na região oeste de Santa Catarina (Figura 1), com centro definido pelas coordenadas 26°49’S e 52°10’W. Com um diâmetro total de 12,4 quilômetros, esta feição encontra-se dentro dos limites municipais das cidades de Vargeão, Faxinal dos Guedes e Passos Maia, sendo a primeira delas situada interior da estrutura, mais precisamente na borda meridional (figuras 2 e 3).

A ocorrência de uma feição circular anômala nesse local foi apontada inicialmente por Paiva Filho & Scheibe (1978), com base na observação de imagem de radar do Projeto RADAMBRASIL, que denominaram-na ‘Domo de Vargeão’. Os autores identificaram uma depressão circular com um padrão de fraturas anelares e radiais

em rochas ígneas extrusivas da Fm. Serra Geral da Bacia do Paraná, contendo em seu centro ocorrências de arenitos por eles relacionados à Fm. Botucatu (Jurássico). Devido à posição topográfica anômala desses arenitos, que nessa porção da Bacia encontram-se a várias centenas de metros de profundidade, abaixo das seqüências ígneas da Fm. Serra Geral, esses autores apontaram a existência de uma ‘janela estratigráfica’ e relacionaram sua origem a uma possível intrusão alcalina não-aflorante de idade cretácea, similar às de Lajes e Anitápolis, também em Santa Catarina.

O Domo de Vargeão foi estudado mais detalhadamente na década de 1980 por Barbour Jr. & Corrêa (1981), quando foram conduzidos na região trabalhos prospectivos para petróleo e gás. Esse autores realizaram levantamento geológico que resultou no reconhecimento de pelos menos quatro derrames vulcânicos entre a porção externa e o interior da estrutura, sendo os três inferiores de composição basáltica e o superior constituído por uma seqüência de rochas vulcânicas diferenciadas, por eles classificadas como quartzo-latito pórfiro. Os autores destacaram a natureza tectônica dos afloramentos de arenitos no centro da depressão, em contato por falhas com as rochas ígneas da Fm Serra Geral. A ocorrência de brechas no interior da estrutura foi notada por eles, tendo

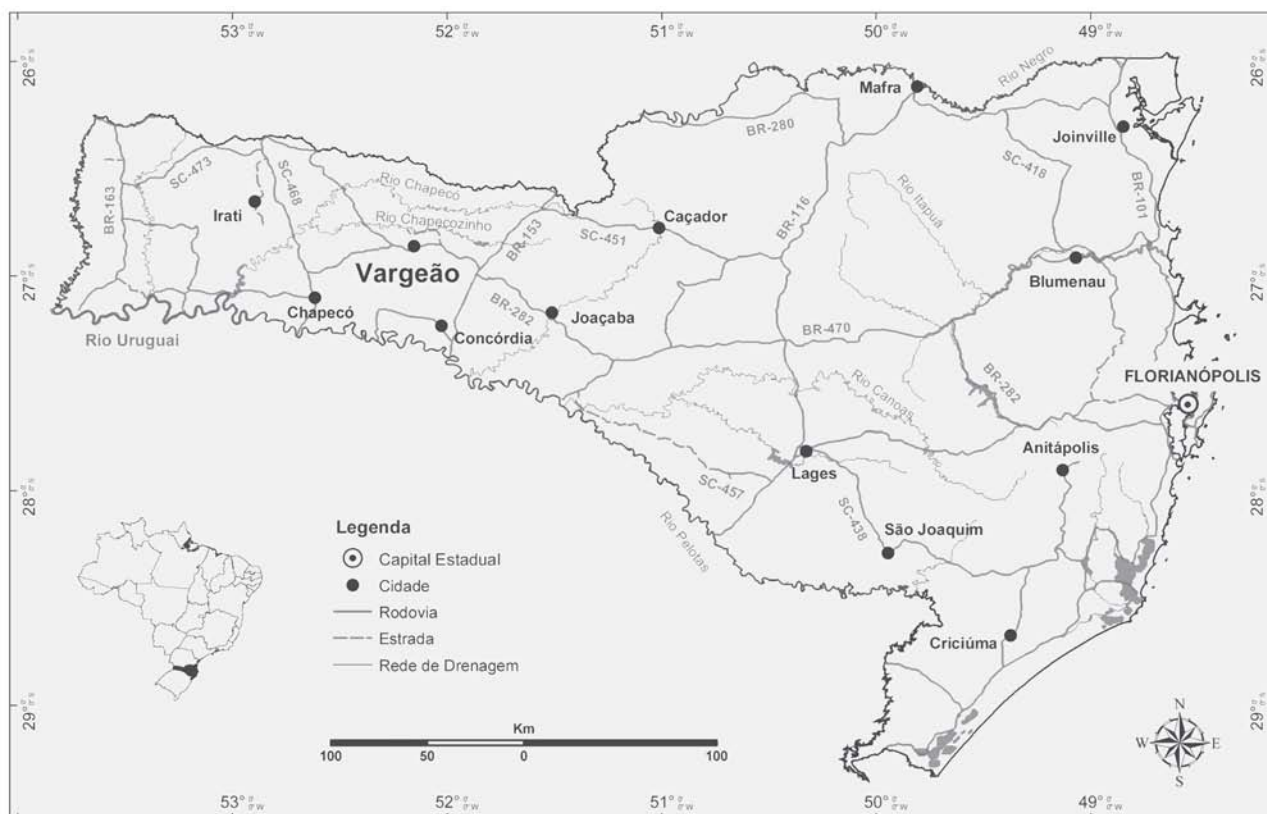


Figura 1- Mapa de localização e de acesso à cidade de Vargeão, localizada no interior da estrutura homônima.

Figure 1 - Location and access to Vargeão.

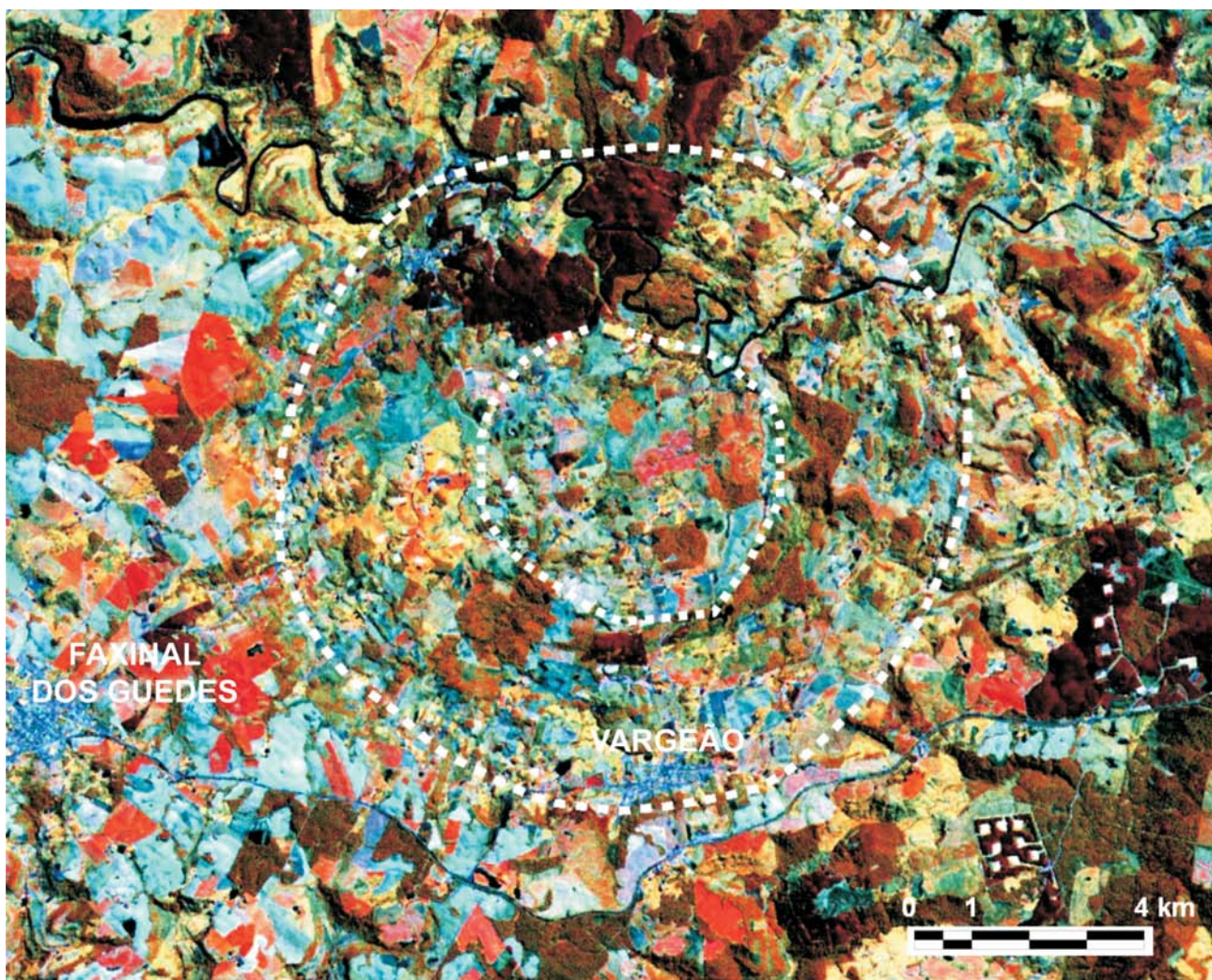


Figura 2 - Imagem do satélite Landsat, sensor ETM+ (composição das bandas 4, 5 e 3 em RGB, realçada pela banda pancromática) mostrando o astroblema de Vargeão. O círculo pontilhado externo indica a borda da cratera e o interno a posição aproximada do núcleo central soerguido. Destacam-se as feições anelares concêntricas e radiais em seu interior.

Figure 2 - Landsat/ETM+ satellite image (color composite of bands 4, 5 e 3 in RGB) showing the Vargeão astrobleme. The outer dashed line represents the crater rim and the inner line the approximate position of the central uplift. In the interior of the eroded crater there are conspicuous ring and radial features.

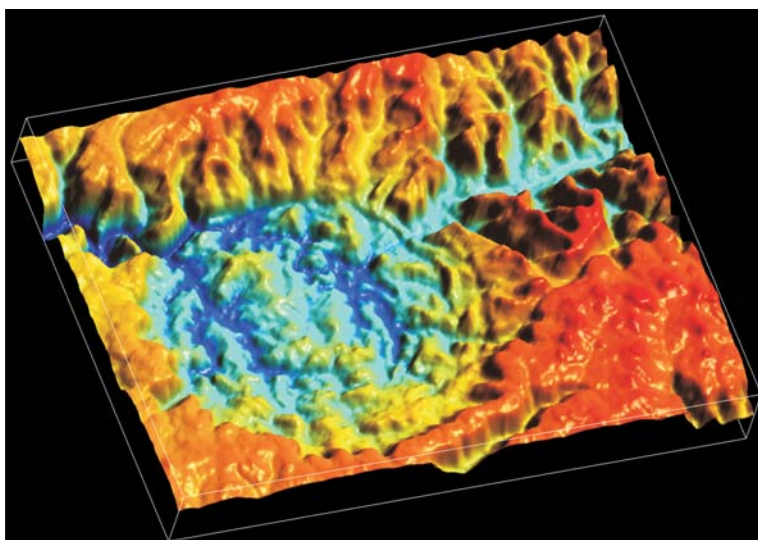


Figura 3 - Vista em perspectiva 3D do modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) do Domo de Vargeão. As cores quentes indicam altitudes mais elevadas e as cores frias as menos elevadas.

Figure 3 - Perspective 3-D view of Vargeão Dome using a digital elevation model from the Shuttle Topography Radar Mission (SRTM).

sido consideradas como brechas tectônicas e relacionadas ao mesmo evento de deformação responsável pela ascensão dos arenitos. Quanto à origem, Barbour Jr. & Corrêa (op. cit.) apontaram quatro possíveis causas para a formação do Domo de Vargeão: falhamentos (com deslocamentos verticais de até 500 metros), explosão criptovulcânica (por escape de gases ou pelo choque de um meteorito), explosão vulcânica com a formação de uma caldeira ou intrusão ígnea de filiação alcalina.

Trabalhos subseqüentes de Crósta (1982) e Paiva Filho *et al.* (1982) destacaram as similaridades morfológicas e tectônicas do Domo de Vargeão com outros astroblemas conhecidos na Terra, inclusive o Domo de Araguainha, à época o único astroblema comprovado no Brasil. Os autores apontaram ainda a inexistência de quaisquer evidências que suportassem as hipóteses de uma origem tectônica e/ou ígnea intrusiva ou extrusiva para a estrutura de Vargeão.

Crósta (1987) mencionou a ocorrência de feições planares de deformação (PDFs) em pelo menos duas direções em grãos de quartzo dos arenitos aflorantes no centro do Domo de Vargeão. Essa constatação, decorrente de análises petrográficas feitas por M. V. Coutinho (comunicação pessoal a A. P. Crósta), reforçou a hipótese de origem por impacto do Domo de Vargeão. PDFs são considerados feições diagnósticas de metamorfismo de impacto, servindo como critério para o reconhecimento de crateras formadas pelo impacto de meteoritos (Carter 1965; French 1998).

Hachiro *et al.* (1993) apresentaram evidências petrográficas de metamorfismo de impacto em amostras de arenitos e rochas vulcânicas do Domo de Vargeão. Nos arenitos os autores identificaram PDFs em grãos de quartzo e de feldspato, com direções cristalográficas segundo os planos {0001}, {1013} e {1012}, juntamente com a formação de vidro diaplético. Encontraram também feições de deformação em feldspato das rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral, tais como recristalização, rupturas, rotação e cominuição dos mesmos.

Kazzuo-Vieira (2003) e Kazzuo-Vieira *et al.* (2004) analisaram em maior nível de detalhe as feições de impacto associadas ao Domo de Vargeão, muitas das quais são apresentadas no presente trabalho.

O conjunto de evidências levantadas até o presente confere destacada importância ao Domo de Vargeão, por se tratar de uma das raras ocorrências de astroblema em território brasileiro e também no mundo. Esta feição apresenta características bastante favoráveis enquanto sítio geológico, dentre as quais se destacam a facilidade de acesso à área e aos principais afloramentos representativos, características cênicas destacadas e a cola-

boração da população local, que vem se mostrando interessada e atuante na sua divulgação enquanto patrimônio natural. Nesse sentido, sua transformação em sítio geológico contribuirá significativamente para a preservação, tanto para fins de estudos científicos, como também de divulgação geocientífica.

LOCALIZAÇÃO

A cratera de Vargeão se estende por áreas pertencentes aos municípios de Faxinal dos Guedes, Passos Maia e Vargeão sendo a sede desta última situada em seu interior, mais precisamente em sua borda meridional. O principal acesso ao interior da depressão que marca topograficamente o astroblema se dá inicialmente pela rodovia BR-282, a qual corta a porção oeste do estado de Santa Catarina na direção leste-oeste (Figura 1). A partir dessa rodovia, toma-se qualquer um dos três acessos à Vargeão, descendo-se pela escarpa que marca a borda sul da cratera até alcançar a cidade, localizada em seu sopé. A partir da cidade pode-se percorrer todo o interior da estrutura por estradas vicinais e intermunicipais, geralmente em bom estado de conservação. Os principais afloramentos de rochas representativas dos eventos de deformação e das feições de impacto associadas à formação da cratera ocorrem na sua porção central, principalmente nos domínios do núcleo central soerguido e no seu entorno (Figura 2), podendo ser vistos em cortes de estradas e nos locais de extração de brita, cascalho e areia comuns na área.

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

Aspectos Morfológicos e Estruturais

O Domo de Vargeão localiza-se em meio aos platôs formados sobre os derrames de lavas de composição máfica a félsica, dissecados pelos principais cursos fluviais da região oeste do estado de Santa Catarina (rios Chapecó, Chapecozinho, Irani e Uruguai). O primeiro aspecto relacionado à estrutura Vargeão a despertar a atenção de um observador é seu notável aspecto morfológico circular e multi-anelar (Figura 3) com desníveis abruptos em sua borda de até 150 m (Figura 4).

Tais características, passíveis de observação visual a partir da estrada de acesso que liga a BR-282 à cidade de Vargeão, podem ser apreciadas em imagens de satélite e/ou imagens de modelos digitais de elevação, como mostram as figuras 2 e 3. O uso dessas imagens de sensoriamento remoto permite a visualização e caracterização dos padrões de falhas e fraturas associadas à es-

trutura, assim como de suas bordas íngremes e de seus arranjos morfológicos internos, caracterizados por padrões multi-anelares de cristas topográficas. Todo o padrão de drenagem do interior da estrutura é fortemente controlado por falhas e fraturas, contribuindo para definir os arranjos supra-citados.

A cratera de Vargeão é do tipo complexa segundo a terminologia proposta por Dence (1968). As crateras complexas se diferenciam das do tipo simples pela existência de um núcleo central soerguido. Em Vargeão, a expressão superficial desse núcleo é dada pela ocorrência de arenitos aflorando em sua porção central, numa posição pelo menos várias centenas de metros acima do normal para as formações Pirambóia/Botucatu nesta porção da Bacia do Paraná. Três poços pioneiros para exploração de petróleo perfurados pela Petrobrás em regiões próximas ao Domo de Vargeão indicam profundidades mínimas para essas unidades variando entre 680 e 1.220 metros (poços 1RCH-0001-SC, 1SE-0001-SC e 2AL-0001-SC).

O núcleo soerguido de Vargeão formou-se durante os estágios intermediários de constituição da cratera, pelo alívio de carga e conseqüente ascensão de rochas que se encontravam originalmente abaixo de seu centro, representadas pelos derrames vulcânicos inferiores da Fm. Serra Geral e pelos arenitos das formações Pirambóia/Botucatu. O processo de ascensão foi acompanhado de intensos falhamentos rúpteis na porção central da cratera e no seu entorno.

Simultaneamente, as bordas da cratera temporária, formadas no estágio inicial do processo (de escavação) pela ação das ondas de choque decorrentes do impacto, entraram em colapso ao longo de falhas gravitacionais concêntricas, formando feições anelares soerguidas e abatidas (horsts e grabens). Por meio desse processo, as dimensões laterais da cratera foram aumentadas, formando-se a cratera final.

Os dois perfis da Figura 4, respectivamente nas direções norte-sul e leste-oeste, ilustram o modelo proposto para explicar a formação do núcleo soerguido e das bordas da cratera, por meio de falhas de caráter predominantemente vertical. Apesar do avançado estágio erosivo atual, com modificação significativa da morfologia origi-

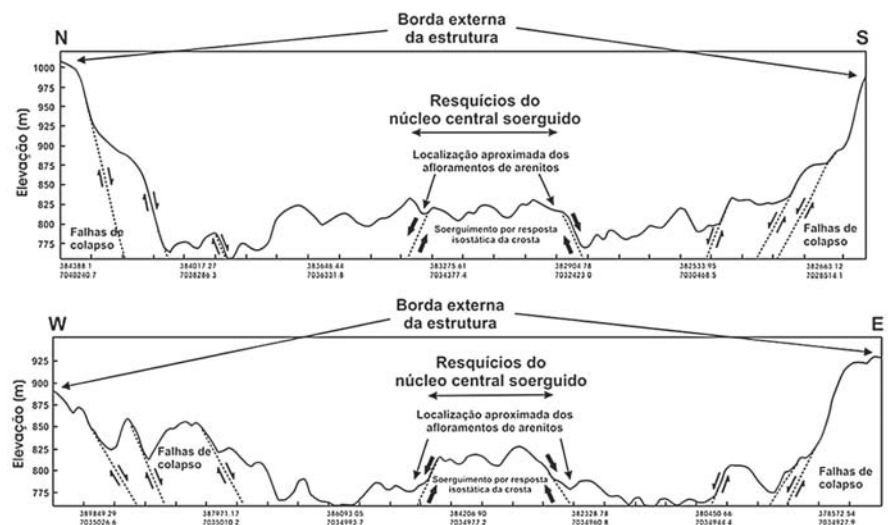


Figura 4 - Perfis topográficos de direção N-S e W-E onde se observa o acentuado gradiente topográfico das bordas da cratera, o núcleo central soerguido e as feições anelares concêntricas, decorrentes de falhamentos rúpteis associados à formação da cratera.

Figure 4 - Topographic cross-sections in the N-S and E-W directions showing the steep slopes of the crater rim, the central uplift and the concentric ring features, interpreted as products of the brittle faults associated with the formation of the crater.

nal da cratera, é possível relacionar o padrão morfológico interno atual no Domo de Vargeão a essas falhas de colapso e à formação do núcleo central soerguido. Conforme pode ser observado nas figuras 2 e 3, as escarpas presentes nas bordas da estrutura constituem desse modo feições preservadas das falhas de colapso originais. Já o núcleo soerguido não se destaca topograficamente como em outras crateras complexas (como por exemplo, no Domo de Araguinha), mas ainda assim há porções do mesmo com desníveis de até 70 metros em relação às áreas circunvizinhas situadas dentro da cratera.

Aspectos Litológicos

A Figura 5 mostra as principais litologias presentes no interior do Domo de Vargeão. Uma das características mais notáveis dessas rochas é que praticamente todas elas apresentam-se deformadas de algum modo, variando apenas a intensidade dessa deformação. Ainda assim, é possível relacionar os tipos litológicos aí presentes às unidades lito-estratigráficas da Bacia do Paraná que lhes deram origem.

As rochas vulcânicas pertencem à Fm. Serra Geral do Grupo São Bento e são representadas na região por derrames espessos de basaltos toleíticos (atingindo centenas de metros de espessura) e por quartzo-latito pórfiros (com dezenas de metros de espessura). Essas duas sub-unidades da Fm. Serra Geral foram denominadas por

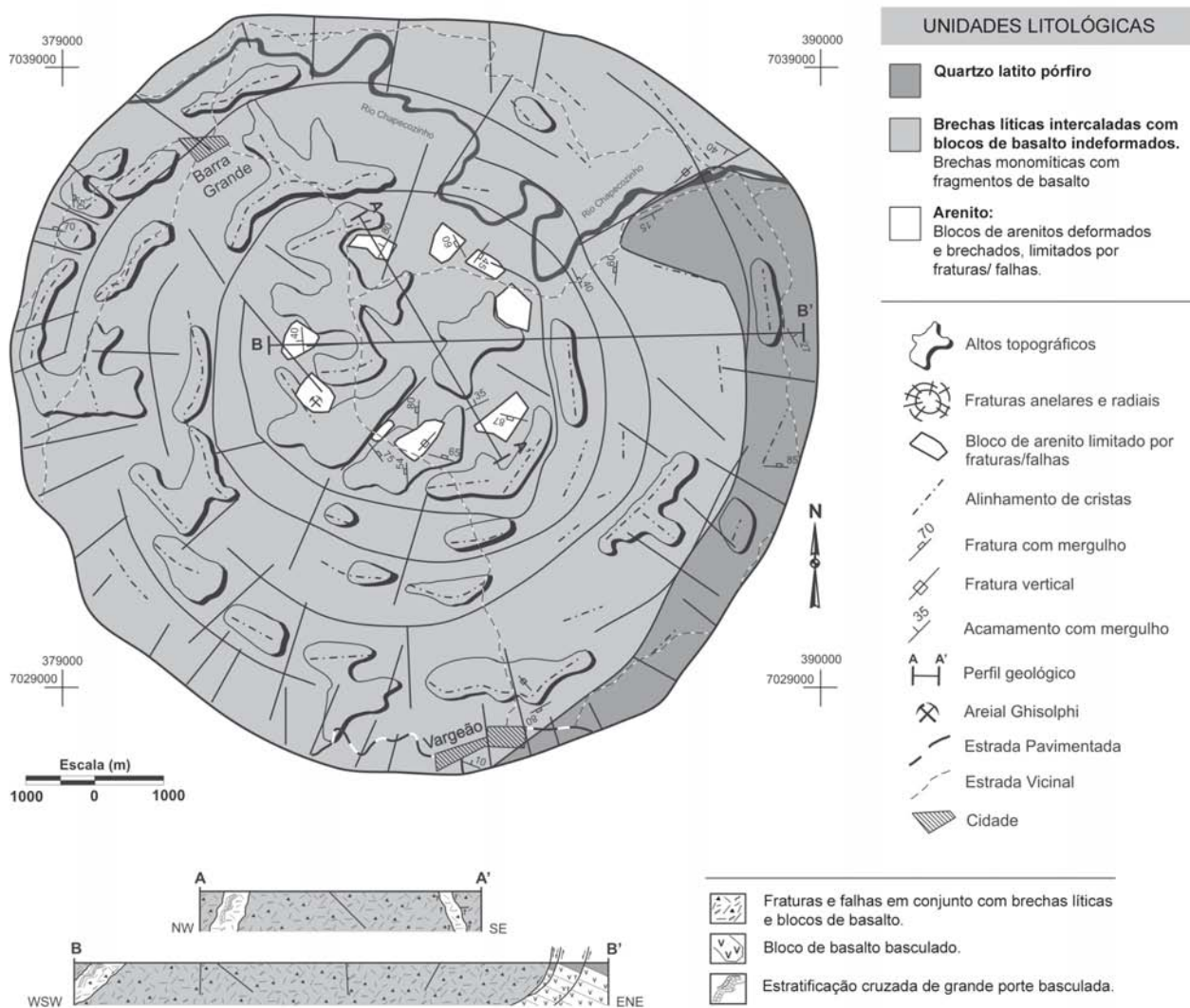


Figura 5 - Mapa geológico simplificado do astroblema de Vargeão.

Figure 5 - Simplified geologic map of the Vargeão astrobleme.

CPRM (2002) respectivamente de Basaltos Alto Uruguai e Ácidas Chapecó. Paiva Filho (2000) denominou essas mesmas unidades respectivamente de Membro Serra Geral Inferior e Membro Goio En. A unidade composta por quartzo-latito pórfiros recobre a unidade basáltica e constitui a borda externa da cratera em quase toda sua circunferência. O contato entre estas duas unidades constitui um nível guia de valor estratigráfico, que permite acompanhar os deslocamentos verticais das camadas de lava, resultantes dos movimentos induzidos pelo processo de formação da cratera.

A feição de deformação mais importante observada nos quartzo-latitos é o abatimento de blocos. Estas rochas foram afetadas principalmente pelas falhas marginais de colapso responsáveis pela delimitação das bordas da cratera. Elas correspondem a uma camada que originalmente se encontrava em níveis topográficos mais elevados (como se observa fora dos domínios do Domo

de Vargeão), tendo sido abatidas e basculadas em direção ao centro da cratera pela ação das falhas marginais.

A unidade que abrange os basaltos toleíticos é de difícil separação em relação às brechas nas porções mais centrais da cratera, alternando porções de maior ou menor grau de deformação com porções brechadas. Em direção às bordas do astroblema, assim como em alguns locais de seu interior, os basaltos aparecem em contato com os quartzo-latito pórfiros.

Os arenitos ocorrem no centro do Domo de Vargeão, nos domínios do núcleo soerguido da cratera. Dado o elevado grau de deformação dessas rochas, não foi possível relacioná-las com segurança às unidades litoestratigráficas que provavelmente lhes deram origem, que são as formações Pirambóia e Botucatu. Por esse motivo, esses arenitos encontram-se indiferenciados, sendo referidos como Pirambóia/Botucatu. Algumas das principais ocorrências de arenitos encontram-se expostas na

superfície, devido a atividades de extração de areia, como ocorre no Areal Ghisolphi, o de maiores dimensões dentre os vários ali existente (figuras 5 e 6-D). Como podem ser observadas na Figura 5, as ocorrências de arenitos se dão por meio de grandes blocos delimitados por falhas, em contato direto com rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral e/ou com brechas delas derivadas. Embora os arenitos apresentem um grau elevado de deformação, é possível encontrar blocos de dimensões métricas razoavelmente preservados, imersos em material arenoso deformado de granulação variável. Em alguns desses blocos são encontradas estruturas sedimentares originais, como estratificação cruzada (Figura 6-E).

FEIÇÕES DE METAMORFISMO E DE DEFORMAÇÃO POR IMPACTO

As principais feições decorrentes do metamorfismo de impacto que afetou as rochas nos domínios do Domo de Vargeão incluem brechas de impacto, fusão parcial de rochas basálticas, shatter cones em arenitos e em basaltos e feições microscópicas de deformação.

Brechas de impacto são rochas neo-formadas pelo evento de impacto, a partir das rochas pré-existentes na área atingida pelo meteorito, o que no caso de Vargeão inclui basaltos, quartzo-latitos e arenitos. Estas brechas, com feições muito características, apresentam cominuição multi-granulométrica, desde a granulometria de argilas até seixos, desenvolvidas na forma de lâminas, bandas e faixas, com espessuras variando desde poucos milímetros até uma dezena de metros. O grau de desenvolvimento das brechas aumenta em direção à porção central da cratera, aonde chegam a constituir seqüências de níveis que se alternam com rochas não perturbadas. No interior da cratera os contatos entre derrames transgridem os contatos estratigráficos originais (caracterizados por contatos entre basaltos maciços e amigdaloidais, brechas de topo de derrames e níveis amigdaloidais e maciços). Outro aspecto característico das brechas, e que permite sua fácil percepção, é a conspícua oxidação das suas porções argilosas, que se caracterizam pela cor vermelho-arroxeadas, independente da litologia afetada.

No Domo de Vargeão, as brechas ocorrem principalmente nas cristas concêntricas existentes nas porções centrais do astroblema, tanto no núcleo soerguido como também em algumas localidades no seu entorno. Essas brechas podem ser sub-divididas em dois tipos principais. O primeiro deles abrange as brechas monomíticas de rochas ígneas, geralmente contendo fragmentos de basaltos em uma matriz fina e mal selecionada (figuras 6-A, 6-B, 6-C, 7-A, 7-B e 7-C). O segundo tipo inclui as

brechas monomíticas constituídas exclusivamente por fragmentos de arenitos (figuras 6-F, 7-E e 7-F)

Exemplos de fusão parcial de rochas basálticas são mostrados nas figuras 6-C e 7-C, onde uma brecha é cortada por uma porção com estrutura fluidal de cor escura, composta por vidro oriundo de fusão parcial das rochas pré-existentes. Embora de ocorrência pouco freqüente no domínio do astroblema de Vargeão, esse tipo de estrutura aparece em alguns locais, sempre associada a brechas de impacto.

Shatter cones são agregados tridimensionais de estruturas cônicas estriadas, gerados pela deformação decorrente da passagem das ondas de choque do impacto pelas rochas. As raras ocorrências conhecidas no Brasil são limitadas aos astroblemas de Araguinha, Serra da Cangalha e Vargeão (Romano & Crósta, 2003). Em Vargeão, foram identificados shatter cones em quatro localidades diferentes, todas elas situadas próximas ao centro da estrutura, nos domínios de seu núcleo soerguido. As rochas nas quais se formaram essas estruturas cônicas estriadas são arenitos (figuras 8-A, 8-B e 8-C) e também basaltos (Figura 8-D). Cones individuais possuem dimensões variando de 12 até cerca de 35 centímetros, sendo que os de maiores dimensões foram encontrados nos arenitos expostos nas cavas do Areal Ghisolphi.

As feições microscópicas de deformação identificadas no astroblema de Vargeão são de vários tipos, destacando-se a ocorrência de feições planares de deformação (PDFs) e ruptura mecânica de minerais, também decorrentes da passagem de ondas de choque do impacto. Os PDFs constituem, junto com os shatter cones, feições diagnósticas da ocorrência de eventos de impacto de meteoritos (Carter 1965; Stöffler & Langenhorst, 1994; Grieve *et al.*, 1996; French, 1998). Em Vargeão foram observados PDFs tanto em grãos de quartzo como em plagioclásio. É comum a ocorrência de PDFs em grãos de quartzo provenientes dos arenitos aflorantes no centro do astroblema de Vargeão, tendo sido identificadas até quatro direções cristalográficas diferentes em um mesmo grão (Figura 8-E) (Hachiro *et al.* 1993, Kazzuo-Vieira 2003). Medidas dessas direções em platina universal indicaram picos de pressão superiores a 20 GPa atuantes localmente (Kazzuo-Vieira 2003). Em cristais de plagioclásio são identificados PDFs em até 5 direções cristalográficas distintas, conforme ilustrado na Figura 8-F.

As feições microscópicas de ruptura mais comuns são o fraturamento, o estilhaçamento e a cominuição de grãos minerais, muitas vezes formando mosaicos de grãos fraturados (figuras 7-A, 7-B, 7-E e 7-F). Grãos de quartzo originalmente arredondados, provenientes dos arenitos, foram transformados em agregados de lascas angulares (figuras 7-E e 7-F). Esses grãos com maior deformação

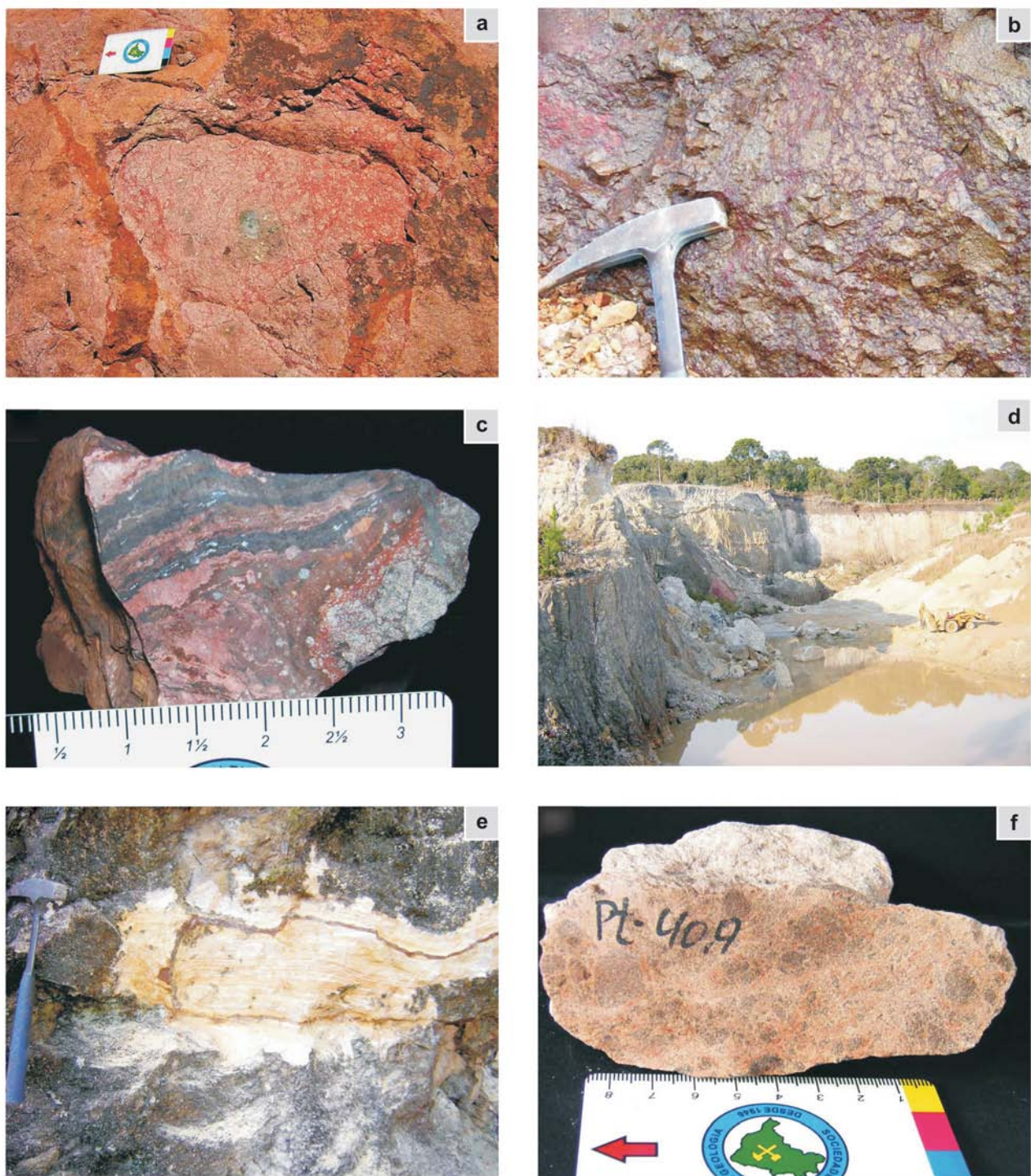


Figura 6 - A) veios e vênulas (tons cinza escuros) em brechas moníticas de basalto; B) detalhe de fragmentos angulosos a subangulosos de basalto englobados por uma matriz microcristalina de cor vermelha escura (brecha monomítica de basalto); C) clasto com estrutura fluidal em brecha monomítica de basalto; D) vista do Areial Ghisolfi, principal cava de extração de areia no interior do Domo de Vargeão; E) arenitos com estratificação cruzada cortados por veio de cor vermelha escura composto por material microcristalino; F) detalhe de brecha monomítica de arenito com clastos de arenitos envoltos por uma matriz cujos grãos apresentam alto grau de fraturamento e cominuição.

Figure 6 - A) veins and veinlets (reddish colors) in polymictic breccias comprising sandstones and basalts; B) basalt monomict breccia showing a detail of angular fragments of basalt in a microcrystalline matrix; C) clast with fluidal structure in basalt monomict breccia; D) view of Ghisolfi sand pit, the main sand extraction area within Vargeão Dome; E) sandstones with cross stratification cut by dark red vein of microcrystalline material; F) sandstone monomict breccia with sandstones clasts immersed in a matrix of fractured and shattered grains..

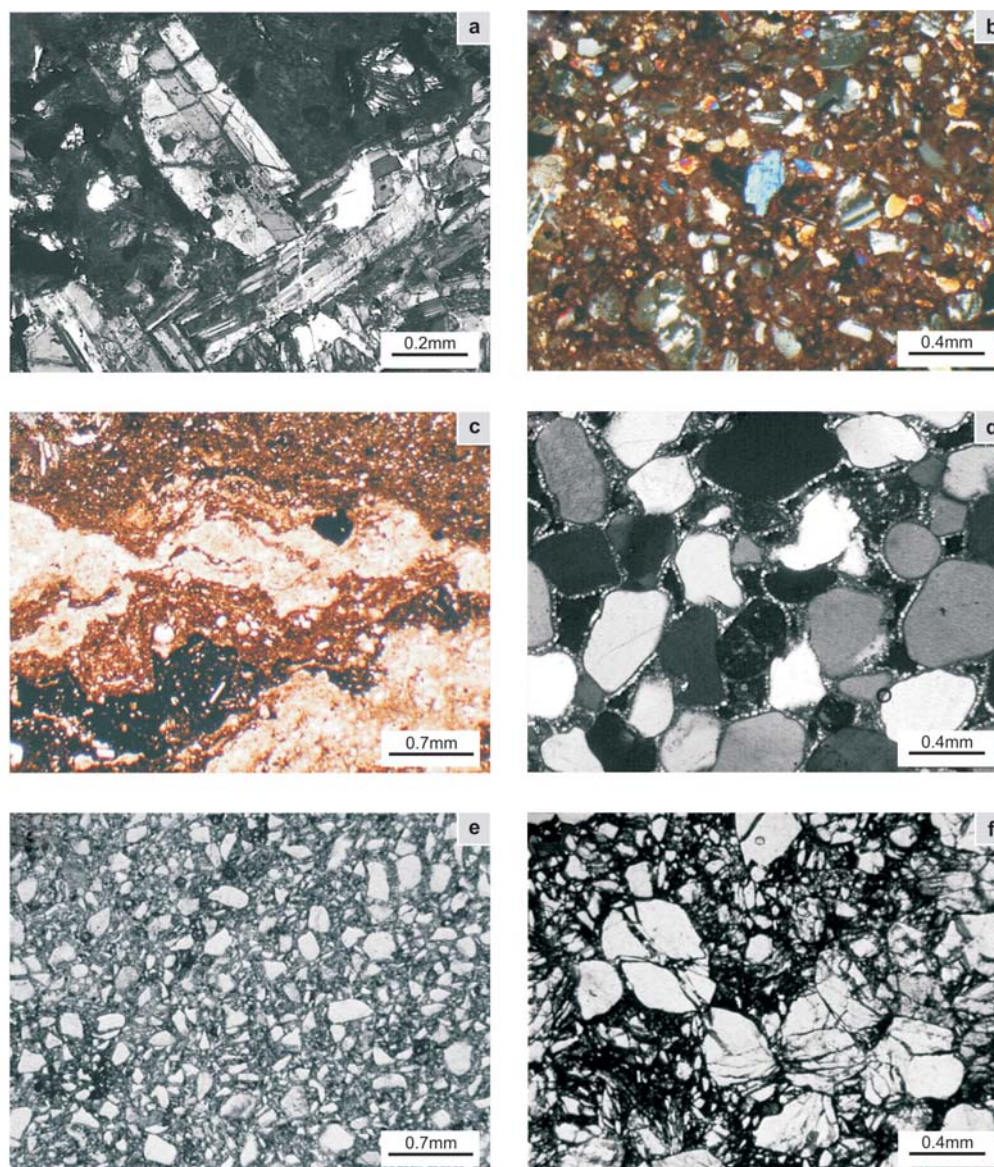


Figura 7 - Fotomicrografias A) plagioclásio muito fraturado no interior de um clasto de basalto com textura sub-óptica e incipiente fragmentação - nicóis X; B) estágio avançado de fragmentação e cominuição de minerais observado na fotomicrografia anterior, no qual fragmentos de piroxênio, plagioclásio e opacos são os principais constituintes da matriz das brechas monomíticas - nicóis X; C) estrutura fluidal na brechas da Fig. 6-C na qual as porções claras representam microbrecha composta por fragmentos de quartzo e as escuras são compostas por vidro, com ocasional presença de micrólitos de plagioclásio - nicóis X; D) fragmento de arenito do interior de brecha monomítica de arenito com grãos de quartzo sub-arredondados e sub-angulosos indeformados, com preservação da cimentação de sílica microcristalina, - nicóis X; E) mosaico de grãos de quartzo fraturados e cominuídos em conjunto com grãos indeformados - nicóis //; F) detalhe do mosaico de grãos de quartzo com fraturas atravessando vários grãos, indicando que não houve movimentação após a deformação para a formação do mosaico observado na fotomicrografia E - nicóis X.

Figure 7 - A) basalt polymict breccia with strongly fractured plagioclase grain within a basalt fragment with sub-ophitic texture and incipient fracturing – X nicols; B) a more advanced fracturing stage of the breccia seen in 7-A, in which fragments of piroxene, plagioclase and opaque minerals constitute the matrix – X nicols; C) detail of fluidal structure in which the bright portions are microbreccia comprising quartz fragments and the dark ones comprise mainly glass, eventually with the presence of plagioclase microlites – X nicols; D) sandstone fragment from the sandstone monomict breccia with undeformed, sub-rounded to sub-angular quartz grains, with microcrystalline silica cementation preserved – X nicols; E) fractured and shattered quartz grains forming a mosaic, together with undeformed quartz grains – parallel nicols; F) detail of the mosaic of quartz grains with fractures crossing several grains, suggesting that there was no post-deformation movement – X nicols.

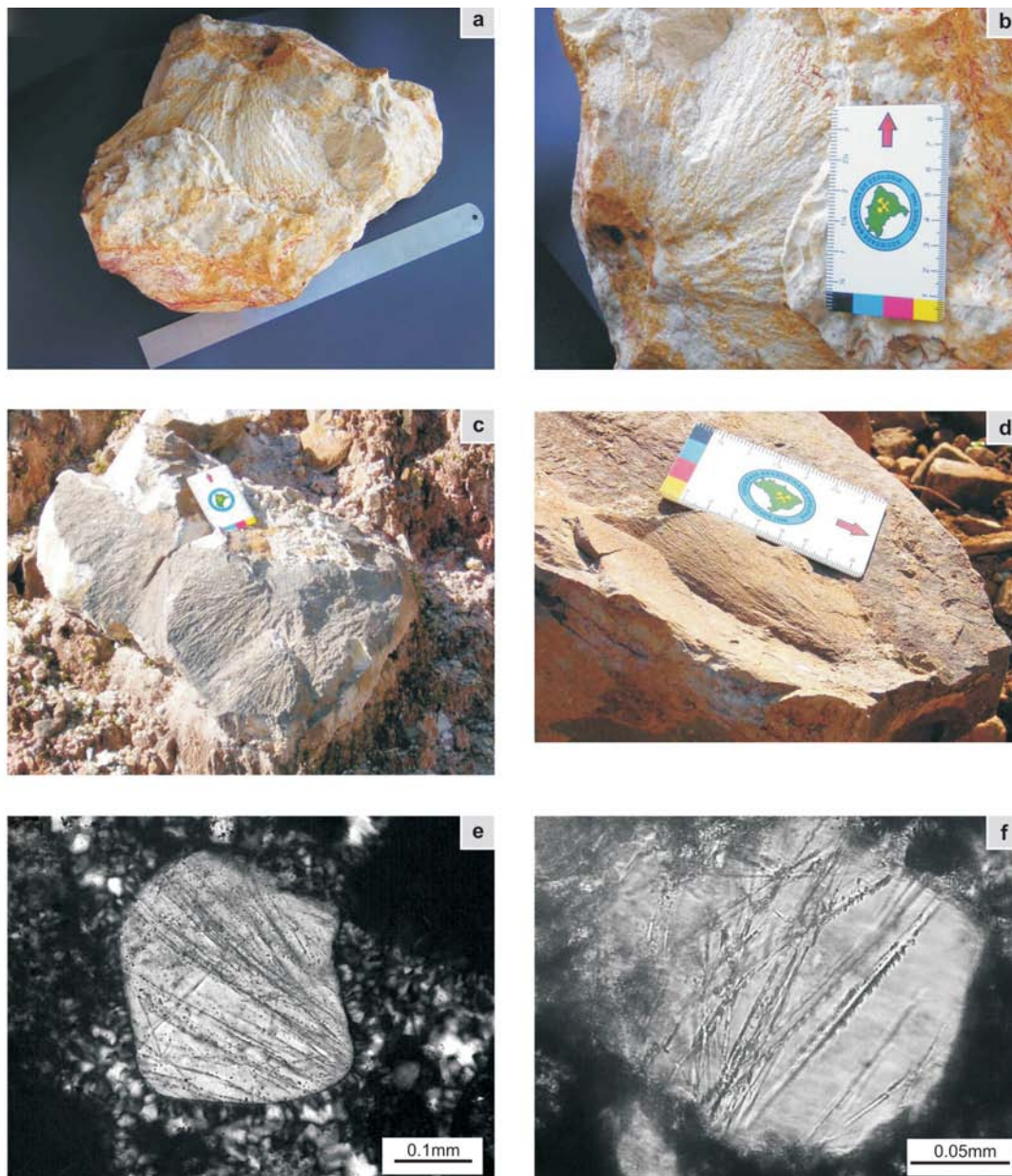


Figura 8 - A) *shatter cones* formados em arenito com aproximadamente 30 x 20cm; B) detalhe do ápice do cones da figura anterior, onde destacam-se suas estrias; C) bloco de arenito exibindo agregados tri-dimensionais de *shatter cones*; D) *shatter cone* em basalto com dimensões aproximadas de 15x10cm; E) feições planares de deformação (PDFs) em quartzo com 4 direções cristalográficas; F) PDFs em plagioclásio com cinco direções.

Figure 8 - A) *shatter cones* in sandstones; B) detail showing the apex of a striated *shatter cone*; C) sandstone exhibiting tri-dimensional aggregates of *shatter cones*; D) *shatter cone* in basalt with dimensions of 15x10cm; E) planar deformation features (PDFs) in quartz in four crystallographic directions; F) PDFs in plagioclase in five directions.

ocorrem geralmente ao longo de direções preferenciais no interior dos minerais (constituindo “corredores” de deformação), sendo que próximos aos mesmos observam-se grãos não deformados (Figura 7-D). Tais feições de deformação, claramente pós-deposicionais e pós-diagnéticas no caso dos arenitos, são comuns às rochas presentes no interior do Domo de Vargeão, sendo mais frequentes nas zonas próximas ao seu centro.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A região do Domo de Vargeão tem sido alvo de intensa ocupação por atividades agropecuárias há mais de um século, quando as áreas originalmente cobertas por vegetação do tipo florestal foram substituídas por culturas de grãos, pastagens e áreas de reflorestamento, com a conseqüente modificação da paisagem. O panorama

atual é de relativa estabilidade quanto à conservação dos remanescentes da vegetação original.

Do ponto de vista da preservação dos afloramentos representativos dos principais tipos litológicos e das feições de impacto presentes no Domo de Vargeão, a situação é mais crítica. Quase todas as ocorrências de arenitos do centro da estrutura foram ou estão sendo explotadas para extração de areia de cava para construção civil, praticamente sem adoção de quaisquer medidas mitigadoras do impacto decorrente ou preocupação com a preservação desses locais. Algumas dessas áreas foram explotadas por décadas e se encontram atualmente abandonadas e preenchidas por água, sujeitas a desmoronamentos. A principal área de extração em atividade é o Areial Ghisolfi, com a profundidade da cava atingindo dezenas de metros, conforme se observa na Figura 6-D (ver também a Figura 5 para a localização do areial). As áreas de exposição dos basaltos e quarto-latito pórfiros, bem como as de ocorrência de brechas de impacto, são alvo de extração em pequena escala de agregados para revestimento superficial dos leitos das estradas, não havendo nenhuma atividade de extração de grande porte desses materiais na área.

Um fator positivo para a proteção futura deste sítio é o nível relativamente desenvolvido de conscientização da comunidade local acerca da origem da estrutura, bem como de sua importância e singularidade. A cidade de Vargeão adotou recentemente o lema “A Cidade do Meteoro”, em função da divulgação da história geológica e da origem da estrutura. Iniciativas para a realização de estudos e para o desenvolvimento de atividades de divulgação científica, bem como para a exploração turística relacionada ao tema de crateras de impacto, têm sido incentivadas pela administração municipal da cidade. No ano de 2004 foi inaugurada uma torre de observação localizada à margem da rodovia BR-282, que permite aos visitantes uma visão cênica de praticamente toda a borda da estrutura e de seu interior. Esse conjunto de medidas pode contribuir de forma positiva para a preservação futura deste sítio geológico brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prefeito de Vargeão (gestão 2001-2004), Sr. Anelsi César Danielli, pelo apoio recebido da prefeitura municipal daquela cidade durante a realização de trabalhos de campo.

Este estudo contou com o apoio do Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAPEX) da Universi-

dade Estadual de Campinas (processo 475/2003), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - processo 305203/2003-7) e Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP – processo 04/03295-2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbour Jr., E.; Corrêa, W.A.G. 1981. Geologia da Estrutura de Vargeão, SC. Relatório Técnico, PauliPetro, Consórcio CESP/IPT, 33 pp.
- Carter, N.L. 1965. Basal quartz deformation lamellae – a criterion for recognition of impactites, *American Journal of Science*, 263: 786-806.
- Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais–Serviço Geológico do Brasil 2002. Projeto Oeste de Santa Catarina – PROESC, Mapa Geológico, Folha Clevelândia (SG-22-Y-B), escala 1:250.000. Convênio CPRM e Governo do Estado de Santa Catarina.
- Crósta, A.P. 1982. Estruturas de impacto no Brasil: uma síntese do conhecimento atual. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, 4, Anais, pp. 1372-1377.
- Crósta, A.P. 1987. Impact Structures in Brazil. In: Pohl, J. (ed.) *Research in Terrestrial Impact Structures*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, pp. 30-38.
- Crósta, A.P. 2004. Impact craters in Brazil: How Far We've Gotten. *Meteoritics & Planetary Science*, 39-Supplement: A-27 (abstract).
- Dence, M.R. 1968. Shock zoning at Canadian craters: petrography and structural implications. In: B.M French & N.M. Short (eds.) *Shock Metamorphism of Natural Materials*. Mono Books Corp., pp. 169-184.
- Dietz, R.S., 1961. Astroblemes. *Scientific American*, 205(2):141-148.
- French, B.M. 1998. *Traces of Catastrophe: a Handbook of Shock-metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*. Lunar and Planetary Institute, Houston, 130 pp.
- Grieve, R. A. F.; Langenhorst, F.; Stöffler, D. 1996. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: II. Significance in geoscience. *Meteoritics & Planetary Science*, 31: 6-35.
- Hachiro, J.; Coutinho, J.M.V.; Frascá, M.H.B. de O.; Menezes, C.M. 1993. O astroblema de Vargeão (SC): evidências petrográficas de um crateramento criptoexplosivo por petardo extraterrestre. In: SBG, *Simpósio Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, 3, Atas, pp. 276-283.
- Kazzuo-Vieira, C. 2003. Mapeamento geológico do astroblema de Vargeão, SC. Monografia de conclusão do curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 48 p.
- Kazzuo-Vieira, C.; Crósta, A.P.; Choudhuri, A. 2004. Impact features from Vargeão Dome, Southern Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, 39-Supplement: A-52 (abstract).

Paiva Filho, A. 2000. Estratigrafia e tectônica do nível de riodacitos pórfiros da Formação Serra Geral. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 185 p.

Paiva Filho, A.; Andrade, C.A.V. de; Scheibe, L.F. 1978. Uma janela estratigráfica no oeste de Santa Catarina: o Domo de Vargeão. In: SBG, Cong. Bras. de Geol., 30, Recife, 1, Anais, pp. 08-412.

Paiva Filho, A.; Crósta, A.P.; Amaral, G. 1982. Utilização de dados de sensoriamento remoto no estudo estratigráfico e estrutural da Formação Serra Geral (Sul do Brasil). In: INPE, II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasília, 1, Anais, pp. 135-142.

Romano, R.; Crósta, A. P. 2004. Brazilian impact structures: a review. In: NASA/Lunar and Planetary Institute, 35th Lunar and Planetary Science Conference., League City, Texas, EUA, Proceedings (www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2004/pdf/1546.pdf).

Stöffler, D.; Langenhorst, F. 1994. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteoritics*, 29: 155-181.

¹ Instituto de Geociências
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Caixa Postal 6152 - 13083-970 Campinas SP

^a alvaro@ige.unicamp.br

^b kazzuo@petrobras.com.br

^c asit@ige.unicamp.br

^d aschrank@igeunicamp.br

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP
<<http://www.unb.br/ig/sigep>>, em 23/2/2005,
também com versão em inglês.



ALVARO PENTEADO CRÓSTA

Graduou-se em Geologia pela USP em 1977, concluiu o mestrado no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) em 1982 e o doutorado no Imperial College of Science, Technology & Medicine da University of London em 1990. Realizou pós-doutorado junto ao Desert Research Institute, Universidade de Nevada, Reno, entre 1995-1996. Atualmente é Professor Titular do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, exercendo a função de Diretor do IG-UNICAMP no período 2005-2009. É Bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/DF nível I-C. Na UNICAMP foi Chefe de Departamento, Coordenador de Pós-Graduação, Chefe-Adjunto de Gabinete do Reitor e Pró-Reitor de Desenvolvimento Universitário. Atua nas áreas de Sensoriamento Remoto e Exploração Mineral e de Geologia Planetária/Crateras de Impacto Meteorítico. É Coordenador-adjunto da área de Geociências da CAPES (2008-2010).



CÉSAR KAZZUO-VIEIRA

Possui graduação em geologia pela Universidade Estadual de Campinas (2003), especialização em Geofísica e Geologia de Exploração de Petróleo pela UFRJ/Universidade PETROBRAS (2007) e especialização em Interpretação Exploratória pela Universidade PETROBRAS (2008). Atualmente é geofísico de interpretação exploratória da PETROBRAS e desenvolve mestrado em Geociências no Instituto de Geociências da UNICAMP. Atua no processamento e interpretação digital de dados de sensoriamento remoto, aerogeofísicos e sísmicos, com ênfase em aplicações geológicas.



ASIT CHOUDHURI

Possui graduação pela University of Nagpur (1957), mestrado pela University of Nagpur (1959), doutorado em Geociências pela Georg-August Universität, Göttingen (1966) e pós-doutorado pela Georg-August-Universität zu Göttingen (1973). É Professor Titular (aposentado) da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia. Atua nos seguintes temas: Petrologia de Rochas Metamórficas; Evolução Crustal do Precambriano; Rochas de Alto Grau (granulitos).



ALFONSO SCHRANK

Possui graduação em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1974), especialização em Sciences de Matières Premières Minérales et Énergétiques pela Université de Paris XI (Paris-Sud) (1979), doutorado em Geociências pela Université de Paris XI (Paris-Sud) (1982) e pós-doutorado pela Université du Québec à Montréal (1996). Atualmente é Professor-Associado da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia. Atua principalmente nos seguintes temas: Greenstone Belts, Komatiitos, Petrologia de Rochas Vulcânicas e Geocronologia U-Pb.