

Promoção:



IPT/DIGEO

Caixa Postal: 7141

01064-970 São Paulo SP

Tel: (011) 268.2211 r. 361

Fax: (011) 819.0661

PATROCÍNIO:



PETROBRAS



3



Rio de Janeiro, set/96

Volume 1

19
37

8º

CONGRESSO
BRASILEIRO
DE
GEOLOGIA
DE
ENGENHARIA

585
19/11/96

CONDICIONANTES GEOLÓGICOS NA EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NA REGIÃO DE SÃO CARLOS-SP

A 282C

René Levy Aguiar ¹060 255 Nilson Gandolfi ²

RESUMO

O mapeamento geotécnico de área em torno da cidade de São Carlos realizado por AGUIAR(1989) abrangeu área de aproximadamente 186 km².

Elaboraram-se documentos cartográficos - em escala final 1:25.000, com base em dados preexistentes, sintetizando-se as investigações anteriores sobre a região, relacionando os resultados das pesquisas, comparando-os com os encontrados neste estudo.

A análise conjunta da porção mapeada contribuiu para a delimitação e detalhamento das unidades geológico-geotécnicas, bem como subsidiou a identificação de locais mais favoráveis à extração de materiais de uso direto na construção civil.

1. Generalidades

A interpretação que se deu à geologia da área permitiu que se estabelecesse a divisão litoestratigráfica observada na **Figura 1**, cujas unidades mapeadas são descritas com base nos dados de campo, somados aos de trabalhos anteriores, perfis de perfurações e, também, petrografia macroscópica.

Adotou-se o termo Mapa do Substrato Geológico para apresentar mais claramente a variação, em subsuperfície, das unidades geotécnicas, na medida em que tal documento representa litologias aflorantes e/ou que se encontram recobertas por materiais inconsolidados, residuais ou não. Há também necessidade de retratar uma destas unidades, que possui comportamento geotécnico ainda bastante discutível, o Grupo Bauru.

Contribuição Técnica ao 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia; Rio de Janeiro, RJ; setembro, 1996.

¹ UTAM e EESC/USP - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos, SP Fone (0162)74-9238

² EESC/USP e UNESP/Rio Claro - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos-SP Fone (0162)74-9238

SYSNO	908820
PROD	000056
ACERVO EESC	

908820
221196

4.08.10.30-0
4.08.05.01-0

Há total predominância dos sedimentos da Bacia do Paraná. Posteriores às deposições areníticas juro-cretácicas e às manifestações vulcânicas básicas, sucederam-se as sedimentações ao final do Mesozóico e as cenozóicas recobrimo grande porção da sinéclise. Nas calhas e margens das drenagens superficiais e nos sopés das vertentes, alúvios e colúvios completam a evolução geológica.

O conhecimento das unidades litoestratigráficas, Grupo São Bento (formações Botucatu e Serra Geral) e Grupo Bauru (Formação Marília), deve-se, sobretudo, aos trabalhos de mapeamento executados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE(1974), KAEFER *et al.*(1979), ALMEIDA *et al.*(1981), MACHADO FILHO *et al.*(1983), como também a inúmeros outros estudos localizados.

2. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

2.1. Grupo São Bento

Inicialmente designado "Série São Bento" por WHITE(1906, *apud* AGUIAR, 1989), englobava rochas areníticas avermelhadas sotopostas pelas "Efusivas da Serra Geral". A evolução no estudo da unidade levou SOARES(1975, *apud* AGUIAR, 1989) a reformular o conceito no qual era tida, agrupando as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, a primeira não detectada neste mapeamento.

2.1.1 Formação Botucatu (JKb)

A serra de Botucatu, em São Paulo, foi a localidade onde GONZAGA DE CAMPOS(1889, *apud* AGUIAR, 1989) descreveu e agrupou os arenitos sob a denominação de "Grès de Botucatu". SANFORD & LANGE(1960, *apud* KAEFER *et al.*, 1979) propuseram a categoria de formação para a unidade e que continua sendo utilizada. Segundo ALMEIDA *et al.*(1981), o acúmulo dos sedimentos se processou entre o Jurássico Médio-Superior e o Cretáceo Inferior.

A unidade em apreço mostra caráter contínuo e de espessura variável, expressando-se freqüentemente na forma de escarpas sub-verticalizadas e alongadas e, menos comumente, por afloramentos isolados, devido à intensa cobertura proporcionada por sedimentos recentes, sobretudo aqueles de maior contribuição do próprio arenito.

As litologias da Formação Botucatu, ocupando considerável espaço na área (53 km²), representam a quase totalidade da porção sul e se encontram em uma faixa no extremo noroeste. Morfologicamente, no geral, apresentam uma

superfície de intensa dissecação, tendo como classe de declividade predominante a de 2 a 5%, e baixa densidade de drenagem. Esta monotonia é truncada pela presença de escarpas abruptas e de morros testemunhos, onde podem ser feitas as melhores observações sobre os litótipos. Tais feições podem ser verificadas no limite sudoeste da cidade e à leste da rodovia SP-310, entre a Fazenda Sesmaria do Pinhal e o entroncamento com a SP-215.

Estratigraficamente, está posicionada entre as formações Pirambóia (inferior) e Serra Geral (superior), comportando-se como embasamento geológico da área. Com a unidade subjacente o contato é concordante, predominantemente transicional, havendo gradação tal que torna difícil separá-las. Na área mapeada, os sedimentitos ocupam cotas de 680 a, aproximadamente, 850 m, mostrando-se o topo da seqüência bastante irregular.

Litologicamente, é constituída por arenitos finos a médios, bem selecionados, com grãos quartzosos foscas, bastante arredondados, esféricos e equidimensionais, altamente silicificados, com ausência de matriz argilosa. Colorações esbranquiçadas são as mais comuns, sendo também observadas as avermelhadas, sobretudo nas proximidades dos magmatitos Serra Geral. Algumas vezes, tais rochas aparecem sem a consistência fornecida pelo cimento silicoso (friáveis), quando são vulgarmente chamadas de "Moledo", comportamento também constatado em boa quantidade das descrições dos perfis de poços perfurados na área.

Níveis conglomeráticos friáveis, com até 3,0 m de espessura e de colorações acinzentadas a esbranquiçadas, são encontrados marcando porções inferiores do pacote arenítico, exibindo seixos de quartzo arredondados e de esfericidade média.

Na rodovia SP-215, próximo ao entroncamento com a estrada que liga São Carlos à Represa do Lobo (Broa), podem ser verificados blocos rochosos desta unidade, bem laminados, ao lado de outros completamente diferenciados, onde fragmentos de arenitos da própria unidade estão envolvidos por sílica amorfa e/ou criptocristalina (calcedônia), assemelhando-se a rochas brechóides. Aventa-se a possibilidade do deslocamento de soluções residuais silicatadas, do evento Serra Geral, que teriam produzido, em função das altas pressões provocadas pelo aprisionamento de substâncias voláteis quando da solidificação do material extravasado, um desarranjo localizado do arenito e posterior cimentação.

Dentre as estruturas observadas, registram-se as laminações plano-paralelas, estratificações cruzadas tabular e tangencial, de pequeno a grande porte, raras marcas de onda e geodos de calcedônia. As laminações, encontradas principalmente no topo da seqüência, são as mais comuns e exibem atitude

Uberaba, sugeriu também a separação da Formação Marília em duas litofácies - Ponta Grossa (com cimentação carbonática) e Serra da Galga (sem cimentação carbonática e correlacionável à Litofácia Itaqueri), e propôs o abandono do termo Itaqueri.

O Grupo Bauru possui considerável distribuição na área mapeada, ocupando a quase totalidade do lado oeste e porção setentrional, em uma faixa limitada grosseiramente pelas cotas 840 e 900 m. Geomorfologicamente, é representado por uma superfície com leves ondulações, formando vales de paredes suaves e pouco escavados ou, ainda, por colinas amplas, abauladas, com perfis e curvas de nível convexas, onde a declividade é variada mas, quase sempre, inferior a 15%.

Em fotografias aéreas, a unidade exhibe tons de cinza mais claros que magmatitos Serra Geral e Sedimentos Cenozóicos, e com relação ao último, texturas mais lisas.

As melhores exposições destas litologias na área situam-se na maioria das nascentes dos córregos das porções supracitadas.

De um modo geral, a unidade é composta por arenitos róseo-esbranquiçados, caulíníficos, muito friáveis, mal selecionados, granulometria fina a média, grãos angulosos, com zonas grosseiras e outras conglomeráticas (sobretudo na base da seqüência) compostas por seixos e até matacões, ambos polimícticos - quartzitos, quartzo, basalto, pelotas de argila avermelhada e alguns poucos de gnaiss, com matriz siltica arenosa. Mostram estratificações plano-paralelas de baixos ângulos e cruzadas acanaladas e tangenciais de pequeno porte.

Em apenas três pontos visitados, o arenito aparece bem consistente, com cimento silicoso, mas sim silicoso. O caráter alcalino, no entanto, parece encontrar respaldo no surgimento de lâminas ferruginosas e nódulos de manganês, marcando o paleorelevo e as variações climáticas durante a sedimentação Bauru.

O topo do pacote é marcado com certa freqüência por linhas/níveis de seixos e, nem sempre esta é uma característica diagnóstica, em oposição à afirmação de ZUQUETTE(1981).

Nenhuma perturbação tectogênica foi observada nestes sedimentitos, mesmo havendo vários registros de tectonismo pós-Cretáceo.

Por não se ter dados sedimentológicos mais acurados, em função da escassez de afloramentos e por não ser este o objetivo do trabalho, o enquadramento desses litótipos em uma das sub-unidades do Grupo fica comprometida;

admite-se, porém, a possibilidade de seus posicionamentos na Formação Marília (Litofácia Serra da Galga, proposta por BRANDT NETO, 1984).

Pela classificação proposta por DOBEREINER(1987) para definição de arenito brando, que estabelece o limite de 0,5 MPa de resistência à compressão uniaxial, valor este semelhante ao preconizado pela ISRM(1979, *apud* DOBEREINER, 1987), para separação de solo das rochas brandas, e como citado por aquele autor, tal parâmetro é comparável ao ensaio de resistência à penetração (SPT) igual a 50 golpes. Esta observação se deve ao fato de que, na maioria das sondagens realizadas na região de São Carlos e que atingiram a unidade, os valores de SPT entre 4 e 29, crescentes com a profundidade, são os mais comuns, em similaridade aos dados encontrados por BORTOLUCCI(1983), tendo sido verificados números de golpes superiores (até Impenetrável), muito provavelmente relacionados aos arenitos grosseiros basais.

Ensaio triaxiais rápidos efetuados por BORTOLUCCI(1983), em três amostras indeformadas, apresentaram resultados para coesão e respectivos ângulos de atrito variando em termos de: Tensões Totais - de $0,45 \times 10^{-1}$ MPa e 23° aos $0,85 \times 10^{-1}$ MPa e 13° ; e Tensões Efetivas - $0,45 \times 10^{-1}$ MPa e 28° a $0,78 \times 10^{-1}$ e 18° .

Pode-se constatar, diante disso, o comportamento geotécnico geral desta unidade como sendo de material inconsolidado, afora os raros pontos anteriormente citados. Mesmo assim, optou-se por incluí-la neste tópico, ao invés de tratá-la como material inconsolidado, uma vez que, sem dúvida se distingue dos demais materiais e apresenta, excepcionalmente, afloramentos de rochas ainda muito cimentadas.

3. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Além das estruturas primárias dos litótipos, estão vinculadas ao âmbito das rochas que integram a região em estudo, estruturas de caráter tectônico rígido, representadas por diáclases nos magmatitos Serra Geral e por indícios de falhamentos de pequenas proporções na Formação Botucatu, muito provavelmente relacionados às atividades que se processaram a partir do Jurássico, quando dos derrames basálticos, conforme sugerido por MIOTO & HASUI(1987).

Excetuando-se as estruturas decorrentes de perturbações tectônicas, nos pacotes sedimentares registram-se estratificações cruzadas acanaladas, tabulares e tangenciais, bem como laminações plano-paralelas e marcas onduladas, estas verificadas somente nos materiais da Formação Botucatu.

Das observações de campo, principalmente no que concerne ao relacionamento entre as atitudes do Arenito Botucatu, constata-se que, na porção inferior da seqüência, os estratos acompanham em direção e mergulho aquelas atitudes estabelecidas como dominantes nesta parte da sinéclise - NE mergulhando suavemente para NW (DAEE, 1974) -, enquanto que para os níveis superiores ocorre mudança neste comportamento, passando as lâminas a assumirem direções NW com fortes mergulhos para SW.

Algumas feições lineagênicas podem ser evidenciadas pela retilinearidade da maioria das drenagens, que obedecem predominantemente às direções NW e NE. Estes alinhamentos estruturais podem estar relacionados às atitudes do arenito e às fraturas das rochas submetidas aos esforços compressivos, desenvolvidos estes concomitantemente ao extravasamento das lavas basálticas e posteriores alívios destas tensões, em conformidade com os modelos apresentados por SOARES(1974) e diversos outros autores.

Para os sedimentitos da Formação Botucatu, indícios levam a inferir a ocorrência de dunas caminhanter com algumas dezenas de metros na parte superior da seqüência, que podem ser enquadradas no tipo "transversais" (barcanas ou transversais propriamente ditas), cujos flancos de barlavento estariam voltados para nordeste e as cristas possuíam fortes ondulações. Tal fato justificaria as grandes lineações associadas aos córregos que drenam as rochas da Formação, bem como as grandes variações de espessura dos pacotes basáltico e sedimentar, além das relações anômalas de contato com os magmatitos.

Porém, são necessárias pesquisas geológicas mais detalhadas, abrangendo maior superfície sobre a sedimentação Juro-Cretácea, a fim de possibilitar entendimento mais claro a respeito de todo este comportamento.

Corpos intrusivos (mencionados na descrição da Formação Serra Geral) se fazem presentes, ocupando três faixas distintas da área e sendo dois deles concordantes com os estratos inferiores do Botucatu (soleiras) e o outro discordante, apresentando-se como pequeno conduto alimentador do derrame e das outras intrusões, tendo atitude aproximada N60°E, sub-vertical.

MIOTO(1983) considerou a região de São Carlos, em função da proximidade da Zona Sismogênica do Pinhal, como sendo uma área de raros prejuízos provocados por sismos às construções comuns, apesar do epicentro daquela zona, junto à cidade homônima, haver registrado o maior evento sísmico (27/01/1922) do sudeste brasileiro, de 5,1 na escala Richter.

4. CARTA PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (Figura 2)

A porção mapeada do Município de São Carlos se encontra quase totalmente desprovida de trabalhos dirigidos à economicidade dos seus bens minerais.

A mineração na região se caracteriza como atividade primária que funciona, em seu conjunto, por processos rudimentares, onde a exploração de substâncias minerais de aplicação direta na construção civil (Classe II do Código de Mineração) assume papel de destaque. Contudo, há locais de extração e beneficiamento com relativo grau de mecanização. As ocorrências de bens minerais registradas nesta porção do município restringem-se às areias, rochas sedimentares do Botucatu e às vulcânicas básicas, estando a extração destes mais intrinsecamente subordinada às condições de acesso e proximidade do principal centro consumidor, Cidade de São Carlos, do que mesmo às dimensões dos depósitos.

Os portos de areia, num total de cinco, por fornecerem materiais de uso destinado unicamente à construção civil, pouco se preocupam com a granulometria das areias, fato também comprovado no mapeamento geotécnico de ZUQUETTE(1981). Ao todo, retiram em torno de 1300 m³/dia, sendo a Mineração Itaporanga responsável por 77% da produção. Os arenitos da Formação Botucatu, conforme admitem PARAGUASSÚ *et al.*(1987), são retirados em quatro pedreiras, geralmente como blocos a serem utilizados em gabiões e alicerces, fragmentados em blocos menores para a confecção de *petit pavê* e como lajes a serem aparelhadas manualmente.

De exclusivo emprego sob a forma de brita em construção civil e misturas asfálticas, os basaltos da Formação Serra Geral também merecem citação pela presença de duas pedreiras - uma da Prefeitura e outra particular, Bandeirante; os materiais extraídos da primeira, em virtude do estado de alteração em que se encontram, não é recomendável para utilização em concreto. Os locais assinalados no documento incluem, além das atuais áreas de exploração, aqueles com maior potencial de aproveitamento a curto e médio prazos (próximos 10 anos).

5. CONCLUSÃO

Litoestratigraficamente, são quatro as unidades encontradas na área: Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Grupo Bauru e Sedimentos Cenozóicos; contudo, reconhece-se a necessidade de maior detalhamento geológico, quer na caracterização mais realística da distribuição areal das unidades, quer na definição estratigráfica das mesmas, especialmente no tocante aos paleoambientes. Mas, mesmo assim, os indícios obtidos em campo levam a inferir pelo menos duas fácies para a Formação Botucatu: uma aquosa

torrencial, na seqüência inferior do pacote, e outra eólica, nas porções superiores.

Para a Formação Serra Geral, evidências mostram duas formas de ocorrência dos magmatitos básicos: derrame, como a de maior expressão, e a de três corpos intrusivos. Os sedimentitos do Grupo Bauru, por sua vez, apresentam níveis conglomeráticos basais e, afora os raros pontos onde se encontram cimentados por material silicoso, comportam-se geotecnicamente, pelo critério de diferenciação adotado, como materiais inconsolidados.

Os materiais *in natura* para uso nas construções civis aparecem, conforme verificado, em quantidade e qualidade satisfatórias ao mercado são-carlense, necessitando apenas estudos visando a adoção de medidas mitigadoras e controle mais intenso/efetivo no sentido de impossibilitar os danos que estas atividades vêm ocasionando ao ambiente local.

A utilização dos materiais rochosos disponíveis apresentam variada gama de aplicações, destacando-se as britas para misturas asfálticas e em concretos, na forma de *petit pavê* para calçamentos, como lajes para revestimentos, e como blocos para gabiões e alicerces. Dos materiais inconsolidados as areias apresentam sua maior importância na confecção de concreto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.L. (1989) - *Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos-SP: Contribuição ao Planejamento*. EESC/USP, São Carlos-SP, Dissertação de Mestrado, 2 V.
- ALMEIDA, F.F.M. de *et al.* (1981) - "Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000". Div. de Min. e Geol. Aplic. - IPT, São Paulo - SP, Publicação nº 1184, Série Monografias nº 6, 2 V., 126 p.
- BORTOLUCCI, A.A. (1983) - *Caracterização Geológico-Geotécnica da Região de São Carlos - SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 67 p.
- DAEE (1974) - "Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto". DAEE-FFCL/USP, São Paulo - SP, 4 V.
- DOBEREINER, L. (1987) - "Geotecnia de Arenitos Brandos". ABGE, São Paulo - SP, Síntese de Tese, nº 8, 52 p.
- KAEFER, L.Q. *et al.* (1979) - "Projeto Sapucaí: Estados de Minas Gerais e São Paulo - Relatório Final de Geologia". DNPM/CPRM, Brasília - DF, 299 p.
- MIOTO, J.A. & HASUI, Y. (1987) - "O Movimento das Terras". Rev. Ciência Hoje, São Paulo - SP, V. 5, nº 30, p. 42-48.

- MIOTO, J.A. (1983) - "Mapa de Risco Sísmico do Sudeste Brasileiro". EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 66 p.
- PARAGUASSÚ, A.B. (1968) - "Contribuição ao Estudo da Formação Botucatu - Sedimentos Aquosos, Estruturas Sedimentares e Silicificações". EESC/USP, São Carlos - SP, Tese de Doutorado, 131 p.
- PARAGUASSÚ, A.B. *et al.* (1987) - "Caracterização Tecnológica do Arenito Botucatu Silicificado da Região de São Carlos e do Rejeito da Exploração do Calcário da Região de Rio Claro: Relatório Final". EESC/USP - UNESP- PRÓ-MINÉRIO, São Carlos-SP, 2 V., 512 p.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. (1983) - "Geologia do Brasil (Fanerozóico)". EDUSP, São Paulo - SP, 631 p.
- PORTILLO, E.Z.F. (1988) - "Considerações sobre a Caracterização Tecnológica, a Exploração e os Usos do Arenito Botucatu Silicificado na Região de São Carlos - SP". EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 85 p.
- RUIZ, M.D. *et al.* (1976) - "Síntese das Características Geomecânicas de Maciços Basálticos como Fundação de Barragens". In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, I, ABGE, São Paulo - SP, Anais, V. 3, p. 191-214.
- SCHOBENHAUS, C. *et al.* (1984) - "Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais - Escala 1:2.500.000". DNPM, Brasília - DF, 501 p.
- SOARES, P.C. (1974) - "Elementos Estruturais da Parte Nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese". In: Congresso Brasileiro de Geologia, XVIII, SBG, Porto Alegre - RS, Resumo das Comunicações, (Boletim 1), p. 710-712.
- SOARES, P.C. *et al.* (1980) - "Ensaio de Caracterização Estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru". Rev. Bras. de Geoc., V. 10, nº 3, p. 177-185.
- ZUQUETTE, L.V. (1981) - *Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos*. EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 2 V., 86 p.

