UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
POZOLANAS NA BACIA DO PARANÁ,
ESTADO DE SÃO PAULO.**

Tarcísio José Montanheiro

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**SÃO PAULO
1999**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POZOLANAS NA BACIA
DO PARANÁ, ESTADO DE SÃO PAULO

TARCÍSIO JOSÉ MONTANHEIRO

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

Examinadores: Dr. Cláudio Sbrighi Neto

Prof. Dr. Helmut Born

Dr. Valdir Aparecido Zampieri

Prof. Dr. Yushiro Kihara

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005235

**PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POZOLANAS NA BACIA
DO PARANÁ, ESTADO DE SÃO PAULO.**

Tarcísio José Montanheiro

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

1999

RESUMO

Esta tese apresenta os resultados de uma investigação sistemática direcionada para materiais pozolânicos na Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. Todas as possíveis fontes geológicas com características pozolânicas como terras diatomáceas, arenitos opalinos, argilas caulíníticas e basaltos, foram consideradas neste estudo. Os trabalhos de laboratório, seguindo os trabalhos sistemáticos de campo, foram executados em duas etapas: na primeira, análises químicas e petrográficas, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura foram direcionadas para uma caracterização geral das amostras e, em seguida, somente as amostras com características mais interessantes para atividade pozolânica foram escolhidas para análises posteriores de confirmação das suas propriedades específicas (índice de resistência à compressão em corpos de prova com cal, após 7 dias, e cimento, após 28). Um total de 350 amostras foram caracterizadas na primeira etapa, das quais 32 amostras foram direcionadas para análises posteriores. Como resultado, as terras diatomáceas, os arenitos opalinos, as argilas e os basaltos confirmaram suas propriedades pozolânicas, todavia as terras diatomáceas e os arenitos opalinos não devem ser considerados para futura exploração econômica devido à sua escassez. Por outro lado, as argilas sedimentares das formações geológicas da Bacia do Paraná, bem como as rochas basálticas da Formação Serra Geral apresentam um grande potencial como material pozolânico, devido à sua abundância. As argilas das formações sedimentares, especialmente nas de Franca, Itaqueri e Corumbataí, mostraram alta reatividade, após ativação térmica a 800° C durante 1 hora. Das 16 amostras de rochas basálticas, de termos intermediário a ácido, somente uma apresentou alta reatividade pozolânica com cal, após 7 dias. Outras 4 amostras apresentaram valores na faixa entre 3 e 6 MPa, e 11 delas menos de 3 MPa. O fato de somente uma amostra ter apresentado um alto valor de resistência à compressão não significa que os basaltos não podem ser explorados como fonte possível de material pozolânico, significa que são potencialmente favoráveis. Os vidros vulcânicos de rochas basálticas são bastante susceptíveis tanto à alteração hidrotermal quanto ao intemperismo. Essas formas de alteração destroem totalmente o vidro vulcânico dos basaltos. Regiões basálticas nos arredores de Piraju-Timburi-Ipauçu e Paraguaçu Paulista foram delimitadas como potenciais para uso como pozolanas. Estas ocorrências estão alinhadas ao longo do Lineamento do Guapiara, evidenciando um

possível controle tectônico. Com certeza, a prospecção futura nestas regiões deveria incluir sondagem rotativa a diamante para avaliar essas ocorrências em três dimensões.

ABSTRACT

This thesis presents the results of a systematic survey aiming at natural pozzolans in the Paraná Basin, São Paulo State. All possible geological resources with pozzolanic characteristics like diatomaceous earth, opaline sandstones, kaolinitic clays and basalts were considered in this study. Laboratory work following systematic field work was carried out in two steps: first, chemical and petrographic analysis, X ray diffraction and scanning electron microscope for a general characterization of samples; after this step, only the samples with interesting features for pozzolanic activity were chosen for further analysis to confirm their pozzolanic properties (strength measurement in mortar made with lime and cement, respectively, after 7 and 28 days). A total of 350 samples were characterized during the first step, from which 32 samples were chosen for further analysis.

The pozzolanic properties of diatomaceous earth, opaline sandstones, clays and basalts were confirmed. Diatomaceous earth and opaline sandstones cannot, however, be considered for further economical use in view of their scarcity. Abundant clays of sedimentary formations of the Paraná Basin as well as basaltic rocks from Serra Geral Formation, on the other hand, present a great potential as pozzolanic material.

Clays belonging to the sedimentary formations, especially those named Franca, Itaqueri and Corumbataí showed high reactivity after thermal activation at 800° C during 1 hour.

A single sample from 16 samples of intermediate to acid basaltic rocks presented higher pozzolanic reactivity with lime at 7 days. Other samples 4 presented values in the range between 3 and 6 MPa, and 11 samples lesser than 3 MPa. The fact that just one sample presented higher values of strength does not mean that basalts cannot be explored, it actually means that basalts are potentially favorable. Volcanic glass from basaltic rocks is known to be very susceptible to hydrothermal alteration as well as to weathering. Such alteration totally destroys volcanic glass in basalts. Basaltic regions around Piraju-Timburi-Ipauçu and Paraguaçu Paulista were delimited as potential for pozzolanic use. These occurrences are aligned along the Guapiara Lineament, evidencing a possible tectonic control. Obviously, future exploration in these regions should include diamond drilling to better evaluate these occurrences in three-dimensions.

AGRADECIMENTOS

Na busca do aprimoramento técnico-científico, deparei com o fascinante mundo dos materiais pozolânicos. Explorar parte dele, que aqui apresento como trabalho de doutoramento, somente foi possível com o apoio, orientação, estímulo, compreensão e colaboração de várias pessoas, instituições e empresas, às quais estendo minha gratidão, louvando à Deus reiteradas vezes, em tudo e por tudo isso.

À Maria do Carmo, minha esposa, aos nossos quatro filhos: Juliana, Lucas, Filipe e Ana Beatriz e, ainda, à Elaine, nossa secretária, que souberam suportar as atribulações de todas as horas deste período, meu especial reconhecimento pela liberal aceitação dos percalços de toda a ordem, permitindo-nos, unidos em família, prosseguir este trabalho.

Especial agradecimento ao Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, orientador e amigo, que, junto de nós, compartilhando conosco dos trabalhos de pesquisa, ora reaviando-os, ora reformando-os, sempre nos incentivou com palavras de confiança, insistindo em que a vitória, a satisfação da "missão cumprida", é fruto da perseverança e da persistência.

À Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que nos permitiu o uso de seus excelentes laboratórios; ao corpo técnico dessa empresa -Miguel Rodrigues, Denis Borges, Roberto Rispoli, Celina Miki, Maria Alice, Joaquim Macedo, Luiz Cláudio, Jayme Neto, Francisco de Assis, Laércio Silva, Cláudio Fogaça, Vanini Perez e Ricardo Valverde- com o qual executamos os diversos tipos de ensaios para a determinação dos índices de pozolanicidade, nossos agradecimentos; ao Marcelo Pecchio, Flávio André, Vagner Maringolo, Arnaldo Battagim, Sérgio Centurioni, Sílvia Regina, Francisco Planelis e Cláudio Oliveira, colegas, com os quais pudemos discutir, tirar dúvidas, fomentar, de maneira variada, esta pesquisa, o nosso muito obrigado; agradeço também à Rosemary Pinto e Suely Benedetti pela prestatividade e auxílio na pesquisa de biblioteca; nosso muitíssimo obrigado à engenheira Elza H. Nakakura e ao professor Yushiro Kihara, que nos facilitaram esta pesquisa na ABCP e, também, a acompanharam com valiosas sugestões, orientações e incentivo, principalmente quando, na interpretação dos resultados analíticos, alguns pareciam não ser os melhores.

Aos professores Jorge Silva Bettencourt e Yushiro Kihara pelas sugestões durante o exame de qualificação.

Ao Dr. Valdir Aparecido Zampieri pela abertura deste estudo e constante incentivo.

Ao amigo Mário Vital, geólogo, pela cessão de apontamentos e mapas com a localização das principais pedreiras no Oeste paulista, região de que é grande conhecedor.

Ao Instituto Geológico -IG-(Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo) por ter-me colocado à disposição sua infra-estrutura, e me permitiu ausentar-me do expediente a favor do aprimoramento científico.

Aos colegas do IG-SMA, que nos incentivaram, solidarizando-se nos mesmos ideais, e nos substituíram nas tarefas diárias; obrigado ao Carlos Lemos, Sonia Nogueira, Hélio Shimada, Francisco Negri, Lídia Keiko, Sílvia Hiruma, Luci Hidalgo, José Ferrari, Márcia Maria e May Modenesi; aos amigos Antônio Luiz Teixeira e José Maria, não somente pela leitura crítica como também pelas sugestões em partes da tese.

À Companhia Elétrica de São Paulo - CESP, na pessoa do geólogo José Geraldo, por ter autorizado a análise de alguns testemunhos de sondagem da região da Usina Hidrelétrica - Unidade de Piraju-SP.

À Profa. Dra. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino pela ajuda na execução de análises de raios-X, orientação e interpretação dos difratogramas.

Agradecimentos aos técnicos de laboratório onde esta pesquisa também se desenvolveu: Gabriela Fronzalia, Izabel Santos, Sandra Gabas e Jailson do Laboratório de Caracterização Tecnológica - Poli-Minas/USP; Isaac Sayeg, do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura - IG/USP; Flávio Carvalho, do Laboratório de Raios-X - IG/USP; Sílvio Luís e Luceir Costa, do Laboratório de Preparação de Amostras - IG/USP; Pedro Poccioti, do Laboratório de Tratamento de Imagens - IG/USP; Cláudio, do Laboratório de Laminação de Rochas do IG/USP; e Verônica Gabriel, do Laboratório de Análises ATD/ATG do IG/USP.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, nas pessoas do Omar Yazbek Bittar, Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, Mario Otávio, por terem permitido acesso a boletim técnico, descrições petrográficas e arquivos informatizados de mapas das regiões em estudo; obrigado ao Francisco Motta e ao Cláudio Gorayeb pela cessão de artigos técnicos de nosso mútuo interesse, e ao Zeno Hellmeister por nos ter autorizado o uso de seus arquivos informatizados da região de Franca-Pedregulho.

Ao Prof. Dr. Mário Sérgio de Mello e à geóloga Gláucia Cuchierato que nos autorizaram o uso das bases geológicas informatizadas da região centro-leste paulista.

Ao Sr. Jurandir, da Prefeitura de Timburi, prospector nato, e ao graduando em Geologia Luciano Gobbo, que nos acompanharam em algumas jornadas de campo e na preparação de pastilhas para análises por difração de raios-X.

À Marina França, graduanda em Geografia da PUC, que nos auxiliou nas análises laboratoriais dos esponjilitos.

À Profa. Dra. Cecília Volkmer Ribeiro, do Museu de Ciências Naturais - Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul- pela identificação de diatomáceas e esponjiários.

Nossa homenagem póstuma ao Prof. Dr. Armando Márcio Coimbra que, nas primeiras jornadas, conduziu-nos nesta pesquisa.

A Profa. Dra. Gianna Maria Garda, pelo acompanhamento nos trabalhos de campo e sua prestimosa colaboração na discussão, sugestões, interpretação dos resultados químicos das rochas e das lâminas petrográficas e fotomicrografias; obrigado aos Doutores Víctor Velasques e Antenor Zanardo, que também colaboraram na interpretação e descrição petrográfica de algumas lâminas.

Nossa gratidão se estende ainda aos meus irmãos Moysés, Geraldo, Eloísa e Egídio pelo incentivo ao trabalho de leitura e, em especial, ao Jayme, pela reformulação de frases, clareza e organização do texto.

À Telma, pela confecção cuidadosa dos desenhos e figuras.

Especial agradecimento aos geólogos Márcia Mika Saito e Marcelo Monteiro da Rocha pelo inestimável auxílio na edição de texto e figuras desta tese.

Ao Prof. Dr. Cláudio Riccomini pelo incentivo à esta pesquisa, discussões de campo e cessão de mapa e coluna estratigráfica.

Ao Instituto de Geociências da USP pelo oferecimento de sua infra-estrutura laboratorial e administrativa que permitiu a realização deste trabalho.

Por fim, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que através do Processo nº. 95/8815-3 patrocinou a realização dos trabalhos de campo, dos trabalhos de laboratório, bem como a aquisição de trado mecânico e materiais diversos, os quais foram fundamentais para a execução e conclusão dos

trabalhos previstos; à CAPES – Coordenação e Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior, pela liberação de recursos financeiros.

Espero que, com o esforço de tanta gente, nosso trabalho possa ter honrado meus antepassados – estrangeiros italianos, analfabetos, sem teto e sem terra – que, à força de muito trabalho deram oportunidade para este pesquisador chegar a este ponto. Em homenagem a todos eles e à Tutu.

Índice

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1 Trabalhos anteriores	2
1.2 Objetivos	5
1.3 Justificativas	6

CAPÍTULO 2

O CIMENTO PORTLAND	7
2.1 Fabricação do cimento portland	7
2.2 Cimento portland pozolânico	11

CAPÍTULO 3

POZOLANAS	13
3.1 O que é material pozolânico	13
3.2 Tipos de pozolanas	15
3.3 Características das pozolanas naturais	17
3.4 Classificação das pozolanas naturais por atividade-tipo	18
3.5 Vantagens econômicas, tecnológicas e ambientais do cimento pozolânico	20

CAPÍTULO 4

GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ	22
4.1 Estratigrafia da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo	22
4.1.1 Superseqüência Paraná (Devoniana)	24
4.1.2 Superseqüência Gondwana I (Carbonífera-eotriássica)	25
4.1.3 Superseqüência Gondwânica III (neoJurássica-eoCretácea)	27
4.1.4 Superseqüência Bauru	31
4.2 Potencial geológico de materiais pozolânicos na Bacia do Paraná	33 ✓

CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS ANALÍTICOS	35
5.1 Planejamento da amostragem	35
5.2 Amostragem	35
5.2.1 Preparação das amostras geológicas	36
5.3 Métodos analíticos	37
5.3.1 Prequalificação de atividade pozolânica	37
5.3.1.1 Microscopia eletrônica de varredura	37
5.3.1.2 Análises químicas	38
5.3.1.3 Análise termodiferencial (ATD)	39
5.3.1.4 Análise termogravimétrica (ATG)	39
5.3.1.5 Difractometria de raios X	40
5.3.1.6 Análise petrográfica	40
5.3.2 Caracterização e confirmação da atividade pozolânica	41
5.3.2.1 Finura por peneiramento (NBR 11579/91)	41
5.3.2.2 Massa específica (NBR 6474/84)	42
5.3.2.3 Área específica (NBR 7224/96)	43
5.3.2.4 Método de Fratini (NBR 5753/80)	44
5.3.2.5 Determinação de atividade pozolânica com cal (Norma NBR 5751/77)	45
5.3.2.6 Determinação de atividade pozolânica com cimento (NBR 5752/92)	46

CAPÍTULO 6

ÁREAS ESTUDADAS	48
6.1 Áreas 1 e 2	48
6.2 Área 3	54
6.3 Área 4 (Franca – Pedregulho)	58
6.3.1 Lamitos da Formação Franca	61
6.3.2 Lamitos arenosos da Formação Franca	63
6.3.3 Depósitos residuais associados à alteração dos derrames basálticos da Formação Serra Geral	66
6.4 Área 5 (Piraju - Fartura)	67
6.4.1 Domínio das rochas ígneas	70
6.4.1.1 Derrames de rocha basáltica	71
6.4.1.2 Diques e “sills” de diabásio	72
6.5 Áreas 6, 7 e 8 (Assis, Pederneiras e Araraquara)	76
6.5.1 Derrames de rocha basáltica	79
6.6 Área 9 (Limeira - Rio Claro – Ipeúna – São Pedro)	88
6.6.1 Serras de Itaqueri – São Pedro	94

CAPÍTULO 7

RESULTADOS OBTIDOS	103
7.1 Áreas 1, 2 e 3 (Leme, Casa Branca e Araçatuba)	103
7.2 Área 4 (Franca - Pedregulho)	110
7.3 Área 5 (Piraju - Fartura)	112
7.3.1 Rochas basálticas	112
7.4 Área 6 (Assis)	125
7.5 Área 7 (Pederneiras)	129
7.6 Área 8 (Araraquara)	130
7.7 Área 9 (Limeira – Rio Claro – Ipeúna – São Pedro)	133
7.7.1 Arenitos opalinos	133
7.7.2 Depósitos na auréola de contato com rochas vulcânicas	139
7.7.3 Lamitos da Formação Itaqueri e correlatos	140

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
8.1 Materiais organogênicos	142
8.2 Arenitos opalinos	143
8.3 Argilas	144
8.4 Rochas basálticas	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXOS	160

TABELAS

Tabela 2-1: Limites ótimos para composição da farinha, a partir da relação química.	9
Tabela 2-2: Abreviações usuais para os óxidos individuais na indústria do cimento (Mehta 1986)	10
Tabela 2-3: Minerais do clínquer Portland	10
Tabela 2-4: Tipos e especificações de cimentos Portland, segundo normas brasileiras.	11
Tabela 3.1: Classificação dos materiais pozolânicos, quanto à origem.	16
Tabela 3.2: Características dos materiais geológicos conforme as atividades-tipo, segundo Mielenz <i>et al.</i> (1951).	19
Tabela 3.3: Análise química e mineralógica de algumas pozolanas naturais típicas (Mehta 1987)	19
Tabela 7-1: Características físicas dos pontos de amostragens dos depósitos organogênicos.	103
Tabela 7-2: Resultados dos ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de esponjilites.	110
Tabela 7-3: Distribuição das amostras de interesse na ÁREA 4.	110
Tabela 7-4: Composição mineralógica das amostras estudadas na ÁREA 4, por difração de raios X	111
Tabela 7-5: Resultados dos ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostra de argilito.	112
Tabela 7-6: Distribuição do tipo de rochas, segundo a classificação de Le Maitre (1989), na região de Piraju-Fartura.	113
Tabela 7-7: Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanidade.	117
Tabela 7-8: Componentes mineralógicos principais, identificados por difração de raios X.	118
Tabela 7-9: Variação da massa das amostras estudadas na ÁREA 5, por análise termogravimétrica e termodiferencial.	119
Tabela 7-10: Possíveis produtos da reação pozolânica em basaltos.	119
Tabela 7-11: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica da ÁREA 5.	124
Tabela 7-12: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica com cal, amostra TM-183 calcinada.	124
Tabela 7-13: Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanidade.	125
Tabela 7-14: Componentes mineralógicos principais, por difração de raios X	127
Tabela 7-15: Variação da massa nas amostras estudadas na ÁREA 6, por análise termogravimétrica e termodiferencial.	127
Tabela 7-16: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e "rocha basáltica", a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A4-7, Anexo 4).	128
Tabela 7-17: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica da ÁREA 6.	128
Tabela 7-18: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica nas amostras "TM-199 calcinada", "TM-200 calcinada" (vermelha) e "TM-200 vidro" (cinza).	129
Tabela 7-19: Descrição petrográfica detalhada de amostra selecionada para ensaios de pozolanidade.	130
Tabela 7-20: Componentes mineralógicos principais, por difração de raios X.	130
Tabela 7-21: Variação da massa na amostra TM-240 estudada na ÁREA 8, por análise termogravimétrica e termodiferencial.	132
Tabela 7-22: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e basalto (TM-240), a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A4.7).	132
Tabela 7-23: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica.	132
Tabela 7-24: Relação de alvos amostrados na ÁREA 9.	133
Tabela 7-25: Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanidade.	134
Tabela 7-26: Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em arenito opalino.	134
Tabela 7-27: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e arenito opalino, a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A8.1).	138
Tabela 7-28: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de arenito opalino.	138

Tabela 7-29: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozzolânica nas amostras TM-319 e TM-320 (calcinadas).	140
Tabela 7-30: Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em sedimentos lamínicos.	140
Tabela 7-31: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozzolânica na amostra TM-107 (calcinada).	141

QUADROS

Quadro 4.2: Subdivisão do Subgrupo Irati, segundo Hachiro <i>et al.</i> (1993).	26
Quadro 4-3: Estabelecimento de alvos prospectivos para materiais pozzolânicos no domínio da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo.	34
Quadro 5.1: Quadro resumo dos métodos analíticos empregados para prequalificação da atividade pozzolânica e ensaios para caracterização e confirmação da atividade pozzolânica.	37
Quadro 6-1: Síntese das características das lagoas pesquisadas nas ÁREAS 1 e 2.	50
Quadro 6-2: Síntese das características das lagoas pesquisadas na ÁREA 3.	58
Quadro 6-3: Resultados analíticos de argilas da região de Franca, segundo IPT (1990).	67

FIGURAS

Figura 1-1 – Produção brasileira de cimento	1
Figura 2-1: Representação esquemática da fabricação do cimento Portland (Kihara <i>et al.</i> 1990). 1) jazida; 2) britador; 3) depósito de matéria-prima; 4) moinho; 5) silos da matéria-prima; 6) preaquecedor; 7) forno rotativo; 8) depósito de clínquer e gesso; 9) moinho do clínquer e aditivos; 10) silos de armazenagem do cimento; 11) distribuição.	8
Figura 3.1: Mudanças no conteúdo de hidróxido de cálcio durante a hidratação de um cimento Portland pozzolânico (Lea 1970, apud Mehta 1987).	15
Figura 4-1: Mapa geológico do Estado de São Paulo (simplificado de Schobbenhauss <i>et al.</i> 1996)	23
Figura 4.2: Unidades litoestratigráficas na Bacia do Paraná, Estado de São Paulo	24
Figura 4-3: Seção típica do derrame (Guidicini & Campos 1968)	31
Figura 5-1 : Isoterma de solubilidade do hidróxido de cálcio a 40° C, em presença de álcalis.	45
Figura 6-1: Mapa de localização das áreas	49
Figura 6-2: Mapa geológico da ÁREA 1, região de Leme/SP (Melo 1995)	51
Figura 6-3: Mapa geológico da ÁREA 2, região de Casa Branca/SP (Melo 1995)	52
Figura 6.4: Planta topográfica com o local de amostragem em lagoas da ÁREA 1, região de Leme/SP	53
Figura 6-5: Amostragem em depósito de lago isolado, com coleta de amostras (TM-128) por tipos litológicos perfurados. A primeira camada constitui-se de sedimentos finos com matéria orgânica. Lagoa do Boava – estrada Piraçununga – Aguai, km 10 – Piraçununga/SP. Coordenadas UTM: 257.20E; 7562.90N.	54
Figura 6-6: Mapa geológico da ÁREA 3, região de Araçatuba/SP (IPT 1981)	55
Figura 6-7. Seção colunar na Olaria Rodolfo, amostra TM 171 (Rodovia Guararapes-Araçatuba, proximidades de Araçatuba/SP). 1. depósito de matéria orgânica vegetal de cor preta com argila; 2. camada argilo-arenosa cinza escura à clara; 3. esponjilite cinza claro, mais argilo-arenoso no topo e base, com textura terrígena; 4. camada de esponjilite com argila de cor avermelhada; 5. camada argilosa com níveis arenosos; 6. camada arenosa com níveis argilosos.	57
Figura 6-8: Exposição de camada de “pó-de-mico” de coloração esbranquiçada no interior de lagoas isoladas. Olaria de Sr. Jorge (Fazenda Monte Verde), local de coleta da amostra TM-169, proximidades de Araçatuba, estrada de Araçatuba – Guararapes. Coordenadas UTM: 542.59E; 7655.66N.	57
Figura 6-9: Fabricação artesanal de tijolos: produção média de 1500 tijolos/homem/dia (equivalente a R\$7,00/dia). Olaria do Tim, Penápolis/SP. Coordenadas UTM: 595.20E; 7640.30N.	58
Figura 6-10: Mapa geológico da ÁREA 4, região de Franca-Pedregulho/SP (IPT 1981).	60
Figura 6-11: Perfil geológico da Formação Franca na região de Restinga, Franca/SP. Coordenadas UTM: 242.40E; 7719.70N (Hellmeister Jr 1997)	62
Figura 6-12: Depósito de argila de coloração esbranquiçada (amostra TM-90), capeado por sedimentos inconsolidados do Cenozóico. Estrada Restinga – Franca/SP, km 1. Coordenadas UTM: 242.40E; 7719.70N.	63
Figura 6-13: Perfil geológico do Morro do Sapecado, município de Pedregulho/SP (Hellmeister Jr 1997)	64

- Figura 6-14: Seqüência superior areno-rudácea da Formação Franca, no trevo de Pedregulho. Coordenadas UTM: 240.70E; 7759.20N 65
- Figura 6-15: Veios cauliniticos seccionando basaltos e sedimentos arenosos da Formação Franca. Rodovia Igarapava – Pedregulho, km 27. Coordenadas UTM: 232.27E; 7761.94N. 66
- Figura 6-16: Mapa geológico da ÁREA 5, região de Piraju-Fartura/SP (IPT 1981) 68
- Figura 6-17: Seção geológica ao longo da Rodovia Eng^o Thomaz Magalhães – SP – 287 – trecho Sarutaiá – Fartura (SG – 01). 69
- Figura 6-18: Seção geológica ao longo da Rodovia Lauro Alves Barroso – SP – 303 – trecho Rodovia Raposo Tavares – Timburi (SG – 04). 70
- Figura 6-19: Linhas isotérmicas em andesitos extrusivos da Formação Serra Geral (amostra TM-11). Acesso ao Hotel Beira Rio, Piraju/SP. Coordenadas UTM: 665.81E; 7435.02N. 73
- Figura 6-20: Detalhe do andesito extrusivo com amígdalas constituídas por zeólitas. Coordenadas UTM: 665.80E; 7435.00N. 73
- Figura 6-21: Rocha diferenciada da Formação Serra Geral, do tipo dacito (amostra TM-183/ponto 134), ocupando extensas áreas da fazenda Santa Virgínia; estrada SP-270 (Rodovia Raposo Tavares) ao *Camping* de Ipauçu, Ipauçu/SP. Coordenadas UTM: 641.30E; 7442.60N. 74
- Figura 6-22: Derrame de dacito (amostra TM-216) em trecho de estrada Timburi – Clube de Campo da CESP. Coordenadas UTM: 639.10E; 7439.40N. 74
- Figura 6-23: Dacito (segundo classificação química de Le Maitre 1989) com aspecto vítreo (amostra TM-183, ponto 134); amostra representativa do afloramento da fazenda Santa Virgínia. Estrada que liga a Rodovia Raposo Tavares ao *Camping* de Ipauçu. 75
- Figura 6-24: Detalhe do dacito com vesículas e amígdalas com minerais brancos de zeólitas (Mordenita). 75
- Figura 6-25: Formação Botucatu, constituída por arenito eólico, com grandes estratificações cruzadas, cortada por um dique irregular (com formato de taça) de dacito (amostras TM-295 e TM-296) ligado ao vulcanismo Serra Geral. Serra de Fartura, Rodovia Eng^o Thomaz Magalhães – SP-287, próximo a entrada de Sarutaiá/SP. Coordenadas UTM: 656.40E; 7402.80N (Capa do livro Geologia do Brasil, Petri & Fúlfaro 1983). 77
- Figura 6-26: Minerais de coloração esverdeada – nontronita – formados pela alteração do halo vitrificado do dique em contato com o arenito Botucatu. Detalhe da foto anterior. 77
- Figura 6-27: Diques de diabásio da região de Fartura (amostra TM-15); correspondentes intrusivos das rochas “ácidas” da Formação Serra Geral. Rodovia Piraju – Sarutaiá. Coordenadas UTM: 655.82E; 7418.56N. 78
- Figura 6-28: Mapa geológico da ÁREA 6, região de Assis/SP (IPT 1981) 80
- Figura 6-29: Mapa geológico da ÁREA 7, região de Pederneiras/SP (IPT 1981) 81
- Figura 6-30: Mapa geológico da ÁREA 8, região de Araraquara/SP (IPT 1981) 82
- Figura 6-31: Vista geral da Pedreira Siqueira, proximidades de Paraguaçu Paulista, rodovia Paraguaçu Paulista-Assis, SP. Coordenadas UTM: 544.60E; 7511.30N. 83
- Figura 6-32: Pedreira WS – frente de lavra em rocha basáltica de cor preta, afanítica mostrando grandes fraturas conchoidais; a frente de lavra desenvolve-se, provavelmente, no meio do derrame. Rodovia Assis – Presidente Prudente. Coordenadas UTM: 552.70E; 7499.20N. 84
- Figura 6-33: Pedreira Siqueira – frente de lavra com rocha muito fraturada; piso da cava limitado ao aproveitamento econômico por se tratar de camada com 15m de espessura de rocha vesículo-amigdaloidal – “pedra sapo” – (amostra TM-200). Rodovia Assis – Paraguaçu Paulista/SP. Coordenadas UTM: 544.60E; 7511.30N. 85
- Figura 6-34: Andesito basáltico vesículo-amigdaloidal, fanerítica muito fina; amígdalas de quartzo e zeólita (amostra TM-197, ponto 143). Pedreira Nossa Senhora Aparecida, Bairro Tabajara, Assis/SP. Coordenadas UTM: 558.60E; 7506.80N. 85
- Figura 6-35: Basalto com vesículas preenchidas por quartzo e zeólitas. Amostra TM-198, Pedreira WS, proximidades de Assis/SP, Rodovia Assis – Paraguaçu Paulista. Coordenadas UTM: 552.70E; 7499.24N. 86
- Figura 6-36: Basalto de textura afanítica com vesículas milimétricas parcialmente preenchidas por argilo minerais (amostra TM-199). Pedreira Fortuna, Assis/SP. Coordenadas UTM: 547.70E; 7496.10N. 86
- Figura 6-37: Basalto de aspecto vítreo com abundância de vesículas milimétricas. Amostra TM-200, coletada na Pedreira Siqueira – proximidades de Paraguaçu Paulista – Rodovia Paraguaçu Paulista – Assis/SP. 87

- Figura 6-38: Detalhe da brecha piroclástica no piso da Pedreira Rondon. Rodovia Marechal Rondon km 305.4, Lençóis Paulistas/SP. Coordenadas UTM: 721.99E; 7501.13N. 87
- Figura 6-39: Detalhe da rocha basáltica vesículo-amigdaloidal próximo ao piso da Pedreira Colacy. Pederneiras/SP. Coordenadas UTM: 721.12E; 7521.69N. 89
- Figura 6-40: Rocha basáltica vesículo-amigdaloidal no contato entre arenito Botucatu "cozido" no piso (vermelho) e a rocha basáltica afanítica (preta). Pedreira Colacy. Pederneiras/SP. Coordenadas UTM: 721.12E; 7521.69N. 89
- Figura 6-41: A base das frentes de lavras são de "pedra sapo" com pelo menos 4m de espessura; além do piso, a rocha basáltica vesículo-amigdaloidal aflora em mais dois níveis: o primeiro na altura da marreta e, o segundo, próximo ao topo. Pedreira Fortaleza, Pederneiras/SP. Coordenadas UTM: 727.84E; 7525.77N. 90
- Figura 6-42: Porções de topo do derrame com disjunções colunares, abaixo das quais aflora a rocha vesículo-amigdaloidal preenchida por quartzo, zeólitas e, provavelmente, nontronita. Pedreira Multipedras – Grupo Leão-Leão. Rodovia Washington Luís, próximo ao trevo de Araraquara. Coordenadas UTM 792.12E; 7579.01N 91
- Figura 6-43: Detalhe das porções enriquecidas em zeólitas abaixo das disjunções colunares. Pedreira Multipedras – Grupo Leão – Leão. Rodovia Washington Luís, próximo ao trevo de Araraquara. Coordenadas UTM: 792.12E; 7579.01N. 92
- Figura 6-44: Mapa geológico da ÁREA 9, região de Limeira, Rio Claro, Ipeúna e São Pedro (Melo 1995) 93
- Figura 6-45: Latossolo vermelho da alteração de rocha básica sobreposto a siltitos e argilitos da Formação Corumbataí (amostra TM-320). Rodovia Washington Luís Trecho Rio Claro Cordeirópolis. Coordenadas UTM: 244.40E; 7512.20N. 95
- Figura 6-46: Lamitos arroxeados, endurecidos e intensamente fraturados que compõem a base do afloramento anterior (amostra TM-319). 95
- Figura 6-47: Esboço geológico (A) e modelo de mineralização da jazida de argila silico-aluminosa da Serra do Itaqueri (B), São Pedro/SP (Ponçano *et al.* 1982) 97
- Figura 6-48: Arenito conglomerático silicificado da Formação Itaqueri. Torre da EMBRATEL. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 198.26E; 7528.24N. 98
- Figura 6-49: Arenito opalífero da Formação Itaqueri, com calcidão secundária preenchendo fraturamento da massa opalina. Torre da EMBRATEL. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 198.26E; 7528.24N. 98
- Figura 6-50: Sedimentos da Formação Itaqueri constituídos por argilitos localmente conglomeráticos, de cores variegadas, predominando o esbranquiçado e o marrom claro (amostra TM-107). Afloramento próximo à escarpa da Serra de Itaqueri. A espessura máxima observada nesse local é de aproximadamente 30m. Coordenadas UTM: 208.90E; 7515.70N. 99
- Figura 6-51: Perfil geológico e posicionamento esquemático do depósito supérgeno de caulinita na Formação Serra Geral. Estrada de São Pedro – Bairro de Santo Antônio – Alto da Serra de Itaqueri. Coordenadas UTM: 200.26E; 7514.15N 101
- Figura 6-52: Depósito supérgeno de caulinita originado do intemperismo do derrame Serra Geral. Destaque no lado direito para veios de caulinita. Alto da Serra do Itaqueri. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 200.26E; 7514.15N. 102
- Figura 7-1: Difractogramas de raios X de esponjillitos representados, respectivamente, pelas amostras TM-140.1 (preto), TM-169 (vermelho) e TM-178.1 (azul), mostrando uma banda de material amorfo no intervalo 2 θ de 18 a 32°. 104
- Figura 7-2: Fotomicrografias de espículas de esponjas. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados, mostrando caráter isotrópico das espículas. O lado menor da foto corresponde a 0,85mm. 106
- Figura 7-3: Aspecto geral da associação organogênica, com espículas e diatomáceas. 107
- Figura 7-4: Difractogramas de raios X: esponjillito (amostra TM-169, em preto); mistura de hidróxido de cálcio e esponjillito após 7 dias (verde) e hidróxido de cálcio-PA (azul). 108
- Figura 7-5A: Aspecto de detalhe de uma espícula, em corte transversal, observada ao microscópio eletrônico de varredura. A escala corresponde a 10 μ m. Destaque para "borda de reação" circundante cujos resultados de análise por EDS são apresentados na Figura 7-5B. 109
- Figura 7-5B: Espectro de EDS obtido para o ponto mostrado na Figura 7-5A. O ouro e o carbono decorrem do processo de preparação da amostra. 109
- Figura 7-6 : Curvas termogravimétrica e termodiferencial de argilito (amostra TM-97) da Formação Franca –rodovia Cândido Portinari, trevo principal de Pedregulho S/P. 111

- Figura 7-7: Fotomicrográfas de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. 114
- Figura 7-8: Fotomicrográfas de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. 115
- Figura 7-9: Fotomicrográfas de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. 116
- Figura 7-10: Morfologia de zeólitas do grupo das mordenitas estudadas na ÁREA 5: (A) amostra TM-282; (B) amostra TM-284, (C) amostra TM-290. Imagens do microscópio eletrônico de varredura 121
- Figura 7-11: Aspecto da pasta de hidróxido de cálcio da amostra TM-290 com sete dias de cura. Notar as formas rendilhadas do composto neoformado: típicas de um silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Imagem de microscópio eletrônico de varredura. A escala equivale a 1 μm . 122
- Figura 7-12: Visão geral dos compostos formados na reação hidróxido de cálcio e "rocha basáltica". Imagem do microscópio eletrônico de varredura. *Verso* 122
- Figura 7-13: Espectros de EDS obtidos para os quatro pontos mostrados na Figura 7-12. 123
- Figura 7-14: Fotomicrografias das rochas basálticas estudadas na ÁREA 6. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. 126
- Figura 7-15: Fotomicrografias de basalto (amostra TM-240) estudado na ÁREA 8, mostrando matriz com minerais opacos e vidro. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O lado menor da foto corresponde a 5,60 mm. 131
- Figura 7-16: Fotomicrografias de arenito opalino (amostra TM-101), mostrando matriz opalina isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O lado menor da foto corresponde a 0,85 mm. 135
- Figura 7-17: Difrátograma de raios X de arenito opalino (amostra TM-100), mostrando uma banda de material amorfo no intervalo 2θ entre 20 a 24°. 136
- Figura 7-18: Imagens obtidas com microscópio eletrônico de varredura. (A) Aspecto geral das forma botrioidais de opala em arenito silicificado (amostra TM-101) da Serra do Itaqueri; (B) Detalhe da imagem (A). 137

ANEXO 1 – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Figura A1.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 1, região de Leme/SP.	162
Figura A1.2: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 2, região de Casa Branca/SP.	163
Figura A1.3: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 3, região de Araçatuba/SP.	164
Figura A1.4: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 4, região de Franca - Pedregulho/SP.	165
Figura A1.5: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 5, região de Piraju - Fartura/SP.	166
Figura A1.6: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 6, região de Assis/SP.	167
Figura A1.7: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 7, região de Pederneiras/SP.	168
Figura A1.8: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 8, região de Araraquara/SP.	169
Figura A1.9: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 9, região de Limeira - Rio Claro - Ipeúna - São Pedro/SP.	170

ANEXO 2 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NAS ÁREAS 1, 2 E 3.

Prancha A2.1: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 1, região de Leme/SP.	172
Prancha A2.2: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 2, região de Casa Branca/SP.	173
Prancha A2.3: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 3, região de Araçatuba/SP.	174
Tabela A2.1: Componentes químicos de amostras representativas dos intervalos amostrados nos depósitos organogênicos das ÁREAS 1, 2 e 3	175
Tabela A2.2: Resultados da estimativa de matéria orgânica, frústulas e espículas nas amostras das lagoas pesquisadas nas ÁREAS 1, 2 e 3.	177

ANEXO 3 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 4.

Tabela A3.1: Componentes químicos de amostras representativas da ÁREA 4. Maiores constituintes expressos em %. PPC= perda ao fogo em %.	181
Figura A3-1: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-90), Restinga/SP.	182
Figura A3-2: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-91), Restinga/SP.	183
Figura A3-3: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-93), Restinga/SP.	184
Figura A3-4: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-94), Restinga/SP.	185
Figura A3-5: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-97), Restinga/SP.	186
Figura A3-6: Difratoograma de raios X de caulinita (amostra TM-98), estrada Igarapava-Pedregulho, km 27.	187
Figura A3-7: Difratoograma de raios X de lamito arenoso da Formação Franca, estrada Igarapava-Pedregulho, Km 27.	188

ANEXO 4 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 5.

Tabela A4.1 : Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 5.	190
Tabela A4.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Piraju-Fartura, ÁREA 5.	192
Figura A4-1: Difratoogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo I	197
Figura A4-2: Difratoogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo II	198
Figura A4-3: Difratoogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo III	199

Figura A4-4: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e Termodiferenciais (ATD, em vermelho) de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5: (A) amostra TM-183; (B) amostra TM-212 e (C) amostra TM-219	200
Figura A4-5: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I	201
Figura A4-5: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I (continuação)	202
Figura A4-6: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo II	203
Figura A4-7: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo III	204

ANEXO 5 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 6.

Tabela A5.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 6.	206
Tabela A5.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na ÁREA 6, região de Assis/SP.	207
Figura A5.1: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-199.	208
Figura A5.2: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-200.	208

ANEXO 6 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 7.

Tabela A6.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 7.	210
Tabela A6.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Pederneiras/SP, ÁREA 7.	211

ANEXO 7 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 8.

Tabela A7.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da Áreas 8.	213
Tabela A7.2 : Resultado sucinto da análise petrográfica da amostra TM-241 coletada na região de Araraquara/SP, ÁREA 8.	214
Figura A7.1: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de basalto estudado na ÁREA 8: amostra TM-240.	215

ANEXO 8 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 9.

Tabela A8.1 : Componentes químicos de amostras representativas dos arenitos.	217
Tabela A8.2 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos em contato com rochas vulcânicas na ÁREA 9.	219
Tabela A8.3 : Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em sedimentos da ÁREA 9.	220
Tabela A8.4 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos lamíticos da ÁREA 9.	221
Figura A8.1 : Difrátogramas de raios X de arenito opalino (amostra TM-100) e arenito silicificado (amostra TM-101) naturais; pastas de hidróxido de cálcio e arenitos após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA.	218
Figura A8.2 : Difrátograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-107, base do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.	222
Figura A 8.3: Difrátograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-108, topo do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.	223
Figura A8.4: Difrátograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-124), estrada vicinal Analândia – São Carlos, Fazenda Santo Gorguio	224

- Figura A8.5: Difratoograma de raios X de argila laterizada (amostra TM-127X) estrada vicinal
Analândia – São Carlos, km 15 225
- Figura A8.6: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de
argilito da Formação Itaqueri, estudado na ÁREA 9: amostra TM-108. 226
- Figura A8.7: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de
argila laterizada estudada na ÁREA 5: (A) amostra TM-127x. 226

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, alentada pelos passos da estabilização da moeda, a indústria brasileira do cimento tem experimentado crescimento contínuo na demanda do seu principal produto de consumo. Atualmente o Brasil ocupa a 8ª posição no Mundo entre os produtores de cimento, tendo atingido, em 1998, o patamar de $39,7 \times 10^6$ t (SNIC 93-98), conforme a Figura 1-1:

Figura 1-1 – Produção brasileira de cimento

Esse aquecimento da demanda não se deve à existência de grandes obras, senão ao consumo de pequenas quantidades do cimento nas construções populares na periferia das grandes cidades. Assim mesmo, a indústria do cimento, a despeito de outros indicadores, apresenta ainda desenvolvimento positivo. No entanto, para um incremento maior da produção de cimento, fazem-se necessários investimentos sustentados com tecnologias mais avançadas de pesquisa. Nesse particular, o segmento a merecer destaque deve ser o dos materiais pozolânicos, na proporção em que estes, para a fabricação do cimento, se apresentam, em parte, como substitutos do

clínquer Portland e, por outro lado, oferecem vantagens tecnológicas, econômicas, ambientais e geológicas.

A importância crescente que, nos dias atuais, esses materiais vêm alcançando, mereceu que fossem objeto de constantes pesquisas quer para o entendimento das transformações mineralógicas e do ganho de reatividade, quer para a compreensão dos fatores responsáveis pela qualidade e desempenho dos cimentos aditivados.

Em todo o mundo, os materiais pozolânicos naturais têm sido extraídos, mais freqüentemente, de associações litológicas vulcânicas originadas durante a Era Cenozóica, idade relativamente jovem sob o aspecto geológico. Se, por um lado, nossa área de estudo - Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo - possui seqüências vulcânicas dotadas de tufos de idade Cambro/Ordoviciano ou Cretáceo Superior, e não se constitui modelo prospectivo ideal, devido à sua idade, por outro lado, a carência dessa matéria-prima tem despertado o interesse de industriais e pesquisadores no sentido de encontrar fontes alternativas de materiais, cujas características físico-químicas possam prequalificá-los como pozolânicos. Desse modo, os estudos propostos para este trabalho estão voltados para a investigação de materiais com características pozolânicas, como, por exemplo, tufos vulcânicos, sedimentos silicosos, diatomitos e basaltos, objetivando, mediante minucioso programa de amostragem desses materiais, verificar a possibilidade de estabelecer modelos de depósitos naturais de pozolanas.

Dentre as unidades litoestratigráficas foram selecionadas as formações Estrada Nova, Tatuí, Corumbataí, Serra Geral, Itaqueri e Franca que, à primeira vista, apresentavam as condições ideais para estudo desses materiais. Daí, terem merecido interesse para análise mais detalhada as regiões Piraju-Fartura-Angatuba, Limeira-Ipeúna-São Pedro e Franca-Pedregulho, onde se pudessem reconhecer e confirmar os atributos essenciais de pozolanidade dos materiais

1.1 Trabalhos anteriores

Se, por todo o mundo, são inúmeros os trabalhos divulgados sobre materiais pozolânicos, no Brasil, apesar das grandes vantagens apontadas para o seu uso, a literatura disponível a respeito deles é reduzida e recente.

O interesse inicial sobre esses materiais surgiu com a instalação da primeira fábrica de cimento no Brasil, em 1926; cresceu posteriormente com a busca de alternativas de menor custo e racionalização de energia elétrica para a sua produção e, ultimamente, com a conscientização popular sobre os efeitos da poluição ambiental.

Assim, a partir de 1952, a indústria cimenteira nacional, utilizando-se de escórias de alto-forno provenientes da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), passou a adicioná-las ao cimento portland na fábrica da Cimento Tupi, instalada na cidade de Volta Redonda, RJ. Por outro lado, só em 1969, os cimentos pozolânicos, começaram a ser produzidos comercialmente no Rio Grande do Sul, por iniciativa da S.A. Indústria Química Francisco Matarazzo, aproveitando as cinzas volantes coletadas na Termelétrica de Charqueadas (Marciano Jr. *et al.* 1996).

Souza Santos (1966), com base, principalmente, em artigos de autores americanos, apresenta uma síntese das propriedades de materiais pozolânicos preparados a partir de argilas calcinadas de diferentes tipos, seguindo métodos de ensaio, especificações de pozolanas para adição em cimento e medidas para a prevenção da reação álcali-agregado. Apresenta ainda os trabalhos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), visando ao aproveitamento de argilas como pozolanas na região da Barragem de Jupia.

Castro Sobrinho (1970) relata que as pozolanas de argila calcinada foram fabricadas a partir de 1965, em Jupia, pelas Centrais Elétricas de Urubupungá (CELUSA) sob orientação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), utilizando argilas caulíníficas obtidas próximas ao rio Paraná e não distante do canteiro de obras da Usina. Posteriormente, no período 1975-1979 essa produção ficou sob a responsabilidade do Grupo Cimenteiro Itaú (Kihara & Zampieri 1992).

Priszkulnik (1980) faz um esboço histórico dos materiais pozolânicos e, baseado em textos da literatura disponível, apresenta os conceitos, a classificação e a composição química e mineralógica deles, destacando associações genéticas das pozolanas estrangeiras e brasileiras. Mostra também, teoricamente, como se desenvolvem as atividades pozolânicas por calcinação em argilas e faz citação dos ensaios para caracterização de pozolanas.

Kihara & Shukuzawa (1982) apresentam as características mineralógicas de algumas pozolanas nacionais e sua disponibilidade para utilização em cimentos pozolânicos. Salientam, sob aspecto econômico, a necessidade e a importância do estudo de basaltos que ocorrem em abundância na bacia do Paraná e apontam a falta

de pesquisas sistemáticas com vistas ao aproveitamento de rochas vulcânicas ácidas como pozolanas.

Kihara (1983) publica os resultados de sua investigação mineralógica no estudo das cinzas volantes brasileiras e as modificações mineralógicas das fases presentes no carvão mineral, para melhor compreensão dos processos de formação, caracterização e avaliação da qualidade das cinzas volantes como material pozolânico.

O IPT (1986) exhibe as principais características físico-químicas e geológicas dos materiais pozolânicos, selecionando áreas favoráveis na região sul-sudeste do Brasil para a sua ocorrência.

Kihara & Bucher (1986) salientam o efeito pozolânico e de *microfiller* do uso da microssílica em concretos, e apresentam os primeiros estudos de caracterização e de comportamento mecânico em uma amostra de microssílica nacional, comparando-os com resultados de material estrangeiro similar e de cinzas volantes e argilas calcinadas nacionais.

Battagin (1987) descreve as características químicas e mineralógicas das escórias e das pozolanas brasileiras, bem como a influência desses materiais nas propriedades dos cimentos portland pozolânicos e de alto-forno. Salienta que, na história do uso de pozolanas naturais no Brasil, a produção de cimento portland pozolânico deveu-se ao Grupo João Santos, o qual utilizou rochas vulcânicas ácidas e subordinadamente diatomitos.

Zampieri (1989) investigou a mineralogia e os mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas, propiciando melhor entendimento das transformações mineralógicas e o ganho de reatividade dos materiais argilosos ativados termicamente, e, além dessas misturas de pozolana e hidróxido de cálcio, os processos de hidratação e reação desses materiais.

Faber Jr. *et al.* (1990) estudam rochas sedimentares (arenito e siltito) da região da Usina Hidrelétrica de Formoso, utilizadas como agregado pulverizado, com o objetivo de avaliar-lhes as reações álcali-agregado e pozolânicas. Os ensaios de fixação da cal e hidróxido de cálcio não combinado evidenciaram algumas características pozolânicas do arenito.

Kihara & Zampieri (1992) apresentam uma síntese da experiência brasileira no campo da pesquisa, produção e utilização de pozolanas, provenientes de argilas calcinadas, como material de construção. Os autores discorrem sobre os mecanismos de ativação e reações das pozolanas de argilas calcinadas, as quais representavam

cerca de 29% das pozolanas utilizadas na indústria brasileira de cimento, e o seu maior potencial mineral.

Kihara & Scandiuzzi (1992) apresentam uma síntese dos aspectos relativos ao uso e influência das características das cinzas volantes tanto no comportamento como na qualidade dos cimentos pozolânicos com elas fabricados. Salientam a falta de programas de pesquisas científicas e tecnológicas para melhor aproveitamento e consumo das cinzas volantes brasileiras.

Zampieri (1993) expõe os fatores que governam a qualidade e o desempenho dos cimentos portland aditivados com pozolanas de argilas calcinadas e propõe uma metodologia alternativa para o conhecimento da exata proporção de hidróxido de cálcio que cada pozolana fixa após determinado período de reação.

1.2 Objetivos

Onde ocorrem materiais com características essenciais de pozolanidade no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, dentro do Estado de São Paulo? Como eles se caracterizam tecnicamente? Quais os seus atributos intrínsecos? O corolário de tais questionamentos, ou seja, a prospecção e caracterização de pozolanas naturais na Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, será o objetivo principal do presente trabalho. E, para atingi-lo, se fez necessário cumprir uma série de etapas que envolveram pesquisa bibliográfica, delimitação de unidades litológicas portadoras de materiais pozolânicos, planejamento de trabalhos de campo, amostragem, trabalhos de laboratório e análise dos resultados. A pesquisa bibliográfica envolveu os seguintes assuntos: cimento Portland, pozolanas, geologia da Bacia do Paraná e métodos analíticos. Sistematizadas, pois, assim, as informações, selecionaram-se os alvos de pesquisa, os quais, após detalhadamente estudados no campo, foram perseguidos por um programa metódico de amostragem, de ensaios e análises diversos, com o objetivo de proceder à prequalificação de atividade pozolânica e, posteriormente, confirmação de atividade pozolânica. Somente assim, mediante o cumprimento de todos esses passos de observação, é que as ocorrências caracterizadas poderão constituir-se em depósitos de pozolanas naturais.

1.3 Justificativas

A escolha do tema se alicerça nas vantagens técnicas e econômicas que os aditivos pozolânicos oferecem, quando utilizados no cimento Portland. Eles possibilitam a produção de cimentos especiais com menos consumo de energia e, portanto, menor custo de fabricação. Some-se a esse fato o ganho de produtividade, o aumento da vida útil do jazimento calcário e dos equipamentos de produção, e, o que mais importa, os incomensuráveis benefícios ambientais (Yamamoto *et al.* 1997).

Apesar dos progressos técnicos, o Estado de São Paulo, grande pólo da indústria cimenteira no país, carece dessa matéria-prima porquanto ainda não produz cimento pozolânico. Assim, a abordagem proposta neste trabalho se ajusta não apenas a uma atividade de cunho acadêmico, mas, sobretudo, à aplicação prática dos seus resultados na indústria.

Ressalte-se, por fim, que a proposta deste trabalho se apresentava para o candidato como um desafio, pois, até o instante em que o mesmo lhe foi proposto, não se tinham à disposição informações precisas sobre a potencialidade geológica de materiais pozolânicos naturais no Estado de São Paulo, notadamente nas regiões da Bacia do Paraná.

CAPÍTULO 2

O CIMENTO PORTLAND

Em sentido amplo, “cimento” é conceituado como “material particulado que, misturado com água, dá origem a misturas plásticas, as quais, após algum tempo, se solidificam e, gradativamente, adquirem resistência mecânica” (Zampieri 1993).]

2.1 Fabricação do cimento portland

As matérias-primas essenciais para a fabricação do cimento Portland são o calcário e argila ou folhelhos, os quais, após a extração, britagem, pré-homogeneização e moagem, resultam numa mistura que se denomina farinha crua. Dessa mistura, submetida à queima em fornos rotativos de grandes dimensões, obtém-se um material de tamanho centimétrico e em forma de pelotas vítreas acinzentadas, o qual é denominado clínquer Portland. A Figura 2-1 apresenta a planilha esquemática da fabricação do cimento Portland.

O clínquer Portland é produzido numa seqüência de operações, conforme ilustração na Figura 2-1, que compreendem quatro etapas principais:

- mineração de calcários e argilas;
- preparação da farinha crua (britagem, pré-homogeneização e moagem);
- queima da farinha à temperatura de até 1450°C em fornos rotativos, e
- moagem do clínquer com aditivos.

Des.: Theima Samara / 1997.

Figura 2-1: Representação esquemática da fabricação do cimento Portland (Kihara *et al.* 1990). 1) jazida; 2) britador; 3) depósito de matéria-prima; 4) moinho; 5) silos da matéria-prima; 6) preaquecedor; 7) forno rotativo; 8) depósito de clínquer e gesso; 9) moinho do clínquer e aditivos; 10) silos de armazenagem do cimento; 11) distribuição.

A farinha crua é um preparado composto de CaO (obtido do calcário), SiO_2 , Al_2O_3 e pequenas quantidades de Fe_2O_3 (obtidos de argilas e folhelhos), os quais, quando misturados, devem obedecer a três parâmetros químicos que definirão a composição final do cimento e a proporção dos minerais que lhe dão resistência:

$$\text{FSC} = \frac{100\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{MS} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{MA} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

onde FSC é o fator de saturação de cal, MS é o módulo de sílica e MA é o módulo de alumina. Na farinha, os componentes ferro e alumina atuam como controladores da viscosidade e da temperatura da clínquerização e facilitam a formação do cimento composto (Gouda 1977). Normalmente, o conteúdo de alumina e ferro da farinha é corrigido com a adição de laterita, e, se ela não existir em disponibilidade, outros materiais corretivos são usados como, por exemplo, os rejeitos piritosos (Chatterjee 1979), os quais, no entanto, devem ser evitados porque liberam uma quantidade extra de SO_2 para a atmosfera. Desse modo, as farinhas são preparadas dentro de limites ideais, conforme mostrado na Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Limites ótimos para composição da farinha, a partir da relação química.

RELAÇÃO QUÍMICA	LIMITES
FSC	90 - 100
MS	2,4 - 2,7
MA	1,4 - 1,6

A farinha, fabricada segundo esses padrões químicos, alimenta um grande forno rotativo e é aquecida a temperaturas de até 1450°C . Neste processo de aquecimento, ela fica parcialmente liquefeita, recombina as partículas finamente divididas através de uma série de reações (Mehta 1986):

Na indústria do cimento, os óxidos individuais recebem as seguintes abreviações (Tabela 2-2).

Tabela 2-2: Abreviações usuais para os óxidos individuais na indústria do cimento (Mehta 1986)

Óxido	Abreviação
CaO	C
SiO ₂	S
Al ₂ O ₃	A
Fe ₂ O ₃	F
MgO	M
SO ₃	$\bar{S}$
H ₂ O	H

As denominações e abreviações dadas aos novos minerais do clínquer Portland encontram-se na Tabela 2-3.

Tabela 2-3: Minerais do clínquer Portland

MINERAL	ABREVIACÃO	COMPOSIÇÃO
Silicato tricálcico (alita)	C ₃ S	3CaO.SiO ₂
Silicato bicálcico (belita)	C ₂ S	2CaO.SiO ₂
Aluminato tricálcico	C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃
Ferroaluminato tetracálcico	C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

Bogue (Mehta 1986) estabeleceu as equações abaixo, segundo as quais se pode estimar a composição mineralógica normativa, a partir da análise química do clínquer Portland:

$$\%C_3S = 4,071C - 7,600S - 6,718A - 1,430F - 2,850\bar{S}$$

$$\%C_2S = 2,867SS - 0,7544C_3S$$

$$\%C_3A = 2,650A - 1,692F$$

$$\%C_4AF = 3,043F$$

O clínquer Portland e uma pequena quantidade de gesso e/ou outras adições (cinzas volantes, escória de alto forno, argila calcinada, calcário, etc.) são moídos juntos, produzindo diferentes tipos de cimento Portland (Tabela 2-4).

Tabela 2-4: Tipos e especificações de cimentos Portland, segundo normas brasileiras.

Tipo de cimento	Norma	Sigla	Adições (%)		
			Escória	Pozolana	Calcário
Cimento Portland Comum	5732	CPI	0	0	0
		CPI-S	1-5	1-5	1-5
Cimento Portland Composto	11578	CPII-E	6-34	0	0-10
		CPII-Z	0	6-14	0-10
		CPII-F	0	0	0-5
Cimento Alto Forno	5735	CPIII	35-70	0	0-5
Cimento Portland Pozolânico	5736	CPIV	0	15-50	0-5
Cimento Portland Alta Resistência Inicial	5733	CPV-ARI	0	0	0-5
Cimento Portland Poço	9831	CPP	0	0	0

2.2 Cimento Portland Pozolânico

O cimento Portland pozolânico resulta da adição de material pozolânico (15-50%) e calcário (0-5%), conforme a norma NBR-5736 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O material pozolânico é definido como aquele que não apresenta valor cimentício, mas, quando finamente dividido e na presença de umidade, reage com a cal (liberada pelo cimento Portland) à temperatura ambiente formando novos compostos com propriedades cimentícias. Basicamente, o material pozolânico, quanto à sua natureza, pode ser natural ou artificial. As pozolanas naturais são aproveitadas dos materiais geológicos, que, aditivados ou não, apresentam propriedades cimentícias. Por outro lado, o material pozolânico artificial é aproveitado como rejeito de processos industriais, tais como: cinzas volantes, escória de alto forno, microssilica, etc.

Embora a norma brasileira permita a adição de até 50% de material pozolânico, Zampieri (1993) pondera que a adição máxima seria de 30%, tendo em vista que o teor de Ca(OH)_2 liberado equivale a cerca de 20% da massa do clínquer anidro após 28 dias. Isto significa que, sendo maiores as proporções de pozolana adicionadas, a parcela do clínquer do cimento não produz hidróxido de cálcio suficiente para que se

complete a reação, permanecendo parte da pozolana sem reagir e, conseqüentemente, apresentando um comportamento de material inerte (Zampieri 1993). Nesse sentido, segundo Mielenz *et al.* (1951), a experiência tem mostrado que a proporção ótima de pozolana geralmente está entre 10 e 30%. Mesmo que a adição máxima seja algo em torno de 30%, o material pozolânico passa a ter uma importância crescente, notadamente devido às vantagens proporcionadas pela sua utilização.

CAPÍTULO 3

POZOLANAS

Desde a antigüidade os tufos vulcânicos são reconhecidos pelas suas propriedades cimentícias, pois, quando eram misturados com cal e areia, produziam argamassas duráveis. Os materiais dos tufos vulcânicos, assim como outros com propriedades semelhantes, receberam designação genérica de pozolana. Esta designação advém da localização de tufos vulcânicos de excelente qualidade ao redor do Monte Puzzuoli, nas proximidades do Vesúvio (Zampieri 1993).

O cimento Portland foi descoberto e patenteado por Joseph Aspdin em 1824 (Zampieri 1993) e, desde essa época, a indústria vem-se desenvolvendo para atender à demanda sempre crescente do setor da construção civil no Mundo moderno. Ao longo do tempo, verificou-se que o cimento Portland comum não atendia a algumas especificações técnicas de engenharia, notadamente na construção de grandes obras como pontes, barragens, etc. Nesse sentido, certos problemas tecnológicos, tais como os decorrentes da reação álcali-agregado, calor de reação do concreto, resistência química, etc., foram resolvidos com a adição adequada de materiais pozolânicos. No Brasil, a construção da Barragem de Jupia (MS), segundo Zampieri (1993), apresentava o problema da reação álcali-agregado, o qual foi solucionado quando se utilizou cimento pozolânico produzido com a adição de argilas cauliníticas calcinadas.

A importância do cimento pozolânico está na oferta de um cimento tecnologicamente superior, que acrescenta vantagens econômicas e ambientais, e que atenda, acima de tudo, à demanda crescente de cimento, como a que se verifica atualmente no Brasil.

3.1 O que é material pozolânico

Pozolanas são substâncias naturais ou artificiais, silicosas ou sílico-aluminosas que, não sendo por si só cimentícias, podem reagir com a cal na presença de

umidade e à temperatura ambiente resultando em compostos com propriedades cimentícias (Kitsopoulos & Dunham 1996).

Na realidade, a propriedade cimentícia de materiais pozolânicos desenvolve-se na presença da cal, conforme as seguintes reações pozolânicas (Minnich 1967):

As reações pozolânicas mencionadas anteriormente dependem da composição do material pozolânico, i.e., se este for silicoso, desenvolve-se a primeira reação e, se sílico-aluminoso, processam-se as três primeiras. A sílica, como verificou Mehta (1987), é o principal componente de materiais pozolânicos; portanto, a primeira reação é a mais importante, que pode ser reescrita como:

e a reação de hidratação do principal componente do cimento Portland (C_3S) como:

Segundo Mehta (1987), é importante verificar que a reação pozolânica consome o hidróxido de cálcio, ao passo que a reação de hidratação do cimento Portland produz hidróxido de cálcio. A Figura 3.1 ilustra o consumo do hidróxido de cálcio durante a hidratação de um cimento Portland pozolânico, com 40% de pozolana (Lea 1970, apud Mehta 1987).

Figura 3.1: Mudanças no conteúdo de hidróxido de cálcio durante a hidratação de um cimento Portland pozolânico (Lea 1970, apud Mehta 1987).

“Quando uma mistura de cimento portland e uma pozolana reagem, a reação pozolânica desenvolve-se como uma reação ácido-base da cal e dos álcalis com os óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) da pozolana. Duas coisas acontecem: primeiro diminui-se gradualmente a quantidade de hidróxido de cálcio liberado ao longo do tempo; segundo, aumenta-se a formação de C-S-H e aluminossilicatos de cálcio semelhantes aos produtos da hidratação do cimento portland” In ACI (1994).

Na realidade, processa-se a reação pozolânica porque a sílica e a alumina são vulneráveis ao hidróxido de cálcio, em virtude da fraqueza e instabilidade de suas ligações estruturais no material original, como é o caso de vidro vulcânico e argilas calcinadas (Malquori 1960). Ainda segundo esse autor, no caso das zeólitas, o hidróxido de cálcio quebra a estrutura da zeólita, permitindo que a sílica e a alumina combinem com o hidróxido de cálcio, fato que explica a quantidade de hidróxido de cálcio fixado por zeólitas, ao invés de uma simples reação de troca de base.

3.2 Tipos de pozolanas

Os materiais pozolânicos, como foi dito anteriormente, podem ser classificados em dois grandes grupos: naturais e artificiais. No entanto, existem controvérsias no tocante à classificação de certos tipos de pozolanas, tais como as argilas calcinadas

que, segundo alguns autores são dadas como naturais e, segundo outros, como artificiais. O problema, portanto, está em classificar um material geológico que tem suas propriedades realçadas no tratamento térmico. Malquori (1960), Massazza (1976), ABNT (NBR5736/91) e Kitsopoulos & Dunham (1996), entre outros autores, enquadram como pozolanas naturais todos os produtos geológicos encontrados na natureza. Por outro lado, Mielenz *et al.* (1951), Mehta (1987), ACI (1994) e ASTM C618 (apud ACI 1994), entre outros, admitem também como pozolanas naturais os produtos de calcinação. Contudo, não há dúvidas quanto à natureza artificial dos subprodutos industriais que são classificados como pozolanas artificiais. Posicionando as argilas calcinadas para este ou aquele grupo, pode-se classificar os materiais pozolânicos, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Classificação dos materiais pozolânicos, quanto à origem.

Pozolanas naturais	Pozolanas artificiais
Rochas vulcânicas ácidas	Escórias de alto forno
Tufos vulcânicos	Cinzas volantes
Terra diatomácea	Folhelho betuminoso-após extração
Arenitos e folhelhos opalinos	Microssílica
Argilas calcinadas	

No Brasil, a norma brasileira NBR 5736/91 classifica os materiais pozolânicos em dois grandes grupos:

- a) pozolanas naturais - materiais de origem vulcânica, geralmente ácidos, ou de origem sedimentar; e
- b) pozolanas artificiais - materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.

As pozolanas artificiais, no tocante à classificação, ainda podem ser separadas em:

b1) argilas calcinadas - materiais provenientes da calcinação de determinadas argilas que, tratadas a temperaturas entre 500 e 900°C, adquirem a propriedade de reagir com o hidróxido de cálcio;

b2) cinzas volantes - resíduos finamente divididos, provenientes da combustão de carvão pulverizado ou granulado; e

b3) outros materiais - materiais não tradicionais, tais como escórias siderúrgicas ácidas, microsílica, rejeito silico-aluminoso de craqueamento de petróleo, cinzas de resíduos vegetais e de rejeito de carvão mineral.

3.3 Características das pozolanas naturais

Como foi dito anteriormente, processa-se a reação pozolânica quando o hidróxido de cálcio, liberado pela hidratação do cimento Portland, reage quimicamente com a sílica e a alumina do material pozolânico, momento em que suas ligações estruturais se enfraquecem e se instabilizam, como descrito por Malquori (1960). O componente ativo das pozolanas naturais é, principalmente, o material amorfo, tal como o vidro vulcânico no caso das rochas vulcânicas ácidas, a sílica amorfa em cherts e arenitos e folhelhos opalinos. A mesma sílica amorfa, de origem animal ou vegetal, no caso de terras diatomáceas ou argilas com esponjilitos, respectivamente, é o componente ativo desses materiais pozolânicos. No caso dos minerais do grupo das zeólitas, as estruturas cristalinas são bastante abertas e permitem o ataque do hidróxido de cálcio, que as destrói para, se combinar com a sílica e a alumina liberadas.

No que se refere às rochas ígneas ácidas, o vidro vulcânico é o componente ativo mais importante; porém, devido à sua estrutura amorfa, é bastante instável e pode sofrer transformações por soluções hidrotermais (zeolitização) e/ou intempéricas (argilização), diminuindo ou eliminando a sua atividade pozolânica. Outro processo relacionado à transformação do vidro vulcânico é o denominado devitrificação, i.e., parte do vidro dá origem a minerais como o plagioclásio e o piroxênio. Portanto, a preservação do vidro vulcânico nem sempre é possível, o que dificulta ainda mais a prospecção de pozolanas naturais, notadamente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná.

3.4 Classificação das pozolanas naturais por atividade-tipo

Partindo da identificação do componente ativo, Mielenz *et al.* (1951) propõem a classificação das pozolanas naturais, por atividade-tipo. As substâncias que são pozolânicas - ou aquelas cuja atividade pozolânica pode ser induzida por calcinação - foram identificadas como: (1) vidros vulcânicos, (2) opalas, (3) argilas, (4) zeólitas, e (5) óxidos hidratados de alumínio. Seis “atividades-tipo” foram propostas, como seguem:

Atividade-tipo 1: vidro vulcânico

Atividade-tipo 2: opala

Atividade-tipo 3: argilas

Atividade-tipo 3a: argila tipo caulinita

Atividade-tipo 3b: argila tipo montmorillonita

Atividade-tipo 3c: argila tipo illita

Atividade-tipo 3d: argila misturada com vermiculita alterada

Atividade-tipo 3e: paligorskita

Atividade-tipo 4: zeólita

Atividade-tipo 5: óxidos de alumínio hidratados

Atividade-tipo 6: não pozolânico

Cabe lembrar que Mielenz *et al.* (1951) consideram como pozolanas naturais, os materiais pozolânicos e materiais naturais que, mediante tratamento térmico, são induzidos à atividade pozolânica. Isso explica por que a zeólita, de atividade-tipo 4, é precedida por argilas que, após tratamento térmico, apresentam índice de reatividade pozolânica muito superior a ela. As características dos materiais geológicos considerados por Mielenz *et al.* (1951), conforme a atividade-tipo, encontram-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Características dos materiais geológicos conforme as atividades-tipo, segundo Mielenz *et al.* (1951).

Atividade-tipo	Materiais geológicos
1	Tufos e pumicitos riolíticos; tufos e pumicitos dacíticos. Alguns tufos e cinzas andesíticos podem ser reativos. Tufos e cinzas basálticos e andesíticos são inferiores ou totalmente insatisfatórios em qualidade.
2	Terra diatomácea e cherts opalinos.
3	Todas as pozolanas obtidas de argilas calcinadas.
4	Zeólitas (clinoptilolita, ptilolita e analcima)
5	Bauxita. Mielenz <i>et al.</i> (1951) não possuíam dados sobre a reatividade de bauxitas.
6	Minerais estáveis não reativos com a cal. Pertencem a este grupo: quartzo, feldspato, carbonatos, anfibólios, piroxênios, micas e a maioria dos minerais formadores de rochas.

Na Tabela 3.3, é dada a composição química e mineralógica de algumas pozolanas bem conhecidas (Mehta 1987).

Tabela 3.3: Análise química e mineralógica de algumas pozolanas naturais típicas (Mehta 1987)

Pozolana	Composição química (%)						Perda ao fogo (%)	Massa não cristalina (%)	Maiores minerais cristalinos
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alcalis			
Terras de Santorim	65,1	14,5	5,5	3,0	1,1	6,5	3,5	65 a 75	Quartzo, anortita, labradorita
Rheinish trass	53,0	16,0	6,0	7,0	3,0	6,0	-	50 a 60	Quartzo, feldspato, analcita
Fonolito	55,7	20,2	2,0	4,2	1,1	10,8	3,6	-	Ortoclásio, albita, piroxênio, calcita
Tufo romano	44,7	18,9	10,1	10,3	4,4	6,7	4,4	-	Herschelita, chabazita, filipsita
Vidro napolitano	54,5	18,3	4,0	7,4	1,0	11,0	3,1	50 a 70	Quartzo, feldspato
Folhelho opalino	65,4	10,1	4,2	4,6	2,7	1,4	6,3	-	-
Diatomito	86,0	2,3	1,8	-	0,6	0,4	5,2	-	-
Pumicito riolítico	65,7	15,9	2,5	3,4	1,3	6,9	3,4	-	-
Pumicito jalisco	68,7	14,8	2,3	-	0,5	9,3	5,6	90	Sanidina

Para a instituição de modelos prospectivos para materiais pozolânicos, objeto do presente estudo, deve-se considerar os componentes ativos conforme as atividades-tipo descritas por Mielenz *et al.* (1951).

3.5 Vantagens econômicas, tecnológicas e ambientais do cimento pozolânico

Dentre os diversos tipos e constituintes dos cimentos Portland, o pozolânico é definido nas normas internacionais como o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland e pozolana, sem adição de outra substância a não ser uma ou mais formas de sulfato de cálcio. A adição adequada de pozolanas ao cimento Portland comum apresenta alguns benefícios, assim resumidos por Mielenz *et al.* (1951):

- a) tem custo menor;
- b) reduz o calor de hidratação;
- c) tem moabilidade melhorada;
- d) melhora a plasticidade do concreto, diminuindo a segregação e escoamento de água;
- e) diminui a permeabilidade do concreto;
- f) aumenta a resistência ao ataque de águas sulfatadas;
- g) aumenta a resistência à compressão do concreto;
- h) elimina ou retarda o progresso da reação álcali-agregado.

Segundo Mehta (1987), pesquisas recentes confirmam que a manifestação física da reação pozolânica com a diminuição da porosidade é, provavelmente, o fator mais importante para o aumento da durabilidade química e da resistência mecânica do cimento

A substituição de parte do clínquer Portland por material pozolânico significa substituição do calcário - que deixa de ser calcinado nos fornos rotativos - e, conseqüentemente ganho ambiental, pois de cada tonelada de calcário são expelidos 440 kg de CO₂.

As desvantagens do uso das pozolanas são poucas, como por exemplo: o aumento da água requerida na mistura, a diminuição da resistência à compressão do

concreto (cura inicial) e o retardamento da taxa de endurecimento. Por serem bem maiores as vantagens das pozolanas, o uso dos cimentos pozolânicos tem crescido a ponto de, em muitas situações, chegar a substituir o cimento Portland comum.

CAPÍTULO 4

GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ

A bacia intracratônica do Paraná estabeleceu-se sobre a Plataforma Sul-Americana (Almeida *et al.* 1976) com processos de preenchimento iniciados a partir do Neo-Ordoviciano (Milani 1997). Caracteriza-se por uma subsidência intermitente, de uma área com mais de 1×10^6 Km² de extensão, somente na sua porção brasileira, que perdurou cerca de 400 milhões de anos até o Cretáceo.

A persistente subsidência dessa bacia, muito embora de características oscilatórias, permitiu a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e “sills” de diabásio (IPT 1981). Do território paulista (Cabral Jr. 1991) ela ocupa uma área correspondente a dois terços, tendo sua parte mais profunda situada no extremo oeste do Estado (Pontal do Paranapanema), onde se acumularam 5500 metros de sedimentos e basaltos (Hachiro 1991).

4.1 Estratigrafia da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo

Milani *et al.* (1994) e Milani (1997) reúnem, no pacote sedimentar-magmático da Bacia do Paraná, seis superseqüências limitadas por expressivas discordâncias regionais, a saber: Rio Ivaí (ordovício-siluriana), Paraná (devoniana), Gondwana I (carbonífera-eotriássica), Gondwana II (meso-neotriássica), Gondwana III (neojurássica-eocretácea) e Bauru (neocretácea), conforme ilustrado na Figura 4.1. No Estado de São Paulo não afloram depósitos das superseqüências Rio Ivaí e Gondwana II. As demais seqüências de sedimentos e de rochas básicas associadas aflorantes estão distribuídas em superfície conforme ilustrado na Figura 4.1. O empilhamento dessas unidades litoestratigráficas está representado, esquematicamente, de acordo com a Figura 4-2.

No desenvolvimento desta pesquisa as superseqüências foram analisadas considerando a favorabilidade de ocorrência das substâncias minerais pozolânicas nos seus componentes litoestratigráficos.

Figura: 4-1: Mapa geológico do Estado de São Paulo (simplificado de Schobbenhauss *et al.* 1996)

Figura 4.2: Unidades litoestratigráficas na Bacia do Paraná, Estado de São Paulo

4.1.1 Superseqüência Paraná (Devoniana)

No Estado de São Paulo, a Superseqüência Paraná é representada pela Formação Furnas do Grupo Paraná. Segundo Fúlfaro & Bjornberg (1993), a Formação Ponta Grossa, sobreposta à Formação Furnas e também pertencente ao referido grupo, foi assinalada apenas em sondagens, localizadas ao sul do rio Tietê.

A Formação Furnas aflora no sul do Estado, entre Itapeva e Itararé, ao longo do "canyon" do rio Itararé, e tem como característica marcante a homogeneidade litológica (IPT 1981). É composta essencialmente de arenitos esbranquiçados, médios a grossos, por vezes conglomerática, com abundante matriz caulínica, lentes de argila e siltito argiloso, mostrando estratificação cruzada e marcas onduladas.

A presença marcante de caulinita e camadas mistas foram assinaladas por Ramos & Formoso (1975) e Fúlfaro *et al.* (1980). Os primeiros autores, Ramos & Formoso, atribuíram à Formação uma maturidade mineralógica devido à presença dominante de quartzo, ausência de feldspatos e outros minerais instáveis, ao passo que Fúlfaro *et al.* (1980), pela presença significativa de feldspatos na base da seqüência, às vezes, até configurando arcóseos.

Muito embora seja geralmente considerada como um depósito associado a uma transgressão marinha (IPT 1981), em Cabral Jr. (1991) são citadas outras interpretações paleoambientais, tais como: continental fluvial (Ludwig & Ramos 1965), marinho raso (Fúlfaro *et al.* 1980), marinho costeiro (Barcellos & Popp 1986), e leques aluviais (Cabral Jr. 1991).

4.1.2 Superseqüência Gondwana I (Carbonífera-eotriássica)

Esta Superseqüência registra, do Carbonífero até o eoTriássico, os indícios da grande glaciação gondwânica (Fúlfaro & Bjornberg 1993) e o árido interior continental em campos de dunas eólicas do início do Mesozóico (Milani 1997). A sua porção basal, representada pelo Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana, aflora como um cinturão quase contínuo em toda a borda leste da Bacia do Paraná e assenta-se, em discordância erosiva, tanto sobre os sedimentos da Formação Furnas como sobre as rochas do embasamento cristalino.

O Subgrupo Itararé inclui depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltaicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada e imaturos, que passam a arcóseos, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos (Melo 1995). Segundo Rodrigues & Quadros (1976), os folhelhos desse subgrupo contêm illitas e cloritas e, subordinadamente, interestratificados ou montmorilonitas.

A Formação Aquidauana ocorre somente na margem nordeste da Bacia, região de São Bento das Areias – Mococa, e se constitui, predominantemente, de depósitos continentais formados por arenitos avermelhados (às vezes com estratificação cruzada), médios a grossos, feldspáticos e, secundariamente, de arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos da mesma cor a esverdeados.

A Formação Tietê compreende siltitos argilosos a arenosos, com seixos esparsos e arenitos creme-esbranquiçados com estratificações cruzadas e marcas onduladas, encimados por arenitos fluviais e deltaicos com níveis de lamitos carbonosos e carvão (carvão de Cerquilho), que afloram na região entre Tatuí e a cidade de Tietê (Fúlfaro & Perinotto 1992).

A Formação Tatuí, referida pela Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (1917, *apud* Baptista *et al.* 1984), representa a primeira unidade pós-glacial no Estado de São Paulo. Inclui uma seqüência de depósitos marinhos costeiros com estratificação plano-paralela (Fúlfaro *et al.* 1984), constituídos por siltitos e lamitos de característica coloração esverdeada, arenitos finos localmente concrecionados e, subordinadamente, calcários, folhelhos e sílex. A presença de glauconita na unidade levou Almeida & Barbosa (1953) a interpretarem o ambiente de sedimentação como um corpo aquoso, de baixa energia, provavelmente marinho. Ramos & Formoso (1975) especificaram os sedimentos argilosos desta formação como compostos essencialmente por clorita e illita.

O Subgrupo Irati, segundo a subdivisão proposta por Hachiro *et al.* (1993), é representado, na base, pela Formação Taquaral e, no topo, pela Formação Assistência (Quadro 4.2).

Quadro 4.2: Subdivisão do Subgrupo Irati, segundo Hachiro *et al.* (1993).

Subgrupo Irati	Formação Assistência	Membro Ipeúna
	Formação Taquaral	Membro Morro do Alto

A Formação Taquaral é constituída por sedimentos de natureza essencialmente pelítica: argilitos, folhelhos de cor cinza-clara a escura e siltitos (Almeida & Melo 1981). Segundo Hachiro (1996), as camadas pelíticas ostentam intercalações de delgadas lentes carbonáticas e nódulos de sílex.

A Formação Assistência é desmembrada em Morro do Alto (base) e Ipeúna (topo), de acordo com Hachiro *et al.* (1993). O Membro Morro do Alto apresenta, na base, calcilutitos de cores acastanhadas, intercalados em folhelhos pretos e betuminosos (Hachiro 1996) com predominância, segundo esse autor, de folhelhos betuminosos cinza-escuros a pretos, na parte intermediária, e ocorrência de folhelhos siltosos cinza e lamitos cinza-esverdeados na parte superior. O Membro Ipeúna, segundo esse mesmo autor, inicia-se com um banco dolomítico, constituído por

dololutitos laminados e doloarenitos finos a médios, e apresenta, na parte intermediária, ocorrência de pares interestratificados de folhelho/carbonato, delgados e regulares, os quais se tornam mais espessos para o topo, porém, nem sempre tabulares.

A Formação Serra Alta, no Estado de São Paulo, possui litologias e mineralogias idênticas às do Membro Taquaral. Constitui-se de argilitos e siltitos de cor cinza a preta e, por vezes exibe concreções carbonáticas, depositados em ambiente marinho raso de plataforma (Fúlfaro & Bjornberg 1993). O mapeamento mineralógico das argilas permitiu que Rodrigues & Quadros (1976) reconhecessem a predominância de illita e redução de montmorilonita e interestratificados.

A Formação Teresina representa a porção superior da seqüência carbonífera-eotriássica e marca a progressiva continentalização da Bacia do Paraná. Constitui-se de folhelhos e argilitos cinza-escuros a esverdeados ou avermelhados, finamente laminados, em alternância com argilito e siltito cinza-claro e arenitos muito finos, com presença de restritas lentes de calcários oolíticos e sílex, depositados sob a ação de ondas de marés.

A Formação Corumbataí encerra o episódio da dinâmica sedimentar relacionada a um corpo de água contínuo da Bacia do Paraná (Zalan *et al.* 1991), depositando-se em ambiente costeiro, de planície de maré (Gama Jr. 1979); ela inclui argilitos, folhelhos e siltitos finos arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos e sílexíticos.

A Formação Pirambóia (Pacheco 1927, *in* IPT 1981), finaliza a Superseqüência Gondwana I, colmatando a sinéclise, já no Mesozóico (Milani 1997). No Estado de São Paulo, ela constitui-se de arenitos médios a finos avermelhados e esbranquiçados, siltico-argilosos, localmente areno-conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada ou plano-paralela, acumulados em ambientes continentais flúvio-eólicos, associados a lagos rasos e planícies aluviais (Cottas *et al.* 1986; Caetano-Chang *et al.* 1991; Caetano-Chang & Wu 1992; Caetano-Chang 1997).

4.1.3 Superseqüência Gondwânica III (neoJurássica-eoCretácea)

Compreende as formações Botucatu, Serra Geral e intrusivas básicas, associadas ao magmatismo Serra Geral.

A Formação Botucatu constitui-se quase inteiramente de arenitos de granulação fina a média, uniforme, com boa seleção de grãos foscas com alta esfericidade (IPT 1981) e exibe grandes estratos cruzados, que podem atingir até uma centena de metros. Segundo IPT (1981), intercalam-se localmente, sobretudo nas partes inferiores da formação, corpos lenticulares de arenitos heterogêneos, de granulação média a grossa, depositados em meio subaquoso, que passam a arenitos conglomeráticos com seixos de quartzo e quartzito.

O conjunto de rochas basálticas mesozóicas, representado pela Formação Serra Geral na Bacia do Paraná, constitui uma das mais importantes manifestações de vulcanismo continental fissural do planeta. Essas atividades magmáticas se tornam evidentes no grande número de que se faz registro dos diques e "sills" de diabásio e, melhor ainda, nos derrames basálticos que podem apresentar estruturas compactas, vesículo-amigdaloidais e, na base, intercalação de pequenos corpos lentiformes de arenito.

Na seqüência estratigráfica da Bacia do Paraná, os derrames da Formação Serra Geral assentaram-se diretamente sobre os arenitos Botucatu e, localmente, sobre rochas sedimentares do Grupo Passa Dois. Foram também observadas deposições diretas sobre o embasamento cristalino nos Estados de Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás (Petri & Fúlfaro 1983). Sobrepondo-se às seqüências vulcânicas, depositaram-se os sedimentos continentais, predominantemente arenosos, do Grupo Bauru (Fernandes 1992).

Segundo Melfi *et al.* (1988), os derrames dessas rochas vulcânicas efusivas atingiram o sul do Brasil e parte da Argentina, Paraguai e Uruguai, cobrindo uma área de aproximadamente $1,2 \times 10^6 \text{ Km}^2$ (Leinz *et al.* 1966; Almeida 1952; Rüegg & Amaral 1976) ou, o correspondente a 75% da Bacia.

No Estado de São Paulo, as rochas basálticas dos derrames afloram na parte superior das escarpas das cuestas basálticas e de morros testemunhos, bem como no reverso das cuestas. No Planalto Ocidental, afloram nos fundos dos vales dos principais rios como do Paranapanema e Paraná, Tietê, Moji-Guaçu e Grande (IPT 1981).

Os registros apresentados por pesquisadores como Leinz (1949), Leinz *et al.* (1966 *apud* Melfi *et al.* 1988), mostram que esses fluxos magmáticos apresentam espessuras que variam de poucos até centenas de metros. Nas bordas da Bacia, a espessura dos derrames atingiu 350 m, ao passo que, na porção central, chegou a

cerca de 1000 m. A maior espessura -1529 m- foi registrada na região de Presidente Epitácio, São Paulo (Sanford & Lange 1960).

As erupções dos derrames basálticos na Bacia do Paraná migraram ao longo do alinhamento Ponta Grossa e estão intimamente associadas com a pluma Tristão da Cunha e com a abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior (Erlank *et al.* 1984 in Stewart *et al.* 1996). Essas extrusões vulcânicas ocorreram, preferencialmente, ao longo dos rios Paraná e Uruguai, do lineamento Torres-Posadas (Leinz *et al.* 1968; Petri & Fúlfaro 1983) e nas regiões oeste do Estado de São Paulo e nordeste do Paraná (Cordani & Vandomos 1967).

A idade e duração do magmatismo Serra Geral (idade de 133 ± 1 Ma e 1 Ma de duração) foram interpretadas por Renne *et al.* (1992) a partir de determinações geocronológicas e dados paleomagnéticos de Ernesto & Pacca (1988). No entanto, trabalhos mais recentes de Turner *et al.* (1994) e Stewart *et al.* (1996), executados segundo o método $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$, indicaram que os derrames duraram de 10 a 12 milhões de anos, entre 138 - 127 Ma.

Para Melfi *et al.* (1988), as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, anteriormente tidas, segundo sua composição, como homogêneas (Leinz 1949; Cordani & Vandomos 1967) e de natureza toleítica são representadas, na verdade, por uma variedade de rochas básicas a ácidas (Sartori *et al.* 1975; Rüegg 1975; Cordani *et al.* 1980; Bellieni *et al.* 1983). Esse volumoso extravasamento de lavas é constituído mais freqüentemente de basaltos toleíticos (com 90% do volume), tipos intermediários de andesitos toleíticos (com 7% do volume) e riolitos-riodacitos (com 3% do volume). As vulcânicas ácidas cobrem uma área de 150.000 Km² e estão alojadas preferencialmente na porção nordeste da Bacia do Paraná, junto à margem continental (Bellieni *et al.* 1986). Aspectos petrogenéticos distintos permitiram que esses autores agrupassem as rochas ácidas em dois tipos principais: vulcânicas ácidas tipo Chapecó (VAC) e vulcânicas ácidas tipo Palmas (VAP), caracterizadas, respectivamente, segundo o alto e baixo conteúdo relativo de TiO₂, P e elementos incompatíveis (La, Ce, Zr, etc.).

Segundo Bellieni *et al.* (1986), as vulcânicas ácidas do tipo Palmas (VAP), ou seja, com baixo conteúdo de TiO₂, são normalmente representadas por tipos de rocha com textura afirítica a fracamente porfirítica, conforme as descrições que seguem. Tanto os fenocristais como os microfenocristais são representados por plagioclásios (45 - 60% An), augitas, pigeonitas, ortopiroxênios e Ti-magnetita. As rochas afaníticas

de coloração preta e com fratura conchoidal são sobrepostas por tipologias subfaneríticas de cor cinza-esverdeada as quais, quando alteradas, mostram uma textura salpicada ("basalto tipo carijó"). A matriz tem composição de quartzo, álcali-feldspato, freqüentemente como grãos intercrescidos, plagioclásio, piroxênio e óxidos (Ti-magnetita). Os afloramentos de vulcânicas ácidas tipo Palmas mostram rochas subhorizontalizadas formadas por estruturas placóides (Bellieni *et al.* 1986) e, ocasionalmente, alguns deles mostram variações geométricas do tipo sinclinal e anticlinal. Os magmas dominantes (espessura de 1 a 5 m) são compostos de obsidianas, normalmente recobertos por grandes volumes de rocha típica bem cristalizada. Segundo esses mesmos autores, as rochas ácidas do tipo Palmas (VAP) ocorrem preferencialmente nos Estados do Rio Grande do Sul e, subordinadamente, em Santa Catarina e Paraná.]

As vulcânicas ácidas do tipo Chapecó (VAC) possuem alto conteúdo de TiO_2 , são freqüentemente porfiríticas e, desse modo, facilmente diferenciadas, no campo, das rochas tipo Palmas (Bellieni *et al.* 1986). Quando frescas, possuem coloração cinza-esverdeada e, quando alteradas, marrom-avermelhada. Essas rochas são representadas por litotipos com cristalinidade variada e uma matriz composta de quartzo, álcali-feldspato, plagioclásios, piroxênios e óxidos de Ti-magnetita.

No diagrama de De La Roche (1980), segundo Bellieni *et al.* (1986), as rochas vulcânicas tipo Palmas caem nos campos dos riodacitos e riolitos, ao passo que as do tipo Chapecó ocupam a interface riodacito-riolito. As rochas tipo Chapecó estão confinadas na porção setentrional da Bacia do Paraná (entre os Estados de São Paulo e Paraná) e, quando associadas com aquelas do tipo Palmas, ocorrem nos Estados do Paraná e Santa Catarina. O conteúdo relativo de álcalis é maior nas rochas tipo Chapecó, quando comparadas com aquelas do tipo Palmas, para valores similares de SiO_2 .

Os derrames de rocha basáltica apresentam características texturais bem definidas marcadas pela alternância de três zonas: vesículo-amigdaloidal de base, compacta e vesículo-amigdaloidal de topo (Guidicini & Campos 1968), conforme ilustrado na Figura 4-3. Para esses autores o basalto compacto ocupa cerca de 2/3 da espessura total do derrame e apresenta coloração que varia de cinza escuro a preto. A constituição mineralógica principal, segundo Guidicini & Campos (1968), é de feldspato plagioclásio (labradorita), piroxênio (augita), magnetita, magnetoilmenita e quantidades variáveis de matéria vítrea. O basalto vesicular e/ou amigdaloidal apresenta a mesma

constituição mineralógica do basalto compacto, porém, com maior incidência de matéria vítrea (Guidicini & Campos 1968). Como característica distinta, os autores ainda salientam o número elevadíssimo de pequenas cavidades ora vazias (vesículas) ora preenchidas por minerais secundários (amígdalas).

Figura 4-3: Seção típica do derrame (Guidicini & Campos 1968)

Em matéria de pesquisa sobre os componentes ativos de materiais pozolânicos, centrada nos derrames basálticos, devem ser citados:

- os estudos mineralógicos detalhados, de Franco (1952) sobre a gênese e paragênese das zeólitas;
- o estudo de Murata *et al.* (1987) sobre a distribuição de zeólitas nos derrames da Bacia do Paraná (que estabelece uma zona de laumontita associada à porção basal; scolacita com laumontita formadas na zona intermediária das lavas básicas; quartzo e uma assembléia mineralógica de zeólitas silicática com baixo cálcio -como, por exemplo, mordenita e heulandita-stilbita- na porção do topo).

4.1.4 Superseqüência Bauru

A Superseqüência Bauru da Bacia do Paraná corresponde aos grupos Caiuá e Bauru (Fernandes 1992), os quais preencheram a Bacia Bauru. Esta depressão,

desenvolvida em decorrência da subsidência termomecânica dos derrames vulcânicos (Grupo São Bento), acumulou uma seqüência sedimentar essencialmente arenosa.

O Grupo Caiuá (Fernandes & Coimbra 1994) é composto pelas formações Rio Paraná, Goiô-Erê e Santo Anastácio. As duas primeiras, segundo Fernandes & Coimbra (1994), são unidades constituídas por arenitos quartzosos marrom-avermelhados a arroxeados, finos a muito finos, por vezes subarcoseanos e com estratificações cruzadas conspícuas. A Formação Santo Anastácio, segundo estes autores, constitui-se de arenitos quartzosos marrom-arroxeados-claros, com fração siltica subordinada, aspecto maciço e com freqüente cimentação e concrecionamento carbonático.

O Grupo Bauru, segundo a proposta de Fernandes (1998), reúne as seguintes formações:

- Formação Vale do Rio do Peixe, constituída de arenitos finos a muito finos e siltitos intercalados, formando depósitos de origem eólica normalmente tabulares, maciços e com estratificação cruzada alternados;
- Formação Presidente Prudente, constituída por depósitos de arenitos finos e lamitos siltosos intercalados em estratos tabulares e com estruturas de fluxos aquosos;
- Formação São José do Rio Preto, constituída por arenitos finos a muito finos, com freqüente estratificação cruzada com padrão festonado;
- Formação Araçatuba, constituída por lamitos siltosos a arenosos muito finos, de cor cinza-esverdeada, em estratos tabulares e maciços;
- Formação Marília, constituída por arenitos quartzosos de aspecto maciço, com intercalações subordinadas de conglomerados, com cimento e concreções carbonáticas; e
- Formação Uberaba, que ocorre apenas em Minas Gerais, constituída por arenitos com cimento calcítico e/ou matriz argilosa verde, com intercalações de siltitos e argilitos.

Ainda no Neocretáceo, ocorre manifestação de um magmatismo de caráter alcalino representado pelos Analcimitos Taiúva (Coutinho *et al.* 1982), localmente intercalados na parte superior da Formação Rio do Peixe. Ocorrem também depósitos rudáceos (areno-conglomeráticos com clastos originados, em parte, de arenitos,

folhelhos, e de rochas básicas do magmatismo Serra Geral), arenitos e lamitos atribuídos a leques aluviais que constituem a Formação Itaqueri (Almeida & Barbosa 1953) e depósitos correlatos. Para Ponçano *et al.* (1982), essas ocorrências desenvolveram-se sob condições de clima árido, durante a elaboração da Superfície do Japi, de idade eocênica. Estudos dos sedimentos lamíticos da Formação Itaqueri (Brandt Neto *et al.* 1981; IPT 1986a, 1986b, 1990; Melo 1995; Hellmeister Jr. 1997) mostram a variedade composicional das argilas na unidade (esmectitas, *illitas* e caulinitas), ainda que, para Melo (1995), as argilas esmectíticas detríticas sejam compatíveis com uma sedimentação sob condições de aridez. Esta formação ocorre na região das serras de São Pedro, Itaqueri, Franca, Serra do Mirante e platô de São Carlos, assentando-se sobre superfície regular desenvolvida sobre basaltos da Formação Serra Geral e, na ausência destes, diretamente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu. A silicificação dos arenitos e conglomerados da unidade nas serras de Itaqueri e de São Carlos foi descrita por Coimbra *et al.* (1981) que a consideraram de natureza hidrotermal e contemporânea à sedimentação clástica. Esse processo é de extensão considerável e possibilitou, em parte, a sustentação de altos topográficos de grande porte.

4.2 Potencial geológico de materiais pozolânicos na Bacia do Paraná

Os depósitos minerais com potencialidade para matéria-prima pozolânica podem ter origens distintas, ígnea ou sedimentar, e dependem fundamentalmente da presença de componentes pozolânicos ativos: vidro vulcânico, opala, argilas e zeólita. No caso das argilas subentende-se que necessitam de tratamento térmico para ativar suas propriedades pozolânicas.

É conhecimento que vem desde a Antiguidade que as melhores pozolanas naturais são provenientes de erupções vulcânicas, cujas cinzas – partículas de magma pulverizado, expelidas pelos gases – se depositaram, em virtude de seu resfriamento rápido, na forma de rochas piroclásticas e ricas em substâncias vítreas. Além dessas rochas piroclásticas, as rochas extrusivas, com processo de resfriamento similar àquelas, apresentam também em sua matriz uma grande quantidade de vidro vulcânico. Os vidros vulcânicos, todavia, justamente por serem altamente reativos, são instáveis, e se tornam vulneráveis às alterações hidrotermais (zeolitização) e/ou

intempéricas (argilização). Esta última alteração é particularmente nociva ao vidro vulcânico, pois torna-o inerte.

Entre os produtos de origem sedimentar, além das rochas piroclásticas (tufos vulcânicos) mencionadas anteriormente, existem as rochas epiclásticas, as quais podem ser orgânicas ou siliciclásticas. As orgânicas, ricas em sílica hidratada, podem ser de origem vegetal ou animal e aparecem, respectivamente, na forma de acumulações de frústulas de algas diatomáceas (diatomitos) ou como espículas de esponjas (esponjilitos). As rochas siliciclásticas são representadas pelos folhelhos silicosos, ricos em opala/calcedônia, ou rochas caulinizadas por intemperismo.

Assim, com a sistematização de informações, foi possível estabelecer alvos prospectivos para materiais pozolânicos no domínio da Bacia do Paraná, os quais se converteram nos alvos de pesquisa, conforme ilustrado no Quadro 4-3.

Quadro 4-3: Estabelecimento de alvos prospectivos para materiais pozolânicos no domínio da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo.

Rochas	Estratigrafia	Componente(s) ativo(s)	Informações anteriores	Áreas alvos
Ígneas ácidas	Magmatismo Serra Geral	Vidro vulcânico; Zeólitas	Moraes <i>et al.</i> (1982); Bellieni <i>et al.</i> (1983 e 1986); Raposo (1987)	Piraju-Fartura
Sedimentares	Irati	Silexitos	Hachiro (1991 e 1996)	Itapetininga-Fartura-Rio Claro
Sedimentares	Bauru	Argila	IPT (1990); Cabral Jr <i>et al.</i> (1992); Tanno (1995); Hellmeister (1997)	Franca
Sedimentares	Itaqueri	Opala	Coimbra <i>et al.</i> (1981)	São Pedro-Itaqueri da Serra
Sedimentares	Lagoas recentes	Esponjilitos	IPT (1984); Motta (1986)	Leme; Casa Branca; Araçatuba

Com o estabelecimento dos alvos prospectivos para materiais pozolânicos no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, no Estado de São Paulo, foi possível planejar e executar os trabalhos de campo para reconhecimento geológico e amostragem.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS ANALÍTICOS

A amostragem de materiais geológicos potencialmente pozolânicos foi realizada de conformidade com os procedimentos clássicos de campo, para se garantir a representatividade dos mesmos e, conseqüentemente, a reprodutividade dos resultados analíticos. Os materiais geológicos obtidos foram inicialmente submetidos a ensaios e análises para caracterizá-los tecnologicamente e, depois, confirmá-los ou não na atividade pozolânica com cal.

5.1 Planejamento da amostragem

A revisão da literatura da Bacia do Paraná permitiu o estabelecimento de alvos prospectivos para materiais pozolânicos, conforme a presença de componentes ativos, a saber: vidro vulcânico, opala, argilas e zeólitas (Quadro 4-3). O planejamento da amostragem de cada um desses alvos prospectivos, foi precedida de compilação bibliográfica das informações geológicas e levantamento da documentação cartográfica existente.

As principais atividades relacionadas com o levantamento de campo se desenvolveram em etapas, durante as quais foram executados reconhecimento geológico em cortes de estradas, drenagens, voçorocas e cavas de minerações, escavações por sondagem a trado e coleta de amostras em superfície.

5.2 Amostragem

A amostragem foi essencialmente realizada em superfície sobre afloramentos e, para isso, procurou-se, sempre que possível, a ocorrência onde eles fossem representativos das litologias-alvo. Dessa forma, foram amostrados, basicamente, materiais geológicos representados por sedimentos (consolidados e inconsolidados) e rochas ácidas associadas ao magmatismo Serra Geral. A coleta de amostras mais

representativas foi acompanhada do reconhecimento geológico, onde houve a preocupação com os aspectos granulométricos e mineralógicos da unidade litológica amostrada, modo de ocorrência e forma das acumulações, sua posição e distribuição espacial. Algumas condições no que se refere à homogeneidade e constituição mineralógica relativa, cores primárias e secundárias dos sedimentos também foram observadas. Sempre que possível houve preocupação com o registro fotográfico ou construção de seções colunares esquemáticas.

Além das ferramentas comuns do geólogo, foi utilizado um trado manual, especialmente para a coleta de amostras de sedimentos inconsolidados em lagoas de esponjilitos.

Na amostragem foram considerados dois tipos: um para controle, outro para ensaios tecnológicos. As amostras de controle (massa equivalente a 1-2 kg) foram coletadas com a finalidade de auferir resultados analíticos que pudessem auxiliar na interpretação das diversas litologias, bem como as relações de campo. As amostras para ensaios tecnológicos foram coletadas como representativas de um afloramento, e compunham uma massa equivalente a 10-15 kg. Deve-se ressaltar que, especialmente no caso das rochas ácidas, a amostragem foi realizada em afloramentos de rochas sãs, para evitar que a alteração intempérica comprometesse os resultados de ensaios tecnológicos.

5.2.1 Preparação das amostras geológicas

Depois de coletadas, as amostras foram processadas a fim de que, na análise pudessem espelhar adequadamente a unidade litológica de onde foram retiradas.

Esse trabalho é importante no processo de amostragem e, realizada no campo ou no laboratório, visa a dois objetivos principais (Kock & Link 1971):

- homogeneização, e
- redução da quantidade de amostra geológica.

Pitard (1992) definiu-o como "seqüência de operações não-seletivas que podem passar pela britagem, moagem, pulverização, secagem, mistura, etc., e levar uma

quantidade de massa, sob forma conveniente, para novo estágio de processamento, que pode ser outro estágio de amostragem ou a análise final”.

5.3 Métodos analíticos

→ [Os métodos se aplicam na caracterização quantitativa e qualitativa das fases cristalizadas existentes nas amostras, aplicam-se também no controle da composição mineralógica, ou, ainda, no estudo das diferenças de composição mineralógica dos materiais, tais como os aspectos morfológicos e microestruturais delineados pela microscopia de luz refletida ou pelas imagens geradas por detectores de elétrons secundários. Eles se prestam, além disso, para a determinação da composição química dos materiais pozolânicos, para o estudo do comportamento térmico e do teor dos compostos formados na combinação cimento-pozolana e cal-pozolana.

Para um trabalho dessa natureza, em que se busca a caracterização e a qualificação de materiais pozolânicos, os métodos analíticos podem ser subdivididos em dois grupos: análises para prequalificação de atividade pozolânica e ensaios de caracterização e confirmação de atividade pozolânica (Quadro 5.1).

Quadro 5.1: Quadro resumo dos métodos analíticos empregados para prequalificação da atividade pozolânica e ensaios para caracterização e confirmação da atividade pozolânica.

Métodos analíticos	
Prequalificação de atividade pozolânica	Caracterização e confirmação de atividade pozolânica
Microscopia eletrônica de varredura	Finura por peneiramento
Análise química	Determinação da massa específica
Análise termodiferencial (ATD)	Determinação da área específica
Análise termogravimétrica (ATG)	Método de Fratini
Difração de raios X	Atividade pozolânica com cal
Análise petrográfica	Atividade pozolânica com cimento

5.3.1 Prequalificação de atividade pozolânica

5.3.1.1 Microscopia eletrônica de varredura

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) permite micrografias diretas da amostra, com poder de resolução espacial e profundidade de foco melhores do que o

microscópio óptico de luz. É um instrumento analítico moderno, complexo, e demonstra vantagem em relação à petrografia óptica, pois facilita a preparação da amostra, possibilitando ampliações de até 200.000 vezes com a formação de imagens tridimensionais. Portanto, o MEV proporciona imagens da forma e do arranjo interno dos componentes da rocha. Com a mineralogia, com o hábito e a forma dos minerais argilosos é possível inferir a natureza (detrítica ou diagenética) e as condições paleoambientais da sedimentação pretérita. Complementa esse aparelho as análises de lâminas delgadas, gerando diferentes tipos de informações, as quais, quando usadas em combinação com outras técnicas, fornecem dados novos importantes que auxiliam na caracterização do material de interesse.

Os analisadores de raios X por energia dispersiva (EDS) ou por comprimento de onda (WDS), acoplados ao microscópio, aumentam o seu potencial analítico, permitindo não só imagens dos elementos químicos nas amostras, mas também análises químicas em regiões muito reduzidas ou pontuais.

A maneira mais confiável de identificar minerais com o MEV é comparar suas características morfológicas com a composição elementar determinada por um analisador EDS.

5.3.1.2 Análises químicas

Mediante os métodos convencionais de gravimetria, complexometria e fotometria de chama, determina-se a composição química dos materiais. Zampieri (1989) salienta que, apesar de algumas normas exigirem observância de determinados parâmetros químicos, na maioria das vezes a análise química se presta apenas ao controle de uniformidade ou regularidade do jazimento e contribui muito pouco para a definição da reatividade pozolânica do material. No entanto, os métodos de análise química, normatizados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12653), requerem a determinação dos valores dos seguintes componentes e propriedades: perda de umidade (P.U.); perda ao fogo (P.F.); óxido de silício total (SiO_2); óxido de alumínio (Al_2O_3); óxido férrico (Fe_2O_3); óxido de cálcio (CaO); óxido de magnésio (MgO); óxido de titânio (TiO_2); anidrido fosfórico (P_2O_5); óxido de manganês (Mn_2O_3); óxido de cromo (Cr_2O_3); óxido de sódio (Na_2O); óxido de potássio (K_2O); óxido de silício livre (SiO_2); óxido de enxofre (SO_3).

Neste trabalho, as amostras para controle e para ensaios de pozolanicidade foram analisadas por ICP para determinação dos seguintes óxidos: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 , ZrO_2 e P.F. Na realidade, as análises químicas prestam-se para a determinação do teor em álcalis (Na_2O e K_2O), bem como do teor em MgO , pois caso a amostra tenha boa reatividade pozolânica, há que se saber também da presença dos óxidos citados, pois, dependendo da quantidade, a sua aplicação pode ser inviabilizada. Além disso, obviamente, a análise química foi utilizada como um dado exploratório na prospecção de materiais pozolânicos.

5.3.1.3 Análise termodiferencial (ATD)

A análise termodiferencial consiste no aquecimento, em velocidade constante, de uma mistura composta da substância de interesse, juntamente com outra termicamente inerte (geralmente o óxido de alumínio-alfa ou coríndon). São registradas as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a substância em estudo, ocasião em que ocorrem transições de fase ou reações químicas, seja devido ao calor absorvido (reação endotérmica), seja devido ao liberado (reação exotérmica), em virtude da mudança de energia na mistura (Smothers & Chiang 1966).

Aplica-se essa técnica analítica muito freqüentemente no estudo das transformações estruturais de um sólido submetido a altas temperaturas, para o qual existem poucos métodos disponíveis. Mediante as análises termodiferenciais e termogravimétricas se fornecem subsídios para o tratamento térmico adequado, a ser dado aos materiais com o objetivo de conferir-lhes as propriedades pozolânicas (ABCP/STI 1983)

5.3.1.4 Análise termogravimétrica (ATG)

Esta é uma técnica, na qual se registra continuamente a variação de massa durante o aquecimento a uma taxa constante (Longuet 1968).

A quantificação de fases mineralógicas por análises térmicas (ATD e ATG) tem aplicação restrita nas pesquisas mineralógicas, mas se torna muito eficaz nas amostras

que apresentam transformações estruturais (quartzo) e químicas (decomposição, desidroxilação, etc), acompanhadas ou não de variações de massa.

A análise termogravimétrica se aplica mais freqüentemente que a termodiferencial, pois não exige curva ou padrão de calibração. Ela somente é viável para materiais que apresentam variações de massa constantes, em temperaturas definidas, sem a interferência de outras reações.

Tanto as curvas ATG como as ATD para as amostras estudadas foram obtidas no laboratório de Geologia Geral do IG-USP, mediante o sistema SDT 2960 SIMULTANEOUS DTA-TGA (TA Instruments), nas seguintes condições: de 25 a 1350° C, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio (50 ml.min⁻¹), com massas de amostra e referência (α -Al₂O₃ altamente sinterizada) de aproximadamente 20 mg, cadinhos de alumina e razão de aquecimento de 10° C.min⁻¹. A termobalança foi calibrada em massa (padrão de 100 mg), de acordo com as especificações do fabricante.

5.3.1.5 Difratometria de raios X

A difração de raios X é utilizada, principalmente, para a identificação de compostos cristalinos. Ela pode fornecer dados sobre a estrutura cristalina da amostra, sua orientação preferencial (textura), como também o tamanho de cristalitos e a quantificação das fases presentes.

As amostras foram analisadas com equipamento de raios X, marca Philips, modelo PW-1710, equipado com monocromador e filtro de Ni, nas seguintes condições: radiação de CuK α , K α_1 = 1,54050 Å e K α_2 = 1,54439 Å ; intervalo de 2,5 < 2 θ < 80° ; passo angular de 0,02° e tempo de exposição de até 10s.

As amostras, na forma de pó, foram prensadas em porta-amostras. A análise dos resultados de difração de raios X foi realizada a partir de comparações com as fichas de banco de dados, correspondentes a cada componente mineral.

5.3.1.6 Análise petrográfica

Uma importante etapa, na prequalificação de uma rocha como material pozolânico, é a análise petrográfica. As seções delgadas de rochas foram processadas

segundo as técnicas consagradas, ou seja: corte, polimento, colagem e desbaste com pó abrasivo até a espessura de 30 µm. As análises petrográficas foram decisivas na seleção de amostras para os ensaios de confirmação de atividade pozolânica, bem como, à luz dos resultados obtidos, no fornecimento de subsídios para a sua interpretação. O objetivo principal da análise petrográfica foi reconhecer a presença de vidro vulcânico na rocha, bem como o seu estado de preservação, visto que este é facilmente alterável.

5.3.2 Caracterização e confirmação da atividade pozolânica

5.3.2.1 Finura por peneiramento (NBR 11579/91)

Com a finalidade de obter a finura necessária para os ensaios de pozolanicidade com cal, inicia-se o processo de moagem. Todo material é colocado no moinho de bolas que, a princípio, deve funcionar por 10 minutos. Decorrido esse tempo, recolhe-se - em um recipiente de vidro - uma porção de aproximadamente 100 g de material para submetê-la ao peneirador aerodinâmico da marca Alpine. A finura desejada será confirmada pela tabela "finura por peneiramento Alpine" onde, de acordo com a peneira escolhida, são indicados a massa, o tempo e a pressão a serem aplicados. No caso de argila, por exemplo, a peneira inicial é a 325 (45 µm). Submetem-se 10 g de material à pressão de 600 Pa durante 5 minutos de peneiramento. Ao final, o material retido é pesado, e a finura é calculada segundo a equação:

$$F = \frac{R.C}{M} 100$$

onde F é o índice de finura, R o resíduo, C o fator de correção da peneira e M a massa inicial (em gramas).

O fator de correção é específico para cada peneira. A finura obtida é expressa em porcentagem, cujo valor deve ser menor ou igual a 20 %, para satisfazer a finura de material pozolânico.

Não atingindo a finura desejada, deve-se retornar o material ao moinho de bolas, moendo-o por mais tempo. O estabelecimento desse tempo de moagem é critério prático decorrente da análise visual e do tato. Repete-se a moagem e o peneiramento aerodinâmico (Alpine) até se conseguir a finura desejada. Uma vez obtida a finura ideal, inicia-se o ensaio de determinação de massa específica.

5.3.2.2 Massa específica (NBR 6474/84)

Para determinação da massa específica, o líquido de medição (xilol) deve ser colocado no frasco volumétrico de Le Chatelier com auxílio de um funil, em quantidade tal, que seu volume fique compreendido entre as marcas 0 (zero) e 1 cm³.

O frasco deve ser submerso no banho termo-regulador até que se obtenha o equilíbrio térmico, quando, então, se fará a leitura de volume inicial (Vi). A quantidade de amostra do ensaio deve ser capaz de fazer deslocar o líquido entre as marcas 18 e 25 cm³.

Com um funil (de colo curto), a amostra deve ser lançada cuidadosamente no frasco volumétrico. Apoiado numa superfície plana horizontal, esse frasco deve ser agitado ou submetido a movimentos pendulares até que não haja espaços vazios, isto é, até que se eliminem por completo as bolhas de ar. O frasco volumétrico deve ser submerso no banho termo-regulador até o equilíbrio térmico, quando se anota a leitura final (Vf). A massa específica é dada pela relação entre a massa (M) de determinada quantidade de material e o volume (V) por ela ocupado:

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ (Mg/m}^3\text{)}$$

O resultado deve ser a média de, pelo menos, duas determinações que não difiram entre si mais que 0,01 mg.m⁻³. Determinando-se a massa específica, inicia-se o ensaio da área específica. A Norma prescreve o método para a determinação da área específica de cimento Portland e outros materiais em pó, mediante o permeabilímetro de Blaine.

A área específica de um material em pó corresponde à medida da superfície total das partículas "A" por unidade de volume "V" ou massa "m", denominadas

respectivamente, área específica em volume A_v e área específica em massa A_m , conforme as equações:

$$A_v = \frac{A}{V}$$

$$A_m = \frac{A}{m}$$

Para a realização do ensaio, é necessário inferir a porosidade do material. A porosidade ε corresponde à relação entre o volume de vazios, V_v , e o volume total, V_t . A porosidade real ε_r tende a ser coincidente com a porosidade calculada ε , na medida em que o sistema poroso possui quantidades cada vez menores de vazios que não possam ser permeados pelo fluido.

Em relação à aparelhagem necessária à execução do ensaio, podem ser citados: balança analítica, recipiente para determinação de massas pequenas, espátula, cronômetro, permeabilímetro de Blaine, disco de papel-filtro de filtração média e borda lisa plana, termômetro e funil.

Para dar início ao ensaio, deve-se adotar uma porosidade ε , e determinar a massa da amostra a ser processada de acordo com a equação:

$$m = \rho V_{cam} \cdot (1 - \varepsilon)$$

onde V_{cam} = volume da camada de material, em cm^3 .

5.3.2.3 Área específica (NBR 7224/96)

A porosidade a ser adotada na equação anterior deve ser escolhida de maneira que a camada tenha compactação adequada. Usualmente se toma o valor 0,500 para a primeira tentativa.

Sobre o disco perfurado deposita-se, no fundo da célula, um disco de papel-filtro, pressionando-o levemente sobre o outro com um bastão de madeira de extremidade plana. Com um funil, despeja-se a amostra dentro da célula; introduz-se nela o êmbolo

de compactação e se inicia sobre ele leve e contínua pressão até que o ressalto encoste na borda superior da célula. Caso o êmbolo desça sozinho pela ação do próprio peso até encostar na célula, o procedimento deve ser repetido, adotando-se porosidade menor do que a inicial. Se o êmbolo for firmemente pressionado e o ressalto não encostar na borda superior da célula, o procedimento deve ser reiniciado, adotando-se porosidade maior do que a primeira tentativa.

Após achar a porosidade ideal, a célula deve ser conectada ao tubo manométrico, tomando-se o cuidado de untá-las com uma fina camada de vaselina. Mediante aspiração com a mangueira, o líquido manométrico deve ser deslocado da sua posição de equilíbrio até a marca superior, quando o registro deve ser fechado. Uma vez criada uma subpressão no tubo, abaixo da célula, o ar é forçado a fluir através da camada porosa, e o fluido manométrico vai lentamente retornando à sua posição de equilíbrio. O tempo de escoamento do fluido deve ser registrado entre a segunda (tempo inicial) e a terceira marca (tempo final).

Por último, o cálculo da área específica é dado pela equação

$$A_m = \frac{K\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{t}}{\rho(1-\varepsilon)\sqrt{\eta}}$$

onde A_m é a área específica em massa, em $\text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-1}$, K é a constante do aparelho, em $\text{Pa}^2 \times \text{m}^{-1}$, ε é a porosidade da camada, ρ é massa específica do material, t é o tempo e η é a viscosidade dinâmica do ar (variável de acordo com a temperatura).

5.3.2.4 Método de Fratini (NBR 5753/80)

Este é um processo químico desenvolvido em 1954 por FRATINI, ao estudar o ponto de equilíbrio entre uma pasta de cimento hidratado e uma solução aquosa, visando à determinação da quantidade de hidróxido de cálcio que pode saturar um meio de alcalinidade definida (hidróxido de cálcio e alcalinos). O processo fundamenta-se, portanto, na capacidade de fixação do hidróxido de cálcio pelas pozolanas e tem

como vantagem verificar a compatibilidade entre o cimento e a pozolana em estudo (Figura 6.2).

O procedimento da NBR 5753/80 estabelece misturar a 100 cm³ de água destilada 20g do cimento a ensaiar, à temperatura de 40° C. Após 7 dias em recinto termostato retirar 50 cm³ da solução filtrada e determinar a alcalinidade total e o teor em óxido de cálcio. Os resultados, marcados sobre as isotermas do diagrama, representam a concentração de saturação do CaO na solução, em função da concentração do íon hidroxila.

Figura 5-1 : Isoterma de solubilidade do hidróxido de cálcio a 40° C, em presença de álcalis.

5.3.2.5 Determinação de atividade pozolânica com cal (Norma NBR 5751/77)

A amostra de pozolana deve ser secada em estufa a 110° C até que se caracterize constância na massa. Com a amostra de pozolana prepara-se uma argamassa, que deve conter uma parte em massa de hidróxido de cálcio, nove partes em massa de areia normal e, mais, uma quantidade de material pozolânico correspondente ao dobro do volume do hidróxido de cálcio. Para a moldagem de três corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, devem-se utilizar as seguintes quantidades, em massa, dos materiais:

Hidróxido de cálcio	104 g
Areia normal	234 g de cada uma das frações
Material pozolânico	$2 \frac{\delta_{\text{poz}}}{\delta_{\text{cal}}} \times 104\text{g}$

onde δ_{poz} e δ_{cal} são, respectivamente, os valores da massa específica do material pozzolânico e da cal hidratada.

A quantidade de água a ser adicionada é, por sua vez, a necessária à obtenção de uma consistência normal. Geralmente, cumprindo-se os procedimentos exigidos por essa norma, as pozzolanas consideradas de qualidade satisfatória exibem, aos 7 dias, resistência à compressão não inferior a 5,5 Mpa. Este é um método considerado rápido, porque, durante 6 dias seguidos, a mistura de pozzolana e hidróxido de cálcio é curada à temperatura de 55° C em moldes lacrados.

5.3.2.6 Determinação de atividade pozzolânica com cimento (NBR 5752/92)

A amostra de pozzolana deve ser secada em estufa a 110° C. Neste ensaio preparam-se duas argamassas, conforme as quantidades recomendadas, para a moldagem de três corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, a seguir:

Material	Argamassa A (g)	Argamassa B (g)
Cimento Portland	312,0	202,8
Material pozzolânico	-	$109,2 \frac{\delta_{\text{poz}}}{\delta_{\text{cim}}}$
Areia normal	936,0	936,0
Água	X	Y

onde δ_{poz} e δ_{cim} são, respectivamente, as massas específicas do material pozzolânico e do cimento, X e Y são as quantidades de água necessárias para produzir índices de consistência de (225 ± 5) mm.

O índice de atividade pozzolânica com cimento Portland é definido por:

$$\frac{f_{\text{CB}}}{f_{\text{CA}}} \cdot 100 (\%)$$

onde f_{cB} é a resistência média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados com cimento e material pozzolânico (argamassa B), e f_{cA} é a resistência média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados só com cimento (argamassa A).

CAPÍTULO 6

ÁREAS ESTUDADAS

Nos domínios da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, foram selecionadas 9 ÁREAS com possibilidades geológicas de materiais pozolânicos, conforme ilustrado na Figura 6-1. Os trabalhos foram conduzidos de modo prospectivo para tipos de materiais de origem e litologia diferentes. Nestas áreas incluem-se materiais organogênicos, sedimentos opalinos, depósitos de argila de origem sinsedimentar ou supérgena e “basaltos”.

6.1 Áreas 1 e 2

A partir da compilação bibliográfica, análise e integração dos dados disponíveis, foram selecionadas as ÁREAS de Leme e Casa Branca e nomeadas, respectivamente, como ÁREA 1 e ÁREA 2 (Figura 6-1), para se confirmar a ocorrência de “terras diatomáceas” e, em seguida, testar sua reatividade pozolânica.

Uma vez que as diatomáceas são organismos fotossintetizadores de ambientes aquáticos diversos (IPT 1984), os eco-sistemas favoráveis à ocorrência no Estado de São Paulo (Motta 1986), na Bacia do Paraná, são:

- lagos isolados, e
- meandros e lagos afogados associados às planícies de inundação da bacia do rio Moji-Guaçu.

Os alvos pesquisados nestas áreas, estão posicionados nos domínios da Depressão Periférica onde predominam formas de relevo do tipo Colinas Amplas e, secundariamente, planícies aluvionares bem desenvolvidas, associadas aos trechos meandantes do Rio Moji-Guaçu (Melo & Ponçano 1983; IPT 1984; Motta 1986; Melo 1995). Essas áreas situam-se na borda leste da Bacia do Paraná, onde o quadro geológico (Figuras 6-2 e 6-3) é representado por conjuntos litológicos permocarboníferos do Grupo Tubarão: Formação Aquidauana (Cpa - arenitos vermelho-arroxeados, médios a grossos, feldspáticos, e subordinadamente arenitos finos) e Formação Tatuí (Ptt – siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários, sílex; cor vermelho-arroxeadada na parte inferior e esverdeada na superior), segundo IPT (1981) e Melo (1995). Afloram ainda argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, que constituem parte dos depósitos que compõem a Formação Corumbataí. Ocupando extensas áreas, também se expõem os basaltos e diabásios do magmatismo Serra Geral. A sedimentação neoceno-zóica é muito expressiva nas áreas de estudo e está representada, principalmente, por depósitos colúvio-eluviais areno-argilosos em topos e rampas de Colinas Amplas, compreendendo extensas coberturas incoesas sem estruturas sedimentares, com freqüentes níveis basais rudáceos (Melo 1995).

Com base na literatura geológica-geomorfológica e documentação cartográfica, fez-se a amostragem em 17 lagos. A título de ilustração, apresenta-se na Figura 6-4, o mapa de localização dos lagos da ÁREA 1. No campo, os trabalhos de amostragem consistiram na coleta de testemunhos de sondagem (Figura 6-5) em intervalos litológicos distintos, que foram descritos macroscopicamente. O equipamento de perfuração utilizado foi um trado tipo concha, com 2,5" de diâmetro, não convencional. As Figuras A1.1 e A1.2 (Anexo 1) apresentam os mapas de localização dos pontos de amostragem das ÁREAS 1 e 2 e o Quadro 6-1, as características principais das lagoas pesquisadas nessas ÁREAS.

Quadro 6-1: Síntese das características das lagoas pesquisadas nas ÁREAS 1 e 2.

ÁREA	LAGOAS PESQUISADAS	COTAS ALTIMÉTRICAS DAS LAGOAS	PROVÍNCIA GEOMORFO LÓGICA	FEIÇÕES DE RELEVO	CLIMA	SUBSTRATO GEOLÓGICO
1	17	600	Depressão Periférica	Colinas Amplas	Tropical Quente	Depósitos Neoceno-zóicos
2	03	600	Depressão Periférica	Colinas Amplas	Tropical Quente	Fm. Aquidauana

Figura 6-2: Mapa geológico da ÁREA 1, região de Leme/SP (Melo 1995)

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

Qa	Qce	Sedimentos Continentais Quaternários (Qa - aluviões em planícies e baixos terraços; Qce - depósitos colúvio eluviais areno-argilosos em topos e rampas de colinas amplas)
TQt		Sedimentos Continentais Terciários-Quaternários (cascalhos aluviais em terraços intermediários)
Trcl		Formação Rio Claro - Terciário (lamitos de processos gravitacionais)
JKβ		Intrusivas Básicas (soleiras e diques)
Pc		Formação Corumbataí (argilitos, folhelhos e siltitos finos associados, com intercalação de bancos carbonáticos silexíticos)
CPa		Formação Aquidauana (arenitos, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos)

Convenções

Escala 1:250.000
0 2,5 5 10
km

—	Contatos geológicos
---	Falha indiscriminada
A
B	Falha com movimento vertical
A=alto; B=baixo
---	Falha provável
●	Ocorrência não mapeável
	drenagem
	cidade
SP-215	rodovias e estradas

Figura 6 - 3: Mapa geológico da ÁREA 2, região de Casa Branca/SP (Melo 1995)

Figura 6-4: Planta topográfica com o local de amostragem em lagoas da ÁREA 1, região de Leme/SP.

Figura 6-5: Amostragem em depósito de lago isolado, com coleta de amostras (TM-128) por tipos litológicos perfurados. A primeira camada constitui-se de sedimentos finos com matéria orgânica. Lagoa do Boava – estrada Piraçununga – Aguai, km 10 – Piraçununga/SP. Coordenadas UTM: 257.20E; 7562.90N.

6.2 Área 3

A ÁREA 3 (Figura 6-1) abrange os municípios de Araçatuba, Guararapes, Birigüi, Penápolis e Barbosa, onde também existem dezenas de lagoas fechadas ou isoladas, as quais ofereceram condições favoráveis à deposição de sedimentos organogênicos. Dentre as lagoas visitadas, 12 foram aquelas que possibilitaram desenvolvimento dos trabalhos de amostragem.

No contexto geológico regional (Figura 6-6), as unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo inserem-se entre as superseqüências sedimentares-magmáticas neojurássico-eocretácea e neocretácica (Milani *et al.* 1994) representadas pelos grupos São Bento e Bauru. Os basaltos da Formação Serra Geral afloram principalmente ao longo dos vales do Rio Tietê e seus principais tributários. Ocupando praticamente 95% da área de interesse, segundo IPT (1984), afloram sedimentos do Grupo Bauru representados, predominantemente, pela Formação Adamantina (Ka),

Localização da área

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

Qa	Sedimentos Continentais Quaternários (Qa - aluviões em planícies e baixos terraços)
Ka	Formação Adamantina (depósitos fluviais: arenitos finos a muito finos; às vezes cimentação e nódulos carbonáticos)
Ksa	Formação Santo Anastácio (arenitos muito finos a médios, mal selecionados, subordinadamente arcoseanos)
JKsg	Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)

Convenções

—	Contatos geológicos
—	drenagem
■	cidade
—	rodovias e estradas

Figura 6-6: Mapa geológico da ÁREA 3, região de Araçatuba/SP (IPT 1981)

definida recentemente por Fernandes (1998) como Formação Araçatuba. Esta formação é constituída por lamitos siltosos a arenosos muito finos, de cor cinza-esverdeada, em estratos tabulares e maciços. Depósitos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos ocorrem preferencialmente como manchas isoladas ou ao longo dos vales dos principais rios da região.

No quadro geomorfológico paulista, a área de interesse inclui-se na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, caracterizado por relevos monótonos de colinas e morrotes, da porção oriental dos planaltos residuais de Marília-Garça-Echaporã e Catanduva (Ponçano *et al.* 1981; *in* Melo & Ponçano 1983). Com base na classificação do tipo de relevo (Colina Ampla e Colina Média) apresentada por esses autores, IPT (1984) posiciona os lagos interiores, alvos desse estudo, nos interflúvios do relevo de Colinas Amplas e os associa como bacias isoladas ou como componentes das cabeceiras de drenagens de primeira ordem. Esses lagos comportam-se como pequenos “embaciamentos” cenozóicos continentais, de sedimentação essencialmente argilosa, com probabilidade de conter camadas com alta porcentagem de material biogênico (IPT 1984).

Muito semelhantes às lagoas prospectadas nas ÁREAS 1 e 2, os lagos selecionados para amostragem na região de Araçatuba possuem o formato ovalado, com cerca de 900m de comprimento ao longo do eixo maior e 300m do menor. O perfil colunar típico da seqüência sedimentar lacustrina (Figura 6-7), nas lagoas onde ocorrem microesqueletos silicosos, inicia-se por uma camada de turfa com areia fina que pode variar desde poucos centímetros até 0,4 m de espessura. Segue-se uma camada biogênica de até 0,60 m de espessura constituída por esponjilitos e diatomáceas e, subordinadamente, pequenas quantidades de argila. Em direção à base da coluna há um espessamento das camadas argilosas com níveis arenosos e, acima do embasamento, argila compacta amarela. Alguns lagos desprovidos de cobertura vegetal expõem a camada de esponjilito como, por exemplo, na Fazenda Monte Verde, município de Araçatuba (Figura 6-8; Amostra TM-169). A Figura A1.3 (Anexo 1) mostra os pontos de amostragem executados na ÁREA 3.

O esponjilito é conhecido em todo o interior do Estado de São Paulo sob a denominação popular de “pó-de-mico” ou simplesmente “mico”, “estopa” ou “sapóleo”. No cenário produtivo da construção civil regional, as lagoas acumularam depósitos de esponjilito e constituem fonte de matéria prima para várias olarias artesanais e semi-

mecanizadas, e seus produtos nobres são os tijolos, resistentes e muito leves (Figura 6-9).

Figura 6-7. Seção colunar na Olaria Rodolfo, amostra TM 171 (Rodovia Guararapes-Araçatuba, proximidades de Araçatuba/SP). 1. depósito de matéria orgânica vegetal de cor preta com argila; 2. camada argilo-arenosa cinza escura à clara; 3. esponjilite cinza claro, mais argilo-arenoso no topo e base, com textura terrígena; 4. camada de esponjilite com argila de cor avermelhada; 5. camada argilosa com níveis arenosos; 6. camada arenosa com níveis argilosos.

Figura 6-8: Exposição de camada de "pó-de-mico" de coloração esbranquiçada no interior de lagoas isoladas. Olaria de Sr. Jorge (Fazenda Monte Verde), local de coleta da amostra TM-169, proximidades de Araçatuba, estrada de Araçatuba – Guararapes. Coordenadas UTM: 542.59E; 7655.66N.

Figura 6-9: Fabricação artesanal de tijolos: produção média de 1500 tijolos/homem/dia (equivalente a R\$7,00/dia). Olaria do Tim, Penápolis/SP. Coordenadas UTM: 595.20E; 7640.30N.

O Quadro 6-2 apresenta as características principais das lagoas pesquisadas na ÁREA 3.

Quadro 6-2: Síntese das características das lagoas pesquisadas na ÁREA 3.

ÁREA	LAGOAS PESQUISADAS	COTAS ALTIMÉTRICAS DAS LAGOAS	PROVÍNCIA GEOMORFOLÓGICA	FEIÇÕES DE RELEVO	CLIMA	SUBSTRATO GEOLÓGICO
3	13	400	Planalto Ocidental	Colinas Amplas	Tropical Quente	Fm.Adamantina

6.3 Área 4 (Franca – Pedregulho)

Esta área de estudo abrange as regiões de Franca e Pedregulho, nordeste do Estado de São Paulo (Figura 6-1) e se insere na borda nordeste da Bacia do Paraná, cujas rochas do embasamento cristalino, restritas às proximidades da Represa de Jaguará, no Rio Grande, são representadas por quartzitos, quartzo-micaxistos, biotita-xistos, metabasitos, milonitos, etc., atribuída ao Grupo Canastra (IPT 1981b). O

conjunto lítico principal é constituído de duas seqüências, conforme ilustrado na Figura 6-10: a primeira, mais antiga, tem idade permocarbonífera e corresponde estratigraficamente à Formação Aquidauana. Constitui-se de um pacote arenoso com granulometria variada, intercalado com diamictitos e lamitos de cores avermelhadas. A estes sedimentos, depositados em ambientes continentais sob marcante influência do clima glacial, Soares *et al.* (1973) atribuíram uma espessura inferior a 50 metros.

A segunda seqüência corresponde às rochas mesozóicas do Grupo São Bento, representada pelas formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Formação Franca. A Formação Pirambóia é constituída predominantemente por arenitos quartzosos esbranquiçados e avermelhados com granulometria média a muito fina, localmente conglomerática (IPT 1990). A unidade apresenta estratificações plano-paralela, cruzada e planar, raramente acanalada, e depositou-se em ambiente eólico (Caetano-Chang 1997). Intercalando esses sedimentos, podem ocorrer finas camadas de lamitos constituídos por esmectitas. Na região de Franca, essa unidade litológica atinge cerca de 60 metros de espessura (Soares 1973). A Formação Botucatu é constituída por arenitos quartzosos amarelados a avermelhados, de granulometria fina a média, com grãos finos, esféricos e bem arredondados, com notáveis estratificações cruzadas de grande porte, característica de um ambiente deposicional desértico representativo de fácies eólicas (IPT 1990). Pacotes de arenitos conglomeráticos, associados à base da formação, ocorrem localizadamente. Soares *et al.* (1973) atribuem uma espessura de 60 metros para essa unidade. A Formação Serra Geral atinge a espessura de poucas centenas de metros na área de estudo (Soares *et al.* 1973) e é constituída por uma seqüência de derrames basálticos com intercalações de arenitos eólicos e, localmente, lamitos lacustres

Hellmeister (1997) atribui o *status* de Formação Franca à Unidade Franca, definida em IPT (1990), Cabral Jr *et al.* (1992) e Tanno (1995). Este autor a definiu como uma seqüência essencialmente detrítica imatura, constituída predominantemente por litótipos arenosos, de granulometria e selecionamento variado, maciços, raramente estruturados, e camadas de arenitos conglomeráticos, e conglomerados polimíticos com clastos de até 20 cm de diâmetro. Nesta unidade interpõem-se camadas de lamitos e lamitos arenosos. Interpretando a associação faciológica entre essas camadas, os autores citados anteriormente sugerem que elas se depositaram em ambiente de alta energia, característico de acumulações por sistemas de leques aluviais.

A análise crítica das informações, apresentadas nos trabalhos de IPT (1990), Cabral *et al.* (1992), Tanno (1995) e Hellmeister (1997) para esta região, conduz nossa investigação prospectiva de materiais pozolânicos naturais no Estado de São Paulo para os depósitos de argilas esmectíticas, de origem sedimentar e residual, posicionados nos seguintes alvos:

- depósitos sedimentares associados a lamitos e lamitos arenosos da Formação Franca, e
- depósitos residuais associados à alteração dos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Uma vez que nossos trabalhos prospectivos enfocam a localização de materiais potencialmente pozolânicos, os aspectos relacionados à geologia e gênese desses depósitos são dos autores acima citados, a partir de mapeamento geológico de detalhe.

Na região de Franca-Pedregulho foram coletadas 9 (nove) amostras, conforme o mapa de localização dos pontos de amostragem da Figura A1.4 (Anexo 1).

6.3.1 Lamitos da Formação Franca

Sedimentos detríticos predominantemente grossos e impuros, com pelitos subordinados, constituem a Formação Franca (Figura 6-11). Possuem cerca de 30 metros de espessura nos perfis mais representativos e formam o Planalto de Franca. Capeando a unidade, ocorrem sedimentos areno-conglomeráticos cenozóicos de pouca espessura e parcialmente limonitizados.

O depósito em estudo, conhecido como Restinga, está relacionado com uma pequena bacia lacustre, onde predominavam condições ambientais de baixa energia, permitindo a deposição de material mais homogêneo, predominantemente argiloso, conforme ilustrado na Figura 6-12. Os lamitos são constituídos predominantemente por argilas esmectíticas que sofreram transformação em superfície, degradando-se para illita e caulinita. Segundo Hellmeister (1997), a rocha lamítica apresenta teores médios de 48% de argila, 36% de silte e 16% de areia, ao passo que a mineralogia da fração argila é esmectita (50-55%), illita (40%) e caulinita (0-10%).

Figura 6.11: Perfil geológico da Formação Franca na região de Restinga, Franca/SP. Coordenadas UTM: 242,40E; 7719,70N (Hellmeister Jr 1997).

Figura 6-12: Depósito de argila de coloração esbranquiçada (amostra TM-90), capeado por sedimentos inconsolidados do Cenozóico. Estrada Restinga – Franca/SP, km 1. Coordenadas UTM: 242.40E; 7719.70N.

6.3.2 Lamitos arenosos da Formação Franca

A Formação Franca é representada por uma seqüência detrítica de até 40 metros de espessura constituída por dois conjuntos lito-faciológicos: o primeiro, basal, é areno-lamítico; o superior é areno-rudáceo, conforme ilustrado na Figura 6-13.

O conjunto basal é constituído por um pacote pelítico caracterizado pela alternância de fácies lamíticas, lamítico-arenosas e arenitos muito finos, geralmente maciços, com 20 metros de espessura. As camadas rudáceas correspondem às fácies das porções apicais, conforme ilustrado na Figura 6-14.

IPT (1990), estudando o potencial de argilas da região de Pedregulho, verificou que as camadas pelíticas atingem espessuras de até 4 metros e compõem-se, predominantemente, de argilas esmectíticas. Segundo IPT (1990), Cabral *et al.* (1992), Tanno (1995) e Hellmeister (1997), as camadas lamíticas corresponderiam provavelmente às fácies mais distais de leques aluviais, estando, portanto, associadas a processos de fluxos de massa.

Figura 6.13: Perfil geológico do Morro do Sapecado, município de Pedregulho, SP. (Hellmeister Jr 1997).

Figura 6-14: Seqüência superior areno-rudácea da Formação Franca, no trevo de Pedregulho. Coordenadas UTM: 240.70E; 7759.20N

6.3.3 Depósitos residuais associados à alteração dos derrames basálticos da Formação Serra Geral

Nos derrames basálticos da Formação Serra Geral, ocorrem depósitos residuais de argilas esmectíticas como no Morro do Sapecado, a leste da cidade de Pedregulho, as quais estariam associadas ao produto de alteração das suas porções superiores.

No afloramento do Km 27 da Rodovia Pedregulho-Igarapava, conforme ilustrado na Figura 6-15, ocorre situação semelhante, onde veios de caulinita de espessura centimétrica seccionam indistintamente basaltos e sedimentos arenosos da Formação Franca. É uma evidência de que soluções ricas em íons percolaram as fissuras e vesículas da rocha basáltica, como condutos preferenciais de circulação, transporte e deposição de material durante a alteração hidrotermal (IPT 1990, Tanno 1995 e Hellmeister 1997).

Figura 6-15: Veios cauliniticos seccionando basaltos e sedimentos arenosos da Formação Franca. Rodovia Igarapava – Pedregulho, km 27. Coordenadas UTM: 232.27E; 7761.94N.

Os resultados laboratoriais mostram que o material lamítico da região de Franca apresenta quantidade maior de esmectitas e, subordinadamente, caulinitas e illitas.

O Quadro 6-3 sintetiza os resultados analíticos comparativos de argilas da região de Franca (IPT 1990).

Quadro 6-3: Resultados analíticos de argilas da região de Franca, segundo IPT (1990).

ORIGEM DO MATERIAL	TIPO DE OCORRÊNCIA	COR FRAÇÃO ARGILA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	ANÁLISE QUÍMICA DA FRAÇÃO FINA
Pedregulho	Sedimentos da "Unidade Franca"	cinza amarronzado 48% (< 0,004 mm)	Esmectita Illita Caulinita camada mista	SiO ₂ = 47,10 Al ₂ O ₃ = 24,90 Fe ₂ O ₃ = 6,80 TiO ₂ = 4,61 MgO = 2,30 CaO = 0,05 K ₂ O = 2,03 Na ₂ O = 1,70 P.F. = 10,30
Franca (Restinga)	Sedimentos da "Unidade Franca"	Creme 80% (< 0,002 mm)	Nontronita-saponita Illita Quartzo Perovskita Magnetita Hematita	SiO ₂ = 47,20 Al ₂ O ₃ = 19,70 Fe ₂ O ₃ = 17,20 TiO ₂ = 0,64 MgO = 3,12 CaO = 0,94 K ₂ O = 0,57 Na ₂ O = 0,15 P.F. = 10,15

6.4 Área 5 (Piraju - Fartura)

A região de Piraju-Fartura (Figura 6-1) insere-se no contexto geológico da porção leste da Bacia do Paraná, onde foram cartografados pacotes magmáticos e sedimentares representativos de ambientes e climas pretéritos distintos, que se instalaram ao longo do tempo e espaço nesta sinéclise. Tais pacotes reúnem rochas paleozóicas e mesozóicas, classificadas nos grupos Tubarão, Passa Dois e São Bento, além de intrusivas básicas e coberturas cenozóicas (Figura 6-16).

O condicionamento tectônico da área é marcado por um episódio de tensão no Eo-Cretáceo, responsável pela formação de numerosas intrusivas ígneas na forma de "sills" e diques, bem como de extensos derrames basálticos, além da formação de falhas normais (Vieira 1973). Esses diques e "sills" de diabásio penetram as camadas paleozóicas e o próprio Grupo São Bento, gerando metamorfismo de contato (Fúlfaro & Suguio 1967). Merecem destaque alguns altos estruturais que eles reportaram, bem como as feições singulares de relevo na direção NW-SE, como por exemplo, da Serra da Fartura.

655.000'

Paraná

- Unidades Estratigráficas**
- Qa** Sedimentos Continentais Quaternários (aluviões em planícies e baixos terraços)
 - Km** Formação Marília (arenitos de granulação fina a grossa, bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte; comuns nódulos carbonáticos)
 - Ka** Formação Adamantina (depósitos fluviais: arenitos finos a muito finos, às vezes cimentação e nódulos carbonáticos)
 - JKβ** Intrusivas Básicas (soleiras e diques)
 - JKsg** Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)
 - JKb** Formação Botucatu (arenitos eólicos avermelhados de granulação fina-média com grandes estratificações cruzadas)
 - JKp** Formação Pirambóia (arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação plano-paralelos ou cruzadas)
 - Prr** Formação Rio do Rasto (arenitos muito finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos e, subordinadamente, argilitos e siltitos avermelhados)
 - Pt** Formação Teresina (folhelhos e argilitos cinza-escuros a esverdeados ou avermelhados)
 - Psa** Formação Serra Alta (siltitos, folhelhos e argilitos cinza-escuros a pretos com laminação plano-paralelo)
 - Pi** Formação Irati (siltitos, argilitos e folhelhos silticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente com alternância com calcários)
 - Ptt** Formação Tatuí (siltitos e arenitos finos com estratificação plano-paralela, em parte correlacionados, calcários e silexitos)
 - Pp** Formação Palermo (siltitos cinza esverdeados e subordinadamente arenitos finos a médios e conglomerados; freqüentes concreções, nódulos e leitos silexíticos)
 - Prb** Formação Rio Bonito (siltitos e folhelhos com níveis carbonático-argilosos e subordinadamente arenitos muito finos)
 - Cpi** Formação Itararé (arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos; raras camadas de carvão)

7.400.000

Escala 1:500.000

0 5 10 20

km

Convenções

- Contatos geológicos
- - - Falhamentos transcorrentes com zona de cataclase
- A — Falhamentos de gravidade
- B — Movimento relativo de blocos: A=alto; B=baixo)
- - - Falhamentos inferidos e fraturas
- — Diques básicos mesozóicos
- drenagem
- cidade
- rodovias e estradas

Figura 6-16: Mapa geológico da ÁREA 5, região de Piraju-Fartura/SP (IPT 1981)

As coberturas cenozóicas ficam restritas aos principais vales de drenagem e às encostas da escarpa arenito-basáltica.

Das áreas onde se executaram os trabalhos prospectivos dos materiais pozolânicos deste projeto, vários perfis geológicos foram levantados. A título de ilustração, apresentam-se os perfis levantados Sarutaiá-Fartura (Figura 6-17) e Rodovia Raposo Tavares-Timburí/Sarutaiá (Figura 6-18). Numa destas - Figura 6-17 - se patenteia a sucessão estratigráfica do perfil geológico de Sarutaiá-Fartura e os efeitos tectônicos com que a região foi afetada. As rochas mais antigas pertencentes ao Grupo Tubarão expõem-se, mais a sul, na calha do Rio Itararé, estando o topo da seqüência deste Grupo, de idade permo-carbonífera, representado, na área, pela Formação Tatuí, já na seqüência pós-glacial da Bacia. O Grupo Passa Dois, de idade permiana, está superposto a este Grupo e é representado pelo Subgrupo Irati e pelas formações Serra Alta e Teresina, e Membro Serrinha da Formação Rio do Rasto.

Figura 6-17: Seção geológica ao longo da Rodovia Engº Thomaz Magalhães - SP - 287 - trecho Sarutaiá - Fartura (SG - 01).

No Grupo São Bento estão incluídas rochas das formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A Formação Pirambóia ocorre em toda a frente da Serra da Fartura. O arenito Botucatu, constituído por sedimentos eólicos, aflora entre a escarpa da serra e a cidade de Sarutaiá. A Formação Serra Geral distribui-se por toda a região

e representa o domínio das rochas magmáticas. Constitui-se de derrames de basaltos e rochas intrusivas na forma de diques e "sills".

Figura 6-18: Seção geológica ao longo da Rodovia Lauro Alves Barroso – SP – 303 – trecho Rodovia Raposo Tavares – Timburi (SG – 04).

Nesta área de estudo foram coletada 78 amostras geológicas de rocha basáltica para fins do presente estudo, conforme o mapa de localização de pontos da Figura A1.5 (Anexo 1).

6.4.1 Domínio das rochas ígneas

Os episódios magmáticos no interior da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, ocorridos do Paleógeno ao Mesozóico (IPT 1981), são manifestações magmáticas de caráter alcalino, alcalino-ultrabásico e básico, e se introduziram por entre os sedimentos, consolidando-se como rochas efusivas ou intrusivas. Rüegg (1975), estudando a variação química dos basaltos da Bacia do Paraná, refere-se ao "basalto como sendo rochas efusivas, formadas na superfície pela consolidação dos derrames de lavas e que podem exibir texturas e granulações variadas, desde tipos total ou parcialmente afaníticos às faneríticas de granulação fina e, até mesmo, aos tipos faneríticos de granulação grossa". Por outro lado, reserva o "termo diabásio ao

correspondente intrusivo, quaisquer que sejam suas texturas e granulação, ao magma consolidado a meio caminho entre a fonte de origem e a superfície, entremeado às formações mais velhas, principalmente sob a forma de diques ou lençóis concordantes ou discordantes (*sills* e *sheets*)".

Uma vez que determinado magma faz seu trajeto à superfície, gera no conjunto magma-sedimento efeitos metamórficos, cuja amplitude depende do modo de ocorrência, natureza química, temperatura e da mineralogia das encaixantes. Quando o magma se resfria rápido, não se cristaliza perfeitamente e forma pós-vulcânicos, rochas vítreas, rochas de granulação muito fina e películas ou camadas vesiculares de origem gasosa, expondo as rochas a processos de alteração, de natureza endógena (zeolitização) ou exógena (argilização).

6.4.1.1 Derrames de rocha basáltica

Nos derrames de rocha basáltica do Serra Geral, o enfoque prospectivo foi direcionado para os termos mais vítreos e vesículo-amigdaloidais, tanto de topo como de base, e também para as rochas diferenciadas em vários tipos (andesitos, dacitos e mesmo riodacitos), em relação aos basaltos toleíticos.

Por apresentarem, normalmente, paragênese mineral típica de materiais potencialmente pozolânicos, ou seja, uma rocha mais vítrea e mais rica em amígdalas zeolíticas, a zona de topo do derrame constitui-se alvo prospectivo de maior interesse.

Os derrames são formados por rochas de composição preferencialmente toleítica de cor cinza-escura a preta. A composição varia regionalmente entre os diferentes níveis, passando a termos mais ácidos, à medida que se aproxima do topo do pacote. Na parte superior do derrame, com espessura de até 20 metros (Leinz *et al.* 1966), aparece uma zona característica marcada por estruturas vesículo-amigdaloidais que, quando estiradas, refletem o fluxo magmático. As amígdalas e fraturas podem estar totalmente preenchidas por minerais secundários como, por exemplo, quartzo, calcedônia, calcita, zeólitas e nontronita.

A zona de base do derrame (Figuras 6-19 e 6-20) apresenta feições texturais e mineralógicas semelhantes à porção superior, mas com menor espessura. Juntas

horizontais ocorrem tanto na base como no topo do derrame e marcam as isothermas de resfriamento.

Outros extensos afloramentos, localizados nas regiões de Ipauçu e Timburi (Figuras 6-21 e 6-22), expõem rocha basáltica diferenciada, de coloração avermelhada, com aspecto vítreo, e enriquecida em vesículas e amígdalas de dimensões centimétricas (Figuras 6-23 e 6-24). Estas podem estar preenchidas parcial ou totalmente por quartzo, calcita e, principalmente, zeólitas

6.4.1.2 Diques e “sills” de diabásio

As manifestações da atividade vulcânica na Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, estão representadas por diques e “sills” de diabásio que se introduzem em corte, tanto nos sedimentos pré-existentes como também nas rochas cristalinas, causando-lhes mudanças metamórficas nas encaixantes ou no próprio corpo intrusivo.

Em razão de serem os diques de diabásio os correspondentes intrusivos dos derrames básicos diferenciados da Formação Serra Geral, eles se constituem material prospectivo para o presente estudo.

Os diques possuem espessuras variáveis entre poucos e dezenas de metros, muitos dos quais acompanham os derrames de lavas, para os quais serviam de condutos de alimentação (Fúlfaro & Suguio 1967). Esse exemplo pode ser constatado na estrada velha Fartura-Piraju, quando dois diques interceptam arenitos da Formação Botucatu e se intrometem nitidamente sob os derrames da Serra da Fartura na forma de uma taça (Figura 6-25).

Estes afloramentos expõem algumas feições geológicas merecedoras de observações: a primeira é uma zona brechada, originada de esforços tectônicos e que marca um plano de falha com direção N30W; a outra é um sistema de diques de “diabásio” com direção preferencial N5W que intercepta tanto o plano de falha como o pacote de arenito e a seqüência de derrames. Nota-se, ainda, que os arenitos possuem granulação fina, seleção boa a moderada, grãos arredondados e estratificações cruzadas tabulares de grande porte e alto ângulo. As características texturais e as cruzadas permitem interpretar a gênese destes sedimentos como eólica (Soares 1973).

Figura 6-19: Linhas isotérmicas em andesitos extrusivos da Formação Serra Geral (amostra TM-11). Acesso ao Hotel Beira Rio, Piraju/SP. Coordenadas UTM:665.81E; 7435.02N.

Figura 6-20: Detalhe do andesito extrusivo com amígdalas constituídas por zeólitas. Coordenadas UTM: 665.80E; 7435.00N.

Figura 6-21: Rocha diferenciada da Formação Serra Geral, do tipo dacito (amostra TM-183/ponto134), ocupando extensas áreas da fazenda Santa Virgínia; estrada SP-270 (Rodovia Raposo Tavares) ao *Camping de Ipauçu*, Ipauçu/SP. Coordenadas UTM: 641.30E; 7442.60N.

Figura 6-22: Derrame de dacito (amostra TM-216) em trecho de estrada Timburi – Clube de Campo da CESP. Coordenadas UTM:639.10E; 7439.40N.

Figura 6-23: Dacito (segundo classificação química de Le Maitre 1989) com aspecto vítreo (amostra TM-183, ponto 134); amostra representativa do afloramento da fazenda Santa Virgínia. Estrada que liga a Rodovia Raposo Tavares ao *Camping* de Ipauçu.

Figura 6-24: Detalhe do dacito com vesículas e amígdalas com minerais brancos de zeólitas (Mordenita).

Quanto à intrusão do dique de dacito (amostras TM-295 e TM-296), este se comportou como um conduto alimentador ao extravasamento dos derrames da Formação Serra Geral e se apresenta com uma abertura para o topo, o que lhe confere formato semelhante ao de uma taça (Figuras 6-25 e 6-26). O dique mostra, no contato com o arenito, um incremento contínuo da granulação entre as bordas e o centro da intrusão. Junto ao contato, em razão do resfriamento rápido, a rocha é afanítica, vítrea, micro até criptocristalina. Esta feição textural sugere que o magma se encontrava em estado líquido e, ao se introduzir por sedimentos porosos constituídos preferencialmente por grãos finos de arenito, resfriou-se rápido solidificando-se na zona de contato, sob a forma de vidro. Como produto de alteração dessa franja vítrea, da borda do dique, encontra-se a nontronita, argilomineral do grupo das esmectitas, um material potencialmente pozolânico.

Próximo à localidade de Sarutaiá, na borda do Planalto, ao longo da mesma estrada - Fatura-Piraju (Rodovia Eng^o Thomaz Magalhaes) -, pode-se verificar, na depressão que margeia a Serra da Fatura, um grande número de diques paralelos, verticalizados e alinhados na direção N40-45W. Fúlfaro & Suguio (1967) descrevem essas rochas como pertencentes a uma região de "campos de diques da Bacia do Paraná", as quais Ferreira *et al.* (1981) *apud* Ferreira (1982), situaram no Alinhamento de Guapiara. Segundo os autores citados, os contatos laterais dos diques nem sempre são simples, e podem passar a pequenos "sills", ou então, injetar a rocha hospedeira com inúmeras apófises. Os diques apresentam-se como rocha de coloração cinza-escura, maciça, matriz fina com pórfiros, constituída, predominantemente, de plagioclásios e poucos máficos (Figura 6-27). Eles estão verticalizados, e a rocha encaixante se apresenta metamorfizada na zona de contato numa extensão de até 20 metros.

6.5 Áreas 6, 7 e 8 (Assis, Pederneiras e Araraquara)

O principal alvo de pesquisa nas ÁREAS 6, 7 e 8 (Figura 6-1) são os litotipos magmáticos diferenciados do vulcanismo Serra Geral. A possibilidade de ter ocorrido resfriamento rápido das rochas eruptivas, provocando a formação de fases mais vítreas ou muito fina, robustece uma das razões para que o ambiente seja favorável a materiais pozolânicos.

Figura 6-25: Formação Botucatu, constituída por arenito eólico, com grandes estratificações cruzadas, cortada por um dique irregular (com formato de taça) de dacito (amostras TM-295 e TM-296) ligado ao vulcanismo Serra Geral. Serra de Fartura, Rodovia Eng^o Thomaz Magalhães – SP287, próximo a entrada de Sarutaiá/SP. Coordenadas UTM: 656.40E; 7402.80N (Capa do livro Geologia do Brasil, Petri & Fúlfaro 1983).

Figura 6-26: Minerais de coloração esverdeada – nontronita – formados pela alteração do halo vitrificado do dique em contato com o arenito Botucatu. Detalhe da foto anterior.

Figura 6-27: Diques de diabásio da região de Fartura (amostra TM-15); correspondentes intrusivos das rochas “ácidas” da Formação Serra Geral. Rodovia Piraju – Sarutaiá. Coordenadas UTM: 655.82E; 7418.56N.

No contexto geológico regional, as principais unidades litoestratigráficas que ocorrem na região, cartografadas por IPT (1981) e reproduzidas nas Figuras 6-28, 6-29 e 6-30, correspondem à porção superior da Superseqüência Gondwana I (carbonífera-eotriássica), proposta por Milani (1997) e representada pelas formações Teresina, Corumbataí e Pirambóia; bem como às unidades da Superseqüência Gondwana III (neojurássica-eocretácea) representando, respectivamente, as formações Botucatu, Serra Geral e rochas intrusivas, associadas ao magmatismo Serra Geral; e correspondem ainda, às unidades da Superseqüência Bauru (neocretácea) que constituem os grupos Caiuá e Bauru (Fernandes 1992), e ao magmatismo alcalino; além de coberturas terciárias e quaternárias.

Numa abordagem de sentido mais amplo, as características litológicas destas unidades são consideradas idênticas às aquelas mencionadas anteriormente.

Nas regiões cobertas pelos trabalhos de campo deste projeto, não foram localizadas rochas magmáticas alcalinas como as da região de Jaboticabal/SP, com grande quantidade de analcima (Coutinho *et al.* 1982), um dos componentes minerais das rochas com propriedades pozolânicas. Em vista disso, as atenções, nas áreas

pesquisadas, se voltaram para o campo das diferenciações da rocha basáltica na forma de derrame ou “sill” de diabásio.

Na região de Assis – Pederneiras – Araraquara foram coletadas 25 amostras para os ensaios de prequalificação e confirmação de atividade pozolânica. Os pontos de amostragem estão indicados no mapa de localização da Figura A1.6, A1.7 e A1.8 (Anexo 1).

6.5.1 Derrames de rocha basáltica

Os derrames de rocha basáltica da Formação Serra Geral possuem ampla distribuição pelas áreas estudadas. Eles foram mais pesquisados nas ÁREAS 5 e 6 onde, a princípio, a literatura indica rochas basálticas constituídas por matriz vítrea a muito fina e com minerais zeolíticos.

Nas ÁREAS 6, 7 e 8, os alvos prospectados ficaram restritos às aberturas de cava de mineração em pedreiras de basalto e, eventualmente, nos cortes de estradas e rodovias.

As diferenças texturais apresentadas pelos derrames basálticos são evidentes, como já fora descrito por Guidicini & Campos (1968). As rochas apresentam-se com texturas vesículo-amigdaloidais no topo e na base, ao passo que compactas na parte intermediária.

As rochas basálticas da ÁREA 6 afloram preferencialmente nas cavas de mineração. Elas foram amostradas nas seguintes pedreiras: Nossa Senhora Aparecida (Assis/SP), WS-Mineração Ltda. (Assis/SP), Fortuna (Assis/SP) e Siqueira (Paraguaçu Paulista/SP).

As minerações desenvolvem-se em cava a meia encosta, com bancadas de 9m de altura média e um capeamento com espessura superior a 4m (Figura 6-31). As porções aproveitadas economicamente são as rochas basálticas de cor preta, afanítica a muito fina que correspondem à porção intermediária dos derrames (Figura 6-32). As porções vesículo-amigdaloidais de topo são menos evidentes, uma vez que são mais facilmente alteradas e removidas. As porções de base do derrame (ou topo do derrame sotoposto) às vezes limitam e inviabilizam o desenvolvimento da cava em profundidade, como, por exemplo, a Pedreira Siqueira (Figura 6-33), que possui 15m de “pedra sapo” (basalto vesículo-amigdaloidal).

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

Qa Sedimentos Continentais Quaternários (aluviões em planícies e baixos terraços)

7.511.700

Km Formação Marília (arenitos de granulação fina a grossa, bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte; comuns nódulos carbonáticos)

Ka Formação Adamantina (depósitos fluviais: arenitos finos a muito finos, às vezes cimentação e nódulos carbonáticos)

JKsg Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)

Convenções

Localização da área

Figura 6-28: Mapa geológico da ÁREA 6, região de Assis/SP (IPT 1981)

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

- Qa** Sedimentos Continentais Quaternários (aluviões em planícies e baixos terraços)
- Km** Formação Marília (arenitos de granulação fina a grossa, bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte; comuns nódulos carbonáticos)
- Ka** Formação Adamantina (depósitos fluviais: arenitos finos a muito finos, às vezes cimentação e nódulos carbonáticos)
- KTi** Formação Itaqueri (arenitos de cimento argiloso, com lentes alongadas de folhelhos e conglomerados polimíticos)
- JKβ** Intrusivas Básicas (soleiras e diques)
- JKsg** Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)
- JKb** Formação Botucatu (arenitos eólicos avermelhados de granulação fina-média com grandes estratificações cruzadas)
- JKp** Formação Pirambóia (arenitos finos a médios, avermelhados, síltico-argilosos com estratificações plano-paralelas ou cruzadas)
- Pt** Formação Teresina (folhelhos e argilitos cinza-escuros a esverdeados ou avermelhados)

Convenções

- Contatos geológicos
- Falhamentos transcorrentes com zona de cataclase
- $\frac{A}{B}$ Falhamentos de gravidade
Movimento relativo de blocos: A=alto; B=baixo)
- Falhamentos inferidos e fraturas
- Diques básicos mesozóicos
- drenagem
- cidade
- rodovias e estradas

Localização da área

Figura 6-29: Mapa geológico da ÁREA 7, região de Pederneiras/SP (IPT 1981)

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

Qa	Qi	Sedimentos Continentais Quaternários (Qa -alúvies em planícies e baixos terraços; Qi - sedimentos continentais secundários)
TKi		Coberturas da Serra de Santana e Similares (arenitos conglomeráticos)
Km		Formação Marília (arenitos de granulação fina a grossa, bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte; comuns nódulos carbonáticos)
Ka		Formação Adamantina (depósitos fluviais arenitos finos a muito finos, às vezes cimentação e nódulos carbonáticos)
JKβ	Kα3g	Intrusivas Básicas (JKβ soleiras e diques; Kα3g- Lavas analcimíticas)
JKsg		Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)
JKb		Formação Botucatu (arenitos eólicos avermelhados de granulação fina-média com grandes estratificações cruzadas)
T Jp		Formação Pirambóia (arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificações plano-paralelas ou cruzadas)

Convenções

- Contatos geológicos
- Falhamentos transcorrentes com zona de cataclase
- A
B Falhamentos de gravidade
Movimento relativo de blocos:
A=alto; B=baixo)
- Falhamentos inferidos e fraturas
- Diques básicos mesozóicos
- drenagem
- cidade
- rodovias e estradas

Localização da área

Figura 6-30: Mapa geológico da ÁREA 8, região de Araraquara/SP (IPT 1981)

Figura 6-31: Vista geral da Pedreira Siqueira, proximidades de Paraguaçu Paulista, rodovia Paraguaçu Paulista-Assis, SP. Coordenadas UTM: 544.60E; 7511.30N.

As Figuras 6-34, 6-35, 6-36 e 6-37 ilustram, respectivamente, as rochas vesículo-amigdaloidais das pedreiras. Trata-se de rocha de coloração cinza, enriquecida em vesículas e amígdalas, com formato elíptico, e de tamanho até 10 cm, preenchidas total ou parcialmente por zeólitas, quartzo ou calcita.

Da mesma maneira que, na área de pesquisa anterior (ÁREA 6), os alvos pesquisados nas ÁREAS 7 e 8 foram as porções vesículo-amigdaloidais dos derrames basálticos Serra Geral, os pontos visitados na ÁREA 7 foram as pedreiras Rondon no município de Lençóis Paulista/SP, Fortaleza e Colacy em Pederneiras/SP e afloramentos ao longo das rodovias Brotas-Jaú e Jaú-Araraquara.

Figura 6-32: Pedreira WS – frente de lavra em rocha basáltica de cor preta, afanítica mostrando grandes fraturas conchoidais; a frente de lavra desenvolve-se, provavelmente, no meio do derrame. Rodovia Assis —Presidente Prudente. Coordenadas UTM: 552.70E; 7499.20N.

Na região de Lençóis Paulista, a Pedreira Rondon está desativada. A cobertura de solo residual é da ordem de 10m de espessura e inviabiliza extrações econômicas de uma rocha basáltica preta e afanítica. O interessante, nessa cava desativada, é o afloramento de brecha piroclástica no piso da pedreira que ocupa área de aproximadamente 40.000m², como já fora citado por CPRM (1980) e ilustrado na Figura 6-38.

Figura 6-33: Pedreira Siqueira – frente de lavra com rocha muito fraturada; piso da cava limitado ao aproveitamento econômico por se tratar de camada com 15m de espessura de rocha vesículo-amigdaloidal – “pedra sapo” – (amostra TM-200). Rodovia Assis – Parguaçu Paulista/SP. Coordenadas UTM: 544.60E; 7511.30N.

Figura 6-34: Andesito basáltico vesículo-amigdaloidal, fanerítica muito fina; amigdalas de quartzo e zeólita (amostra TM-197, ponto 143). Pedreira Nossa Senhora Aparecida, Bairro Tabajara, Assis/SP. Coordenadas UTM: 558.60E; 7506.80N.

Figura 6-35: Basalto com vesículas preenchidas por quartzo e zeólitas. Amostra TM-198, Pedreira WS, proximidades de Assis/SP, Rodovia Assis – Paraguaçu Paulista. Coordenadas UTM: 552.70E; 7499.24N.

Figura 6-36: Basalto de textura afanítica com vesículas milimétricas parcialmente preenchidas por argilo minerais (amostra TM-199). Pedreira Fortuna, Assis/SP. Coordenadas UTM: 547.70E; 7496.10N.

Figura 6-37: Basalto de aspecto vítreo com abundância de vesículas milimétricas. Amostra TM-200, coletada na Pedreira Siqueira – proximidades de Paraguaçu Paulista – Rodovia Paraguaçu Paulista – Assis/SP.

Figura 6-38: Detalhe da brecha piroclástica no piso da Pedreira Rondon. Rodovia Marechal Rondon km 305.4, Lençóis Paulistas/SP. Coordenadas UTM: 721.99E; 7501.13N.

No município de Pederneiras/SP, as rochas basálticas vesículo-amigdaloidais (conhecidas como “pedra sapo”) ocupam, normalmente, a porção basal das frentes de lavra (Pedreira Colacy, Figuras 6-39 e 6-40) sobre arenito Botucatu silicificado ou mais de um nível como, por exemplo, na Pedreira Fortaleza (Figura 6-41).

Ainda na área de estudo, verificou-se a ocorrência de rocha vulcânica vesículo-amigdaloidal, afanítica ou muito fina nas escarpas da Serra de Brotas e de rocha basáltica com disjunções colunares na rodovia Jaú-Araraquara, próximo à entrada da rodovia asfaltada para Dourados.

Boa exposição de basalto preto afanítico foi verificada na Pedreira Bica de Pedra, município de Jaú/SP.

Na ÁREA 8 foi pesquisado o derrame basáltico na Pedreira Multipedras (Grupo Leão-Leão). A porção em lavra é de basalto preto afanítico, porém, a parte onde se iniciou a lavra em meia encosta é constituída por rocha basáltica que apresenta disjunções colunares (Figura 6-42) e está sobreposta a uma camada vesículo-amigdaloidal (Figuras 6-43).

6.6 Área 9 (Limeira - Rio Claro – Ipeúna – São Pedro)

Os alvos prospectivos da ÁREA 9 identificados pelas suas características geológicas como fontes de materiais pozolânicos são os seguintes:

- depósitos de argila de origem sedimentar e residual associados, respectivamente, às formações Corumbataí e Itaqueri, e à alteração de derrames basálticos;
- arenitos silicificados com calcedônea e opala.

Esses alvos inserem-se num ambiente geológico onde as unidades litoestratigráficas cartografadas -Figura 6-44- são representadas pelos grupos Tubarão, Passa Dois, São Bento, formações Itaqueri, Rio Claro e sedimentos terciário e quaternário.

Figura 6-39: Detalhe da rocha basáltica vesículo-amigdaloidal próximo ao piso da Pedreira Colacy. Pederneiras/SP. Coordenadas UTM:721.12E; 7521.69N.

Figura 6-40: Rocha basáltica vesículo-amigdaloidal no contato entre arenito Botucatu “cozido” no piso (vermelho) e a rocha basáltica afanítica (preta). Pedreira Colacy. Pederneiras/SP. Coordenadas UTM:721.12E; 7521.69N.

Figura 6-41: A base das frentes de lavras são de “pedra sapo” com pelo menos 4m de espessura; além do piso, a rocha basáltica vesículo-amigdaloidal aflora em mais dois níveis: o primeiro na altura da marreta e, o segundo, próximo ao topo. Pedreira Fortaleza, Pederneiras/SP. Coordenadas UTM: 727.84E; 7525.77N.

Figura 6-42: Porções de topo do derrame com disjunções colunares, abaixo das quais aflora rocha vesículo-amigdaloidal preenchida por quartzo, zeólitas e, provavelmente, nontronita. Pedreira Multipedras – Grupo Leão – Leão. Rodovia Washington Luís, próximo ao trevo de Araraquara. Coordenadas UTM: 792.12E; 7579.01N

Figura 6-43: Detalhe das porções enriquecidas em zeólitas abaixo das disjunções colunares. Pedreira Multipedras – Grupo Leão – Leão. Rodovia Washington Luís, próximo ao trevo de Araraquara. Coordenadas UTM: 792.12E; 7579.01N.

O Grupo Tubarão compreende o Subgrupo Itararé (Cpi – arenitos de granulação variada, arcóseos, conglomerados, diamictitos, siltitos, etc.), Formação Aquidauana (Cpa – arenitos vermelho-arroxeados médios a grossos e arenitos finos) e Formação Tatuí (Ptt – siltitos, arenitos finos, calcários e sílex).

O Grupo Passa Dois é constituído pelo Subgrupo Irati (Pi – folhelhos sílticos a siltitos, folhelhos betuminosos e calcários dolomíticos), Formação Serra Alta (Psa – siltitos, folhelhos e argilitos cinza-escuros a pretos), Formação Terezina (Pc – folhelhos e argilitos cinza-escuros a esverdeados) e Formação Corumbataí (Pt – argilitos, folhelhos e siltitos finos arroxeados).

O Grupo São Bento inclui as formações Pirambóia (TJp – arenitos finos a médios, rosados), Botucatu (Jkb – arenitos fino a médio com grandes estratificações cruzadas), Serra Geral (JKs – derrames basálticos, principalmente, toleíticos) e intrusivas básicas tabulares (JKβ - intrusivas básicas tabulares).

LEGENDA

Unidades Estratigráficas

Qa	Qc	Qt	Qce	Sedimentos Continentais Quaternários (aluviões em planícies e baixos terraços)
TQt	TQff			Sedimentos Continentais Terciários-Quaternários (cascalhos aluviais em terraços intermediários)
Kti				Formação Itaqueri e depósitos correlatos (arenitos e arenitos conglomeráticos com cimento argiloso)
JKβ				Intrusivas Básicas (soleiras e diques)
JKsg				Formação Serra Geral (vulcânicas toleíticas cinza a negra, com intercalações de arenitos intertrapeanos)
JKb				Formação Botucatu (arenitos eólicos avermelhados de granulação fina-média com grandes estratificações cruzadas)
Tr Jp				Formação Pirambóia (arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação plano-paralelos ou cruzadas)
Trcl	Trcc			Formação Rio Claro - Terciário (lamitos de processos gravitacionais)
Pc				Formação Corumbataí (argilitos, folhelhos e siltitos finos associados, com intercalação de bancos carbonáceos silexíticos)
Pt				Formação Teresina (folhelhos e argilitos cinza-escuros a esverdeados ou avermelhados)
Ptt				Formação Tatui (siltitos e arenitos finos com estratificação plano-paralela, em parte correlacionados, calcários e silexitos)
CPa				Formação Aquidauana (arenitos, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos)
CPi				Subgrupo Itararé (arenitos, arcóseos, siltitos, folhelhos, conglomerados e diamictitos)

Convenções

—	Contatos geológicos	—	drenagem
---	Falha indiscriminada	●	cidade
—A—B—	Falha com movimento vertical A=alto; B=baixo)	—	rodovias e estradas
---	Falha provável		
—●—	Diques de rochas básicas		
●	Ocorrência não mapeável		

Escala 1:250.000

Figura 6-44: Mapa geológico da ÁREA 9, região de Limeira, Rio Claro, Ipeúna e São Pedro (Melo 1995)

Ainda, nestas áreas de pesquisa, ocorrem as formações Itaqueri (KTI - depósitos rudáceos, arenitos e lamitos), Rio Claro (Trcl - lamitos, areias e cascalhos) e sedimentos continentais terciários (Tqa) e quaternários (QcA).

O depósito de origem sedimentar associado à Formação Corumbataí constitui-se de concentrações silte-argilosas, utilizadas na indústria de fabricação da cerâmica vermelha, o qual está sobreposto por latossolo vermelho, com espessura média de 1,0 metro, provavelmente produto de alteração de "sill" de rocha básica (Figura 6-45).

A exposição ocorre em um cava para extração desses sedimentos localizada ao lado direito da Rodovia Washington Luís, trecho Rio Claro-Cordeirópolis (sob rede de alta tensão).

Nota-se que, no ponto de contato do latossolo vermelho com siltitos e lamitos de cor roxa, ocorre zona de alteração de até 2 metros de espessura constituída de sedimentos argilosos cauliniticos, de cores variadas entre o branco, amarelo a esverdeados, com nódulos de limonita de até 4 cm de diâmetro (amostra TM-320). Na base do afloramento, ocorre banco de até 4 metros de espessura (Figura 6-46) constituído por lamitos de coloração arroxeadas, endurecidos e intensamente fraturados (amostra TM-319). Destaque para o sistema de fraturas mais verticalizado, que apresenta zona de alteração branca de até 10 cm de largura, provavelmente associada a metamorfismo termal.

Nesta região foram coletadas 65 amostras geológicas para os diversos ensaios de prequalificação e confirmação de atividade pozolânica, conforme os pontos de amostragem do mapa de localização da Figura A1.9 (Anexo 1).

6.6.1 Serras de Itaqueri – São Pedro

As serras de São Pedro, Itaqueri e platô de São Carlos são sustentadas em grande parte por rochas básicas da Formação Serra Geral e arenitos mesozóicos silicificados da Formação Botucatu (Bósio 1972). A Formação Itaqueri ostenta o topo de escarpas que atingem altitudes da ordem de 1000 m e está assentada sobre superfície regular, desenvolvida nos basaltos da Formação Serra Geral ou diretamente sobre a Formação Botucatu, quando da ausência dos basaltos da Formação Serra Geral (Riccomini 1995). Constitui-se de depósitos rudáceos (conglomerados com clastos derivados predominantemente de rochas básicas do magmatismo Serra Geral), arenitos e lamitos atribuídos a leques aluviais (Melo 1995).

Figura 6-45: Latossolo vermelho da alteração de rocha básica sobreposto a siltitos e argilitos da Formação Corumbataí (amostra TM-320). Rodovia Washington Luís Trecho Rio Claro Cordeirópolis. Coordenadas UTM: 244.40E; 7512.20N.

Figura 6-46: Lamitos arroxeados, endurecidos e intensamente fraturados que compõem a base do afloramento anterior (amostra TM-319).

Neste ambiente geológico, conforme ilustrado pela Figura 6-47, identificam-se três alvos com possibilidade de material pozolânico. O primeiro está associado aos sedimentos arenosos silicificados com opala e calcedônia; o segundo, com os depósitos de lamitos da Formação Itaqueri e, o último alvo está associado ao depósito residual da alteração das rochas eruptivas da Formação Serra Geral.

O primeiro alvo está localizado no alto da Serra de Itaqueri, junto à torre da Embratel, norte da cidade de Itaqueri da Serra, e ao longo da estrada para Itirapina, onde ocorrem arenitos e conglomerados silicificados da Formação Itaqueri (Figuras 6-48 e 6-49). Os arenitos são de granulação variada e apresentam, freqüentemente, grânulos dispersos numa matriz argilosa. A descrição microscópica de Coimbra *et al.* (1981) salienta que "as evidentes feições de má seleção e do mau arredondamento dos grãos induzem a classificar essas rochas como texturalmente imaturas. A composição mineralógica dos arenitos é dada preferencialmente por quartzo e, como acessórios, muscovita, turmalina e feldspatos. O cimento de preenchimento intergranular, característico de um processo de silicificação intersticial, é composto por calcedônia e opala". Ainda neste afloramento, é notória, em algumas partes do arenito, a grandíssima proporção de opala (ou calcedônea), constituindo, às vezes, a massa fundamental da rocha. Calcedônia secundária e quartzo não só preenchem fraturas de massas predominantemente opalinas e de arenitos silicificados, como também cimentam as porções mais clásticas.

Quanto à gênese da opala da Serra de Itaqueri, Coimbra *et al.* (1981) descreveram que os processos de silicificação dos arenitos e conglomerados da Formação Itaqueri estariam ligados à atividade de natureza hidrotermal e sincrônica com a sedimentação clástica. Segundo Coimbra *et al.* (1981), a opala seria proveniente de águas termais carregadas em sílica, que teriam penetrado por fraturas das zonas de intersecção de dois grandes alinhamentos de falhas: o primeiro de direção N20W do sistema Ipeúna-Piracicaba-Rio das Pedras e o outro de direção N60W, do sistema Rio Moji-Guaçu.

O segundo alvo prospectivo de materiais pozolânicos nas serras de São Pedro e Itaqueri são depósitos lamíticos agrupados na Formação Itaqueri. Esta investigação decorre das citações de argilominerais nos lamitos e arenitos dessa Formação.

Brandt Neto *et al.* (1981) estudaram os sedimentos da Serra de Itaqueri e identificaram o mineral caulinita como o componente principal da fração argila das unidades geológicas.

Figura 6-47: Esboço geológico (A) e modelo de mineralização da jazida de argila sílico-aluminosa da Serra do Itaqueri (B), São Pedro/SP (Ponçano *et al.* 1982).

Figura 6-48: Arenito conglomerático silicificado da Formação Itaqueri. Torre da EMBRATEL. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 198.26E; 7528.24N.

Figura 6-49: Arenito opalífero da Formação Itaqueri, com calcedônia secundária preenchendo fraturamento da massa opalina. Torre da EMBRATEL. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 198.26E; 7528.24N.

O IPT (1986) identificou caulinita e gibbsita em amostras de uma ocorrência de argila sílico-aluminosa do município de São Pedro.

Estes sedimentos compõem um banco predominantemente lamítico (Figura 6-50), da ordem de 30 metros de espessura, com coloração variegada de tonalidade creme a acastanhada e manchas avermelhadas. Intercalam-se camadas arenosas e, localmente, bolsões conglomeráticos. Uma couraça laterítica fragmentada capeia a seqüência dos lamitos.

Figura 6-50: Sedimentos da Formação Itaqueri constituídos por argilitos localmente conglomeráticos, de cores variegadas, predominando o esbranquiçado e o marrom claro (amostra TM-107). Afloramento próximo à escarpa da Serra de Itaqueri. A espessura máxima observada nesse local é de aproximadamente 30m. Coordenadas UTM: 208.90E; 7515.70N.

Barcelos *et al.* (1983) interpretaram a gênese desses sedimentos lamíticos como sendo porções mais distais de um sistema deposicional característico dos leques ou lagos interleques.

O terceiro alvo são os derrames basálticos eocretáceos que ocorrem nas serras de São Pedro, Itaqueri, Brotas e Santa Maria da Serra, e formam o Planalto Ocidental (Bósio 1973). Estudando esses corpos efusivos, Bósio reconheceu espessuras da ordem de 160 m na Serra de Santa Maria, 140 m em São Pedro e 80 m na Serra de Itaqueri.

Para esse autor, a porção inferior do derrame é caracterizada por uma zona com diaclasamentos horizontais, aspecto vítreo e grande quantidade de pequenas vesículas com formas esferoidais e tamanho médio de 1 a 3 mm. A camada central caracteriza-se por um basalto microcristalino, compacto, com diaclasamento vertical. A porção superior possui características muito semelhantes às da camada inferior, porém, com menor densidade de vesículas, apesar de serem maiores. A seção da Figura 6-51 mostra arenitos da Formação Botucatu sobrepostos por derrame da Formação Serra Geral. As porções apicais do derrame estão em cotas superiores a 920 metros de altitude, a rocha está decomposta e, nela, se destacam vesículas preenchidas por minerais secundários (zeólitas e quartzo). Uma vez que as camadas se apresentam intensamente intemperizadas, sua delimitação em campo nem sempre é possível. Não obstante, os derrames basálticos, que ocupam o alto da Serra de Itaqueri, apresentarem uma cobertura alterada superior a 7 m de espessura; mostram massa alterada *in situ* de coloração avermelhada (Figura 6-52), sistema de fraturamento horizontal e vesículas preenchidas por caulinita. Além da composição predominantemente caulínítica, a coloração avermelhada é devida ao alto conteúdo de ferro.

27721

Figura 6-51: Perfil geológico e posicionamento esquemático do depósito supérgeno de caulinita na Formação Serra Geral. Estrada de São Pedro, Bairro de Santo Antônio - Alto da Serra (Coordenadas UTM: 200,26E; 7514,15N).

Figura 6-52: Depósito supérgeo de caulinita originada pelo intemperismo do derrame Serra Geral. Destaque ao lado direito para veios de caulinita. Alto da Serra do Itaqueri. Itaqueri da Serra/SP. Coordenadas UTM: 200.26E; 7514.15N

CAPÍTULO 7

RESULTADOS OBTIDOS

Ao longo deste estudo, cerca de duas centenas de pontos de amostragem cobriram todos os alvos apresentados no Capítulo 6, os quais foram sistematicamente pesquisados por trabalhos de campo e ensaios laboratoriais. A apresentação de resultados segue a ordem das áreas estudadas, conforme descritas no capítulo anterior.

7.1 Áreas 1, 2 e 3 (Leme, Casa Branca e Araçatuba)

Nestas áreas foram pesquisados depósitos organogênicos, dos quais se coletaram, mediante sondagem com furos de trado, 136 amostras. A súmula dos resultados estão apresentados na Tabela 7-1.

Tabela 7-1: Características físicas dos pontos de amostragens dos depósitos organogênicos.

ÁREA	LAGOAS PERFURADAS	FUROS A TRADO	PROFUNDIDADE TOTAL m	PROFUNDIDA- DE MÉDIA DOS FUROS m	Nº DE AMOSTRAS	LAGOAS COM FRÚSTULAS E ESPÍCULAS > 25%
1	17	18	53,9	2,9	78	3
2	3	4	15,2	3,8	21	2
3	12	12	14,4	1,2	37	10

Os dados apresentados na Tabela 7-1 mostram uma profundidade média variável para cada área pesquisada, a qual se deve ora às dificuldades na execução dos furos a trado ora à pequena espessura de tais depósitos. Nas Pranchas A2.1, A2.2 e A2.3 (Anexo 2) estão apresentadas as seções dos furos de trado.

Alíquotas representativas de cada intervalo amostrado foram analisadas por diferentes métodos incluindo-se análise química por ICP, difração de raios X,

quantificação de matéria orgânica e de organogênicos, microscopia eletrônica de varredura e pozolanicidade com cal e com cimento.

Os resultados das análises químicas encontram-se na Tabela A2.1 (Anexo 2). Na Tabela A2.2 (Anexo 2) são apresentados os resultados da matéria orgânica e de organogênicos presentes nas amostras de lagoas das ÁREAS 1, 2 e 3.

A partir de uma avaliação visual do teor de espículas e frústulas, foram selecionadas duas amostras, identificadas como TM-169 e TM-178.1, respectivamente com 90 e 95 % de espículas e frústulas, para ensaios de confirmação de atividade pozolânica. Além delas, selecionou-se também uma amostra com cerca de 25 % de espículas e frústulas (TM-140.1) para os mesmos ensaios. Nas amostras selecionadas foi realizada a identificação da composição mineralógica, por difração de raios X, conforme os difratogramas apresentados na Figura 7-1, respectivamente para as amostras TM-140.1, TM-169 e TM-178.1.

Figura 7-1: Difratogramas de raios X de esponjilitos representados, respectivamente, pelas amostras TM-140.1 (preto), TM-169 (vermelho) e TM-178.1 (azul), mostrando uma banda de material amorfo no intervalo 2θ de 18 a 32°.

No difratograma de raios X da amostra TM-169, foram identificados como componentes mineralógicos principais, quartzo e caulinita. Nos difratogramas de raios X das amostras TM-140.1 e TM-178.1, além dos componentes minerais observados anteriormente, verifica-se a presença de illita. Contudo, a feição marcante nos difratogramas TM-169 e TM-178.1 é a presença de uma banda de material amorfo no intervalo 2θ de 18° a 32° (sílica amorfa do esponjilito). Estudados ao microscópio de luz refletida as acículas apresentam-se isotrópicas, conforme mostra a Figura 7-2.

Ao microscópio de varredura a associação organogênica, apesar da mesma composição química (sílica amorfa), diferencia-se na origem e nas formas: algas diatomáceas geralmente mostram formas naviculares ou cêntricas enquanto que espículas de esponjiários caracterizam-se por micro-tubos aciculares, conforme ilustração na Figura 7-3.

Com a finalidade de confirmar os produtos da reação pozolânica, foi preparada uma pasta de hidróxido de cálcio com o esponjilito. Esta pasta foi feita mantendo-se a proporção em massa de uma parte de hidróxido de cálcio para duas partes de esponjilito. A cura da pasta assim obtida foi feita em estufa à temperatura de 30°C durante 7 dias. O material curado foi analisado por difração de raios X (Figura 7-4) e por microscopia eletrônica de varredura.

Com o auxílio do EDS procedeu-se a uma sondagem química do material circundante, identificando-o como um composto formado por silicato de cálcio hidratado (C-S-H), conforme ilustrado nas Figuras 7-5A e 7-5B.

Os ensaios de confirmação de atividade pozolânica com cal e com cimento foram realizados pelo Laboratório de Ensaios de Concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland, de acordo com as normas vigentes nas NBR 5751/92 e NBR 5752/92. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7-2.

Apesar de as normas NBR 5751/92 e NBR 5752/92 não fazerem menção ao limite de finura do material ensaiado, admitiu-se um resíduo máximo de 20% na peneira de #325 ($45\mu\text{m}$), conforme prescrito na norma ASTM C 595M-97.

É oportuno lembrar a importância da finura e da área específica como características físicas, uma vez que, juntamente com a composição química da amostra, elas melhoram a intensidade e velocidade da reatividade química com o hidróxido de cálcio e, conseqüentemente, a resistência mecânica da pozolana com cal e cimento.

(A)

(B)

Figura 7-2: Fotomicrografias de espículas de esponjas. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados, mostrando caráter isotrópico das espículas. O lado menor da foto corresponde a 0,85mm.

Figura 7-3: Aspecto geral da associação organogênica, com espículas e diatomáceas.

Colaboração: Dra. Cecília Volkmer Ribeiro (Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul)

- 1 - Rótula inferior de gemosclera de *Metania spinata*.
- 2 - Rótula de gemosclera de *Dosilia pydanieli*.
- 3 - Peça central de microscleira de *Dosilia pydanieli*.
- 4 - Megasclera de *Corvomeyeria thermi*.

Figura 7-4: Difratoformas de raios X: esponjilito (amostra TM-169, em preto); mistura de hidróxido de cálcio e esponjilito após 7 dias (verde) e hidróxido de cálcio-PA (azul).

Com base nos resultados obtidos, as amostras TM-169 e TM-178.1, que apresentaram resistência a compressão superior a 6,0 MPa a 7 dias, podem ser consideradas pozolanas naturais. Conforme os resultados apresentados, verifica-se que o teor de espículas e frústulas é o fator preponderante na reatividade pozolânica. A amostra TM-140.1 foi ensaiada com a finalidade de se testar o limite inferior, contudo não foi possível realizar maior número de ensaios com o objetivo de determinar a quantidade mínima e/ou de levantar uma reta de regressão, devido aos altos custos envolvidos. A difração de raios X revelou-se, no caso de amostras de materiais organogênicos, uma ferramenta valiosa para fins de prequalificação da atividade pozolânica.

Figura 7-5A: Aspecto de detalhe de uma espícula, em corte transversal, da pasta de hidróxido de cálcio e esponjilite, observada ao microscópio eletrônico de varredura. A escala corresponde a 10 μ m. Destaque para "borda de reação" circundante, da qual os resultados de análise por EDS são apresentados na Figura 7-5B.

Figura 7-5B: Espectro de EDS obtido para o ponto **A** mostrado na Figura 7-5A: O ouro e o carbono decorrem de processo de preparação da amostra. O produto da reação é um composto de silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

Tabela 7-2: Resultados dos ensaios para determinação do Índice de atividade pozolânica em amostras de esponjilitos.

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO %
TM-169	2,22	12.590	9,7	225	6,4	96
TM-178-1	2,17	10.290	10,2	268	6,4	77
TM-140.1	2,59	6.200	14,2	235	0,9	N.D.

N.D. = não determinado

7.2 Área 4 (Franca - Pedregulho)

As nove amostras representativas dos alvos de interesse da ÁREA 4 estão distribuídas por duas regiões (Franca e Pedregulho), conforme discriminadas na Tabela 7-3.

Tabela 7-3: Distribuição das amostras de interesse na ÁREA 4.

AMOSTRA Nº	UNIDADE AMOSTRADA	Nº DE AMOSTRAS
TM-90 a TM-94	Lamitos Fm.Franca (Franca)	04
TM-95 e TM-97	Lamitos arenosos Fm.Franca (Pedregulho)	03
TM-98 e TM-99	Caulinita hidrotermal (Igarapava)	02

Os resultados de análises químicas por ICP estão apresentados na Tabela A3.1 (Anexo 3) e a mineralogia identificada por difração de raios X na Tabela 7-4, conforme os difratogramas apresentados nas Figuras A3.1; A3.2; A3.3; A3.4; A3.5; A3.6 e A3.7 (Anexo 3).

Tabela 7-4: Composição mineralógica das amostras estudadas na ÁREA 4, por difração de raios X.

TM-90	Argilitos Restinga	caul; mont
TM-91	Argilitos Restinga	quar; mont
TM-93	Argilitos Restinga	ill; mont; verm
TM-94	Argilitos Restinga	mont; hall; musc
TM-97	Argilito padrão Pedregulho (cota 1000 m)	quar; micr; musc; caul
TM-98	Veios de caulinita hidrotermal – Pedregulho-Igarapava	caul
TM-99	Lamito arenoso - Pedregulho-Igarapava	caul; quar; mont; ill; esmec

Observação: caul = caulinita; hall = halloisita; mont = montmorilonita; ill = illita; musc = muscovita; quar = quartzo; esmec = esmectita; micr = microclínio; verm = vermiculita.

A amostra TM-98 é constituída por caulinita e tem significado apenas pontual de provável atividade hidrotermal; por esse motivo, não foi selecionada para ensaios de pozolanicidade.

As curvas ATG/ATD da amostra TM-97 apresentadas na Figura 7-6 representam a resposta ao tratamento térmico diferencial de uma amostra de sedimentos lamíticos constituídos predominantemente por argilomineral caulinítico e pouco quartzo. Elas mostram uma reação de natureza endotérmica entre 100 e 130° C com perda de água livre. Na temperatura de 500° C ocorre a desidroxilação dos argilominerais e, provavelmente, o mesmo também acontece entre temperaturas de 870° a 900° C. A transformação de fase dessa argila deve ocorrer em temperatura de 1100° C numa reação exotérmica, como representado pelo início da curva de ATD.

Figura 7-6 : Curvas termogravimétrica e termodiferencial de argilito (amostra TM-97) da Formação Franca –rodovia Cândido Portinari, trevo principal de Pedregulho S/P.

A partir dos resultados analíticos de difração de raios X e ATD/ATG selecionou-se, então, a amostra TM-97 para os ensaios de atividade pozolânica submetendo-a, previamente, à ativação térmica por uma hora à temperatura de 800° C. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7.5.

Tabela 7-5: Resultados dos ensaios para determinação do Índice de atividade pozolânica em amostra de argillito.

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
TM-97	2,60	6.860	15,9	230	7,7

Com base no resultado obtido, a amostra TM-97, que apresenta resistência a compressão superior a 6,0 MPa a 7 dias, pode ser considerada pozolana natural, segundo definição de Mielenz *et al.* (1951).

7.3 Área 5 (Piraju - Fartura)

Nesta região foi pesquisada a possível presença de materiais pozolânicos nas manifestações vulcânicas intrusivas e efusivas associadas à Formação Serra Geral. É preciso ressaltar, no entanto, que, nos trabalhos de campo, também foram consideradas amostras de argila silicosa (trípoli) e de silexitos, as quais, após analisadas, não apresentaram teor de pozolanidade relevante. Dessa forma, os resultados referentes à ÁREA 5, aludem tão-somente às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

7.3.1 Rochas basálticas

As rochas vulcânicas intrusivas e extrusivas, coletadas na ÁREA 5, estão representadas por 77 amostras, cujos resultados de análises químicas, bem como a classificação química (Le Maitre 1989) encontram-se na Tabela A4.1 (Anexo 4).

No conjunto das rochas vulcânicas, pode-se verificar, conforme resumo apresentado na Tabela 7.6, uma variedade de rochas básicas a ácidas. Nesse sentido, as rochas que predominam na população amostrada são constituídas principalmente por dacitos (56%).

Tabela 7-6: Distribuição do tipo de rochas, segundo a classificação de Le Maitre (1989), na região de Piraju-Fartura.

TIPO DE ROCHA	No. amostras	%
Dacito	43	55,8
Basalto	9	11,7
Traquito	8	10,4
Riólito	8	10,4
Andesito basáltico	7	9,1
Traquiandesito	1	1,3
Andesito	1	1,3
TOTAL	77	100

As amostras selecionadas para os ensaios de pozolanicidade foram submetidas a análises petrográficas detalhadas, conforme apresentação na Tabela 7.7, a seguir. As demais amostras com descrições sucintas encontram-se na Tabela A4.2 (Anexo 4). Um critério, utilizado para a seleção de amostras destinadas aos ensaios de pozolanicidade, foi o petrográfico, pois outros ensaios de prequalificação pozolânica pouco ou nada contribuíram para a decisão final. A petrografia microscópica permite constatar a presença de vidro vulcânico, o componente ativo de interesse, conforme ilustrado nas Figuras 7-7, 7-8 e 7-9. Mesmo assim, nem sempre a petrografia levou a decisões acertadas, pois verificou-se que amostras macroscópica e microscopicamente muito semelhantes apresentaram respostas muito diferentes no ensaio de pozolanicidade. A difração de raios X da rocha natural poderia ser considerada para fins de prequalificação da atividade pozolânica, contudo a fase vítrea presente na amostra é mascarada pelos picos dos constituintes essenciais da rocha (plagioclásio e piroxênio).

Figura 7-7: Fotomicrografias de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O esquema acima identifica as amostras.

Figura 7-8: Fotomicrografias de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isotrópica. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O esquema acima identifica as amostras.

Figura 7-9 : Fotomicrografias de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O esquema acima identifica as amostras.

Tabela 7-7 - Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanicidade.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	AMOSTRAS	ESTUDO PETROGRÁFICO		
		Matriz	Fenocristais	Amígdalas
Dacito	TM-290	65% = matriz de coloração marrom, criptocristalina, da ordem de argila, totalmente devitrificada, onde se distribuem pseudomorfos de piroxênio, fenocristais de plagioclásio e cristaltos, minerais opacos (2%), provavelmente magnetita e amígdalas. Calcedônia e/ou zeólitas de granulometria fina, na forma de fios, ocorrem esparsos.	Pseudomorfos de piroxênio (3% da lâmina), com seção basal (8 lados), alterados para minerais filossilicáticos. Cristais de plagioclásio do tipo cálcico, zonado (pode ser labradorita ou andesina). O núcleo dos cristais maiores é labradorita. Cristaltos brilhantes de plagioclásio na matriz marrom-avermelhada. Fenocristais de plagioclásios e cristaltos somam 30% da lâmina.	A proporção volumétrica de amígdalas e vesículas na lâmina é da ordem de 5%. As vesículas parcialmente preenchidas mostram zoneamento de calcedônia nas bordas para quartzo no centro. Amígdalas são constituídas por zeólitas.
Dacito	TM-183	75% = matriz vítrea totalmente devitrificada, na qual se distribuem microcristais opacos parcial/mente limonitizados + plagioclásio + opacos.	15% = plagioclásio -labradorita- (65%) + pseudomorfos de piroxênio (20%) totalmente substituídos por filossilicatos castanhos + magnetita (15%), intemperizada nas bordas, impregnando a matriz de hidróxidos de ferro.	10% = zeólitas (90%) + quartzo (10%), o qual se encontra principalmente revestindo cavidades vesiculares.
Andesito pórfiro/dacito	TM-296	Rocha intermediária. A matriz está alterada. Quartzo aparece formando aglomerados.	Fenocristais de feldspato e piroxênio estão muito alterados.	
Dacito	TM-311	Material fino a criptocristalino. Plagioclásios alterados e pseudomorfos de piroxênio. Presença de material amorfo.	Fenocristais alterados em alofanos e seladonitas	Amígdalas preenchidas por minerais granulares de calcedônia e zeólitas (com formas mais fibrosas, manchadas)
Dacito	TM-267	Matriz com processo de alteração menos intenso do que a amostra TM-290. Os carbonatos finos não foram carreados. Presença de carbonatos granulares. Filossilicatos finos de birrefringência alta, total ou parcialmente alterados. A matriz possui menos cristaltos. No geral a lâmina apresenta menos zeólitas e mais carbonato	Plagioclásios (20% da lâmina e Ca > Na) possuem núcleo constituído por labradorita. Piroxênios (augita) e pseudomorfos ocorrem isolados ou formando aglomerados, mostrando um aspecto sujo.	Vesículas preenchidas parcial ou totalmente por carbonatos
Dacito	TM-317	Matriz em processo de intensa devitrificação. Há definição de domínio (manchas azuladas) da formação de minerais; rede cristalina com domínio de continuidade ótica de 200µm. Não há limite de cristais bem definidos. Não é criptocristalino; esse aspecto é marcado por domínios difusos submilimétricos. Presença de muito filossilicato.	Cristais de plagioclásio do tipo labradorita. Apresentam muitos traços pretos das formas esqueléticas de óxidos e hidróxidos.	As zeólitas não ocorrem em abundância. As cavidades geralmente estão vazias ou revestidas por quartzo de textura grossa.
Dacito	TM-316	80% = matriz fina, granular na forma de manchas de cristais submilimétricos, irregulares e poiquilíticos. Eles formam domínios ou manchas da ordem de 0,1 e 0,2 mm com pontuações de opacos e outras massas com quartzo e feldspatos alcalinos.	Material porfirítico a microporfirítico onde se destaca augita e principalmente plagioclásio. Augita + plagioclásio+opacos ±10%.	5% = amígdalas constituídas por quartzo e calcitas.
Traquito	TM-287	Rocha intermediária, de aspecto muito alterado. Na matriz, predomina feldspato. Matriz fina com cristaltos e vidro intersticial devitrificado. Magnetita em cristais bem formados e sem formas perfeitas. Provavelmente essa rocha corresponda à parte central do derrame, uma vez que é menos vítrea.	Pseudomorfos de fenocristais de piroxênio finos e microfenocristais (±20%). Argilominerais expansivos de coloração amarelada, produto de alteração de plagioclásios (provavelmente do tipo caulinitico).	Poucas amígdalas.
Traquito	TM-212	Rocha intermediária. Matriz com porções vítreas, feldspato e minerais opacos (magnetita 5%). A rocha está bem alterada mas em menor grau, comparando-se com a TM-287. Os plagioclásios (25%) são do tipo andesina. A matriz é formada por cristais finos vítreos + cristais não vítreos. Esse material vítreo é texturalmente mais parecido com a TM-290.	Fenocristais de feldspato. Plagioclásios com películas de argilominerais ao longo das fraturas. Provavelmente os argilominerais amarelados, na forma de filetes, sejam expansivos. A estimativa da proporção desses filossilicatos finos, de boa cristalinidade, é muito difícil. É possível que ocorram ±10%. Pseudomorfos de piroxênio (5%). Presença de opacos (magnetita).	As vesículas não estão preenchidas, mas apresentam quartzo delineando as bordas.
Dacito	TM-219	85% = "vidro" (70%) + magnetita (15%) + "plagioclásio" (10%) + clinopiroxênio (5%); matriz vítrea parcialmente devitrificada, na qual se distribuem agregados de ripas de plagioclásio (com algum piroxênio associado), e micrólitos opacos, em geral com hábito arborescente; plagioclásio parcialmente alterado em carbonato; argilominerais castanho-esverdeados encontram-se substituindo, parcial ou totalmente, cristais de piroxênio	10% = microfenocristais de "plagioclásio" (50%); magnetita (30%); apatita (10%); clinopiroxênio - augita - (10%)	5% = amígdalas constituídas de quartzo + calcedônia + argilominerais castanho-esverdeados

Os principais componentes mineralógicos de algumas amostras estudadas foram identificados por difração de raios X (Figuras A4.1; A4.2 e A4.3 - Anexo 4) e classificados em três grupos distintos, conforme apresentado na Tabela 7-8.

Tabela 7-8: Componentes mineralógicos principais, identificados por difração de raios X.

Grupo	Amostra	Classificação da rocha	Mineralogia principal
I	TM-295	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, magnetita
	TM-311	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, mordenita
	TM-267	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita
	TM-317	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita
	TM-316	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, mordenita
	TM-314044	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, mordenita
	TM-219	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, mordenita, nontronita.
	TM-312	Traquito	Quartzo, feldspato, cristobalita, goetita.
II	TM-290	Dacito	Quartzo, feldspato, cristobalita, mordenita, hematita.
	TM-183	Dacito	Cristobalita, feldspato, quartzo, clinoenstatita, nontronita, goetita.
	TM-314	Dacito	Cristobalita, quartzo, feldspato.
	TM-287	Traquito	Cristobalita, feldspato, quartzo, mordenita, nontronita.
III	TM-200	Basalto	Feldspato, mordenita, cristobalita, nontronita, quartzo.
	TM-240	Basalto	Feldspato, mordenita, diopsídio, nontronita.
	TM-199	Basalto	Feldspato, mordenita, cristobalita, montmorilonita.
	TM-212	Traquito	Feldspato, mordenita, cristobalita, quartzo e goetita.

Observação: incluiu-se nesta tabela tanto as amostras TM-199 e TM-200 (ÁREA 6) como a TM-200 (ÁREA 8) para formação de "grupos" de rochas basálticas com características mineralógicas semelhantes.

Foram analisadas por ATD e ATG as amostras TM-183, TM-212 e TM-219. A análise das curvas ATD/ATG, Figuras A4.4 (Anexo 4), mostra que, durante o aquecimento gradativo entre os intervalos de temperatura (100° C - 1000° C), a maior perda de massa (1,25%) ocorreu com a amostra TM-183, conforme apresentado na Tabela 7.9.

Tabela 7-9: Variação da massa das amostras estudadas na ÁREA 5, por análise termogravimétrica e termodiferencial.

Nº amostra	ATD/ATG		
	Temperatura °C		Perda de massa %
	Inicial	final	
TM-183	157	1000	1,25
TM-212	100	1200	0,30
TM-219	100	680	1,20

Uma vez que muitas rochas possuem estruturas vesículo-amigdaloidais, servem-se, em complemento às observações microscópicas, alguns aspectos morfológicos e microestruturais relevantes das zeólitas que constituem as amígdalas nas amostras TM-284, TM-282 e TM-290, estudadas por microscopia eletrônica de varredura (Figura 7-10).

As pastas de hidróxido de cálcio e “rochas basálticas” dos três grupos acima citados, foram preparadas e curadas em estufa à temperatura de 30° C durante 7 dias. Os difratogramas de raios X das pastas estão apresentados nas Figuras A4.5; A4.5A e A4.6 e A4.7 (Anexo 4). Como pode-se verificar nestas figuras os produtos de reação encontram-se registrados, principalmente, nos intervalos $2\theta = 11^\circ$ até 12° e $2\theta = 29^\circ$ até 30° . A Tabela 7-10 apresenta os possíveis compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e “rocha basáltica”, a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figuras A4.5; A4.5A; A4.6 e A4.7 do Anexo 4).

Tabela 7-10: Possíveis produtos da reação pozolânica em basaltos.

Amostra	9° até 10°	Escala 2 θ		
		11° até 12°	18° até 19°	29° até 30°
		GRUPO I		
TM-295 curada		1.reyerita: (Na,K)Ca ₇ Si ₁₁ AlO ₂₉ (OH) ₄ . H ₂ O		1.Silicato de cálcio hidratado: Ca ₂ SiO ₄ .H ₂ O 2. Rosenhahnita: Ca ₃ (Si ₃ O ₈ (OH) ₂)
TM-311 curada		1.reyerita: (Na,K)Ca ₇ Si ₁₁ AlO ₂₉ (OH) ₄ . H ₂ O;		1.reyerita: (Na,K)Ca ₇ Si ₁₁ AlO ₂₉ (OH) ₄ . H ₂ O; 2.silicato de cálcio hidratado: Ca ₂ SiO ₄ .H ₂ O;

Tabela 7-10 (continuação)

TM-267 curada		1. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2. truscotita: $\text{Ca}_{14}\text{Si}_{24}\text{O}_{58}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		1. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2. truscotita: $\text{Ca}_{14}\text{Si}_{24}\text{O}_{58}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 3. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 4. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
TM-317 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. Silicato de Al e Ca hidratado: $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
TM-316 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. Yugawaralita: $\text{CaAl}_2 \cdot \text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		
TM-314044 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;		1. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
TM-219 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. Silicato de Al e Ca hidratado: $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		1. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
TM-312 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. Yugawaralita: $\text{CaAl}_2 \cdot \text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		1. Yugawaralita: $\text{CaAl}_2 \cdot \text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 2. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
		GRUPO II		
TM-290 curada		1. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		1. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2. Jennite $\text{Ca}_9\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
TM-183 curada		1. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		1. Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
TM-314 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		1. Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2. reyerita $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
TM-287 curada	1. Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 50\text{H}_2\text{O}$; 2. Gismondina $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		Gismondina $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1. Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2. Gismondina $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
		GRUPO III		
TM-212 curada		1. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2. girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 3. truscotita: $\text{Ca}_{14}\text{Si}_{24}\text{O}_{58}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		1. silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2. reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 3. truscotita: $\text{Ca}_{14}\text{Si}_{24}\text{O}_{58}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Observação: os possíveis compostos neoformados na pasta hidróxido de cálcio e amostras TM-199 e TM-200 (ÁREA 6) e amostra TM-240 (ÁREA 8) serão apresentados, respectivamente, nos itens 7.4 e 7.6 desse estudo.

(A)

(B)

(C)

Figura 7-10 : Morfologia de zeólitas do grupo das mordenitas estudadas na ÁREA 5: (A) amostra TM-282; (B) amostra TM-284, (C) amostra TM-290. Imagens do microscópio eletrônico de varredura.

Uma das amostras curadas, amostra TM-290, foi estudada ao microscópio de varredura e apresentou, conforme mostrado na Figura 7-11, um material de textura “rendilhada”, característica de um composto de silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Com auxílio do EDS as análises químicas das formas placóides e, às vezes, hexagonais (Figura 7-12) mostram a possibilidade de estarem se formando silicatos hidratados (Figura 7-13) de cálcio, alumínio, potássio, sódio e magnésio.

Figura 7-11: Aspecto da pasta de hidróxido de cálcio da amostra TM-290 com sete dias de cura. Notar as formas rendilhadas do composto neoformado: típicas de um silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Imagem de microscópio eletrônico de varredura. A escala equivale a 1 μ m.

Devido à presença de vidros vulcânicos e zeólitas nas rochas basálticas dessa região, identificadas por petrografia microscópica e microscopia eletrônica de varredura, foram selecionadas algumas amostras para ensaios de pozolanicidade com cal e com cimento, cujos resultados estão na Tabela 7-11.

Figura 7-12: Visão geral dos compostos formados na reação hidróxido de cálcio e "rocha basáltica". Imagem do microscópio eletrônico de varredura.

Figura 7-13: Espectros de EDS obtidos para os quatro pontos mostrados na Figura 7-12.

Tabela 7-11: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica da ÁREA 5.

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO %
TM-290	2,66	8.400	9,8	230	6,4	74
TM-183	2,58	8.610	7,3	232	4,3	67
TM-295	2,58	8.830	12,9	235	3,2	68
TM-311	2,66	8.890	10,4	232	3,2	N.D.
TM-267	2,67	6.340	14,6	225	2,9	69
TM-314	2,61	8.290	14,0	228	2,5	68
TM-317	2,69	7.200	18,1	231	2,4	N.D.
TM-316	2,69	7.230	20,2	216	1,7	N.D.
TM-287	2,59	6.930	15,2	210	1,6	N.D.
TM-212	2,64	10.050	6,6	224	1,2	63
TM-219	2,66	7.970	11,8	219	0,9	N.D.
TM-312	2,67	9.550	12,7	224	0,8	N.D.
TM-314	2,65	6.240	18,4	236	1,6	N.D.

N.D. = não determinado

Segundo a Norma NBR 12653/92 - Materiais Pozolânicos (Especificação), apenas a amostra TM-290 pode ser classificada como pozolana natural.

O índice de atividade pozolânica com cimento, de acordo com a especificação NBR 12653/92, deve ser no mínimo 75% e a água requerida, no máximo 115% para pozolanas classe N (pozolanas naturais e artificiais). Nesse caso, a amostra TM-290 ficou apenas 1% abaixo do índice estabelecido pela norma.

A partir de características semelhantes com a amostra TM-290, no que se refere a matriz vítrea e componentes mineralógicos principais, e, ainda, maior perda de massa (1,25%), selecionou-se a amostra TM-183 para os ensaios de atividade pozolânica submetendo-a, previamente, à ativação térmica durante 5 horas em temperatura de 800° C (Liebig & Althaus 1998). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7-12.

Tabela 7-12: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica com cal, amostra TM-183 calcinada.

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
TM-183 calcinada	2,62	7.330	7,5	226	5,1

Com base no resultado obtido, a amostra TM-183 calcinada, que apresentou índice de resistência a compressão de 5,1 MPa a 7 dias não pode ser considerada pozolana natural. Conforme os resultados apresentados, verifica-se que houve acréscimo de resistência mesmo com a redução da área específica.

7.4 Área 6 (Assis)

Os alvos da pesquisa na região de Assis foram direcionados para as rochas basálticas efusivas do magmatismo Serra Geral, expostas, principalmente, em pedreiras. Durante os trabalhos de campo foram coletadas 5 amostras representativas, cujos resultados de análises químicas, bem como classificação química (Le Maitre 1989) se encontram na Tabela A5.1 (Anexo 5). Verifica-se, por essa classificação, o predomínio de basaltos (04 amostras: TM-197.a; TM-198; TM-199 e TM-200) sobre 01 amostra de andesito basalto (TM-197.B).

As lâminas delgadas dessas amostras foram descritas sucintamente e compõem a Tabela A5.2 (Anexo 5). Aquelas selecionadas para determinação dos índices de pozolanicidade foram submetidas a análises petrográficas detalhadas que estão apresentadas no Tabela 7-13.

Tabela 7-13: Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanicidade.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	AMOSTRAS	ESTUDO PETROGRÁFICO		
		Matriz	Fenocristais	Amígdalas
Basalto	TM-199	Rocha básica. Matriz formada por plagioclásio, piroxênio, mineral vermelho ($\pm 5\%$) e opacos finos ($\pm 5\%$). Augitas + plagioclásios em proporções iguais (40% cada). Material intersticial devitrificado ($\pm 5\%$). Filossilicatos finos ($\pm 5\%$).	Cristais vermelhos não identificados (possivelmente transformação de olivinas – formato ortorrômbico)	As vesículas não se apresentam preenchidas e atingem 5mm de diâmetro. As bordas apresentam filossilicatos.
Basalto	TM-200	60% = matriz constituída por vidro (45%), “ripas” de plagioclásio opacos (parcialmente limonitizados) e pouco piroxênio; “plagioclásio” (30%), tanto da matriz como em fenocristais está quase totalmente alterado em argilominerais; magnetita (20%) sã e clinopiroxênio (5%).	10% = microfenocristais. Magnetita (40%) como fenocristais parcial a totalmente limonitizados; clinopiroxênio (30%); “plagioclásio” (30%)	30% = zeólitas (heulandita?)

A Figura 7-14 apresenta as fotomicrografias das amostras TM-199, TM-200 e TM-200 (vidro: amostra fundida a 1100°C).

Figura 7-14: Fotomicrografias de rochas basálticas estudadas na ÁREA 6, mostrando matriz vítrea isótropa. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O esquema acima identifica as amostras.

Os componentes mineralógicos principais nas amostras, identificados por difração de raios X, Figura A4-3 (Anexo 4), estão reunidos em grupo, conforme apresentado na Tabela 7-14.

Tabela 7.14: Componentes mineralógicos principais, por difração de raios X

Grupo	Amostra	Classificação da rocha	Mineralogia principal
III	TM-200	Dacito	feldspato, mordenita, cristobalita, nontronita, quartzo.
	TM-199	Dacito	feldspato, mordenita, cristobalita, montmorilonita.

A interpretação das curvas de ATD/ATG, Figuras A5.1 e A5.2 (Anexo 5), mostram que, quando esses materiais foram aquecidos, houve transformações estruturais e químicas, acompanhadas de variação significativa de massa (6,6% e 7,6%), conforme apresentado na Tabela 7-15.

Tabela 7-15: Variação da massa nas amostras estudadas na ÁREA 6, por análise termogravimétrica e termodiferencial.

Nº amostra	ATD/ATG		
	Temperatura °C		Perda de massa %
	Inicial	final	
TM-199	100	840	6,6
TM-200	100	720	7,6

As pastas de hidróxido de cálcio e “rochas basálticas” destas amostras, após curadas, foram submetidas à difração de raios X. Os difratogramas de raios X da Figura A4-7 (Anexo 4), mostram que houveram reações na mistura, formando-se novos produtos, principalmente nos intervalos $2\theta = 11^\circ$ até 12° e $2\theta = 29^\circ$ até 30° , conforme apresentado na Tabela 7-16.

Tabela 7-16: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e "rocha basáltica", a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A4-7, Anexo 4).

Amostra	Escala 2 θ			
	11° até 12°	22° até 23°	29° até 30°	31° até 32°
TM-199 curada	1.Okenita: $\text{CaSi}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2.Heulandita: $\text{Ca}_{1,23}(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 3.Reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.Okenita: $\text{CaSi}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2.Heulandita: $\text{Ca}_{1,23}(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		1.Silicato de cálcio hidratado: $2\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 2.Reyerita: $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_7\text{Si}_{11}\text{AlO}_{29}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
TM-200 curada	1. Silicato de Al e Ca hidratado: $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2.Heulandita: $\text{Ca}_{1,23}(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		1.Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 50\text{H}_2\text{O}$; 2.Heulandita: $\text{Ca}_{1,23}(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	

Os resultados da determinação do índice de atividade pozolânica estão apresentados na Tabela 7-17.

Tabela 7-17: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica da ÁREA 6.

REGIÃO DA AMOSTRA	Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	ÁREA ESPECÍFICA $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 μm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO %
Assis	TM-199	2,66	5.510	25,7	240	2,6	N.D.
Assis	TM-200	2,64	6.190	23,5	263	3,4	52

N.D. = não determinada

A tabela mostra que os resultados obtidos dos ensaios de pozolanicidade estão abaixo do índice estabelecido pela NBR 12653/92 e, por conseguinte, as amostras não são consideradas pozolânicas. No entanto, levando-se em consideração que as duas amostras foram ensaiadas acima dos limites aconselhados pela norma ASTM C 595M-97, no que se refere ao resíduo retido na peneira 45 μm , é de se esperar que esses materiais "in natura" possam apresentar índices superiores se atingirem a finura ideal.

Uma vez que a amostra TM-200 apresenta zeólitas e grande porcentagem de vidro na matriz, era de se esperar que seus resultados atingissem valores mais elevados que 3,4 MPa. É possível que este fato esteja relacionado com o alto índice de resíduos (23,5 %) retido na peneira 45 μm e, portanto, a amostra deveria passar por novos processos de moagem. Estas amostras foram submetidas à ativação térmica por

5 horas à temperatura de 800° C, conforme recomendação de Liebig & Althaus (1998). No caso da amostra TM-200, o forno estava desregulado, devendo a temperatura ter atingido 1100° C, o que causou a fusão total formando um vidro, doravante denominado "TM-200 vidro". Os resultados dos ensaios de pozolanicidade estão apresentados na Tabela 7-18.

Tabela 7-18: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica nas amostras "TM-199 calcinada", "TM-200 calcinada" (vermelha) e "TM-200 vidro" (cinza).

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
"TM-199 calcinada"	2,84	4.710	17,5	213	4,6
"TM-200 calcinada" (vermelha)	2,83	6.000	16,7	220	6,2
"TM-200 vidro" (cinza)	2,80	4.260	19,5	199	8,0

Com base nos resultados obtidos, as amostras "TM-200 calcinada" e "TM-200 vidro", que apresentaram resistência a compressão superior a 6,0 MPa a 7 dias, podem ser consideradas pozolanas naturais.

Nestes experimentos destaca-se a importância da ativação térmica na melhoria da reatividade pozolânica de todas as amostras, considerando-se que a área específica foi pouco alterada.

7.5 Área 7 (Pederneiras)

O estudo de materiais pozolânicos na ÁREA 7 também foi direcionado para as rochas basálticas efusivas da Formação Serra Geral. A partir da classificação química (Le Maitre 1989) apresentada na Tabela A6.1 (Anexo 6), verificou-se que as 06 amostras coletadas em campo caem no campo dos basaltos (amostras: TM-233.B; TM-233.T; TM-234; TM-236; TM-237 e TM-238). Somente as amostras TM-237 e TM-238 estão no limite entre basaltos e traquibasaltos.

A análise petrográfica sucinta de algumas dessas amostras fazem parte da Tabela A6.2 (Anexo 6).

Como as características petrográficas das amostras coletadas nesta região não eram favoráveis à reação pozolânica, decidiu-se não encaminhá-las para ensaios de pozolanicidade com cal e cimento.

7.6 Área 8 (Araraquara)

Os trabalhos de amostragem para materiais pozolânicos nesta área de estudo visaram as rochas basálticas da Formação Serra Geral. Esta litologia está representada pelas amostras TM-240 e TM-241 coletadas, respectivamente, nas pedreiras Multipedras (Araraquara) e Tatiana (Jaboticabal/Barrinha). As análises químicas, bem como a classificação química (Le Maitre 1989) compõem a Tabela A7.1 (Anexo 7).

O estudo petrográfico detalhado foi realizado na amostra TM-240 e compõe a Tabela 7-19, enquanto a descrição petrográfica sucinta (amostra TM-241) é apresentada na Tabela A7.2 (Anexo 7).

Tabela 7-19: Descrição petrográfica detalhada de amostra selecionada para ensaios de pozolanicidade.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	AMOSTRAS	ESTUDO PETROGRÁFICO		
		Matriz	Fenocristais	Amígdalas
Basalto	TM-240	Rocha básica, bastante alterada. A matriz é formada por feldspato, piroxênio, devitrificação intersticial ($\pm 20\%$) e minerais opacos esqueléticos ($\pm 5\%$).		As vesículas ($\pm 25\%$ em volume) estão preenchidas por quartzo, zeólitas e material de alteração esverdeado (filossilicatos do grupo das nontronitas/esmectitas)

O estudo da composição mineral da amostra TM-240, realizada por difração de raios X, Figura A4.3 (Anexo 4), revela a presença de fases bem cristalizadas dos minerais principais e de minerais secundários, apresentados na Tabela 7-20.

Tabela 7-20: Componentes mineralógicos principais, por difração de raios X.

Grupo	Amostra	Classificação da rocha	Mineralogia principal
III	TM-240	basalto	feldspato, mordenita, diopsídio, nontronita

A Figura 7-15 apresenta as fotomicrografias da amostra TM-240.

(A)

(B)

Figura 7-15: Fotomicrografias de basalto (amostra TM-240) estudado na ÁREA 8, mostrando matriz com minerais opacos e vidro. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O lado menor da foto corresponde a 5,60 mm.

A interpretação das curvas de ATD/ATG, Figura A7.1 (Anexo 7), revela que, quando esse material foi aquecido, houve transformações estruturais e químicas acompanhadas de variação significativa de massa (5%), conforme apresentado na Tabela 7-21.

Tabela 7-21: Variação da massa na amostra TM-240 estudada na ÁREA 8, por análise termogravimétrica e termodiferencial.

Amostra	ATD/ATG		
	Temperatura °C		Perda de massa %
	Inicial	final	
TM-240	100	1100	5,0

A pasta de hidróxido de cálcio da amostra TM-240 foi curada em estufa à temperatura de 30° C durante 7 dias. O difratograma de raios X dessa mistura, apresentado na Figura A4.7 (Anexo 4), mostra que houveram reações na mistura, formando-se novos produtos, principalmente nos intervalos $2\theta = 11^\circ$ até 12° e $2\theta = 29^\circ$ até 30° , conforme apresentado na Tabela 7-22.

Tabela 7-22: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e basalto (TM-240), a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A4.7).

Amostra	11° até 12°	Escala 2 θ	29° até 30°
		13° até 14°	
TM-240 curada	1. Silicato de alumínio e cálcio hidratado: $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;	1. scolecita: $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 2. Silicato de alumínio e cálcio hidratado: $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1. Silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$

A presença marcante de zeólitas em amígdalas da amostra TM-240 foi fator preponderante na sua escolha para ensaios de determinação da atividade pozolânica como amostra representativa da região leste do Estado. Os resultados desses ensaios estão na Tabela 7-23.

Tabela 7-23: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de rocha basáltica.

REGIÃO DA AMOSTRA	AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm^{-3}	ÁREA ESPECÍFICA $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 μm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
Araraquara	TM-240	2,75	6.250	18,7	268	2,6

Analisando o índice de pozolanicidade obtido (2,6 MPa), verifica-se que, de acordo com o estabelecido pela NBR 12653/92, a amostra não é considerada material pozolânico.

7.7 Área 9 (Limeira – Rio Claro – Ipeúna – São Pedro)

Os trabalhos de amostragem executados nesta área foram direcionados para materiais argilosos e arenitos opalinos. No entanto, durante as atividades de campo também mereceram nossa atenção as argilas silicosas ou sílica microcristalina (trípoli) das formações Irati e Tatuí, e, ainda, as rochas vulcânicas e o material de alteração. Uma vez que, após ensaios de préqualificação pozolânica, as amostras de sílica microcristalina mostram cristais de quartzo bem formados e, portanto, sem reatividade pozolânica, eles não serão aqui apresentados. No estudo petrográfico das rochas basálticas não observamos matriz vítrea e, portanto, elas foram desqualificadas. Quanto ao material de alteração, apesar de portadores de uma rede de veios caoliníticos ele possui, no geral, coloração avermelhada e também foi desqualificado.

Os trabalhos de amostragem executados nestas áreas permitiram a coleta de 70 amostras que cobriram os alvos com materiais potencialmente pozolânicos, e constam da Tabela 7-24.

Tabela 7-24: Relação de alvos amostrados na ÁREA 9.

ALVO AMOSTRADO	Nº DE AMOSTRAS
Rocha basáltica	13
Trípoli (sílica microcristalina)	10
Arenito opalino	4
Lamitos	7
Alteração supérgena em rocha basáltica	2
Sedimentos na auréola de contato	34
Total	70

7.7.1 Arenitos opalinos

As amostras de arenitos silicificados coletadas no alto da Serra de Itaqueri, região de Itaqueri da Serra-Torre da Embratel são representadas por 04 amostras, cujos resultados de análises químicas são apresentados na Tabela A8.1 (Anexo 8).

O estudo petrográfico detalhado de duas amostras de arenito opalino está apresentado na Tabela 7-25.

Tabela 7-25: Descrição petrográfica detalhada de amostras selecionadas para ensaios de pozolanicidade.

CLASSIFICAÇÃO	AMOSTRAS	ESTUDO PETROGRÁFICO
Arenito (opalino) arcossiano	TM-100	Rocha de granulação variada evidenciando mau selecionamento, com freqüentes grânulos em algumas amostras. Apresentam matriz argilosa e mau arredondamento dos grãos o que leva a classificar estas rochas como texturalmente imaturas. A lâmina estudada apresenta grande quantidade de feldspatos (microclínio e feldspato) o que evidencia imaturidade mineralógica. Aparecem como acessório turmalina e cristais de anfíbólio. O cimento silicoso nesta amostra é predomínio de opala e hidróxidos de ferro com estimativa de 25% do total.
Arenito com calcedônia	TM-101	O arenito silicificado apresenta maior proporção de calcedônia e, subordinadamente, opala constituindo o corpo original da rocha. Em lâmina há o domínio de calcedônia granular com fraturas preenchidas por opala.

O estudo mineralógico desses arenitos, realizado por difratometria de raios X e microscopia, apresentou a composição predominante de quartzo e minerais secundários, conforme a Tabela 7-26.

Tabela 7-26: Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em arenito opalino.

UNIDADE AMOSTRADA	Nº AMOSTRA	DESCRIÇÃO SUCINTA	MINERALOGIA
Fm. Itaqueri	TM-100	Arenito silicificado com opala-Serra do Itaqueri	quar; feld; caul
Fm. Itaqueri	TM-101	calcedônia + opala - Serra do Itaqueri	quar
Fm. Itaqueri	TM-102	calcedônia + opala - Serra do Itaqueri	n.a.
Fm. Itaqueri	TM-103	calcedônia + opala - Serra do Itaqueri	n.a.

Observação: n.a. = não analisado; quar = quartzo; feld = feldspatos; caul = caulinita

A Figura 7-16 apresenta fotomicrografia da amostra TM-101.

(A)

(B)

Figura 7-16: Fotomicrografias de arenito opalino (amostra TM-101), mostrando matriz opalina isotrópica. (A) polarizadores paralelos; (B) polarizadores cruzados. O lado menor da foto corresponde a 0,85 mm.

A análise por difração de raios X permitiu ainda a visualização de uma banda de material amorfo na faixa 2θ entre 20 a 24° , conforme ilustrado na Figura 7-17 (amostra TM-100).

Figura 7-17: Difratoograma de raios X de arenito opalino (amostra TM-100), mostrando uma banda de material amorfo no intervalo 2θ entre 20 a 24° .

Imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura (Figura 7-18) mostram formas botrioidais de opalas da amostra de arenito silicificado (TM-101).

Os difratogramas de raios X das pastas de hidróxido de cálcio das amostras TM-100 e TM-101 estão apresentados na Figura A8.1 (Anexo 8). Nestes difratogramas observa-se que houveram reações nas misturas, formando-se novos produtos, principalmente nos intervalos $2\theta = 10^\circ$ até 11° e $2\theta = 29^\circ$ até 30° , conforme sumariado na Tabela 7-27.

(A)

(B)

Figura 7-18:Imagens obtidas com microscópio eletrônico de varredura. (A) Aspecto geral das forma botrioidais de opala em arenito silicificado (amostra TM-101) da Serra do Itaqueri; (B) Detalhe da imagem (A).

Tabela 7-27: Compostos neoformados na reação hidróxido de cálcio e arenito opalino, a partir da interpretação de difratogramas de raios X (Figura A8.1).

Amostra	Escala 2 θ	
	10° a 11°	29° a 30°
TM-100 curada	1.girolita: $\text{Ca}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2.jennita: $\text{Ca}_9\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
TM-101 curada		1.silicato de cálcio hidratado: $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Sabendo-se que esses arenitos possuem um componente mineral ativo das pozolanas naturais, foram selecionadas duas amostras com opala para ensaios de determinação do índice de atividade pozolânica com cimento portland e com cal.

A caracterização física desses materiais e os índices de pozolanicidade com cal e cimento estão apresentados na Tabela 7-28.

Tabela 7-28: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica em amostras de arenito opalino.

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm^{-3}	ÁREA ESPECÍFICA $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 μm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO %
TM-100	2,51	7.680	3,7	223,0	4,1	79
TM-101	2,36	5.260	12,5	201,0	2,0	90

Considerando 6 MPa o índice mínimo de resistência à compressão aos 7 dias, conforme especificado pela NBR 12653/92 – Materiais Pozolânicos – Especificação, estas rochas não deveriam ser consideradas materiais pozolânicos, uma vez que os resultados do ensaio, respectivamente 4,1 e 2,9 MPa, estão abaixo do índice mínimo. No entanto, os resultados dos ensaios de atividade pozolânica com cimento Portland (NBR12653/92) foram superiores ao mínimo estabelecido, ou seja, 75% e a água requerida, no máximo 115%, para o caso de pozolanas classe N (pozolanas naturais e artificiais). As amostras são, portanto, pozolanas naturais.

7.7.2 Depósitos na auréola de contato com rochas vulcânicas

Foram coletadas 34 amostras dos sedimentos em contato com as manifestações vulcânicas que ocorrem na ÁREA 9. Os resultados das análises químicas por ICP estão listados na Tabela A8.2 (Anexo 8).

Um dos alvos possíveis de geração de materiais pozolânicos naturais foi baseado no efeito do metamorfismo de contato da intrusão das rochas básicas da Formação Serra Geral. Imaginava-se que o metamorfismo termal proporcionaria desarranjos na estrutura cristalina dos argilominerais das rochas sedimentares encaixantes. Contudo, os componentes mineralógicos identificados pelas difrações de raios X, Tabela A8.3 (Anexo 8), mostraram que não existem alterações nos argilominerais que possam justificar a reatividade pozolânica. Assim, as rochas sedimentares das auréolas de contato poderão vir a tornar-se pozolânicas após a ativação térmica industrial, desde que apresentem caulinita como argilomineral principal.

Dentre as amostras dos depósitos sedimentares que estão em contato com as rochas vulcânicas, mereceram estudos complementares as TM-319 e TM-320 (correspondentes, respectivamente, as amostras TM-44 e TM-45), que são sedimentos argilosos da Formação Corumbataí, localizados nas proximidades de Cordeirópolis. A primeira amostra (TM-319) foi coletada na base do afloramento e a outra é amostra do nível superior da Formação, recoberta por solo de rocha basáltica.

Justifica-se a escolha destas amostras a partir de seus componentes mineralógicos principais -argilominerais cauliníticos- e pela extensão em área da Formação no Estado.

Dessa maneira, determinou-se os índices de atividade pozolânica com cal das amostras TM-319 e TM-320 após submetê-las, previamente, à ativação térmica durante 1 hora à temperatura de 800° C.

Os resultados obtidos destes ensaios encontram-se na Tabela 7-29.

Tabela 7-29: Resultados de ensaios para determinação do Índice de atividade pozolânica nas amostras TM-319 e TM-320 (calcinadas).

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ⁻³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
TM-319 (calcinada)	2,63	9.500	19,8	275	3,5
TM-320 (calcinada)	2,75	6.540	26,8	331	8,2

Com base nos resultados obtidos, a amostra TM-320, que apresenta resistência a compressão superior a 6,0 MPa a 7 dias, pode ser considerada pozolana natural.

7.7.3 Lamitos da Formação Itaqueri e correlatos

Depósitos sedimentares compostos preferencialmente por argilominerais revelaram-se, com base na literatura especializada, adequados para produção de pozolanas. Na área deste projeto, sedimentos com estas características foram coletados nas regiões da Serra do Itaqueri e Analândia, cujas análises químicas estão apresentadas na Tabela A8.4 (Anexo 8).

Os componentes minerais de algumas amostras de sedimentos lamíticos analisados por difração de raios X, Figuras A8.2, A8.3, A8.4 e A8.5 (Anexo 8), estão na Tabela 7-30.

Tabela 7-30: Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em sedimentos lamíticos.

Nº AMOSTRA	DESCRIÇÃO SUCINTA	MINERALOGIA
TM-107	argila creme sílico-aluminosa – Fm. Itaqueri – Itaqueri	caul; quar; musc
TM-108	argila creme sílico-aluminosa – Fm. Itaqueri – Itaqueri	caul; musc; quar
TM-124	argila "Santo Gorguio"-Fm. Itaqueri – Analândia	caul; quar
TM-127.X	Argila laterizada de topo – estrada Analândia-S. Carlos	Vivi; mont; anti; quar

Observação: quar = quartzo; musc = muscovita; caul = caulinita; anti = antigorita; vivi = vivianita; mont = montmorilonita.

As curvas ATG/ATD das amostras TM-108 e TM-127.X, apresentadas nas Figuras A8.6 e A8.7 (Anexo 8), mostram comportamento típico de rocha constituída

predominantemente por argilominerais, como é o caso dos sedimentos lamínicos da Formação Itaqueri.

Os resultados apresentados são indicativos de que as argilas sílico-aluminosas da Serra do Itaqueri, por apresentarem minerais cauliníticos, são as mais apropriadas para ensaios de pozolanicidade.

Assim, a amostra TM-107 foi encaminhada para determinação do índice de pozolanicidade com cal após tratamento térmico por 1 hora à temperatura de 800° C.

Os resultados obtidos destes ensaios encontram-se na Tabela 7-31.

Tabela 7-31: Resultados de ensaios para determinação do índice de atividade pozolânica na amostra TM-107 (calcinada).

Nº AMOSTRA	MASSA ESPECÍFICA g.cm ³	ÁREA ESPECÍFICA cm ² .g ⁻¹	RESÍDUO NA PENEIRA DE 45 µm %	QUANTIDADE DE ÁGUA g	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CAL MPa
TM-107 (calcinada)	2,58	11.050	27,7	351	15,9

Com base nos resultados obtidos, a amostra TM-107, que apresenta resistência a compressão superior a 6,0 MPa a 7 dias, pode ser considerada pozolana natural de ótima qualidade.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos sistemáticos realizados com o objetivo de prospectar e caracterizar pozolanas na Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, permitiram delimitar geográfica e geologicamente as áreas e rochas mais favoráveis à sua ocorrência. Em princípio, todos os materiais geológicos potenciais foram considerados, contudo, apenas alguns deles se mostraram, durante o estudo, viáveis do ponto de vista tecnológico. A delimitação de regiões na Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, propícias à pesquisa de materiais pozolânicos é parte da contribuição deste trabalho para o conhecimento da geologia de pozolanas naturais. Os principais materiais geológicos estudados neste trabalho serão doravante sumariados com vistas à sua potencialidade.

8.1 Materiais organogênicos

Os materiais organogênicos prospectados no Estado de São Paulo são encontrados em lagos de pequenas dimensões (centenas de metros) existentes Depressão Periférica e no Planalto Ocidental. Na região de Leme-Casa Branca formaram-se, preferencialmente, sobre a Formação Aquidauana e Sedimentos Continentais Quaternários (Qce); no Planalto Ocidental, região de Araçatuba, estão associados à Formação Araçatuba.

Esses materiais, constituídos por espículas e frústulas de tamanho micrométrico, possuem aspecto terrígeno; ocorrem por toda a área do embaciamento topográfico, mas somente na camada superficial do registro sedimentar, com espessura inferior a 1 metro, se apresentam em quantidade interessante para o aproveitamento. As amostras analisadas ao longo da seção não revelaram a presença de material organogênico, embora existam alguns poucos fragmentos, como foram observados em lupa binocular. Na realidade, as espículas e frústulas devido à sua alta reatividade, não são preservadas após o soterramento de sedimentos seja por sua fragilidade física, seja por sua instabilidade química. Provavelmente, as espículas e frústulas de sílica reativa

se transmutem em caulinita, conforme mecanismo proposto por Bohor & Triplehorn (1993) para explicar a transformação de vidros vulcânicos em caulinita. Segundo esse mecanismo, imagina-se que a sílica reativa das espículas e frústulas no contato com a água sofra hidrólise e forme silicato de alumínio, deixando cátions em solução. Os ácidos orgânicos, produzidos pela matéria orgânica, agem como catalisadores, transformando o silicato de alumínio em caulinita. Por este motivo, não se acham espículas e frústulas em níveis mais profundos da seção sedimentar dos fundos de lagoas. A esse propósito, IPT (1984) observou que a ocorrência geológica das diatomáceas vai do Pré-Cambriano ao Recente, embora somente os depósitos mais recentes tenham valor econômico em virtude do metamorfismo e de fatores diagenéticos.

Assim, os materiais organogênicos pesquisados apesar de se constituírem pozolanas naturais, não apresentam potencial geológico para a sua aplicação na indústria do cimento, por serem pequenas as quantidades detectadas, mas se prestam à utilização na indústria artesanal de tijolos cerâmicos, cuja produção ajuda a fixar parte da população rural nesta atividade.

8.2 Arenitos opalinos

Pela importância da opala como componente ativo, conforme a classificação de Mielenz *et al.* (1951), foi perseguida a ocorrência de sedimentos desse material numa etapa da pesquisa. Na literatura pesquisada Coimbra *et al.* (1981) descreveram a ocorrência de arenitos opalinos na Formação Itaqueri, os quais, embora se apresentassem favoráveis aos ensaios de confirmação de atividade pozolânica com cimento, não se mostraram reativos com a cal, e a explicação desse comportamento escapa aos objetivos da presente pesquisa. Os resultados obtidos seriam altamente favoráveis ao emprego de arenitos opalinos na indústria cimenteira, se não fosse a limitada e rara ocorrência de opalas em rochas sedimentares na Bacia do Paraná.

8.3 Argilas

Na Bacia do Paraná, as rochas sedimentares argilosas, essencialmente cauliniticas, constituíram alvos potenciais para a prospecção de materiais pozzolânicos. Ora, a caulinita é, sem dúvida, o argilomineral que, ativado termicamente, oferece as melhores respostas aos ensaios de confirmação de atividade pozzolânica com cal. Embora o autor tenha conhecimento de que algumas argilas cauliniticas possam apresentar-se pozzolânicas sem essa ativação térmica, no decorrer deste estudo, elas não foram descobertas. Por conseguinte, todas as amostras de rochas sedimentares argilosas tiveram que ser submetidas à ativação térmica por 800° C durante uma hora.

Conforme os resultados apresentados no capítulo anterior, três das quatro amostras, todas coletadas nas formações Franca, Itaqueri e Corumbataí apresentaram resultados positivos após a ativação térmica. Tais resultados, notadamente a amostra da Formação Itaqueri - que apresentou resistência à compressão igual a 15,9 MPa -, abrem possibilidades de um detalhamento das áreas prospectadas voltado à delimitação de depósitos minerais. Portanto, conforme o exposto, as argilas das formações sedimentares da Bacia do Paraná apresentam grande potencial geológico para materiais pozzolânicos.

8.4 Rochas basálticas

Estas rochas, da Formação Serra Geral, devido ao grande volume aflorante no Estado de São Paulo, foram prospectadas com maior interesse, pois, segundo suas características mineralógicas e texturais, poderiam vir a ser pozzolanas naturais. Os trabalhos de campo foram planejados com a finalidade precípua de localizar as regiões potencialmente favoráveis à ocorrência de rochas basálticas com características pozzolânicas, ou seja, que apresentassem vidro em sua matriz, que é o componente ativo de interesse. Sistemáticamente, diversas regiões foram estudadas, inicialmente mediante de revisões bibliográficas, prosseguidas, depois, com os trabalhos de campo. Durante esses trabalhos desenvolveu-se a habilidade de reconhecer as rochas básicas interessantes ao estudo, a partir das suas características macroscópicas, que, em síntese, são: textura fina (matriz afanítica), estrutura vesículo-amigdaloidal -com ou sem presença de zeólitas- e a cor avermelhada a acinzentada. A população rural

conhece tais rochas como "basalto olho de sapo", ou "pedra sapo", caracterizadas pela presença de vesículas e/ou amígdalas, ou, então, pela cor acinzentada. Com esses elementos foi possível identificar "in loco" as ocorrências de rochas basálticas para os fins do presente estudo.

Dentre as regiões estudadas, a de Piraju-Timburi-Ipauçu mostrou-se a mais promissora para a ocorrência de rochas potencialmente pozolânicas; a de Paraguaçu Paulista, não tanto quanto aquela, também apresentou rochas potencialmente pozolânicas. Portanto, os estudos concentraram-se nessas regiões e foram detalhadamente investigadas no campo e em laboratório, inclusive com realização de amostragens de grandes volumes de rochas.

As rochas basálticas, com as características apontadas anteriormente, são encontradas geralmente em contato com arenitos silicificados. Em vários pontos foram observados diques clásticos preenchendo-lhes as fraturas, notadamente na região de Piraju. Estas evidências poderiam levar a supor que tais rochas correspondessem às primeiras manifestações da atividade magmática na Bacia do Paraná, mas não é o escopo deste trabalho considerar e/ou estudar-lhes a origem.

Sabe-se que o vidro vulcânico é, por sua vez, altamente reativo à alteração, seja hidrotermal, seja intempérica. Por esse motivo, raramente foram encontrados vidros vulcânicos preservados nas matrizes das rochas estudadas. Não obstante isso, submetidas a estudo, algumas amostras se mostraram potencialmente pozolânicas com índices de atividade pozolânica com cal inferiores a 5, mas superiores a 3 MPa. Uma única amostra (TM-290) apresentou índice de atividade pozolânica com a cal igual a 6,4 MPa, o que, por si só, a qualifica como pozolana natural. Poder-se-ia concluir que uma única amostra foi preservada dos efeitos destrutivos das atividades hidrotermais e/ou intempéricas. Cabe, no entanto, ressaltar que todas as amostras foram coletadas em afloramentos à superfície do terreno, do que se pode pressupor que tenham sido submetidas, pelo menos, ao intemperismo, que é de grande intensidade na região, haja vista às grandes coberturas de solos de alteração basáltica e à existência de terras férteis, aproveitadas para diversas culturas (arroz, cana de açúcar, etc.). Do que foi exposto, pode-se inferir que a região apresenta potencial geológico favorável à ocorrência de rochas basálticas pozolânicas, caso sejam adequadamente pesquisadas, por amostragem em subsuperfície, mediante sondagens rotativas a diamante. À mesma conclusão teria chegado o geólogo que, com base nos afloramentos, tentasse

pesquisar calcários para fabricação de cimento, pois os calcários calcíticos são susceptíveis ao intemperismo.

Neste estudo, também se pôde verificar que algumas amostras de basalto, quando submetidas a ensaios de confirmação de atividade pozolânica com a cal, apresentaram-se expansivas, pois fraturaram o corpo de prova e, conseqüentemente, diminuíram a resistência do material à compressão. O que mais chamou a atenção foi o fato de que tais amostras são macroscópica e microscopicamente semelhantes à amostra TM-290, que se revelou pozolana natural. Certamente, trabalhos posteriores deverão ser dirigidos para o estudo das possíveis causas da expansão nestas rochas. Uma dentre as várias possibilidades de estudo para a descoberta da causa dessa expansão é, justamente, testar a dosagem de cal, pois se trabalhou sempre com a dosagem padrão (1 parte de cal: 2 partes de pozolana) recomendada pela norma ABNT.

A título de informação, cabe ainda lembrar que as rochas basálticas com estruturas vesículo-amigdaloidais e matrizes vítreas não são recomendadas para agregados, pois apresentam reação álcali-agregado. Por conseguinte, qualquer estudo que vise ao aproveitamento futuro dessas rochas deve obviar, primeiramente, problemas de ordem técnica, econômica e ambiental. No caso da Pedreira Siqueira, em Paraguaçu Paulista, a existência de uma camada de pelo menos 15 m de "pedra sapo", obrigou o proprietário a abandonar a frente, caso não se apresente uma solução economicamente viável para a sua situação. A propósito, no caso da Pedreira Siqueira, procedeu-se à ativação térmica à temperatura de 800° C, durante cinco horas, que foi suficiente para aumentar o índice de atividade pozolânica com a cal de 4,3 MPa para 6,2 MPa. Outras possibilidades devem ser estudadas para o aproveitamento do material da Pedreira Siqueira, incluindo-se aí a utilização para a fabricação de materiais cerâmicos.

Conforme a discussão apresentada, verifica-se que as rochas basálticas merecem estudos mais detalhados, não só visando à sua pesquisa em subsuperfície, mas, sobretudo, ao entendimento das reações pozolânicas, mormente daquelas causadoras de expansão. Qualquer que seja o enfoque, o estudo deverá contribuir para o melhor aproveitamento econômico e tecnológico dos basaltos "pedra sapo".

A área de ocorrência de basaltos "pedra sapo" fica restrita à região de Piraju-Fartura-Ipauçu e Paraguaçu Paulista, cujas cidades estão aproximadamente na direção do Lineamento Guapiara (Ferreira 1981). Esta maior incidência de rochas

potencialmente pozolânicas ao longo do Lineamento Guapiara poderia mostrar que existe um controle tectônico à sua ocorrência. A nosso ver, a indicação deste trabalho é importante, embora a região delimitada seja geograficamente diminuta em relação à área de ocorrência, pois otimiza os futuros trabalhos de prospecção e/ou pesquisa de materiais pozolânicos em rochas associadas ao vulcanismo Serra Geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 232 (Werner II, O.R.) 1994. Use of natural pozzolans in concrete. ACI Materials Journal. Proposed report, 4:410-426.
- Almeida, F.F.M. 1952. Botucatu, a triassic desert of South America. In: International Geological Congress, 19, Alger. *Comptes Rendus*. Alger, séction XIX, fascicule VII, p. 9-24.
- Almeida, F.F.M. & Barbosa, O. 1953. *Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro*. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 96p, (Boletim 143).
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Neves, B.B.B. 1976. *The upper precambrian of South America*. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 45-80, (Boletim 7).
- Almeida, F.F.M. & Melo, M.S. 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo, SICCT, v.1, 126p.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) 1985. Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete; C 618. In: American Society for Testing and Materials (ASTM) 1985. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, v. 04.02, p. 382-385.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) 1997. ASTM C 595-M. Specification for blended hydraulic cement. Philadelphia, ASTM.
- Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)/Secretaria de Tecnologia Industrial (STI) 1983. Relatório final do "Projeto caracterização de argilas com propriedades pozolânicas". ABCP/MIC, São Paulo, 169p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1977. NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1980. BR 5753: Cimentos - Método de determinação de atividade pozolânica em cimento Portland pozolânico, 5p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1984. NBR - 6474. Determinação da massa específica.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1987. NBR - 9831/91: Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR - 5733/91: Cimento Portland de alta resistência inicial.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR - 11578/91: Cimento Portland composto.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR - 11579/91. Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR -5735/91. Cimento Portland de alto-forno.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR -5736/91. Cimento Portland pozolânico.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1991. NBR -5732/91. Cimento Portland comum.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1992. NBR - 5751/92. Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1992. NBR - 5752/92. Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1992. NBR - 12653: Materiais pozolânicos, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1996. NBR 7224. Determinação da área específica, 7p.
- Baptista, M.B.; Braun, O.P.G.; Campos, D.A. 1984. *Léxico estratigráfico brasileiro*. Brasília, DNPM-CPRM, 560p.
- Barcellos, M. & Popp, J.H. 1986. Análise estratigráfica da seqüência devoniana da Bacia do Paraná (Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(2):187-194.
- Barcelos, J.H.; Souza Filho, E.E.; Fúlfaro, V.J.; Landim, P.M.B.; Cottas, L.R.; Wu, F.T.; Godoy, A.M. 1983. A Formação Itaqueri: um exemplo de tectofácies. In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo, Atas, p. 245-252.
- Battagin, A.F. 1987. *Características das escórias e pozolanas adicionadas aos cimentos Portland brasileiros*. Associação Brasileira de Cimento Portland. 55p.

- Bellieni, G.; Brotzu, P.; Comin-Chiaramonti, P.; Ernesto M.; Melfi, A.J.; Pacca I.G.; Piccirillo E.M.; Stolfa D. 1983. Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt toryolite sequences of the southern Paraná basin (Brazil). *An. Acad. Brasil. Cienc.*, **55**:355-383.
- Bellieni, G.; Comin-Chiaramonti, P.; Marques, L.S.; Melfi, A.J.; Nardy, A.J.R.; Papatrechas, C.; Piccirillo E.M.; Roisenberg, A.; Stolfa, D. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *J.Petrology*, **27**:915-944.
- Bogue, R.H. 1955. *The chemistry of Portland cement*. New York, Reinhold Publ. Corp., p.245-268.
- Bohor, B.F. & Triplehorn, D.M. 1993. *Tonsteins: altered volcanic-ash layers in coal-bearing sequences*. Geological Society of America, Special Paper **285**:42p.
- Bósio, J.J. 1972. A Formação Botucatu na região de São Pedro, SP. In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 26, Belém, *Resumos*, p.249-250.
- Bósio, N.J. 1973. *Geologia da Área de São Pedro, SP*. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 123p.
- Brandt Neto, M.; Coimbra, A.M.; Barelli, N.; Spiller, L.R. 1981. Sedimentos da Serra de Itaqueri. In: SBG, A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, São Paulo. *Coletânea de trabalhos e debates*, p. 63-80.
- Cabral Jr., M. 1991. *Avaliação do potencial metalogenético da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo para depósitos sedimentares fosfáticos, evaporíticos e de metais-base*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 238p.
- Cabral Jr., M.; Motta, J.F.J.; Tanno, L.C.; Hellmeister Jr., Z.; Coimbra, A.M. 1992. Revisão estratigráfica do nordeste do Estado de São Paulo. In: Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras, 2, Rio Claro. *Resumos Expandidos*, p. 134-136.
- Caetano-Chang, M.R.; Wu, F.T.; Brighetti, J.M.P. 1991. Caracterização eólica de arenitos da Formação Pirambóia, proximidades de São Pedro (SP). In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, *Atas*, p. 53-58.
- Caetano-Chang, M.R. & Wu, F.T. 1992. Bacia do Paraná: formações Pirambóia e Botucatu. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. *Roteiro de Excursão*, **2**, 19p.
- Caetano-Chang, M.R. 1997. *A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Livre-Docência, 196p.

- Castro Sobrinho, J.F. 1970. *Pozolana como material de construção: sua fabricação artificial em Urubupungá*. São Paulo, Centrais Elétricas de São Paulo.
- Chatterjee, A.K. 1979. Cement raw materials and raw mixes. *Pit & Quarry*, **72** (3):103-105.
- Coimbra, A.M.; Brandt Neto, M.; Coutinho, J.M.V. 1981. Silicificação dos arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. In: SBG, A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, São Paulo. *Coletânea de trabalhos e debates*, p. 103-115.
- Comissão Geográfica e Geológica 1917. Relatório do ano de 1916. São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM 1980. *Geologia do Bloco 46*. Consórcio CESP/IPT. Relatório Final. 91p.
- Cordani, U.G. & Vadoros, P. 1967. Basaltic rocks of the Paraná Basin. In: Bigarella, J.J.; Becker, R.D. and Pinto, I.D. (eds). *Problems in Brazilian Gondwana Geology*. Curitiba, Editora IAG-USP, p. 207-231.
- Cordani, U.G.; Sartori, P.L.P.; Kawashita, K. 1980. Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica na Bacia do Paraná (sul do Brasil) durante o Cretáceo. *Anais. da Academia. Brasileira. Ciências*. **52**,811-818.
- Cottas, L.R., Godoy, A.M., Geraldês, M.C. 1986. Novas considerações petrográficas e estratigráficas sobre as formações Pirambóia e Botucatu da Bacia Sedimentar do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. *Anais*, **1**:191-205.
- Coutinho, J.M.V.; Coimbra, A.M.; Brandt Neto, M.; Rocha, G.A. 1982. Lava alcalina analcímica associada ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo. In: Congresso Latino Americano de Geologia, 5, Argentina. *Actas*, **2**:185-195.
- De La Roche, H.; Leterrier, P.; Grandclaude, P.; Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 – R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*. **29**:183-210.
- Erland, A.J.; Marsh, J.S.; Duncan, A.R.; Miller, R.McG.; Hawkesworth, J.C.; Betton, P.J.; Rex, D.C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from South West Africa/Namíbia. *Geological Society of South Africa, Special Publication*, **13**:195-246.
- Ernesto, M. & Pacca, I.G. 1988. Paleomagnetism of the Paraná basin flood volcanics, southern Brazil. In: Piccirillo, E.M. & Melfi, A.J. (eds.). *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin*. São Paulo, Editora IAG/USP, p. 229-255.
- Faber Jr., J.; Gomide, L.C.; Santos, M.C.; Andrade, W.P.; Gombossy, Z.M. 1990. *Estudo de rochas sedimentares, suas características reativas com os álcalis do*

cimento e suas potencialidades pozolânicas. Instituto Brasileiro do Concreto. Fortaleza. Reunião anual. p1-14.

Fernandes, L.A. 1992. *A cobertura cretácica suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 129p.

Fernandes, L.A. & Coimbra, A.M. 1994. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**:164-176.

Fernandes, L.A. 1998. *Estratigrafia e evolução da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Palo, Tese Doutorado, 216p.

Ferreira, F.J.F.; Moraes, R.A.V.; Ferrari, M.P.; Vianna, R.B. 1981. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba. *Atas*, **1**:226-234.

Ferreira, F.J.F. 1982. Alinhamentos estruturais magmáticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. In: *Geologia da Bacia do Paraná - Reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos*, IPT-São Paulo, 143-166.

Franco, R.R. 1952. *Zeólitas dos basaltos do Brasil meridional (gênese e paragênese)*. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, Mineralogia (10), 53p (Boletim 150).

Fratini, N. 1954. Controllo chimico dei cementi pozzolanici. *Ann. Chim.*, **44**(9):709.

Fúlfaro, V.J. & Suguio, K. 1967. Campos de diques de diabásio da Bacia do Paraná. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, **16** (2):23-37.

Fúlfaro, V.J.; Gama Jr. E.G.; Soares, P.C. 1980. *Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. São Paulo. Paulipetro, Consórcio IPT/CESP (Relatório 008/80).

Fúlfaro, V.J.; Stevaux, J.C.; Souza Filho, E.E.; Barcelos, J.H. 1984. A Formação Tatui (P) no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. *Anais*, **2**:771-774.

Fúlfaro, V.J. & Perinotto, J.A. de J. 1992. Considerações sobre o limite Paleozóico Inferior – Paleozóico Médio na região ocidental da Bacia do Paraná. In: Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1, Rio Claro, *Bol. de Resumos*, p. 38.

Fúlfaro, V.J. & Bjornberg, A.J.S. 1993. Geologia. In: Cintra, J.C.A. & Albiero (eds.), *Solos do interior de São Paulo*. São Paulo, Editora ABMS/USP, p.1-42.

- Gama Jr., E.G. 1979. A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências* 9 (1):1-16.
- Gouda, G. 1977. Cement raw materials: their effect on fuel consumption. *Rock Products*, 80 (10):60-64.
- Guidicini, G. & Campos, J.O. 1968. Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 17(1):15-28.
- Hachiro, J. 1991. *Litotipos, associações faciológicas e sistemas deposicionais da Formação Irati no Estado de São Paulo* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 175p.
- Hachiro, J.; Coimbra, A.M.; Matos, S.L.F. 1993. O caráter cronoestratigráfico da unidade Irati. In: SBG-UNESP, Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1, Rio Claro, *Boletim de Resumos*, p. 62-63.
- Hachiro, J. 1996. *O Subgrupo Irati da Bacia do Paraná*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 196p.
- Hellmeister Jr., Z. 1997. *Aspectos geológicos e principais recursos minerais da região de Franca-Pedregulho, nordeste do Estado de São Paulo*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 162p.
- Instituto Brasileiro de Geografia 1971. *Carta do Brasil, Folha Rio Capetinga, SF-23-Y-A-II-2*, 1 edição, escala 1:50.000.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 1981, 1981b. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo. 2 v, (monografias, 6)126p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 1984. *Prospecção regional de diatomito no Estado de São Paulo*. (Relatório 21.416).
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 1986. *Levantamento das possibilidades geológicas de pozolanas naturais na região sul-sudeste do Brasil*. Publicação IPT 1720, 59p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 1986a. *Avaliação preliminar de uma ocorrência de argila sílico-aluminosa no município de São Pedro, SP*. (Relatório 23.928).
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 1986b. *Pesquisa de argilas montmoriloníticas nas regiões de Franca e Pedregulho*. (Relatório 23.836).

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1990. Pesquisa de argilas esmectíticas na região de Franca - Pedregulho, SP. São Paulo. (Relatório 28697), 138p
- Kihara, Y. & Shukuzawa, J.K. 1982. Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil. *Cerâmica*, **28** (125):15-14.
- Kihara, Y. 1983. *O estudo mineralógico das cinzas volantes brasileiras: origem, características e qualidade*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 164p.
- Kihara, Y.; Bucher, H.R.E. 1986. Microsílica: uma nova pozolana artificial. *Cerâmica*, **32** (200):211-214.
- Kihara, Y.; Battagin, A.F.; Zampieri, V.A.; Centurione, S.L. & Pecchio, M. 1990. A microscopia do clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos. In: ABCP, Congresso Brasileiro de Cimento, 2, São Paulo.
- Kihara, Y. & Zampieri, V.A. 1992. A experiência brasileira na pesquisa e produção de pozolana de argila calcinada. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 36, Caxambu/MG, *Anais*, 8p.
- Kihara, Y. & Scandiuzzi, L. 1992. *Uso de resíduos de combustão de carvão na indústria brasileira de cimento*. ABCP, 19p.
- Kitsopoulos, K.P. & Dunkam, A.C. 1996. Heulandite and mordenite-rich tuffs from Greece: a potential source for pozzolanic materials. *Mineralium Deposita*, **31**(6):576-584.
- Koch Jr., G.S. & Link, R.F. 1971. *Statistical analysis of geological*. New York, Dover Publ, v.1, 375p.
- Le Maitre, R.W. 1989. *Classification of igneous rocks and glossary of terms*. Oxford, Blackwell, 193p.
- Lea, F.M. 1970. *The Chemistry of Cement and Concrete*. 3rd ed., New York, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 727p.
- Leinz, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras*. São Paulo. Geologia, **5**:1-61.
- Leinz, V.; Bartorelli, A.; Sadowski, G.R.; Isotta, C.A.L. 1966. Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da bacia do Paraná. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **15**(4):79-91.

- Leinz, V.; Bartorelli, A.; Isotta, C.A.L. 1968. Contribuição ao magmatismo basáltico Mesozóico da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **40**(supl.), 167-181.
- Liebig, E. & Althaus, E. 1998. Pozzolan activity of volcanic tuff and suevite: effects of calcination. *Cemente and Concrete Research*, **28**(4):567-575.
- Longuet, P. 1968. The use of thermogravimetric measurements in cement chemistry. In: International Symposium on the Chemistry of Cement, 5, Tokyo, 1:239-251.
- Ludwig, G. & Ramos, A.N. 1965. *Estudos faciológicos das formações lapó, Furnas e Ponta Grossa do paleozóico inferior da Bacia do Paraná, Brasil*. Ponta Grossa, Petrobras/Desul. 10p.
- Malquori, G. 1960. Portland-Pozzolan Cement. In: International Symposium on the Chemistry of Cement, 4, Washington, D.C, *Paper VIII-3*, 2:983-1006.
- Marciano Jr., E.; Kihara Y.; Esper, M.W. 1996. A questão ambiental no setor cimenteiro. In: ABCP, Congresso Brasileiro de Cimento, 4, São Paulo, *Anais*, 2:467- 486.
- Massazza, F. 1976. Chimica delle aggiunte pozzolaniche e dei cementi di miscela. // *Cemento*, **73** (1):3-38.
- Mehta, K. 1986. *Concrete: structure, properties, and materials*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.
- Mehta, K. 1987. "Natural Pozzolans." Supplementary Cementing Materials for Concrete, CANMET-SP-86-8e, Canadian Government Publishing Center, Supply and Services, Ottawwa.V1, p. 1-33.
- Melfi, A.J.; Piccirillo, E.M.; Nardy, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin – An introduction. In: Piccirillo E.M. & Melfi, A.J. (eds.), *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin*. São Paulo, IAG/USP, p. 1-13.
- Melo, M.S. & Ponçano, W.L. 1983. *Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. 74p. (IPT. Monografias, 9).
- Melo, M.S. 1995. *A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na depressão periférica paulista*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 144p.
- Mielenz, R.C.; Greene, K.T. & Schieltz, N.C. 1951. Natural pozzolans for concrete. *Economic Geology*, **46**:311-328.
- Milani, E.J.; França, A.B. & Schneider, R.L. 1994. Bacia do Paraná. *Bol. Geoc. Petrobrás*, **8**(1):69-82.

- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 255p.
- Minnich, L.J. 1967. Reactions of hydrated lime with pulverized coal fly ash. *US Bureau of Mines, Information Circular* 8348:287-315.
- Moraes, M.C.; Riccomini, C.; Melo, M.S.; Rodrigues, E.P.; Gimenes Filho, A. 1982. Contribuição ao estudo do vulcanismo intermediário a ácido da Formação Serra Geral: as ocorrências do Alto Jacuí (RS) e da Serra do Cadeado (PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, *Anais*, 4:1351-1361.
- Motta, J.F.M.; Cabral Jr., M.; Campanha, V.A. 1986. Diatomitos e espongilitos no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, *Anais*, 5:2329-2341.
- Murata, K.J.; Formoso, M.L.L.; Roisenberg, A. 1987. Distribution of zeolites in lavas of southeastern Parana Basin, State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Geology*, 95:455-467.
- Pacheco, J. 1927. Relatório elucidativo do esboço geológico da região entre o meridiano 4° , Rio Itararé e os paralelos 23° 30' e 24° 38'. In: Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo. *Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas Sorocaba, Itapetininga, Bury, Faxina, Itaporanga, Sete Barras, Capão Bonito, Ribeirão Branco e Itararé*. São Paulo. Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, 12p.
- Petri, S. & Fúlfaro, V.J. 1983. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. 1 ed., São Paulo, Thomaz Queiroz/EDUSP, 600p.
- Pitard, F.F. 1992. *Pierre Gy's sampling theory and sampling practice*. New York, CRC Press, 214p.
- Ponçano, W.L.; Carneiro, C.R.; Bistrichi, C.A.; Pires Neto, A.G.; Almeida, M.A. 1981. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000*. São Paulo: IPT. 2v (Monografia 6).
- Ponçano, W.L.; Stein, D.P.; Almeida, F.F.M.; Almeida, M.A.; Melo, M.S. 1982. A Formação Itaqueri e depósitos correlatos no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro Geoloiga, 32, Salvador, *Anais*, 4:339-1350.
- Priszkulnik, S. 1980. *Pozolanas*. Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. PMI-817: Pesquisa de minérios industriais e de materiais de construção, 48p.
- Ramos, A.N. & Formoso, M.L.L. 1975. *Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, Ciência-Técnica-Petróleo, Publicação 9, 46p.

- Raposo, M.I.B. 1987. *Evolução magmática e petrológica das rochas vulcânicas ácidas mesozóicas da região de Piraju-Ourinhos (SP e PR)*. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 159p.
- Renne, P.R.; Ernesto, M.; Pacca, I.G.; Coe, R.S.; Glen, J.M.; Prévot, M.; Perrin, M. 1992. The age of Paraná Flood Volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, **258**:975-979.
- Riccomini, C. 1995. *Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre-Docência, 100p.
- Rodrigues, R. & Quadros, L.P. 1976. Mineralogia das argilas e teor de boro das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, *Anais*, 2:351-380
- Rüegg, N.R. 1975. *Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 215p.
- Rüegg, N.R. & Amaral, G. 1976. Variação regional da composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências* 7:131-147.
- Sartori, P.C.; Marciel Filho, C.; Menegotto, E. 1975. Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(3):141-159.
- Schobbenhauss, C.; Ulloam, C.; Walrond, G.W.; Salinas, W.A. 1996. Mapa geológico da América do Sul, escala: 1:5.000.000. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura –UNESCO. (eds) CPRM. DNPM-CPRM-CGMW-UNESCO
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1993. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 62p.
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1994. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 62p.
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1995. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 62p.
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1996. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 58p.

- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1997. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 78p.
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) 1998. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC.
- Smothers, W.J. & Chiang, Y. 1966. *Handbook of differential thermal analysis*. New York, Chemical Pub., 633p.
- Soares, P. C. 1973. *O mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 152p.
- Soares, P.C.; Sinelli, O.; Penalva, F.; Wernick, E.; Souza, A.; Castro, P.R.M. 1973. Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, *Anais*, 1:143-156.
- Souza Santos, P. 1966. Argilas para Pozolanas. In: Argilas – Métodos de estudo e aplicações tecnológicas. *Cerâmica* 12 (47/48):94-311.
- Stanford, R.N. & Lange, F.W. 1960. Basin study approach to oil evaluation of Paraná Miogeosyncline South Brazil. *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 44 (8):1316-1370.
- Stewart, K.; Turner, S. Kelley, S.; Hawkesworth, C.; Kirstein, L.; Mantovani, M. 1996. 3-D, ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. *Earth and Planetary Science Letters*, 143:95-109.
- Tanno, L.C. 1995. *Geologia e características tecnológicas das argilas esmectíticas da região de Franca-SP*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 105p.
- Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Hawkesworth, C.; Mantovani, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 124:333-348.
- Vieira, A.J. 1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. In: Congresso Brasileiro Geologia, 27, Aracaju. *Anais*, 3:259-277.
- Yamamoto, J.K.; Kihara, Y.; Coimbra, A.M.; Montanheiro, T.J. 1997. Environmental impact reduction on the production of blended Portland cement in Brazil. *Environmental Geosciences*, 4(4):192-206.
- Zalán, P.V.; Wolf, S.; Conceição, J.C.; Astolfi, A.M.; Vieira, I.S.; Appi, V.T.; Zanotto, O.A.; Marques, A. 1991. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. In: Ulbrich, H.H.G.J. & Rocha-Campos, A.C. (eds.) *Gondwana Seven*. São Paulo, IG-USP, p.206-212.

Zampieri, V.A. 1989. *Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 190p.

Zampieri, V.A. 1993. *Cimento Portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: Fabricação, hidratação, hidratação e desempenho mecânico*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 233p.

ANEXOS

ANEXO 1 – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

**ANEXO 2 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NAS ÁREAS 1,
2 E 3**

ANEXO 3 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 4

ANEXO 4 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 5

ANEXO 5 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 6

ANEXO 6 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 7

ANEXO 7 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 8

ANEXO 8 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 9

ANEXO 1 – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Figura A1.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 1, região de Leme/SP.

Figura A1.2: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 2, região de Casa Branca/SP.

Figura A1.3: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 3, região de Araçatuba/SP.

Figura A1.4: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 4, região de Franca - Pedregulho/SP.

Figura A1.5: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 5, região de Piraju - Fartura/SP.

Figura A1.6: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 6, região de Assis/SP.

Figura A1.7: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 7, região de Pederneiras/SP.

Figura A1.8: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 8, região de Araraquara/SP.

Figura A1.9: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 9, região de Limeira - Rio Claro - Ipeúna - São Pedro/SP.

Ponto	Amostra	Coordenadas UTM (km)	
		E	N
78-F	TM-123	261,20	7.557,00
83-F	TM-128	257,20	7.562,90
84-F	TM-129	257,20	7.562,00
91-F	TM-135	257,60	7.563,60
95-F	TM-139	260,00	7.557,70
96-F	TM-140	260,10	7.558,10
97-F	TM-141	260,20	7.557,70
98-F	TM-142	261,10	7.557,80
99-F	TM-143	261,99	7.556,40
101-F	TM-145	270,30	7.554,90
102-F	TM-146	269,80	7.554,60
103-F	TM-147	271,70	7.554,10
104-F	TM-148	271,70	7.554,00
105-F	TM-149	270,90	7.554,40
106-F	TM-150	271,80	7.553,10
107-F	TM-151	273,60	7.556,60
108-F	TM-152	274,90	7.557,50

Convenções

Figura A1.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 1, região de Leme/SP.

Ponto	Amostra		Coordenadas UTM (km)	
			E	N
109-F	TM-153	Sedimentos das lagoas	290,50	7.577,70
110-F	TM-154		290,70	7.577,80
111-F	TM-155		290,00	7.577,00
112-F	TM-156		274,20	7.605,90

Convenções

Figura A1.2: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 2, região de Casa Branca/SP.

Figura A1.3: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 3, região de Araçatuba/SP.

Figura A1.4: Mapa de localização dos pontos de amostragem na Área 4, região de Franca - Pedregulho/SP.

PONTO	AMOSTRA		Coordenada UTM (km)	
			E	N
3	TM -10	Fm. Serra Geral	667,42	7431,86
4	TM -11 e 11A	Fm. Serra Geral	665,81	7435,02
5	TM -12	Fm. Serra Geral	658,46	7425,81
6	TM -13	Fm. Serra Geral	656,57	7421,30
7	TM -14	Fm. Serra Geral	656,40	7420,83
8	TM -15	Fm. Serra Geral	655,82	7418,56
9	TM -16/16A e 17	Fm. Teresina e Fm. Serra Geral	654,83	7414,83
10	TM -18/18A e 19	Subgrupo Irati	654,82	7411,85
11	TM -20	Subgrupo Irati	654,77	7411,15
12	TM -21 e 21A	Subgrupo Irati	640,69	7410,85
13	TM -22 e 22A	Fm. Serra Alta	648,42	7412,41
14	TM -23	Fm. Teresina	646,23	7420,87
15	TM -24	Fm. Rio do Rasto	666,44	7423,90
16	TM -25	Fm. Botucatu	664,71	7423,53
16-A	TM -26	Fm. Botucatu	665,67	7412,73
17	TM -27	Fm. Serra Alta	667,79	7403,68
18		Subgrupo Irati	670,41	7403,12
19	TM -28 e 29	Fm. Serra Alta	672,70	7400,52
20	TM -30	Fm. Teresina	689,00	7402,21
133	TM -182	Fm. Serra Geral	664,40	7433,30
134	TM -183	Fm. Serra Geral	641,30	7442,60
134-A	TM -184	Fm. Serra Geral	641,30	7443,00
135	TM -185	Fm. Serra Geral	665,20	7435,20
136	TM -186	Fm. Serra Geral	665,50	7435,07
136-FM5	TM -187 a 190	Fm. Serra Geral	665,72	7438,38
137	TM -191	Subgrupo Irati	654,98	7412,06
138	TM -192	Subgrupo Irati	640,77	7410,88
139	TM -193	Subgrupo Irati	654,80	7411,10
140	TM -194	Fm. Serra Geral	644,06	7468,53
141	TM -195	Fm. Serra Geral	612,19	7456,80
142	TM -196	Fm. Serra Geral	632,10	7480,30
155	TM -207	Fm. Botucatu	666,88	7434,75
156	TM -208	Fm. Serra Geral	667,32	7435,35
157	TM -209	Fm. Serra Geral	653,4	7439,90
158	TM -210	Fm. Serra Geral	653,80	7438,50
159	TM -211	Fm. Serra Geral	647,30	7438,50
160	TM -212	Fm. Serra Geral	647,80	7438,80
161	TM -213	Fm. Serra Geral	647,80	7438,80
162		Fm. Serra Geral	648,00	7439,00
163	TM -214	Fm. Serra Geral	640,20	7436,20
163-A	TM -215	Fm. Serra Geral	639,90	7436,50
164	TM -216	Fm. Serra Geral	639,10	7439,40
165	TM -217-A/B	Fm. Serra Geral	639,40	7440,20
166	TM -218-A/B	Fm. Serra Geral	639,60	7440,40
167	TM -219	Fm. Serra Geral	640,00	7440,20
168	TM -220	Fm. Serra Geral	637,00	7442,30
169	TM -221	Fm. Serra Geral	637,00	7442,50
198	TM -257 e 258	Fm. Serra Geral e Fm. Teresina	654,80	7414,84
200	TM -259	Subgrupo Irati	654,96	7412,08
201	TM -260	Subgrupo Irati	640,69	7410,85
202	TM -261	Fm. Serra Geral	653,92	7414,08
203	TM -262 e 263	Fm. Serra Geral	641,54	7462,20

204	TM -264	Fm. Serra Geral	644,93	7469,86
205	TM -265	Fm. Serra Geral	640,70	7460,00
206	TM -266	Fm. Serra Geral	640,60	7458,20
207	TM -267	Fm. Serra Geral	631,13	7448,29
208	TM -268	Fm. Serra Geral	624,49	7454,42
209	TM -269	Fm. Serra Geral	628,80	7445,40
210	TM -270 e 271	Fm. Serra Geral	628,70	7445,20
211	TM -272	Fm. Serra Geral	628,80	7444,90
212		Fm. Serra Geral	628,00	7443,90
213	TM -273	Fm. Serra Geral	627,70	7443,50
214	TM -274	Fm. Serra Geral	627,80	7443,00
215	TM -275	Fm. Serra Geral	628,00	7442,40
216		Fm. Botucatu	628,00	7442,20
217	TM -276	Fm. Serra Geral	626,50	7439,80
218	TM -277	Fm. Serra Geral	626,30	7437,50
219	TM -278	Fm. Serra Geral	641,50	7448,40
220	TM -279	Fm. Botucatu	654,20	7444,60
221		Fm. Serra Geral	654,30	7444,70
222	TM -280	Fm. Serra Geral	654,20	7443,50
223		Fm. Serra Geral	654,30	7442,20
224	TM -281 e 282	Fm. Serra Geral	654,10	7441,40
225	TM -283 a 287	Fm. Serra Geral	654,00	7440,80
226		Fm. Botucatu	654,00	7438,90
227		Fm. Serra Geral	653,70	7438,40
228		Fm. Serra Geral	652,50	7437,70
229		Fm. Serra Geral	650,70	7436,80
230		Fm. Serra Geral	647,60	7435,70
231		Fm. Botucatu	646,70	7434,90
232		Fm. Botucatu	646,50	7434,20
233		Fm. Serra Geral	645,70	7433,10
234		Fm. Botucatu	644,70	7432,60
235		Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu	644,40	7432,40
236		Fm. Serra Geral	656,40	7424,70
237		Fm. Serra Geral	657,40	7425,60
238		Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu	657,60	7425,60
239		Fm. Botucatu	659,40	7428,50
240		Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu	663,20	7429,90
241		Fm. Serra Geral	664,00	7429,90
242	TM -288 a 293	Fm. Serra Geral	664,70	7431,60
243	TM -293	Fm. Serra Geral	658,50	7442,20
244		Fm. Serra Geral	662,20	7440,00
245		Fm. Serra Geral	657,00	7424,20
246		Fm. Serra Geral	658,40	7419,10
247		Fm. Botucatu	658,00	7425,50
248	TM -294 a 298	Fm. Serra Geral	657,20	7423,20
252	TM -303 a 304	Fm. Teresina	653,92	7414,08
253	TM -305 a 306	Subgrupo Irati	655,00	7411,80
254	TM -307	Fm. Serra Geral	648,30	7412,50
255	TM -308	Fm. Serra Geral	651,01	7412,37
256	TM -309	Fm. Serra Geral	648,42	7440,88
257	TM -310	Fm. Serra Geral	648,71	7440,54
258	TM -311	Fm. Serra Geral	648,88	7440,28
259	TM -312	Fm. Serra Geral	647,91	7438,77
260	TM -313	Fm. Serra Geral	663,87	7439,59
261	TM -314	Fm. Serra Geral	641,49	7448,39
262	TM -315 e 316	Fm. Serra Geral	628,71	7444,86
263	TM -317 e 318	Fm. Serra Geral	628,86	7444,91

Convenções

Escala
1:350.000

Localização da área

Figura A1.5: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 5, região de Piraju-Fartura/SP.

Figura A1.6: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 6, região de Assis/SP.

Figura A1.8: Mapa de localização dos pontos de amostragem na ÁREA 8, região de Araraquara/SP.

PONTO	AMOSTRA		Coordenada UTM (km)	
			E	N
31	TM -44 a 48	Fm. Corumbataí	244,41	7512,20
32	TM -49 a 53	Fm. Serra Geral	258,32	7497,08
33		Fm. Pirambola	255,16	7503,54
34	TM -54 a 60	Fm. Assistência	248,83	7504,24
35	TM -61 a 63	Fm. Corumbataí e Fm. Serra Geral	229,47	7522,52
36	TM -64 a 74	Fm. Corumbataí	228,40	7522,47
37		Fm. Pirambola	227,47	7522,49
38	TM -75	Fm. Corumbataí	225,99	7520,43
39	TM -76	Fm. Pirambola	222,95	7517,64
40	TM -77 a 80	Fm. Assistência	222,70	7517,33
41		Fm. Itaqueri	200,56	7510,42
42	TM -81 e 82	Fm. Tatui	222,11	7516,65
43		Fm. Rio Claro	200,34	7524,45
44		Fm. Rio Claro	227,10	7522,40
45	TM -83 a 85	Fm. Assistência	223,27	7511,80
47	TM -86	Fm. Assistência	224,60	7512,60
48	TM -87	Fm. Tatui	224,50	7515,80
49	TM -88	Fm. Tatui	227,42	7516,90
50	TM -89	Fm. Taquaral	228,64	7512,60
51	TM -89-A	Fm. Taquaral	228,70	7512,80
52	TM -89-B	Fm. Serra Alta	232,68	7515,17
61	TM -100 a 103	Fm. Itaqueri	198,26	7528,24
62	TM -104 e 105	Fm. Serra Geral	200,26	7514,15
63	TM -106	Fm. Serra Geral	200,26	7514,15
64	TM -107 e 108	Fm. Itaqueri	208,95	7515,74
150	204	Fm. Tatui e Fm. Taquaral	222,58	7517,20
151		Fm. Assistência	222,00	7516,50
152		Fm. Taquaral e Fm. Tatui	227,30	7516,90
153	TM -205-b	Fm. Itaqueri e Fm. Botucatu	213,90	7516,30
179	TM -231	Fm. Serra Geral	233,89	7511,04
180	TM -232	Fm. Serra Geral	228,10	7521,99
194	TM -248-A	Fm. Assistência	220,89	7513,94
195	TM -249-A/B	Fm. Assistência	220,89	7513,94

ANEXO 2 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NAS ÁREAS 1, 2 E 3.

Prancha A2.1: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 1, região de Leme/SP.

Prancha A2.2: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 2, região de Casa Branca/SP.

Prancha A2.3: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 3, região de Araçatuba/SP.

Tabela A2.1: Componentes químicos de amostras representativas dos intervalos amostrados nos depósitos organogênicos das ÁREAS 1, 2 e 3

Tabela A2.2: Resultados da estimativa de matéria orgânica, frústulas e espículas nas amostras das lagoas pesquisadas nas ÁREAS 1, 2 e 3.

Classificação litológica de campo

	argila com matéria orgânica		areia com esponjilito
	argila com areia fina e, às vezes, corpos arenosos		areia grossa e fina
	argila compacta e plástica		cascalho e grânulos de quartzo
	argila com esponjilito		rocha basáltica alterada
	esponjilito		

Estimativa visual de esponjilito (% em volume).

Proporção de espículas e/ou frustulas (estimativa visual da % em volume)

A = alta (>70%)

M = média (50% <x<70%)

I = intermediária (25% <x<50%)

B = baixa (<25%)

N.I. = não identificado

N.A. = não analisado

Prancha A2.1: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 1, região de Leme/SP

Classificação litológica de campo

	argila com matéria orgânica		areia com esponjilito
	argila com areia fina e, às vezes, corpos arenosos		areia grossa e fina
	argila compacta e plástica		cascalho e grânulos de quartzo
	argila com esponjilito		rocha basáltica alterada
	esponjilito		

Estimativa visual de esponjilito (% em volume).

Proporção de espículas e/ou frustulas (estimativa visual da % em volume)

A = alta (>70%)

M = média (50% <x<70%)

I = intermediária (25% <x<50%)

B = baixa (<25%)

N.I.= não identificado

N.A.= não analisado

Prancha A2.2: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 2, região de Casa Branca/SP

Prancha A2.3: Seções litológicas dos furos de trado da ÁREA 3, região de Araçatuba/SP

Tabela A2.1: Componentes químicos de amostras representativas dos intervalos amostrados nos depósitos organogênicos das ÁREAS 1, 2 e 3. Maiores constituintes expressos em %. PPC= perda ao fogo em %.

AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
ÁREA 1 (REGIÃO DE LEME)															
TM-123X.1	5.86	75.49	13.64	2.17	-0.01	0.04	0.01	0.12	0.03	0.19	2.26	0.08	-0.01	0.05	0.09
TM-123X.2	5.56	76.33	13.16	2.17	0.08	0.05	-0.01	0.07	0.03	0.11	2.21	0.11	-0.01	0.04	0.1
TM-123X.3	6.74	72.11	16.66	1.98	0.13	0.07	-0.01	0.12	0.02	-0.01	1.98	0.03	0.01	0.05	0.1
TM-128.1	8.71	71.29	14.38	2.41	0.19	0.11	0.01	0.12	0.03	0.02	2.56	0.03	-0.01	0.01	0.13
TM-128.2	12.58	53.03	26.38	3.36	0.19	0.08	0.01	0.12	0.05	0.13	3.81	0.05	-0.01	0.07	0.13
TM-128.3	7.07	65.61	17.57	4.73	0.09	0.05	-0.01	0.08	0.07	0.12	4.45	-0.01	-0.01	0.07	0.12
TM-128.4	6.68	63.92	17.74	6.51	0.1	0.11	0.01	0.12	0.07	0.09	4.46	-0.01	-0.01	0.08	0.14
TM-128.5	8.22	52.08	18.22	15.4	0.09	0.25	0.19	0.69	0.09	0.13	4.46	-0.01	-0.01	0.1	0.11
TM-128.6	9.16	46.35	18.95	18.3	0.39	0.54	0.19	0.66	0.21	0.21	4.83	-0.01	-0.01	0.13	0.1
TM-129.1	15.1	53.16	20.41	5.61	0.2	0.14	0.03	0.12	0.09	0.15	4.78	0.02	-0.01	0.07	0.13
TM-129.2	18.07	48.05	25.82	3.58	0.24	0.12	0.03	0.13	0.05	0.38	3.33	0.03	-0.01	0.08	0.1
TM-129.3	6	74.19	15.66	1.73	0.06	0.11	-0.01	0.14	0.02	0.29	1.68	0.01	-0.01	0.03	0.1
TM-129.4	6.45	47.94	19.66	15.37	0.99	0.82	0.59	1.18	0.16	0.61	5.93	0.06	-0.01	0.14	0.1
TM-129.5	5.93	48.36	17.92	16.43	1.39	0.97	0.79	1.63	0.18	0.84	5.32	0.04	-0.01	0.12	0.09
TM-135.1	4.35	78.49	10.01	3.39	0.1	0.21	0.05	0.42	0.05	0.08	2.57	0.03	0.02	0.06	0.16
TM-135.2	5.07	75.67	14.93	1.95	0.02	0.08	-0.01	0.12	0.02	0.24	1.76	0.02	-0.01	0.06	0.07
TM-135.3	5.35	75.13	15.46	1.7	0.04	0.09	-0.01	0.11	0.02	0.02	1.95	0.02	-0.01	0.03	0.1
TM-135.4	6.12	75.33	13.37	2.07	0.03	0.06	-0.01	0.12	0.03	-0.01	2.72	0.03	-0.01	0.02	0.13
TM-139.1	4.42	81.39	11.57	0.86	-0.01	0.08	-0.01	0.12	0.01	0.02	1.5	-0.01	-0.01	-0.01	0.09
TM-139.2	7.09	75.73	13.83	1.43	0.04	0.04	-0.01	0.08	0.01	-0.01	1.64	-0.01	0.01	0.02	0.1
TM-139.3	4.99	77.14	14.48	1.01	-0.01	0.07	-0.01	0.12	0.01	0.39	1.68	0.01	-0.01	0.03	0.1
TM-139.4	6.62	75.89	14.57	0.93	-0.01	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.01	1.71	0.01	-0.01	0.04	0.11
TM-139.5	3.53	83.19	10.86	0.77	-0.01	0.04	-0.01	0.1	-0.01	0.19	1.24	0.04	-0.01	0.01	0.08
TM-140.1	2.99	86.17	8.48	0.76	-0.01	0.04	-0.01	0.06	0.01	0.12	1.31	0.02	-0.01	-0.01	0.08
TM-140.2	2.79	87.57	7.1	0.93	-0.01	0.02	-0.01	0.06	0.01	0.32	1.13	0.01	-0.01	-0.01	0.09
TM-140.3	1.98	88.47	7.04	0.88	-0.01	0.04	-0.01	0.08	0.01	0.31	1.11	0.01	-0.01	0.01	0.07
TM-140.4	2.37	87.8	7.33	0.92	-0.01	0.02	-0.01	0.07	0.01	0.21	1.18	0.02	-0.01	-0.01	0.1
TM-141.1	2.55	89.99	5.1	1.06	0.07	0.03	-0.01	0.08	0.02	0.17	0.9	0.02	-0.01	-0.01	0.05
TM-141.2	6.17	77.06	13.91	0.84	0.03	0.04	-0.01	0.1	-0.01	0.11	1.7	0.01	-0.01	-0.01	0.08
TM-141.3	2.81	86.68	7.95	0.92	0.18	0.04	-0.01	0.08	0.01	0.02	1.19	0.02	0.02	-0.01	0.1
TM-141.4	2.03	88.79	6.77	0.77	0.08	0.04	-0.01	0.07	0.01	0.26	1.09	0.01	0.01	-0.01	0.09
TM-141.5	1.97	89.05	7.05	0.61	0.08	0.02	-0.01	0.07	0.01	0.08	1.03	-0.01	-0.01	-0.01	0.07
TM-142.1	5.68	77.34	12.52	1.64	0.05	0.05	-0.01	0.11	0.02	0.33	2.18	-0.01	-0.01	-0.01	0.12
TM-142.2	5.04	76.74	14.22	1.3	0.08	0.1	-0.01	0.11	0.02	0.25	2.04	-0.01	-0.01	0.02	0.11
TM-142.3	3.02	83.13	10.02	1.43	0.05	0.04	-0.01	0.11	0.02	0.21	1.87	-0.01	-0.01	0.03	0.1
TM-142.4	5.81	75.4	15.53	1.41	0.05	0.11	0.01	0.12	0.01	0.26	1.27	-0.01	-0.01	-0.01	0.05
TM-143.1	8.27	64.68	21.23	1.89	0.01	0.08	-0.01	0.17	0.03	0.33	3.14	0.02	-0.01	0.04	0.13
TM-143.2	6.34	68.55	19.26	2.15	0.02	0.09	0.01	0.05	0.03	0.23	3.07	0.01	-0.01	0.04	0.15
TM-143.3	6.67	67.55	19.04	2.68	0.08	0.12	-0.01	0.16	0.03	0.36	3.11	0.02	-0.01	0.05	0.16
TM-144.1	19.88	51.48	23.42	1.67	0.02	0.11	-0.01	0.16	0.03	0.55	2.54	0.02	0.01	0.02	0.1
TM-144.2	3.69	79.15	10.36	2.82	-0.01	0.07	0.01	0.11	0.05	0.17	3.44	-0.01	-0.01	0.02	0.14
TM-144.3	4.59	77.19	11.73	2.58	-0.01	0.08	-0.01	0.1	0.05	0.18	3.36	-0.01	-0.01	0.03	0.17
TM-145.1	4.05	86.84	6.6	0.89	-0.01	0.03	-0.01	0.07	0.01	0.24	1.19	-0.01	-0.01	-0.01	0.14
TM-145.2	6.33	73.42	17.07	1.33	-0.01	0.08	-0.01	0.11	0.02	0.06	1.46	0.01	-0.01	0.02	0.13
TM-145.3	6.8	70.69	19.43	1.32	0.04	0.05	-0.01	0.06	0.01	0.2	1.31	-0.01	-0.01	-0.01	0.11
TM-145.4	6.54	72.1	18.59	1.15	0.05	0.05	-0.01	0.11	0.03	0.19	1.12	-0.01	-0.01	0.01	0.09
TM-145.5	5.88	75.91	15.29	1.2	0.03	0.04	-0.01	0.13	0.02	0.43	0.94	0.01	-0.01	0.02	0.11
TM-146.1	13.07	58.9	24.49	1.29	0.02	0.11	-0.01	0.17	0.01	0.16	1.73	-0.01	-0.01	0.01	0.07
TM-146.2	10.47	61.5	23.75	1.57	0.04	0.12	-0.01	0.23	0.02	0.27	1.91	0.01	-0.01	0.02	0.12
TM-146.3	8.87	62.37	24.05	2.05	0.05	0.1	0.01	0.29	0.02	0.11	1.91	0.06	-0.01	0.02	0.11
TM-147.1	6.41	73.51	16.09	1.58	-0.01	0.07	-0.01	0.06	0.02	0.33	1.72	0.06	-0.01	0.02	0.15
TM-147.2	6.22	72.72	17.12	1.51	-0.01	0.08	-0.01	0.1	0.02	0.39	1.7	0.04	-0.01	0.02	0.13
TM-147.3	6.1	73.3	16.86	1.49	-0.01	0.07	0.01	0.06	0.02	0.25	1.63	0.03	-0.01	0.04	0.16
TM-147.4	6.87	72.41	17.75	1.26	-0.01	0.04	-0.01	0.07	0.01	0.08	1.42	-0.01	-0.01	0.02	0.1
TM-148.1	18.86	51.82	24.4	2.1	0.01	0.09	-0.01	0.08	0.02	0.46	2.06	-0.01	-0.01	0.03	0.09
TM-148.2	5.87	77.17	13.09	1.35	-0.01	0.06	-0.01	0.06	0.02	0.03	1.52	0.68	-0.01	0.02	0.15
TM-148.3	5.87	76.89	13.85	1.33	-0.01	0.07	-0.01	0.07	0.02	0.3	1.52	-0.01	-0.01	-0.01	0.12
TM-148.4	6.74	70.27	18.79	2.04	0.01	0.06	0.01	0.11	0.02	0.11	1.73	-0.01	-0.01	-0.01	0.14
TM-148.5	5.8	71.69	15.65	1.25	0.01	0.04	-0.01	0.08	0.02	0.07	1.44	3.85	-0.01	-0.01	0.12
TM-149.1	6.51	85.5	4.4	1.18	-0.01	-0.01	-0.01	0.07	0.03	0.46	1.59	0.02	-0.01	-0.01	0.28
TM-149.2	4.89	82.5	9.53	1.08	-0.01	0.02	-0.01	0.08	0.02	0.23	1.4	0.13	-0.01	0.01	0.14
TM-149.3	5.8	75.98	14.83	1.25	-0.01	0.03	-0.01	0.1	0.02	0.37	1.55	-0.01	-0.01	0.01	0.1
TM-149.4	6.7	71.26	17.69	2.16	0.02	0.08	-0.01	0.12	0.02	0.13	1.52	0.24	-0.01	-0.01	0.1
TM-150.1	10.14	75.61	10.92	1.26	-0.01	0.02	0.01	0.07	0.02	0.35	1.09	0.46	-0.01	-0.01	0.06
TM-150.2	5.13	80.48	11.37	1.13	-0.01	0.02	0.01	0.06	0.02	0.42	1.17	0.12	-0.01	-0.01	0.09
TM-150.3	5.17	79.07	12.86	1.09	-0.01	0.03	-0.01	0.06	0.01	0.31	1.3	-0.01	-0.01	0.01	0.12
TM-150.4	5.5	77.11	14.12	1.03	-0.01	0.03	0.01	0.07	0.01	0.26	1.33	0.43	-0.01	0.01	0.11
TM-150.5	7.5	68.57	20.34	1.54	0.03	0.06	0.01	0.26	0.01	0.3	1.15	0.14	-0.01	0.02	0.07
TM-151.1	5.73	86.92	3.61	1.56	-0.01	0.02	0.03	0.08	0.03	0.29	0.98	0.67	-0.01	-0.01	0.1
TM-151.2	4.3	83.08	9.14	1.25	-0.01	0.02	-0.01	0.11	0.02	0.34	1.36	0.31	-0.01	-0.01	0.11
TM-151.3	6.32	74.52	15.24	1.22	0.05	0.06	0.01	0.12	0.01	0.17	1.47	0.71	-0.01	0.02	0.1
TM-151.4	6.19	75.07	15.03	1.18	0.03	0.07	-0.01	0.12	0.01	0.56	1.51	0.12	-0.01	0.02	0.11
TM-152.1	9.98	74.47	11.98	1.32	-0.01	0.04	-0.01	0.1	0.02	0.41	1.29	0.37	-0.01	-0.01	0.07
TM-152.2	5.53	79.91	11.87	1.04	-0.01	0.01	-0.01	0.11	-0.01	0.26	1.21	-0.01	-0.01	-0.01	0.12
TM-152.3	5.05	79.45	12.05	1.49	-0.01	0.02	-0.01	0.1	0.01	0.26	1.14	0.37	-0.01	-0.01	0.09
TM-152.4	4.56	80.61	11.98	1.06	0.01	0.03	-0.01	0.08	0.01	0.31	1.17	0.06	-0.01	0.01	0.12
TM-152.5	4.61	79.71	12.74	1.03	0.03	0.03	-0.01	0.1	0.01	0.35	1.22	0.05	-0.01	0.02	0.12

Tabela A2.1(Continuação)

AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
AREA 2 (REGIAO DE CASA BRANCA)															
TM-153.1	2.87	90.23	3.77	1.35	-0.01	0.03	-0.01	0.08	0.02	0.27	1.27	0.05	-0.01	-0.01	0.09
TM-153.2	2.2	89.49	5.28	1.03	-0.01	-0.01	-0.01	0.05	0.01	0.33	1.4	0.15	-0.01	0.01	0.09
TM-153.3	4.02	84.48	7.57	1.56	-0.01	0.03	-0.01	0.06	0.02	0.34	1.69	0.13	-0.01	0.01	0.13
TM-153.4	4.71	80.23	11.1	1.54	-0.01	0.04	-0.01	0.06	0.02	0.19	2	-0.01	-0.01	0.03	0.13
TM-153.5	5.2	75.7	13.95	2.23	-0.01	-0.01	-0.01	0.06	0.02	0.22	2.33	0.15	-0.01	0.03	0.15
TM-154.1	10.3	83.01	3.3	1.12	-0.01	-0.01	-0.01	0.05	0.02	0.46	0.87	0.86	-0.01	-0.01	0.05
TM-154.2	3.77	87.64	5.3	1.08	-0.01	0.01	-0.01	0.06	0.01	0.37	1.35	0.32	-0.01	-0.01	0.12
TM-154.3	2.84	87.47	6.04	1	-0.01	0.01	-0.01	0.06	0.01	0.54	1.6	0.34	-0.01	-0.01	0.12
TM-154.4	5.94	75	14.02	1.5	-0.01	0.03	-0.01	0.08	0.02	0.26	2.52	0.46	-0.01	0.02	0.18
TM-155.1	20.53	60.13	15.04	1.44	-0.01	0.04	-0.01	0.06	0.02	0.33	2.08	0.26	-0.01	0.02	0.08
TM-155.2	4.96	81.68	9.57	1.32	-0.01	0.03	-0.01	0.07	0.02	0.33	1.93	0.03	-0.01	-0.01	0.1
TM-155.3	4.3	80.88	10.95	1.36	-0.01	0.03	-0.01	0.08	0.02	0.3	1.74	0.27	-0.01	0.01	0.09
TM-155.4	4.81	80.59	10.9	1.29	-0.01	0.04	-0.01	0.08	0.02	0.42	1.68	0.1	-0.01	0.01	0.09
TM-155.5	4.48	80.94	11.27	1.21	-0.01	-0.01	-0.01	0.05	0.02	0.31	1.69	-0.01	-0.01	-0.01	0.08
TM-156.1	7.09	79.99	9.09	1.48	-0.01	0.03	-0.01	0.07	0.02	0.19	1.74	0.25	-0.01	0.01	0.06
TM-156.2	6.18	75.26	13.92	1.48	-0.01	0.06	-0.01	0.1	0.01	0.31	2.42	0.15	-0.01	0.04	0.1
TM-156.3	4.78	78.56	11.95	1.67	-0.01	0.06	-0.01	0.1	0.01	0.4	2.1	0.31	-0.01	0.03	0.05
TM-156.4	3.43	75.79	15.56	2.07	0.01	0.1	-0.01	0.11	0.01	0.02	2.38	0.29	-0.01	0.05	0.21
TM-156.5	4.63	75.03	15.15	1.94	0.03	0.1	0.01	0.11	-0.01	-0.01	2.31	0.53	-0.01	0.05	0.15
TM-156.6	4.56	74.52	15.86	1.69	0.04	0.12	-0.01	0.11	0.01	0.1	2.31	0.53	-0.01	0.04	0.12
TM-156.7	5.2	72.45	17.22	1.83	-0.01	0.05	0.01	0.1	-0.01	-0.01	2.34	0.68	-0.01	0.04	0.11

AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
AREA 3 (REGIAO DE ARAÇATUBA)															
TM-168.1	4.82	73.42	15.74	2.8	0.13	0.25	0.03	0.42	0.02	0.12	1.82	0.31	-0.01	0.02	0.12
TM-168.2	5.75	69.98	15.48	5.19	0.15	0.26	0.03	0.47	0.04	0.08	1.77	0.73	-0.01	-0.01	0.1
TM-168.3	3.99	75.08	12.64	4.27	0.26	0.38	0.07	0.89	0.15	0.14	1.49	0.57	-0.01	-0.01	0.09
TM-168.4	3.92	75.33	13.23	3.98	0.18	0.25	0.05	0.54	0.06	-0.01	1.62	0.77	-0.01	-0.01	0.1
TM-169	0.79	92.98	1.96	1.72	0.1	0.07	0.12	0.45	0.04	-0.01	0.73	0.99	-0.01	-0.01	0.09
TM-170.2	8.5	65.35	20.64	1.69	0.17	0.16	0.03	0.26	0.01	0.03	2.32	0.77	-0.01	0.01	0.08
TM-170.3	7.54	64.93	20.87	2.7	0.17	0.15	0.01	0.26	0.02	-0.01	2.61	0.61	-0.01	0.02	0.11
TM-171.1	5.02	75.96	14.5	1.49	0.14	0.14	0.01	0.2	-0.01	0.15	1.76	0.54	-0.01	-0.01	0.1
TM-171.2	7.13	75.48	13.39	1.21	0.17	0.1	0.01	0.2	-0.01	0.15	1.2	0.96	-0.01	-0.01	0.03
TM-171.3	9.43	59.33	24.34	2.48	0.17	0.17	0.03	0.3	0.01	-0.01	2.67	0.98	-0.01	0.02	0.09
TM-171.4	2.22	78.34	12.58	1.22	0.09	0.19	0.01	0.22	0.01	-0.01	1.66	0.87	-0.01	0.02	0.10
TM-171.5	7.35	91.76	28.36	2.8	0.17	0.06	0.01	0.14	0.01	-0.01	1.14	0.74	-0.01	0.01	0.06
TM-172.1	3.98	88.46	4.31	1.52	0.1	0.04	0.01	0.13	0.01	0.08	1.04	0.2	-0.01	-0.01	0.13
TM-172.2	1.12	91.1	4.85	1.19	0.07	0.05	0.03	0.13	0.01	0.13	1.23	-0.01	-0.01	-0.01	0.13
TM-172.4	0.89	91.49	4.97	1.07	-0.01	0.06	0.01	0.12	0.01	-0.01	1.09	0.19	-0.01	-0.01	0.13
TM-172.5	2.95	82.62	10.46	1.58	0.04	0.08	0.03	0.14	-0.01	-0.01	1.43	0.6	-0.01	-0.01	0.12
TM-172.6	4.15	79.04	12.58	1.92	0.04	0.08	-0.01	0.16	-0.01	0.27	1.59	0.05	-0.01	0.01	0.13
TM-173.1	0.47	94.33	2.24	1.85	-0.01	-0.01	0.01	0.12	0.02	-0.01	0.65	0.29	-0.01	-0.01	0.08
TM-173.2	3.45	83.59	9.63	1.24	0.04	0.06	0.01	0.16	-0.01	-0.01	1.29	0.47	-0.01	-0.01	0.1
TM-173.3	3.2	82.26	10.58	1.72	0.08	0.1	0.01	0.16	-0.01	-0.01	1.43	0.38	-0.01	0.02	0.11
TM-173.4	2.39	87.48	6.73	1.53	0.02	0.06	0.01	0.13	0.01	-0.01	1.15	0.41	-0.01	-0.01	0.1
TM-174.1	2.61	84.98	8.89	1.14	0.03	0.1	0.01	0.14	0.01	0.05	1.24	0.71	-0.01	-0.01	0.09
TM-174.2	2.24	85.55	8.44	1	0.04	0.08	-0.01	0.14	-0.01	0.13	1.25	1.06	-0.01	-0.01	0.11
TM-174.3	2.14	86.41	8.34	1.02	0.03	0.07	-0.01	0.17	-0.01	-0.01	1.24	0.53	-0.01	-0.01	0.1
TM-175.1	4.35	88.8	4.35	0.59	0.07	0.03	-0.01	0.13	-0.01	0.08	0.86	0.67	-0.01	-0.01	0.1
TM-175.2	2.91	87.84	6.82	0.76	0.05	0.07	0.01	0.17	-0.01	0.03	1.12	0.14	-0.01	-0.01	0.11
TM-175.3	5.24	76.68	14.55	0.7	0.05	0.11	0.04	0.17	-0.01	0.08	1.57	0.7	-0.01	0.01	0.12
TM-176.1	4.69	88.67	4.81	0.59	0.09	0.1	0.01	0.16	-0.01	-0.01	0.78	0.1	-0.01	-0.01	0.04
TM-176.2	3.82	82.15	10.7	1.23	0.11	0.11	0.01	0.18	0.01	-0.01	1.35	0.23	-0.01	0.02	0.09
TM-177.1	4.34	77.62	13.15	2.56	0.28	0.33	0.03	0.23	0.02	-0.01	1.21	0.16	-0.01	0.01	0.08
TM-178.1	3.24	90.24	4.29	0.78	0.1	0.08	0.05	0.26	0.02	0.01	0.61	0.3	-0.01	-0.01	0.03
TM-178.2	4.58	78.79	12.19	1.4	0.16	0.11	0.03	0.2	0.02	-0.01	1.66	0.72	-0.01	0.02	0.13
TM-179	7.22	70.97	17.28	1.57	0.1	0.09	0.01	0.2	0.01	-0.01	1.67	0.85	-0.01	-0.01	0.07
TM-180.1	2.21	88.65	6.19	0.98	0.1	0.07	0.01	0.26	0.02	0.33	0.99	0.1	-0.01	-0.01	0.11
TM-180.2	6.47	74.56	14.89	1.59	0.03	0.13	0.01	0.29	0.01	0.1	1.54	0.27	-0.01	0.01	0.08
TM-180.3	3.76	82.13	10.11	1.35	0.05	0.1	0.03	0.28	0.01	0.24	1.25	0.55	-0.01	0.02	0.11
TM-180.4	1.59	89.88	5.36	1.01	0.01	0.05	0.01	0.26	0.02	0.07	0.84	0.8	-0.01	-0.01	0.11

Tabela A2.2: Resultados da estimativa de matéria orgânica, frústulas e espículas nas amostras das lagoas pesquisadas nas ÁREAS 1, 2 e 3. (* = estimativa visual -%- em volume na amostra original; N.D.= não detectado; N.A. = não analisado).

Nº DA AMOSTRA	MATÉRIA ORGÂNICA %	AFUNDADO %	FLUTUADO %	% EM VOL. DE ESPÍCULAS AFUNDADOS	% EM VOL. DE ESPÍCULAS FLUTUADOS
Area 1 (REGIÃO DE LEME)					
TM-123X.1	1,34	68,3	31,7	1	1
TM-123X.2	1,48	66,4	33,6	N.D.	N.D.
TM-123X.3	1,28	83,1	16,9	N.D.	1
TM-128.1	9,14	56,0	44,0	10	60
TM-128.2	3,77	28,3	71,7	30	80
TM-128.3	2,04	74,8	25,2	< 5	N.D.
TM-128.4	2,47	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-128.5	3,66	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-128.6	5,60	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-129.1	9,12	54,6	45,4	15	7
TM-129.2	16,60	40,8	59,2	50	90
TM-129.3	3,12	94,5	5,5	N.D.	< 5
TM-129.4	2,15	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-129.5	3,68	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-135.1	2,19	66,8	33,2	< 5	1
TM-135.2	0,77	93,3	6,7	< 5	N.D.
TM-135.3	0,49	84,3	15,7	N.D.	N.D.
TM-135.4	0,45	71,2	28,8	N.D.	N.D.
TM-139.1	0,52	55,0	45,0	< 5	3
TM-139.2	0,10	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-139.3	0,03	58,9	41,1	N.D.	1
TM-139.4	0,65	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-139.5	4,14	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-140.1	1,41	64,2	35,8	< 5	25
TM-140.2	0,17	90,9	9,1	1	1
TM-140.3	6,44	92,2	7,8	N.D.	-
TM-140.4	0,03	90,7	9,3	N.D.	-
TM-141.1	3,18	N.A.	N.A.	15*	-
TM-141.2	0,34	93,5	6,5	1	-
TM-141.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TM-141.4	0,07	90,0	10,0	N.D.	-
TM-141.5	0,10	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-142.1	5,75	64,2	35,8	< 5	15
TM-142.2	0,61	70,5	29,5	N.D.	1
TM-142.3	4,46	N.A.	N.A.	1*	-
TM-142.4	2,67	N.A.	N.A.	1*	-
TM-143.1	15,96	24,6	75,4	20	70
TM-143.2	5,36	46,7	53,3	7	10
TM-143.3	3,71	N.A.	N.A.	10*	-
TM-144.1	27,22	N.A.	N.A.	10*	-
TM-144.2	0,32	77,7	22,3	< 5	50
TM-144.3	0,02	N.A.	N.A.	< 5*	-
TM-145.1	2,19	63,3	36,7	60	25
TM-145.2	0,96	50,6	49,4	N.D.	N.D.
TM-145.3	12,27	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-145.4	1,02	N.A.	N.A.	1*	-
TM-145.5	0,33	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-146.1	2,94	64,2	35,8	30	90
TM-146.2	1,80	58,5	41,5	10	25
TM-146.3	0,64	55,6	44,4	5	10
TM-147.1	7,43	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-147.2	7,95	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-147.3	0,03	52,7	47,3	N.D.	N.D.
TM-147.4	0,45	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-148.1	15,78	20,4	79,6	40	60

Tabela A2.2 (continuação)

TM-148.2	0,65	51,7	48,3	10	10
TM-148.3	2,99	62,1	37,9	< 5	N.D.
TM-148.4	10,35	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-148.5	1,14	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-149.1	6,52	64,3	35,7	1	40
TM-149.2	1,16	50,9	49,1	10	10
TM-149.3	0,64	N.A.	N.A.	< 5*	-
TM-149.4	1,36	38,8	61,2	N.D.	N.D.
TM-150.1	7,48	43,2	56,8	5	80
TM-150.2	2,17	65,3	34,7	< 5	15
TM-150.3	8,15	71,1	28,9	N.D.	N.D.
TM-150.4	6,05	12,1	87,9	N.D.	1
TM-150.5	2,05	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-151.1	5,99	65,4	34,6	1	60
TM-151.2	1,33	40,2	59,8	5	30
TM-151.3	10,05	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-151.4	6,64	N.A.	N.A.	1*	-
TM-152.1	6,03	44,7	55,3	5	90
TM-152.2	0,40	75,8	24,2	<5	5
TM-152.3	4,93	N.A.	N.A.	< 5*	-
TM-152.4	0,09	78,9	21,1	N.D.	N.D.
TM-152.5	3,28	N.A.	N.A.	N.D.*	-

Nº DA AMOSTRA	MATÉRIA ORGÂNICA %	AFUNDADO %	FLUTUADO %	% EM VOL. DE ESPÍCULAS AFUNDADOS	% EM VOL. DE ESPÍCULAS FLUTUADOS
Area 2 (REGIAO DE CASA BRANCA)					
TM-153.1	2,08	86,9	13,1	5	N.D.
TM-153.2	0,16	86,4	13,6	1	5
TM-153.3	0,79	84,1	15,9	N.D.	2
TM-153.4	0,11	83,9	16,1	N.D.	N.D.
TM-153.5	0,20	76,1	23,9	N.D.	N.D.
TM-154.1	4,69	72,1	27,9	90	15
TM-154.2	0,38	86,1	13,9	30	10
TM-154.3	0,20	96,4	3,6	1	< 5
TM-154.4	0,38	88,7	11,3	N.D.	N.D.
TM-155.1	21,89	N.A.	N.A.	5*	-
TM-155.2	0,59	92,1	7,9	N.D.	N.D.
TM-155.3	0,01	78,1	21,9	N.D.	N.D.
TM-155.4	0,01	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-155.5	2,35	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-156.1	6,50	48,2	51,8	80	10
TM-156.2	1,95	26,8	73,2	10	15
TM-156.3	0,27	N.A.	N.A.	5*	-
TM-156.4	7,11	N.A.	N.A.	1*	-
TM-156.5	0,07	N.A.	N.A.	1*	-
TM-156.6	0,90	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-156.7	0,11	N.A.	N.A.	N.D.*	-

Nº DA AMOSTRA	MATÉRIA ORGÂNICA %	AFUNDADO %	FLUTUADO %	% EM VOL. DE ESPÍCULAS AFUNDADOS	% EM VOL. DE ESPÍCULAS FLUTUADOS
Area 3 (REGIAO DE ARAÇATUBA)					
TM-168.1	1,58	55,9	44,1	10	90
TM-168.2	2,53	55,6	44,4	< 5	7
TM-168.3	0,25	53,8	46,3	1	10
TM-168.4	0,53	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-169	2,15	71,4	28,6	70	90
TM-170.2	3,09	7,0	93,0	20	95
TM-170.3	3,54	2,9	97,1	20	90
TM-171.1	0,67	43,2	56,8	95	97

Tabela A2.2 (continuação)

TM-171.2	2,17	15,2	84,8	10	90
TM-171.3	0,37	26,0	74,0	10	50
TM-172.1	0,99	81,2	18,8	40	90
TM-172.2	0,01	81,8	18,2	40	40
TM-172.3	0,56	68,1	31,9	5	80
TM-172.4	0,03	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-172.5	0,45	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-172.6	0,48	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-173.1	0,95	83,1	16,9	5	30
TM-173.2	0,19	73,7	26,3	1	N.D.
TM-173.3	0,94	65,8	34,2	5	N.D.
TM-173.4	0,38	N.A.	N.A.	N.D.*	-
TM-174.1	0,60	70,7	29,3	10	1
TM-174.2	1,09	71,8	28,2	< 5	1
TM-174.3	0,01	84,0	16,0	N.D.	-
TM-175.1	3,67	70,7	29,3	5	40
TM-175.2	0,75	80,5	19,5	10	30
TM-175.3	0,83	72,0	28,0	10	N.D.
TM-176.1	2,11	15,3	84,7	< 5	95
TM-176.2	0,36	20,8	79,2	10	80
TM-177.1	3,92	39,8	60,2	30	30
TM-178.1	2,97	13,5	86,5	50	97
TM-178.2	2,23	10,9	89,1	N.D.	90
TM-179	1,11	82,3	17,7	95	10
TM-180.1	1,04	66,7	33,3	90	5
TM-180.2	2,96	N.A.	N.A.	90*	-
TM-180.3	0,95	13,7	86,3	80	< 5
TM-180.4	0,41	33,3	66,7	60	10

ANEXO 3 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 4.

Tabela A3.1: Componentes químicos de amostras representativas da ÁREA 4. Maiores constituintes expressos em %. PPC= perda ao fogo em %.

Figura A3-1: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-90), Restinga/SP.

Figura A3-2: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-91), Restinga/SP.

Figura A3-3: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-93), Restinga/SP.

Figura A3-4: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-94), Restinga/SP.

Figura A3-5: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-97), Restinga/SP.

Figura A3-6: Difratoograma de raios X de caulinita (amostra TM-98), estrada Igarapava-Pedregulho, km 27.

Figura A3-7: Difratoograma de raios X de lamito arenoso da Formação Franca, estrada Igarapava-Pedregulho, Km 27.

Tabela A3.1: Componentes químicos de amostras representativas da ÁREA 4. Maiores constituintes expressos em %. PPC= perda ao fogo em %.

AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
TM-90	10.18	58.7	21	3.66	0.1	3.81	0.01	1.18	0.12	0.37	0.75	0.02	-0.01	0.01	0.11
TM-91	9.85	58.95	20.52	3.67	0.18	4.13	0.03	1.35	0.12	0.2	0.81	0.01	0.02	0.02	0.15
TM-92	9.95	58.94	20.56	3.8	0.02	4.08	0.01	1.34	0.13	0.14	0.86	0.01	-0.01	0.03	0.14
TM-93	11.39	58.27	19.38	3.55	0.07	4.97	0.01	1.24	0.11	0.2	0.69	-0.01	-0.01	-0.01	0.14
TM-94	10.82	58.4	20.46	3.66	0.07	4.16	0.03	1.24	0.11	0.12	0.77	0.04	-0.01	-0.01	0.14
TM-95	1.27	90.41	3.99	1.67	0.1	0.44	0.05	1.85	0.02	-0.01	0.17	0.01	-0.01	-0.01	0.04
TM-96	6.57	62.1	16.6	6.61	0.17	2.39	0.15	3.35	0.11	0.52	1.19	0.11	-0.01	0.02	0.13
TM-97	7.38	60.25	16.72	7.07	0.3	2.47	0.19	3.84	0.08	0.51	1.05	0.01	-0.01	0.02	0.13
TM-98	13.79	42.99	38.11	2.97	0.12	0.16	0.04	0.42	0.01	0.53	0.71	0.1	-0.01	-0.01	0.06
TM-99	7.78	48.85	20.08	11.87	0.06	3.34	0.08	4.55	0.11	0.19	2.78	0.12	-0.01	0.03	0.19

Figura A3-1: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-90), Restinga/SP.

Figura A3-2: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-91), Restinga/SP.

Figura A3-3: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-93), Restinga/SP.

Figura A3-4: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-94), Restinga/SP.

Figura A3-5: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Franca (amostra TM-97), Restinga/SP.

Figura A3-6: Difractograma de raios X de caulinita (amostra TM-98), estrada Igarapava-Pedregulho, km 27.

WinFit converted file This file was converted by WinFit, krumm@geol.uni-erlangen.de - File: Geot99.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.500 ° - End: 70.000

Operations: Import

- 33-1161 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 41.67 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060
- 06-0221 (D) - Kaolinite 1Md - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Y: 18.75 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060
- 29-1498 (*) - Montmorillonite-15A - $\text{Na}_0.3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 31.25 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060
- 29-1490 (Q) - Smectite-kaolinite - $\text{Al-Si-O-OH-H}_2\text{O}$ - Y: 33.33 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060
- 02-0462 (D) - Illite, 1M - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 16.67 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060

Figura A3-7: Difratoograma de raios X de lamito arenoso da Formação Franca, estrada Igarapava-Pedregulho, Km 27.

ANEXO 4 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 5.

Tabela A4.1 : Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 5.

Tabela A4.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Piraju-Fartura, ÁREA 5.

Figura A4-1: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo I

Figura A4-2: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo II

Figura A4-3: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo III

Figura A4-4: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e Termodiferenciais (ATD, em vermelho) de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5: (A) amostra TM-183; (B) amostra TM-212 e (C) amostra TM-219

Figura A4-5: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I

Figura A4-5: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I (continuação)

Figura A4-6: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo II.

Figura A4-7: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo III.

Tabela A4.1 : Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 5. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	MOSTRAS	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
Andesito	TM-10	6.42	60.35	17.3	9.88	0.29	0.61	0.81	2.26	0.16	0.03	1.72	-0.01	-0.01	-0.01	0.2
Dacito	TM-11	4.02	64.32	15.08	6.85	0.78	0.47	2.3	4.37	0.08	0.31	1.27	-0.01	-0.01	-0.01	0.17
Dacito	TM-11.A	4.3	64.37	14.85	7.75	0.5	0.42	2.07	4	0.08	0.03	1.48	-0.01	-0.01	-0.01	0.17
Basalto	TM-12	1.72	50.17	13.38	14.72	7.64	3.99	2.55	1.52	0.22	0.55	3.41	-0.01	-0.01	0.07	0.09
Dacito	TM-13	4.54	63.21	14.03	7.22	1.15	0.98	2.34	4.5	0.09	0.41	1.36	-0.01	0.01	-0.01	0.16
Basalto	TM-15	0.32	49.82	12.36	17.96	8.48	3.64	2.45	1.31	0.29	0.27	2.95	0.01	-0.01	0.08	0.06
Basalto	TM-17	1.55	46.04	13.13	17.85	8.95	5.16	2.13	1.47	0.27	0.52	2.79	0.01	-0.01	0.1	0.04
Dacito	TM-182	1.39	66.93	12.5	6.56	2.46	1.08	3.06	4.27	0.12	0.34	1.09	0.05	-0.01	-0.01	0.15
Dacito	TM-183	2.40	66.17	12.98	7.04	1.91	0.54	2.76	3.75	0.16	0.41	1.21	-0.01	0.09	-0.01	0.14
Dacito	TM-185	2.03	66.4	13.11	6.35	1.59	0.42	2.87	4.39	0.09	0.31	1.13	1.16	-0.01	-0.01	0.15
Dacito	TM-186	1.58	65.7	12.96	6.78	2.78	1.03	3	4.42	0.16	0.29	1.17	-0.01	-0.01	0.01	0.14
Basalto	TM-194	0.57	51.29	12.48	14.86	8.49	4.41	2.29	1.22	0.24	0.61	2.98	0.45	-0.01	0.06	0.05
Basalto/andesito basáltico	TM-195	2.24	52.24	11.73	13.16	7.09	4.43	2.25	1.75	0.17	0.47	3.39	0.97	-0.01	0.06	0.06
Dacito	TM-208	2.26	67.3	12.78	6.43	1.24	0.47	2.72	4.6	0.06	0.22	1.11	0.68	-0.01	-0.01	0.15
Dacito	TM-209	1.71	65.6	12.44	6.76	2	0.83	2.91	4.27	0.11	0.42	1.13	1.7	-0.01	-0.01	0.13
Dacito	TM-210	1.26	67.71	12.4	6.96	1.81	0.82	2.79	4.42	0.11	0.52	1.1	-0.01	-0.01	-0.01	0.14
Traquito	TM-211	4.16	62.81	14.24	6.58	0.95	1.25	2.52	5.55	0.05	0.3	1.23	0.22	-0.01	-0.01	0.16
Traquito	TM-212	2.25	62.38	15.61	8.38	1.29	0.15	2.29	0.39	0.27	0.39	1.42	-0.01	0.11	0.01	0.17
Dacito	TM-213	2.21	67.05	13.51	6.74	0.96	0.23	2.22	4.97	0.11	0.43	1.13	0.3	-0.01	-0.01	0.15
Dacito	TM-214	1.6	66.16	12.55	6.6	2.43	1.07	2.84	4.15	0.22	0.49	1.1	0.67	-0.01	-0.01	0.15
Dacito	TM-215	0.31	67.43	12.58	7.32	2.64	0.87	2.95	4.27	0.14	0.18	1.13	0.05	-0.01	-0.01	0.14
Dacito	TM-216	1.14	67.54	12.24	6.36	2.47	0.87	3	4.26	0.11	0.31	1.08	0.5	-0.01	-0.01	0.14
Dacito	TM-217.A	3.59	66.37	12.87	7.4	0.39	0.33	2.26	4.48	0.21	0.29	1.15	0.54	-0.01	-0.01	0.14
Dacito	TM-217.B	0.8	70.4	11.17	5.66	2.04	0.92	2.68	3.82	0.12	0.58	0.99	0.72	-0.01	-0.01	0.12
Dacito	TM-218.A	2.05	66.73	12.34	6.41	1.57	1.05	2.87	4.8	0.07	0.39	1.07	0.53	-0.01	-0.01	0.14
Dacito	TM-218.B	1.34	66.86	12.17	6.41	2.05	1.34	2.75	4.64	0.09	0.46	1.08	0.72	-0.01	-0.01	0.13
Dacito	TM-219	1.63	66.64	12.47	6.90	2.72	1.04	2.63	3.62	0.13	0.41	1.18	0.03	0.09	-0.01	0.15
Riólito	TM-220	1.39	72.62	10.76	5.42	0.96	0.26	2.41	4.33	0.07	0.19	0.94	0.57	-0.01	-0.01	0.11
Dacito	TM-221	2.15	69.24	12.29	6.06	1.22	0.42	2.75	4.43	0.08	0.01	1.08	0.17	-0.01	-0.01	0.13
Andesito basáltico	TM-257	0.97	55.13	12.26	13.20	8.65	4.93	0.47	1.34	0.25	0.45	2.20	-0.01	0.02	N.D.	0.05
Andesito basáltico	TM-261	0.64	53.29	12.28	13.38	9.09	4.94	1.97	1.34	0.26	0.45	2.21	-0.01	0.01	N.D.	0.05
Basalto	TM-262	1.55	52.20	11.97	13.70	8.81	4.40	2.03	1.66	0.22	0.33	2.96	-0.01	0.01	N.D.	0.06
Andesito basáltico	TM-263	2.67	52.24	11.40	13.14	8.10	4.76	1.98	2.02	0.20	0.53	2.79	-0.01	0.01	N.D.	0.05
Andesito basáltico	TM-264	1.15	53.78	11.67	12.72	8.70	4.80	1.79	1.54	0.28	0.52	2.90	-0.01	-0.01	N.D.	0.06
Basalto	TM-265	1.43	51.05	11.54	13.39	10.09	5.31	2.01	1.54	0.23	0.43	2.84	-0.01	0.02	N.D.	0.05
Andesito basáltico	TM-266	0.58	54.56	11.28	13.40	8.53	4.72	1.86	1.43	0.25	0.37	2.87	-0.01	-0.01	N.D.	0.05
Dacito	TM-267	1.95	65.82	13.34	7.50	1.22	0.38	3.03	4.33	0.11	0.43	1.16	-0.01	0.07	-0.01	0.13
Andesito basáltico	TM-268	0.05	55.64	10.89	14.67	8.68	4.46	1.64	0.99	0.28	0.30	2.27	-0.01	-0.01	N.D.	0.05
Dacito	TM-269	3.47	69.12	11.96	5.69	1.02	0.37	1.79	4.91	0.05	0.47	0.99	-0.01	0.02	N.D.	0.14
Riólito	TM-270	0.57	70.73	10.95	5.86	2.43	1.09	2.21	4.50	0.13	0.41	0.97	-0.01	0.01	N.D.	0.14
Dacito	TM-271	2.59	68.78	13.31	4.81	0.46	0.29	1.87	4.95	0.05	0.32	1.13	-0.01	0.01	N.D.	0.15
Riólito	TM-272	1.46	71.77	12.61	4.50	0.93	0.27	2.14	4.71	0.04	0.38	1.04	-0.01	-0.01	N.D.	0.14
Riólito	TM-273	1.47	70.75	11.09	5.89	1.70	0.46	2.49	4.47	0.11	0.37	1.03	-0.01	-0.01	N.D.	0.14
Dacito	TM-274	2.29	68.34	11.75	5.77	2.42	0.89	2.18	4.58	0.13	0.43	1.05	-0.01	0.02	N.D.	0.15
Riólito	TM-275	1.51	71.43	11.77	4.79	1.58	0.45	2.82	4.13	0.09	0.19	1.09	-0.01	0.02	N.D.	0.15
Dacito	TM-276	2.64	69.85	11.35	6.19	2.41	1.13	2.28	2.36	0.15	0.47	1.02	-0.01	0.01	N.D.	0.14
Traquiandesito	TM-278	2.10	52.19	11.58	11.97	6.85	3.72	2.67	4.58	0.20	0.64	3.35	-0.01	-0.01	N.D.	0.07
Riólito	TM-279	0.78	70.52	11.59	6.08	1.78	0.49	2.63	4.49	0.18	0.22	1.08	-0.01	0.02	N.D.	0.14
Dacito	TM-280	3.10	67.69	11.22	5.84	2.34	0.81	2.79	4.49	0.13	0.39	1.02	-0.01	0.02	N.D.	0.14
Dacito	TM-281	6.17	65.62	12.43	5.85	1.33	0.43	1.48	4.86	0.09	0.51	1.06	-0.01	0.03	N.D.	0.15
Dacito	TM-282	2.16	63.97	16.18	8.21	0.41	0.33	2.44	4.53	0.09	0.03	1.43	-0.01	0.02	N.D.	0.20
Dacito	TM-283	2.52	68.59	11.47	5.96	1.64	0.70	2.59	4.92	0.11	0.32	1.02	-0.01	0.02	N.D.	0.14
Riólito	TM-284	1.17	70.80	11.84	5.42	1.41	0.41	2.68	4.68	0.06	0.30	1.05	-0.01	0.02	N.D.	0.15
Dacito	TM-285	2.38	67.71	11.41	5.94	2.34	0.95	2.99	4.64	0.13	0.32	1.02	-0.01	0.03	N.D.	0.14
Dacito	TM-286	1.65	69.34	11.38	5.88	1.99	1.13	2.56	4.39	0.12	0.37	1.02	-0.01	0.03	N.D.	0.15
Traquito	TM-287	1.87	66.53	12.94	7.47	1.44	0.41	3.08	3.81	0.18	0.45	1.19	-0.01	0.09	0.01	0.14
Traquito	TM-288	2.03	65.84	13.88	6.92	0.87	0.60	2.72	5.17	0.18	0.44	1.17	-0.01	0.01	N.D.	0.17
Riólito	TM-289	1.14	74.30	12.34	5.30	1.34	0.29	2.20	1.24	0.21	0.37	1.08	-0.01	0.01	N.D.	0.16
Dacito	TM-290	1.40	53.14	10.69	12.81	7.47	3.77	2.69	4.38	0.25	0.30	2.96	-0.01	-0.01	N.D.	0.05
Dacito	TM-291	1.36	66.23	13.07	6.86	2.52	0.86	2.87	4.36	0.17	0.28	1.18	0.02	0.04	N.D.	0.19
Traquito	TM-292	1.50	63.47	14.28	7.82	2.42	0.61	2.86	4.88	0.16	0.36	1.34	0.05	0.06	N.D.	0.19
Traquito	TM-293	2.11	64.31	13.71	7.42	2.05	0.83	2.77	4.71	0.15	0.31	1.29	0.07	0.08	N.D.	0.17
Traquito	TM-294	1.82	63.34	13.56	7.27	3.07	1.52	2.86	4.58	0.17	0.28	1.25	0.04	0.07	N.D.	0.17
Dacito	TM-296	4.94	64.06	13.47	7.68	0.36	1.04	2.09	3.85	0.09	0.26	1.25	0.03	0.03	-0.01	0.14
Dacito	TM-297	4.13	64.80	13.80	6.47	1.01	0.95	2.07	4.85	0.15	0.16	1.29	0.01	0.09	N.D.	0.18
Basalto	TM-298	1.80	48.40	13.59	14.71	9.93	4.17	2.13	1.41	0.26	0.47	2.91	0.07	0.06	N.D.	0.01

Tabela A4.1 (continuação)

Basalto	TM-307	0.74	50.25	12.01	15.71	9.43	5.22	2.32	0.75	0.25	0.52	2.19	0.02	0.08	0.06	0.02
Andesito basalto	TM-308	0.71	53.58	12.70	13.13	7.07	3.52	2.76	1.79	0.71	0.77	3.08	0.02	0.05	0.06	0.08
Dacito	TM-309	2.60	66.60	12.65	6.86	1.54	0.35	3.18	3.78	0.10	0.32	1.16	0.01	0.06	-0.01	0.13
Dacito	TM-310	2.11	66.90	12.86	7.18	1.41	0.32	3.15	3.95	0.06	0.17	1.16	0.02	0.02	-0.01	0.14
Dacito	TM-311	1.72	69.13	11.73	7.03	1.50	0.43	2.82	3.69	0.15	0.17	1.07	-0.01	0.08	-0.01	0.13
Traquito	TM-312	1.54	64.47	14.06	7.83	1.49	0.19	3.19	4.82	0.18	0.37	1.27	-0.01	0.07	-0.01	0.15
Dacito	TM-313	2.18	65.74	12.49	7.56	1.78	0.62	3.33	3.75	0.13	0.45	1.15	0.02	0.08	-0.01	0.12
Dacito	TM-314	1.71	66.32	12.99	7.45	1.52	0.47	3.13	3.94	0.19	0.48	1.19	-0.01	0.09	0.01	0.15
Dacito	TM-315	2.01	67.33	12.74	6.93	1.08	0.28	2.91	4.16	0.07	0.57	1.17	0.03	0.03	-0.01	0.13
Dacito	TM-316	1.17	66.96	12.32	7.91	1.65	0.47	3.22	3.83	0.16	0.31	1.14	-0.01	0.08	-0.01	0.13
Dacito	TM-317	0.90	67.20	12.51	7.68	1.69	0.38	3.10	4.13	0.12	0.43	1.13	0.02	0.04	-0.01	0.13

(N.D. = não determinado)

Tabela A4.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Piraju-Fartura, ÁREA 5.

Lâmina delgada	Localidade	Descrição Petrográfica	Classificação Química
TM-010	Fm. Serra Geral – diferenciação ácida		andesito
TM-011	Fm. Serra Geral – diferenciação ácida		dacito
TM-011.A	Fm. Serra Geral – diferenciação ácida		dacito
TM-012	Fm. Serra Geral – disjunção colunar em basalto (centro do derrame)		basalto
TM-013	Fm. Serra Geral – diferenciação ácida (amostra de topo)		dacito
TM-015	Dique - Fartura		basalto
TM-017	Sill		basalto
TM-049	Diabásio		andesito basáltico
TM-050	Diabásio		basalto
TM-051	Diabásio		basalto
TM-052	Diabásio		basalto
TM-053	Diabásio		andesito basáltico
TM-182	Pedreira Itapira		dacito
TM-185	Mirante da Usina Hidrelétrica de Piraju	Intermediária. Predomina feldspato na matriz, manchada por óxidos de ferro. Alguns fenocristais de feldspato aparecem bastante fraturados e alterados. Provavelmente fenocristais de piroxênio totalmente alterados. Quartzo alinha-se nas bordas das vesículas.	dacito
TM-195	Pedreira Salenco	Básica. Matriz microcristalina, com textura intergranular, formada por piroxênio, plagioclásio e opacos. Poucos fenocristais, tanto de piroxênio, como de plagioclásio, podendo aparecer aglomerados.	basalto/traquiandesito basáltico
TM-195.C(a)	Pedreira Salenco	Básica, um pouco mais grossa que TM-195, porém com a mesma composição mineralógica. Fenocristais são predominantemente de feldspato, em geral totalmente alterados.	
TM-195.C(b)	Pedreira Salenco	Básica, com a mesma composição mineralógica de TM-195.C(a). Vesículas apresentam quartzo nas bordas, estando algumas preenchidas por argila.	
TM-195.J(a)	Pedreira Salenco	Básica, com matriz criptocristalina de aspecto sujo, com piroxênios totalmente alterados. Poucos (micro)fenocristais de feldspato bastante alterados. As vesículas estão preenchidas ora por argila, ora por carbonato, tendo quartzo alinhado nas suas bordas.	

Tabela A4.2 (continuação)

TM-208	Porto de Areia ECTA (Mabraco)	Intermediária. Predomina feldspato (e quartzo) sobre piroxênio. Os fenocristais de feldspato mostram-se alterados nas microfraturas.	dacito
TM-209	Corte de estrada	Intermediária. Predomina feldspato (e quartzo) na matriz. Os piroxênios aparecem alterados e associados a minerais opacos. Fenocristais de piroxênio e feldspato aparecem ora isolados, ora formando agregados. Apatita pode aparecer isolada ou associada a fenocristais de piroxênio. Porções claras, sem forma definida (quartzo?), apresentam inclusões.	dacito
TM-210	Basalto vesicular sobre arenito Botucatu	Intermediária. Matriz criptocristalina. Fenocristais de plagioclásio aparecem quebrados, alterando-se pelas fraturas. Piroxênio pode encontrar-se isolado, totalmente alterado, ou mais fresco, formando agregados. Apatita aparece junto a opacos.	dacito
TM-211	Basalto vesicular escuro (meio do pasto)	Intermediária. Matriz de aspecto vítreo, onde se destacam cristais esqueléticos de feldspato. Microfenocristais de feldspato são abundantes. Piroxênio é menos freqüente, podendo aparecer totalmente alterado, manchados de um tom rosado. Pode formar aglomerados. Apatita aparece junto a opacos maiores.	traquito
TM-213	Basalto vesicular	Intermediária. Matriz formada por feldspato e quartzo, ambos sem formas definidas. Aglomerados de prováveis cristais de piroxênio estão totalmente alterados/oxidados. Opacos têm hábito acicular e estão oxidados. Apatita pode aparecer isolada na matriz ou entre material amorfo e oxidado. Quartzo forma glomérulos.	dacito
TM-214	Corte de estrada	Intermediária. Feldspato (e quartzo) predominam sobre piroxênio. O espaço intergranular é preenchido por material amarelado (vidro?), às mostrando cristais esqueléticos. Cristais maiores de piroxênio e feldspato podem formar aglomerados. Os fenocristais de feldspato (em geral, isolados) mostram zoneamento ou recristalização. As vesículas são ou preenchidas por carbonato, ou apresentam quartzo alinhado nas bordas.	dacito
TM-216	Corte de estrada	Intermediária. Mesma composição de TM-214, porém com mais vidro. Nestas porções aparecem cristais esqueléticos de feldspato e minerais opacos. Também ocorrem fenocristais de feldspato, agregados de piroxênio, apatita e opacos. As vesículas são escassas e apresentam quartzo marcando as bordas.	dacito
TM-217.A		Intermediária. Mesma composição de TM-216. Ocorrem agregados de fenocristais de feldspato e de piroxênio (com apatita associada). As vesículas estão preenchidas por óxidos de ferro e, mais raramente, por carbonato.	dacito
TM-217.B		Intermediária. Matriz formada por feldspato, vidro e minerais opacos. Ocorrem agregados de prováveis cristais de piroxênio totalmente alterados. As vesículas estão preenchidas por quartzo.	dacito/riólito
TM-218.A TM-218.B		Intermediária. Matriz formada por feldspato, vidro e minerais opacos. Fenocristais de feldspato e piroxênio podem ser zonados. Vesículas apresentam nas bordas crescimento de material de cor avermelhada. TM-218.B não apresenta vesículas e apatita pode estar associada aos fenocristais.	dacito

Tabela A4.2 (continuação)

TM-220	Fazenda N.S. Conceição	Matriz predominantemente vítrea. Destacam-se microfenocristais de feldspato de diversos tamanhos, ora isolados, ora formando pequenos aglomerados. Os pseudomorfos são provavelmente piroxênio totalmente alterado. Apatita ocorre associada a minerais opacos. As vesículas são milimétricas, predominantemente preenchidas por quartzo, sendo que sua granulação é mais grossa no centro da vesícula do que na borda. A rocha é cortada por veios muito finos preenchidos por quartzo.	riólito
TM-221	Próximo da represa	Intermediária. Feldspato (e quartzo) predomina sobre piroxênio. O espaço intergranular é preenchido por material amarelado (vidro?), às mostrando cristais esqueléticos. Os fenocristais de feldspato aparecem agregados e fraturados. Apatita associa-se a agregados de piroxênio. As vesículas estão parcialmente preenchidas por quartzo.	dacito/riólito
TM-257		Básica. Textura subofítica/glomeroporfírica. Matriz formada por ripas de feldspato e piroxênio. Aparecem algumas formas arredondadas preenchidas por material não identificado e cristais de feldspato com inclusões.	andesito basáltico
TM-261		Básica. Textura subofítica. A rocha é homogênea, formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e material alterado (vidro?).	andesito basáltico
TM-262		Básica. Textura subofítica, levemente porfírica (microfenocristais de feldspato), com matriz formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e material alterado (vidro?). Agregados de piroxênio e feldspato maiores são ocasionais. As vesículas estão preenchidas por material esverdeado.	basalto/andesito basáltico
TM-263		Básica. Matriz formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e contém manchas de alteração. Esparsos aglomerados de piroxênio, feldspato ou ambos, mais grossos.	basalto/andesito basáltico
TM-264		Básica. Matriz afanítica. Fenocristais de feldspato formando aglomerados com piroxênio. Pseudomorfos de provável piroxênio e pontos de alteração (verde) ocorrem esparsamente.	andesito basáltico
TM-265		Básica. Textura subofítica, levemente porfírica (microfenocristais de feldspato), com matriz formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e material alterado. Agregados de piroxênio e feldspato maiores são ocasionais.	basalto
TM-266		Básica. Granulação mais grossa que as rochas anteriores, mas de mesma composição mineralógica. Feldspato dispõe-se em arranjo seriado, com cristais maiores apresentando-se, por vezes, zonados. Mineral marrom (anfíbólio?).	andesito basáltico
TM-268		Básica. Granulação mais grossa, textura subofítica, homogênea, formada por ripas de feldspato, piroxênio e minerais opacos. Material intersticial apresenta-se alterado, destacando-se feldspatos esqueléticos.	andesito basáltico
TM-269		Intermediária. Matriz afanítica, de coloração marrom claro, destacando-se microcristais de feldspato alterados. Aparecem glóbulos (de milimétricos a centimétricos) alongados preenchidos por quartzo e argila.	dacito

Tabela A4.2 (continuação)

TM-270		Intermediária. Levemente porfírica, com fenocristais de feldspato. Predominância de feldspato na matriz, onde quartzo aparece formando glomérulos. Os piroxênios formam aglomerados ou associados com minerais opacos.	riólito
TM-271		Intermediária. A matriz é uma massa disforme, destacando-se feldspato; quartzo aparece formando aglomerados. Fenocristais estão alterados.	dacito
TM-272		Intermediária. Matriz afanítica, destacando-se ripas muito finas e fenocristais de feldspato. As vesículas não estão preenchidas, possuem forma ovalada, variando desde milimétricas a subcentimétricas.	riólito
TM-273		Intermediária. A matriz é formada predominantemente por feldspato, com quartzo entremeado. Os fenocristais de feldspato apresentam-se em vários tamanhos. Provavelmente ocorre carbonato. Esporádicos fenocristais de piroxênio, isolados ou agrupados, apresentam bordas corroídas e estão impregnados por material escuro ao longo das fraturas.	riólito
TM-274		Intermediária. Feldspato predomina na matriz; porções devitrificadas apresentam feldspato esquelético. Ocorrem fenocristais de feldspato. Porções com birrefringência amarelada contêm agulhas de provável feldspato. Vesículas aparecem esparsas, com preenchimento de material marrom.	dacito
TM-275		Intermediária. A matriz é formada predominantemente por feldspato, com porções com birrefringência amarelada, contendo agulhas de provável feldspato. Os fenocristais são de piroxênio e de feldspato, estes apresentando-se zonados e às vezes formando aglomerados.	riólito
TM-276		Intermediária. Homogênea, predominando feldspato sobre piroxênio, quartzo e opacos. Fraca alteração ao longo de fraturas dos feldspatos.	dacito
TM-278		Intermediária. A matriz é formada por vidro e feldspato. Feldspato também aparece como microfenocristais. Aglomerados de pseudomorfos de provável piroxênio estão totalmente alterados. As vesículas não estão preenchidas.	
TM-279		Intermediária. Feldspato predomina na matriz, que contém piroxênio e material intersticial. Levemente porfírica (fenocristais de feldspato). Apatita associa-se a piroxênio. Quartzo forma glomérulos.	riólito
TM-280		Intermediária. Predomina material de aspecto vítreo, de coloração marrom claro. Esparsos fenocristais de feldspato e piroxênio isolados.	dacito
TM-282		Intermediária. Vidro e feldspato apresentam-se praticamente na mesma proporção. Piroxênio aparece isolado ou formando aglomerados com feldspato. Esparsas vesículas não preenchidas.	dacito
TM-283		Intermediária. Aspecto muito sujo, sendo que matriz é formada por vidro e feldspato alterado. Fenocristais de feldspato alterados ocorrem em menor proporção (10%).	dacito

Tabela A4.2 (continuação)

TM-284		Intermediária. A matriz é formada por material de coloração marrom e feldspato. Piroxênio e fenocristais de feldspato aparecem isolados. Quartzo parece conter agulhas muito finas de provável feldspato.	riólito
TM-285		Intermediária. A seção apresenta fraturas preenchidas por material de oxidação. A matriz é formada por material de coloração marrom e feldspato. Ocorrem fenocristais de feldspato. Piroxênio aparece esparsamente, marcado por oxidação, às vezes com apatita associada. As vesículas apresentam quartzo alinhado nas bordas, podendo estar totalmente preenchidas por ele.	dacito
TM-286		Intermediária. Aspecto muito sujo, sendo que matriz é formada predominantemente por vidro e feldspato. Piroxênio aparece formando aglomerados. As vesículas estão preenchidas por quartzo e outros materiais.	dacito
TM-288		Intermediária. Relativamente homogênea, predominando feldspato sobre material de coloração marrom. Quartzo é raro, contendo inclusões. Vesículas aparecem esparsamente.	traquito
TM-289	Dique de Fatura	Básica. Textura subofítica. Homogênea, granulação mais grossa (diabásio), formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e material intersticial.	
TM-291		Intermediária. Matriz formada predominantemente por material de coloração marrom e feldspato. Ocorrem fenocristais de feldspato e piroxênio, que podem formar aglomerados. As vesículas possuem bordas marcadas por material de oxidação.	dacito
TM-292		Intermediária. Na matriz, material de aspecto vítreo, destacando-se micrólitos de feldspato. A seção está cortada por veios muito finos preenchidos por quartzo (?). Aspecto muito alterado.	traquito
TM-293		Intermediária. Matriz formada predominantemente por material de coloração marrom e feldspato. Ocorrem fenocristais de feldspato e piroxênio esparsamente. Cavidades não preenchidas são marcadas por material de oxidação.	traquito
TM-294		Intermediária. Matriz formada predominantemente por material de coloração marrom e feldspato. Ocorrem fenocristais de feldspato, aglomerados de piroxênio e provável apatita.	traquito
TM-297		Intermediária. A matriz está alterada. Quartzo aparece formando aglomerados. Fenocristais de feldspato e piroxênio estão muito alterado.	Dacito
TM-298	Dique	Básica. Textura subofítica/interstital. A rocha é homogênea, formada por ripas de feldspato, piroxênio, minerais opacos e vidro.	Basalto

Figura A4-1: Difractogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo I

Figura A4-2: Difratomogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo II

Figura A4-3: Difractogramas de raios X das rochas basálticas do Grupo III

Figura A4.4: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferenciais (ATD, em vermelho) de rochas basálticas estudadas na ÁREA 5: (A) amostra TM-183; (B) amostra TM-212 e (C) amostra TM-219.

Figura A4-5: Difractogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I

Figura A4-5 (continuação): Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo I.

Figura A4-6: Difratogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo II.

Figura A4-7: Difrátogramas de raios X das rochas basálticas (natural); pastas de rocha basáltica e hidróxido de cálcio após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA. Amostras do Grupo III.

ANEXO 5 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 6.

Tabela A5.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 6.

Tabela A5.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na ÁREA 6, região de Assis/SP.

Figura A5.1: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-199.

Figura A5.2: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-200.

Tabela A5.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 6. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

CLASSIFI- CAÇÃO QUÍMICA	AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
basalto	TM-197.A	3.01	48.64	12.73	14.37	8.82	5.94	1.99	1.37	0.28	0.29	2.34	0.13	-0.01	0.06	0.04
Andesito basáltico	TM-197.B	4.02	52.39	11.56	13.19	6.25	5.24	1.14	2.46	0.19	0.37	2.28	0.82	-0.01	0.07	0.04
Basalto	TM-198	3.7	49.02	11.52	14.65	7.36	5.54	2.47	2.14	0.21	0.23	2.29	0.79	-0.01	0.05	0.04
Basalto	TM-199	3.93	49.25	12.33	14.02	8.59	4.77	2.14	1.61	0.26	0.35	2.35	0.27	-0.01	0.08	0.05
Basalto	TM-200	5.07	47.04	12.4	14.52	9.88	4.67	2.11	1.38	0.24	0.17	2.17	0.22	-0.01	0.09	0.04

Tabela A5.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na ÁREA 6, região de Assis/SP.

Lâmina delgada	Localidade	Descrição petrográfica.	Classificação química
TM-197.a	Pedreira N.S. Aparecida	Básica. Microcristalina, de aspecto muito sujo	Basalto/andesito basáltico
TM-197.b	Pedreira N.S. Aparecida	Básica. Matriz com aspecto muito sujo, mas destacam-se ripas de plagioclásio. As vesículas são abundantes, de dimensões centimétricas e subcentimétricas, e estão totalmente preenchidas por quartzo e zeólita.	andesito basáltico
TM-198	Pedreira WS	Básica. Matriz cristalina, formada por plagioclásio, piroxênio e minerais opacos. Os microfenocristais de feldspato são escassos, alguns apresentando zoneamento. Localmente pode ser visto anfibólio marrom, às vezes alterando-se para clorita.	basalto
TM-198.C-(a) TM-198.C-(c)	Pedreira WS	Básica. Matriz formada por plagioclásio, piroxênio, mineral avermelhado e opacos. Os espaços intergranulares estão preenchidos por material escuro (preto). As vesículas estão preenchidas por zeólitas e quartzo (amígdalas), com número crescente em determinado sentido. TM-198.C-(c) apresenta-se cortada por veios muito finos preenchidos por quartzo, que podem interligar as amígdalas.	
TM-198.C-(b)	Pedreira WS	Básica. Matriz formada por plagioclásio, piroxênios, mineral vermelho e opacos. Boa parte dos espaços intergranulares está preenchida por material escuro (preto). Aglomerados de cristais maiores de feldspato e piroxênio. As vesículas não estão preenchidas.

Figura A5.1: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-199.

Figura A5.2: Curvas termogravimétricas (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de rocha dacítica estudada na ÁREA 6: amostra TM-200.

ANEXO 6 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 7.

Tabela A6.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 7.

Tabela A6.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Pederneiras/SP, ÁREA 7.

Tabela A6.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da ÁREA 7. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	Nº DA AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
Basalto	TM-233-B	3.28	48.79	12.76	13.34	8.37	4.72	1.85	1.32	0.2	0.73	3.51	1.01	-0.01	0.07	0.07
Basalto	TM-233-T	2.45	50.39	12.28	14.55	7.69	3.93	2.52	1.55	0.24	0.67	3.43	0.18	-0.01	0.06	0.07
Basalto	TM-234	2.41	50.25	12.12	14.46	7.64	3.83	2.32	1.81	0.23	0.69	3.54	0.6	-0.01	0.05	0.08
Basalto	TM-236	7.19	48.47	10.87	11.89	8.38	6.19	1.43	2.02	0.16	0.15	2.5	0.71	-0.01	0.02	0.03
Traquibasalto	TM-237	6.89	46.44	10.99	12.41	10.42	3.21	1.76	3.68	0.24	0.55	2.94	0.36	-0.01	0.05	0.07
Basalto/traquibasalto	TM-238	5.44	51.38	10.16	11.38	9.50	3.30	1.97	3.06	0.15	0.29	2.80	0.45	-0.01	0.04	0.06

Tabela A6.2 : Resultados sucintos de análises petrográficas de amostras coletadas na região de Pederneiras/SP, ÁREA 7.

Lâmina delgada	Localidade	Descrição Petrográfica	Classificação Química
TM-233.B	Serra de Brotas	Básica. Ripas de feldspato e cristais de piroxênio dispostos em textura subofítica/intergranular. Os minerais opacos aparecem disseminados. Mineral marrom (anfíbólio?) é relativamente abundante. Ocorrem fenocristais de feldspato e piroxênio. Vesículas (?) e espaços intersticiais estão preenchidos por material de oxidação (marrom).	Basalto
TM-234	Pedreira Jaú	Básica. Ripas de feldspato e piroxênio dispõem-se em textura intergranular/subofítica. Não apresenta vesículas.	Basalto
TM-236	Rondon-Lençóis Paulista	Intermediária. Matriz muito fina de aspecto sujo, formada por ripas esqueléticas de feldspato e vidro. Ocorrem alguns fenocristais de feldspato alterados. As vesículas são abundantes e estão preenchidas por carbonato, zeólita, quartzo, material de alteração e minerais opacos. Várias estão interligadas.	Basalto
TM-237	Pedreira Fortaleza (Pederneiras)	Básica. A matriz é formada por feldspato ripiforme, piroxênio e vidro (de aspecto sujo). Ocorre mineral vermelho. Piroxênio pode formar aglomerados. As vesículas estão preenchidas por carbonato, tendo quartzo e zeólita nas bordas.	Traquibasalto
TM-238	Pederneiras	Intermediária. Matriz muito fina de aspecto sujo, formada por ripas esqueléticas de feldspato e vidro, também apresenta carbonato. Mineral marrom é provavelmente anfíbólio. As vesículas estão preenchidas predominantemente por carbonato e quartzo.	Basalto/traquibasalto

ANEXO 7 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 8.

Tabela A7.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da Áreas 8.

Tabela A7.2 : Resultado sucinto da análise petrográfica da amostra TM-241 coletada na região de Araraquara/SP, ÁREA 8.

Figura A7.1: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de basalto estudado na ÁREA 8: amostra TM-240.

Tabela A7.1: Componentes químicos de amostras representativas das rochas basálticas da Áreas 8. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA	Nº DA AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
Basalto	TM-240	5.49	51.98	10.98	11.77	6.27	5.7	1.75	2.2	0.17	0.54	2.59	0.46	-0.01	0.05	0.04
Basalto	TM-241	1.51	50.18	12.03	14.3	8.22	4.46	2.42	1.72	0.21	0.73	3.34	0.77	-0.01	0.07	0.05

Tabela A7.2 : Resultado sucinto de análise petrográfica da amostra TM-241 coletada na região de Araraquara/SP, ÁREA 8.

Lâmina delgada	Localidade	Descrição Petrográfica	Classificação Química
TM-241	Pedreira Tatiana (Jaboticabal-Barrinha)	Básica. Ripas de feldspato e piroxênio dispõem-se em textura intergranular/subofítica. Não apresenta vesículas.	basalto

Figura A7.1: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de basalto estudado na ÁREA 8: amostra TM-240.

ANEXO 8 – RESULTADOS OBTIDOS EM AMOSTRAS COLETADAS NA ÁREA 9.

Tabela A8.1 : Componentes químicos de amostras representativas dos arenitos.

Tabela A8.2 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos em contato com rochas vulcânicas na ÁREA 9.

Tabela A8.3 : Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em sedimentos da ÁREA 9.

Tabela A8.4 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos lamíticos da ÁREA 9.

Figura A8.1 : Difractogramas de raios X de arenito opalino (amostra TM-100) e arenito silicificado (amostra TM-101) naturais; pastas de hidróxido de cálcio e arenitos após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA.

Figura A8.2 : Difractograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-107, base do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.

Figura A8-2: Difractograma de Raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-107, base do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.

Figura A 8.3: Difractograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-108, topo do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.

Figura A8.4: Difractograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-124), estrada vicinal Analândia – São Carlos, Fazenda Santo Gorguio

Figura A8.5: Difractograma de raios X de argila laterizada (amostra TM-127X) estrada vicinal Analândia – São Carlos, km 15

Figura A8.6: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de argilito da Formação Itaqueri, estudado na ÁREA 9: amostra TM-108.

Figura A8.7: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de argila laterizada estudada na ÁREA 5: (A) amostra TM-127x.

Tabela A8.1 : Componentes químicos de amostras representativas dos arenitos. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

AMOSTRAS	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Sn O ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
TM-100	4.61	78.45	9.94	4.32	0.21	0.07	0.04	1.79	0.02	0.09	0.27	0.17	-0.01	-0.01	0.05
TM-101	1.31	96.57	0.75	0.82	0.14	-0.01	-0.01	0.18	0.06	0.11	0.03	0.07	-0.01	-0.01	-0.01
TM-102	0.88	96.41	0.64	1.76	0.12	0.02	-0.01	0.13	0.02	-0.01	0.04	0.02	-0.01	-0.01	-0.01
TM-103	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Observação: n.a. = não analisado.

Figura A8.1 : Difrátogramas de raios X de arenito opalino (amostra TM-100) e arenito silicificado (amostra TM-101) naturais; pastas de hidróxido de cálcio e arenitos após 7 dias (curada) e hidróxido de cálcio PA.

Tabela A8.2 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos em contato com rochas vulcânicas na ÁREA 9. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

REGIÃO AMOSTRADA	UNIDADE AMOSTRADA	Nº DA AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
Cordeirópolis	Fm. Corumbataí	TM-44	5.38	68.24	16.85	3.61	0.29	1.3	0.4	3.2	0.02	-0.01	0.67	-0.01	-0.01	-0.01	0.06
Cordeirópolis	Fm. Corumbataí	TM-45	8.29	62.68	19.44	3.69	0.15	0.78	0.04	1.43	0.03	0.3	3	0.01	-0.01	0.06	0.1
Cordeirópolis	Fm. Corumbataí	TM-47	6.35	63.76	17.22	7.61	0.11	1.07	0.08	2.6	0.02	0.15	0.97	-0.01	-0.01	0.03	0.06
Cordeirópolis	Fm. Corumbataí	TM-48	7.18	57.76	15.5	13.94	0.16	0.77	0.04	1.41	0.05	0.27	2.79	-0.01	-0.01	0.06	0.09
Limeira	Fm. Assistência	TM-54	6.82	67.18	16.37	5.42	0.22	0.97	0.05	2.03	-0.01	0.14	0.74	-0.01	0.01	0.03	0.05
Limeira	Fm. Assistência	TM-55	2.23	70.19	13.95	4.48	0.65	1.55	3.41	2.79	0.03	0.11	0.57	-0.01	-0.01	0.02	0.05
Limeira	Fm. Assistência	TM-57	1.6	77.04	10.5	3.18	0.41	1.36	2.63	2.7	0.02	-0.01	0.49	0.03	-0.01	0.02	0.05
Limeira	Fm. Assistência	TM-60	9.32	60.58	5.99	8.01	1.16	12.65	0.71	1.07	0.02	0.18	0.28	-0.01	-0.01	0.02	0.03
Rio Claro	Fm. Corumbataí	TM-62	6.66	71.65	13.63	3.55	0.39	1.48	0.09	1.82	0.05	0.05	0.59	-0.01	-0.01	-0.01	0.05
Rio Claro	Fm. Corumbataí	TM-63	4.2	70.2	14.08	3.98	0.55	1.84	1.25	3.03	0.06	0.18	0.59	-0.01	-0.01	0.01	0.05
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-64	4.13	69.97	11.8	4.22	0.92	3.19	0.88	4.3	0.05	0.01	0.47	0.01	-0.01	0.02	0.03
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-65	27.0	32.33	4.29	1.21	32.22	0.82	0.67	0.96	0.17	0.13	0.18	-0.01	-0.01	-0.01	0.02
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-66	3.94	80.49	9.34	2.71	0.3	0.81	0.43	1.4	0.02	0.05	0.48	-0.01	-0.01	-0.01	0.07
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-67	7.78	68.41	12.83	4.23	0.49	1.62	0.44	3.4	0.01	0.18	0.55	-0.01	-0.01	0.03	0.05
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-68	6.85	70.76	12.97	4.65	0.25	1.79	0.05	1.77	0.31	-0.01	0.55	-0.01	-0.01	0.03	0.05
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-69	6.5	71.25	14.87	4.23	0.1	0.96	0.04	1.25	0.04	0.11	0.59	-0.01	-0.01	0.02	0.06
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-71	4.35	83.79	9.39	1.76	0.05	0.21	-0.01	0.04	-0.01	0.06	0.32	-0.01	-0.01	-0.01	0.09
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-72	5.67	77.53	13.5	1.63	0.11	0.55	0.01	0.23	-0.01	0.06	0.64	-0.01	-0.01	0.01	0.08
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-73	6.19	77.21	11.18	3.16	0.06	0.48	0.04	1.04	-0.01	0.07	0.54	-0.01	-0.01	-0.01	0.07
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-74	4.3	82.04	9.65	1.92	0.16	0.35	0.04	1	0.02	0.09	0.38	-0.01	-0.01	-0.01	0.08
Ipeúna	Fm. Corumbataí	TM-75	7.31	67.94	13.61	5.1	0.36	2.31	0.07	2.52	0.02	0.14	0.57	-0.01	-0.01	0.03	0.05
Ipeúna	Fm. Pirambóia	TM-76	5.08	77.19	12.71	2.68	0.15	0.33	0.03	0.69	0.01	0.07	0.96	0.02	-0.01	0.01	0.09
Ipeúna	Fm. Tatui	TM-81	9.3	57.36	21.53	8.64	0.15	0.66	0.07	1.05	0.09	0.18	0.82	0.04	0.01	0.04	0.06
Ipeúna	Fm. Tatui	TM-82	6.43	70.86	13.82	6.7	0.11	0.38	0.04	0.52	0.2	0.19	0.63	0.02	-0.01	-0.01	0.11
Ipeúna	Fm. Tatui	TM-87	4.06	83.32	8.4	2.4	0.06	0.38	0.03	0.63	0.02	0.19	0.45	0.03	-0.01	-0.01	0.07
Ipeúna	Fm. Tatui	TM-88	1.71	78.91	10.81	1.85	0.39	0.28	4.47	1.13	0.09	0.03	0.27	0.03	-0.01	-0.01	0.07
Charqueada	Fm. Taquaral	TM-89	5.89	74.46	12.33	4.21	0.19	0.61	0.05	1.64	0.01	0.05	0.52	0.03	-0.01	-0.01	0.03
Charqueada	Fm. Taquaral	TM-89-A	11.2	45.78	16.42	18.43	0.48	1.92	0.18	1.04	0.28	0.25	3.85	-0.01	-0.01	0.1	0.08
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-157	0.07	95.1	1.73	1.97	0.05	0.1	0.08	0.22	0.02	-0.01	0.13	0.56	-0.01	-0.01	0.01
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-158	7.26	65.42	18.79	4.93	0.35	1.13	0.07	0.87	0.02	0.16	0.52	0.42	-0.01	0.01	0.07
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-160	3.52	78.75	12.44	1.5	0.15	0.96	0.09	1.14	0.02	0.08	0.47	0.84	-0.01	-0.01	0.06
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-161	2.52	82.8	7.11	4.61	0.12	0.71	0.12	0.72	0.07	0.13	0.26	0.82	-0.01	-0.01	0.03
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-164	5.01	71.3	14.18	5.32	0.34	1.29	0.11	1.26	0.15	-0.01	0.41	0.6	-0.01	-0.01	0.05
Anhembi	Fm. Corumbataí	TM-165	3.37	76.91	11.99	2.61	0.33	1.5	0.15	1.64	0.02	0.11	0.49	0.83	-0.01	-0.01	0.07

Tabela A8.3 : Resultados das análises mineralógicas por difração de raios X em sedimentos da ÁREA 9.

UNIDADE AMOSTRADA	Nº AMOSTRA	DESCRIÇÃO SUCINTA	MINERALOGIA
Fm. Corumbataí	TM-44	argilito (porcelanito)	Quar; feld; musc; caul
Fm. Corumbataí	TM-45	Argilitos-porcelanitos alterados-cinza-chumbo	Quar; caul; musc
Fm. Corumbataí	TM-47	Argilitos de alteração sili/Corumbataí	Quar; musc; caul
Fm. Corumbataí	TM-48	argilito alterado pelo dique	Quar; caul; musc
Fm. Assistência	TM-54	argila na interface solo/argilito+silito	Quar; musc; caul
Fm. Assistência	TM-55	argilito/silitos silicificados	Quart; feld; musc
Fm. Assistência	TM-56	argilito roxo/indústria cerâmica	Halo; verm
Fm. Assistência	TM-60	Folhelhos negros	Quar; feld; caul; mont; sepi
Fm. Corumbataí	TM-67	silitos em contato com dique	Quart; feld; nont
Fm. Corumbataí	TM-71	argilito amarelo/branco (xenólito no dique)	Quart; musc; caul
Fm. Corumbataí	TM-72	argilito cinza/amarelo em contato c/dique	Quart; musc; caul
Fm. Corumbataí	TM-73	argilito+silito amarelo afastado do dique	quart; feld; caul; musc
Fm. Corumbataí	TM-74	silitos afastado do dique	Quart; musc; feld; caul
Fm. Corumbataí	TM-75	silito esverdeado, produto de metamorfismo	Quart; musc; caul; mont; nont; ill
Fm. Corumbataí	TM-76	argilito do contato com arenito Pirambóia	Quart; caul; musc
Fm. Tatuí	TM-81	argilito	Quart; caul; musc; goet
Fm. Tatuí	TM-82	silito + areia fina	Quart; musc; caul
Fm. Tatuí	TM-87	areno-argilosos	n.a.
Fm. Tatuí	TM-88	silitos silicificados	n.a.
Fm. Taquaral	TM-89	silitos F. Taquaral, próximo intrusão	n.a.
Fm. Taquaral	TM-89-A	argila esverdeada de basalto	n.a.
Fm. Serra Alta	TM-89-B	Argilitos cinza-chumbo	n.a.

Observação: (n.a. = não analisado; quar = quartzo; biot = biotita; musc = muscovita; caul = caulinita; hall = halloisita; sepi = sepiolita; ill = illita; feld = feldspatos; mont = montmorilonita; verm = vermiculita; nont = nontronita.

Tabela A8.4 : Componentes químicos de amostras representativas dos sedimentos lamíticos da ÁREA 9. Maiores constituintes expressos em % por método de absorção atômica. PPC= perda ao fogo em %.

REGIÃO DA AMOSTRA	Nº DA AMOSTRA	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	V ₂ O ₅	ZrO ₂
ITAQUERI	TM-205-B	7.43	65.98	21.75	1.36	0.65	0.16	0.03	0.34	-0.01	-0.01	1.62	0.6	-0.01	0.01	0.11
	TM-205-Sp	11.58	51.82	31.65	1.79	0.04	0.08	0.01	0.16	-0.01	0.19	1.86	0.69	-0.01	0.03	0.12
	TM-205-M	10.06	54.58	28.81	1.39	0.82	0.18	0.01	0.35	-0.01	0.1	1.78	1.83	-0.01	-0.01	0.11
	TM-107	10.38	54.45	30.3	1.55	0.07	0.15	0.03	1.04	-0.01	0.24	1.63	0.02	0.01	0.03	0.12
ANALÂNDIA	TM-108	12.75	46.76	36.18	1.38	0.13	0.13	0.01	0.76	-0.01	-0.01	1.76	0.02	-0.01	0.02	0.13
	TM-124	13.01	45.28	35.2	2.98	0.15	0.33	0.08	0.78	0.01	0.05	1.88	0.02	-0.01	0.04	0.2
	TM-126X	13.07	46.07	33.67	3.48	0.11	0.31	0.07	0.78	0.02	0.35	1.83	0.06	-0.01	0.03	0.16
	TM-127X	8.55	63.96	24.02	1.77	0.1	0.03	0.01	0.22	-0.01	-0.01	1.24	0.02	-0.01	0.01	0.1

Figura A8-2: Difratoograma de Raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-107, base do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.

Figura A 8.3: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-108, topo do afloramento), coletado na Serra do Itaqueri, ÁREA 9.

Figura A8.4: Difratoograma de raios X de argilito da Formação Itaqueri (amostra TM-124), estrada vicinal Analândia – São Carlos, Fazenda Santo Gorguio

Figura A8.5: Difratoograma de raios X de argila laterizada (amostra TM-127X) estrada vicinal Analândia – São Carlos, km 15

Figura A8.6: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de argilito da Formação Itaqueri, estudado na ÁREA 9: amostra TM-108.

Figura A8.7: Curvas termogravimétrica (ATG, em azul) e termodiferencial (ATD, em vermelho) de argila laterizada estudada na ÁREA 5: (A) amostra TM-127x.