UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IMPACTO DA PROSPECÇÃO GEOLÓGICA NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND NA FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN, VOTORANTIM, SP

HÉLIO SHIMADA

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. João Carlos Biondi
	Dr. Valdir Aparecido Zampieri
	Prof. Dr. Yushiro Kihara

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005854

**IMPACTO DA PROSPECÇÃO GEOLÓGICA NA
OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CIMENTO
PORTLAND NA FÁBRICA DE CIMENTO
VOTORAN, VOTORANTIM, SP**

Hélio Shimada

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1999

Dedico este trabalho à memória do meu pai, Hideaki Shimada que, apesar da sua pouca escolaridade, era um estudioso que valorizava muito a cultura e soube, muito sabiamente, transmitir-me o gosto pela Ciência e, à minha mãe, Yasuko Shimada, que foi capaz de imensos sacrifícios para a formação dos filhos.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento do estudo aqui apresentado não teria sido possível sem a valiosa ajuda de pessoas e instituições, às quais expresso a minha mais sincera gratidão.

Agradeço inicialmente ao Instituto Geológico, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela oportunidade de realizar o aperfeiçoamento, ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pela acolhida no curso de pós-graduação e à S. A. Indústrias Votorantim pela autorização da pesquisa e pelo apoio técnico e material durante o desenvolvimento dos trabalhos.

Agradeço especialmente aos docentes do IG-USP, Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, pela orientação durante o desenvolvimento da maior parte do estudo; ao Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt pela orientação inicial e pelas relevantes contribuições, e ao Prof. Dr. Yushiro Kihara, também da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, pelas valiosa colaboração na avaliação dos resultados do estudo.

Agradecimentos também especiais aos seguintes funcionários da Fábrica de Cimento Votoran, que me dedicaram amizade e não mediram esforços na ajuda ao desenvolvimento dos estudos: Sr. Antonio Alacir Noronha Moreira, Gerente da Divisão de Mineração, e Geólogos Roberto Tadanobu Nakamura, Marcos de Araújo Pinto e Alexandre Vergani, pela enorme colaboração durante todas as etapas do estudo; Engenheiro de Minas Cláudio Silveira Faria, pela ajuda nas simulações computacionais; Engenheiro Químico Fábio Augusto Silva, pelos esclarecimentos e frutíferas discussões a respeito do processo de fabricação do cimento; Airton Donizetti Simão, pela valiosa ajuda nos trabalhos de campo; Sakae Kawamoto, Antônio Carlos Gomes e Roberto Uillians Lopes dos Santos, pelos levantamentos topográficos; Ayrton Alves dos Santos, pelo apoio logístico na mina Pastinho, e Técnica Química Janete Rosa, pela grande ajuda nas questões laboratoriais.

Aos seguintes docentes do IG-USP pelas contribuições durante os estudos: Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant' Agostino, na caracterização dos materiais estudados; Profa. Dra. Sônia Maria Barros de Oliveira, nas discussões e esclarecimentos a respeito do processo de lateritização; Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha, no esclarecimento de aspectos estruturais relacionados às minas

estudadas, e Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini, na identificação de minerais pesados.

Aos seguintes pesquisadores do Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica - USP pela colaboração durante os estudos: Prof. Dr. Henrique Kahn, na caracterização dos materiais estudados; Química Dra. Giuliana Ratti nas questões analíticas, Geóloga Gabriela Fronzaglia na execução e na interpretação de difratogramas de raios-X, Geóloga Sandra Garcia Gabas na microscopia eletrônica de varredura, e graduanda de Geologia Izabel A. A. Santos, nas análises granulométricas instrumentais.

Aos seguintes funcionários do IG-USP, pela valiosa colaboração em diversas etapas dos estudos: Geóloga M.Sc. Rita Parisi Conde e Márcia Cristina da Ponte, da Seção de Informática; Físico M.Sc. Flávio Machado de Souza Carvalho, do Laboratório de Difração de Raios-X; Engenheiro Metalurgista Isaac Jamil Sayeg, do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura; Elaine Aparecida da Silva Sinfrônio, do Laboratório de Sedimentologia, e Silvio Luiz Pereira, do Laboratório de Preparação de Amostras.

À Geóloga M.Sc. Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, pela coloração e descrição das lâminas delgadas de rochas carbonáticas.

Aos docentes do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Campus de Rio Claro: Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira, Prof. Dr. Peter Christian Hackspacher, Prof. Dr. Antônio Saad, Prof. Dr. José Alexandre de Jesus Perinotto e Prof. Dr. Antônio Misson Godoy, pelos esclarecimentos e discussões a respeito da geologia da área de estudo.

Aos colegas e amigos do Instituto Geológico, Geógrafa Dra. Luci Hidalgo Nunes, pela revisão do *abstract*; Geólogo M.Sc. José Maria de Azevedo Sobrinho, pela ajuda na descrição de lâminas petrográficas e de minerais pesados; Geóloga M.Sc. Sônia Aparecida Abissi Nogueira, Geólogo Dr. Tarcísio José Montanheiro, Geólogos M.Sc. Antonio Luiz Teixeira, Francisco de Assis Negri e Silvio Takashi Hiruma pelas contribuições e pelo apoio constante durante os estudos; Geógrafo Dr. José Antonio Ferrari e Geóloga M.Sc. Márcia Maria Nogueira Pressinotti pela ajuda na revisão

bibliográfica, e Geólogo M.Sc. Paulo César Fernandes da Silva, pelas contribuições e discussões sobre a geologia da área de estudo.

Aos então graduandos de Geologia Carlos Alberto da Silva, Carlos César de Araújo e Tati de Almeida, pela grande ajuda nos trabalhos de campo.

À Karin Eiko Camilo e à Raquel Negrini Siqueira, estagiárias do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IG-USP, pela ajuda na preparação das amostras e na operação do equipamento.

Às Sras. Ana Paula Cabanal Pentagna e Magali Poli Fernandes Rizzo, da Secretaria de Pós-Graduação do IG-USP; Denise Cristina Manegon Cristovam e Luzia Sônia Candeo e ao Sr. João Victor Maschi, da Secretaria do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, pelo apoio administrativo durante os estudos.

À Maristela Prestes Severino, da Biblioteca do IG-USP, pela revisão das referências bibliográficas.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa Científica e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior, pela concessão das bolsas de pós-graduação.

Finalizando, peço desculpas pelas eventuais omissões e agradeço imensamente a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do estudo.

SUMÁRIO

	Página
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DOS QUADROS	xiv
LISTA DOS ANEXOS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 LOCALIZAÇÃO E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	3
1.1.1 Localização	3
1.1.2 Geomorfologia	5
1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA	6
1.3 OBJETIVOS	7
1.4 SÍNTESE DA METODOLOGIA	8
CAPÍTULO 2 - O CIMENTO PORTLAND	9
2.1 BREVE HISTÓRICO	9
2.2 CIMENTO NO BRASIL E NO MUNDO	13
2.3 A FABRICAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND	16
2.3.1 As matérias-primas	16
2.3.2 A farinha de clínquer	19
2.3.3 Componentes menores da farinha	21
2.3.4 O clínquer Portland	22
2.4 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND FABRICADOS NO BRASIL	26
CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA REGIONAL	27
3.1 LITOLOGIAS	29
3.2 ESTRATIGRAFIA	31

	Página
3.3 METAMORFISMO	33
3.4 ESTRUTURAS	34
3.5 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	35
CAPÍTULO 4 - A ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DAS ROCHAS	37
4.1 CONCEITOS GERAIS	37
4.1.1 As soluções aquosas superficiais e suas ações intempéricas	37
4.1.2 Transformação e neoformação de minerais no perfil de intemperismo	39
4.1.3 Comportamento do ferro e do alumínio no intemperismo	40
4.1.4 Dissolução da sílica	42
4.2 INTEMPERISMO EM CONDIÇÕES TROPICAIS - LATERITIZAÇÃO	43
4.2.1 Definição e classificação das lateritas	43
4.2.2 Mecanismo de formação das lateritas	44
4.2.3 Perfis lateríticos	46
4.2.4 Influência do clima e do tempo de exposição na lateritização	49
4.2.5 Importância econômica das lateritas	51
4.2.6 Lateritas no Brasil	51
CAPÍTULO 5 - MATERIAIS E MÉTODOS	55
5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	55
5.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	55
5.3 DEFINIÇÃO DO MODELO GEOLÓGICO E DOS CRITÉRIOS DE PROSPECÇÃO	56
5.3.1 Definição do modelo geológico	56
5.3.2 Estabelecimento de critérios prospectivos e seleção de prospectos	58
5.4 PLANEJAMENTO DOS TRABALHOS DE CAMPO	59
5.5 PREPARAÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAFICAS	61
5.5.1 Bases cartográficas	61
5.5.2 Bases aerofotográficas	62

Página

5.6 AMOSTRAGEM	63
5.6.1 Amostragem de solo e de rocha alterada (amostragem de superfície)	63
5.6.2 Amostragem de rocha nas minas	63
5.6.3 Amostragem de subsuperfície	64
5.6.4 Outros tipos de amostragem	65
5.7 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	66
5.7.1 Análise química	66
5.7.2 Análise petrográfica e mineralógica	66
5.7.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	67
5.7.4 Análises físicas	68
5.7.5 Determinação aproximada do teor de sílica livre	69
5.8 PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL DE DADOS	69
5.8.1 Cartografia digital	69
5.8.2 Cálculo preliminar de reserva mineral	70
5.8.3 Diagramas triangulares	70
5.8.4 Simulações computacionais da composição da farinha	71
5.9 TESTE DE PRODUÇÃO DO CLÍNQUER PORTLAND	74
CAPÍTULO 6 - AS MINAS PASTINHO, DO LAGO E BALTAR SUBTERRÂNEA	75
6.1 MINA PASTINHO	75
6.1.1 Análise química de amostras de rocha	75
6.1.2 Análise petrográfica	85
6.3 MINA BALTAR SUBTERRÂNEA	85
6.4 MINA DO LAGO	88
CAPÍTULO 7 - PROSPECÇÃO	90
7.1 PROSPECÇÃO ESTRATÉGICA: RECONHECIMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM PRELIMINAR	90
7.1.1 Prospecto 1 - Metabásica de Alumínio	91
7.1.2 Prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	96
7.1.3 Prospecto 3 - Cobertura sedimentar avermelhada	101

	Página
7.1.4 Prospecto 4 - Sienito de Piedade	109
7.2 PROSPECÇÃO TÁTICA	112
7.2.1 Sondagem	112
7.2.2 Caracterização dos materiais amostrados	119
7.2.3 Identificação de alvos para detalhamento - cálculo preliminar de reservas	127
CAPÍTULO 8 - TESTES DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER	130
8.1 LAVRA EXPERIMENTAL	130
8.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DA COMPOSIÇÃO DA FARINHA	133
8.3 TESTES DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER	133
CAPÍTULO 9 - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	139
9.1 AVALIAÇÃO TÉCNICA	139
9.1.1 Vida útil da reserva de laterita	139
9.1.2 Resultados dos testes de produção de clínquer	139
9.1.3 Moabilidade da farinha e do clínquer	149
9.1.4 Consumo de metadolomito de alto cálcio da mina Pastinho e da cálcio-silicatada xistosa da mina Baltar subterrânea	151
9.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA	152
CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
ANEXOS	168

LISTA DAS FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Localização da área de estudo	4
Figura 2.1	Forno de cimento de Aspdin, em Northfleet, Kent, Inglaterra, fotografado por M. A. Swayze em 1938	11
Figura 2.2	Evolução da produção e da importação de cimento no Brasil (1953-1997)	14
Figura 2.3	Evolução do consumo aparente <i>per capita</i> de cimento no Brasil (1953-1997)	14
Figura 2.4	Posições relativas dos 10 maiores produtores mundiais de cimento	15
Figura 2.5	Consumo <i>per capita</i> de cimento em alguns dos países desenvolvidos	15
Figura 2.6	Fluxograma ilustrado da fabricação do cimento Portland na FC V -1	17
Figura 2.7	Ilustrações fotográficas das etapas de fabricação do cimento	18
Figura 2.8	Seqüência de reações que ocorrem nas zonas de um forno de via seca (modificado de Wolter 1985)	23
Figura 2.9	Intervalos de temperatura de estabilidade dos diferentes compostos no forno	23
Figura 3.1	Mapa geológico regional	28
Figura 4.1	Variação da natureza dos minerais neoformados em função das condições climáticas e hídricas	41
Figura 4.2	Solubilidade da sílica amorfa, do quartzo, do ferro e do alumínio em função do pH	41
Figura 4.3	Distribuição global do fenômeno da lateritização	45
Figura 4.4	Diagrama triangular para a classificação de lateritas	45
Figura 4.5	Perfil esquemático de alteração das rochas em clima tropical	48

	Lista das Figuras (continuação)	Página
Figura 4.6	Estrutura micronodular da laterita, feita da assembléia de hematita, caulinita e quartzo, porosa e caracterizada pela drenagem rápida.	48
Figura 5.1	Distribuição espacial da pluviosidade média no período 1972-1991 na região de Sorocaba	57
Figura 5.2	Localização dos prospectos selecionados	60
Figura 6.1	Vista aérea de Santa Helena: FCV-1 e minas de metacalcário e filito	76
Figura 6.2	Mapa geológico de Santa Helena e do seu entorno	77
Figura 6.3	Mina Baltar subterrânea: A) Projeção da mina na superfície do terreno; B) Perfil longitudinal; C) Detalhe de salão de lavra	78
Figura 6.4	Mapa de pontos de observação/amostragem na mina Pastinho	80
Figura 6.5	Mapa geológico da mina Pastinho	81
Figura 6.6	Perfil geológico da mina Pastinho	82
Figura 6.7	Ilustrações fotográficas da mina Pastinho	83
Figura 6.8	Ilustrações fotográficas de detalhes geológicos da mina Pastinho	84
Figura 6.9	Fotomicrografias de rochas da mina Pastinho	86
Figura 6.10	Fotomicrografias de rochas das minas Pastinho e Baltar subterrânea	87
Figura 6.11	Difratograma de raios-X do filito intemperizado da mina do Lago	89
Figura 7.1	Mapa geológico e de pontos de descrição/amostragem no prospecto 1 - Metabásica de Alumínio	91
Figura 7.2	Difratogramas de raios-X das amostras MB-01 (alteração do filito); MB-14 (alteração do metassiltito) e MB-16 (alteração da metabásica)	95
Figura 7.3	Mapa geológico do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	97

Lista das Figuras (continuação)		Página
Figura 7.4	Mapa de pontos de observação/amostragem no prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	98
Figura 7.5	Mapa de pontos de observação/amostragem superficial e de furos de trado no prospecto 3	102
Figura 7.6	Mapa geológico da área do prospecto 3 - Cobertura sedimentar avermelhada	103
Figura 7.7	Localização dos furos de trado e das amostras superficiais no extremo NW da Mina 1 - Salto de Pirapora	105
Figura 7.8	Difratogramas de raios-X das amostras 01 a 04 do furo TA-01, na cobertura sedimentar avermelhada	108
Figura 7.9	Ilustrações fotográficas dos prospectos 1 e 3	110
Figura 7.10	Ilustrações fotográficas do prospecto 2	111
Figura 7.11	Perfis geológicos e de teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 do furo GSF 35T	114
Figura 7.12	Mapa de localização dos furos de trado e dos alvos para detalhamento no prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	115
Figura 7.13	Perfis geológicos do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	116
Figura 7.14	Fotografia aérea do Alvo 1 do prospecto 2: Fazenda Ventania	117
Figura 7.15	Ilustrações fotográficas do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco	118
Figura 7.16	A - Posições das amostras da área de estudo no diagrama de Schellmann (1981)	121
	B - Evolução geoquímica da lateritização no prospecto 2	121
Figura 7.17	Difratogramas de raios-X das amostras do furo GSF 36T	121-A
Figura 7.18	Fotomicrografias de concentrados de minerais pesados	123
Figura 7.19	Imagens de microscopia eletrônica de varredura das amostras GSF 29T5, 29T4, 31T4 e 42T	125

Lista das Figuras (continuação)	Página
Figura 7.20 Imagens de microscopia eletrônica de varredura (elétrons secundários), de grãos de quartzo do saprolito do granito e da laterita do prospecto 2	126
Figura 7.21 Triângulos considerados no cálculo de reserva do Alvo 1 - Fazenda Ventania	129
Figura 8.1 Área da lavra experimental no Alvo 1	131
Figura 8.2 Difractogramas de raios-X das farinhas FN-01 (normal), FT-01 e FT-02A (com a laterita do Alvo 1 - Fazenda Ventania).	136
Figura 8.3 Ilustrações fotográficas do Alvo 1, da lavra experimental e dos testes de produção de clínquer	138
Figura 9.1 Fotomicrografias de clínquer produzido sem o uso da laterita da Fazenda Ventania	143
Figura 9.2 Fotomicrografias de clínquer produzido com o uso da laterita da Fazenda Ventania	144
Figura 9.3 Fotomicrografias de clínquer produzido com o uso da laterita da Fazenda Ventania	145
Figura 9.4 Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostra do clínquer do Teste 1 com o uso da laterita	147
Figura 9.5 Difractogramas de raios-X de amostras dos clínqueres CN1A (sem o uso da laterita), CT1A (teste 1 com a laterita) e CT-02 (teste 2 com a laterita).	148

LISTA DAS TABELAS

	Página
Tabela 2.1 Classificação das rochas carbonáticas segundo Bigarella (1956)	16
Tabela 2.2 Principais parâmetros químicos utilizados na indústria cimenteira	20
Tabela 2.3 Limites ideais para os componentes menores do clínquer	22
Tabela 2.4 Principais fases cristalinas do clínquer Portland	24

	Lista das Tabelas (continuação)	Página
Tabela 2.5	Proporções ponderais dos principais componentes do clínquer	24
Tabela 2.6	Tipos de cimento Portland fabricados no Brasil	26
Tabela 5.1	Relação das cartas topográficas 1:50.000 do IBGE utilizadas no estudo	61
Tabela 5.2	Relação das cartas topográficas 1:10.000 da SEPLAN	62
Tabela 5.3	Relação das fotografias aéreas utilizadas	63
Tabela 6.1	Teores médios, em %, das amostras da mina Pastinho	79
Tabela 7.1	Teores médios das amostras MB-01 a 17 do prospecto 1, analisadas por via úmida	93
Tabela 7.2	Teores médios das amostras MB-18 a 52 do prospecto 1, analisadas por espectrofotometria de plasma ICP	93
Tabela 7.3	Resultados analíticos médios dos furos de trado GSF 1T a GSF 5T	99
Tabela 7.4	Resultados analíticos das amostras dos furos TA-01 e TA-02	106
Tabela 7.5	Resultados analíticos das amostras de saprolito do Granito São Francisco	120
Tabela 8.1	Dados médios dos furos GSF 40T, 50T, 51T e 52T	132
Tabela 8.2	Síntese da simulação da composição da farinha para o Teste 1 de produção de clínquer	134
Tabela 8.3	Síntese da simulação da composição da farinha para o Teste 2 de produção de clínquer	135
Tabela 9.1	Granulometria dos clínqueres dos testes 1 e 2	140
Tabela 9.2	Síntese dos resultados analíticos e de resistência do cimento do Teste 1	141
Tabela 9.3	Síntese dos resultados analíticos e de resistência do cimento do Teste 2	142
Tabela 9.4	Porcentagem dos componentes dos clínqueres calculados pela microscopia quantitativa	146
Tabela 9.5	Resistência à compressão dos cimentos CP II-32 e CP II-40 a 3, 7 e 28 dias, no período de janeiro - setembro/99	149

LISTA DOS QUADROS

		Página
Quadro 3.1	Propostas de subdivisão estratigráfica dos grupos São Roque e Serra do Itaberaba	33
Quadro 4.1	Mecanismos físico-químicos de ataque em função das características das soluções naturais	38
Quadro 4.2	Comportamento da sílica, do alumínio e das bases, e tipos de lateritas resultantes em função da intensidade da hidrólise	46
Quadro 4.3	Depósitos de bauxita laterítica do Estado de São Paulo (incluindo parte de Minas Gerais)	54

LISTA DOS ANEXOS

		Página
Anexo 1	Resultados analíticos de rochas da mina Pastinho	168
Anexo 2	Resultados analíticos das amostras superficiais da prospecção estratégica	182
Anexo 3	Resultados analíticos dos furos de trado no extremo NE da Mina 1	187
Anexo 4	Resultados analíticos dos furos de trado no prospecto 2	190
Anexo 5	Resultados da determinação do teor de areia por elutriação	197
Anexo 6	A - Curva granulométrica da amostra GSF 35T2	203
	B - Curva granulométrica de amostra composta do furo GSF 35T	203
	C - Granulometria das partículas acima de 1 mm nas amostras do furo GSF 42T	204
	D - Curvas granulométricas instrumentais das amostras do furo GSF 42T (fração abaixo de 1 mm)	205
Anexo 7	Resumo do cálculo preliminar de reserva do Alvo 1 - Fazenda Ventania	217
Anexo 8	Curvas granulométricas instrumentais das amostras de farinha FN-01 (sem o uso da laterita) e FT-01 (Teste 1)	219

RESUMO

Materiais cimentícios são conhecidos pelo Homem desde a remota antigüidade. Os romanos utilizavam um cimento primitivo, considerado o precursor do cimento atual, constituído por uma mistura de cal e cinza vulcânica. O cimento Portland, patenteado em 1824 pelo inglês J. Aspdin, é obtido a partir do clínquer, produto da reação, sob alta temperatura, de uma mistura finamente moída de calcário e argila. As proporções dos componentes são definidas pelos parâmetros químicos Fator de Saturação de Cal, Módulo de Alumina e Módulo de Sílica, relacionados às quantidades de CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . O clínquer, moído com aditivos como gesso, escória e pozolanas, resulta no cimento Portland.

A Unidade 1 da Fábrica de Cimento Votoran opera desde 1936 em Santa Helena, município de Votorantim. O metacalcário utilizado tem elevada pureza; porém, a argila local, um filito sericítico intemperizado, pobre em Al_2O_3 e Fe_2O_3 , demanda a adição de bauxita e minério de ferro como corretivos, elevando o custo de produção.

No estudo desenvolvido, realizou-se a prospecção de argila alternativa que permitisse a minimização ou a eliminação dos corretivos, além de obedecer a outros condicionantes: o material deveria ser inconsolidado; a distância da fábrica deveria ser a menor possível; a área da jazida deveria estar livre de títulos minerários de terceiros; deveriam ser evitadas áreas com possibilidades de conflitos da mineração com outros usos do solo; o volume de material deveria garantir um mínimo de 25 anos de vida útil e, finalmente, a lavra não deveria interferir em áreas de proteção ambiental. Quatro prospectos foram selecionados, reconhecidos e/ou amostrados em superfície e por sondagem a trado. Um depósito laterítico promissor, Alvo 1 - Fazenda Ventania, foi mais detalhadamente sondado, para caracterização do material e uma avaliação preliminar do seu volume, tendo sido objeto de lavra experimental em seguida.

Paralelamente, estudou-se também a possibilidade de otimizar a lavra do metacalcário de alta pureza através da mistura com parte de suas encaixantes: metadolomitos, filitos carbonáticos e rochas cálcio-silicáticas. Simulações computacionais da composição da farinha mostraram que é possível a utilização dos materiais estudados. Testes de produção do clínquer em escala piloto segundo a melhor alternativa simulada foram realizados, e a avaliação dos resultados demonstrou o impacto técnico-econômico positivo do uso das matérias-primas consideradas.

ABSTRACT

Varied cementitious materials are known since remote times. A primitive cement made of a mix of lime and volcanic ash, considered the forerunner of the present cement, was used by the Romans. The Portland cement, patented by the English J. Aspdin in 1824, is made from the clinker, that results from the reaction between a finely ground mix of limestone and clay in high temperature. The proportion of the raw mix components are ruled by chemical parameters Lime Saturation Factor, Alumina Modulus and Silica Modulus, related to the quantities of CaO , SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 . The Portland cement is made by grinding of clinker with additives as gipsum, slag and pozolanic materials.

The Unity 1 of the Fábrica de Cimento Votoran operates since 1936 in Santa Helena, in the neighborhood of Votorantim city. A highly pure metalimestone is used in the raw mix, but the clay, a weathered phyllite, is deficient in Al_2O_3 and Fe_2O_3 , demanding the addition of bauxite and iron ore as correctives, wich increases the production cost.

The goal of this study was an exploration to find out an alternative clay aiming the minimization or the entire substitution of the correctives, besides other conditioning factors: the material should be unconsolidated; the distance from the factory should be as short as possible; the area should be free of third part's mining claims; the areas with possible conflicts with other land uses should be avoided; the volume of the material should guarantee a minimum of twenty five years of mining and, finally, the mining should not interfere with environmental protection areas. Four exploration areas were selected and sampled on surface and by auger drilling. A promising lateritic deposit, Target 1 - Fazenda Ventania, was sampled by further auger drilling for preliminary volume and quality evaluation. Then, an experimental mining was made.

It was additionally studied the possibility of the mining optimization of the metalimestone by blending with part of its host rocks, metadolomites, carbonaceous phyllites and calcio-silicatic rocks. Computer simulations of the raw mix have shown that it is possible to use the studied materials. Clinker production tests were then performed and their results have demonstrated the positive technical and economical impact of the use of the studied raw materials.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Materiais cimentícios variados são conhecidos pelo Homem desde a remota antigüidade. Os romanos utilizavam um cimento primitivo, considerado o precursor do cimento Portland, constituído por uma mistura de cal e cinza vulcânica. Esse tipo de material cimentício foi gradualmente esquecido após o final do Império Romano, reaparecendo somente no século 14, sendo retomado com mais vigor somente na primeira metade do século 19. Veio a ser conhecido como cimento Portland em 1824, através da patente do inglês Joseph Aspdin.

O cimento Portland é obtido a partir do clínquer, resultante da reação, sob alta temperatura, de uma mistura finamente moída de calcário e material argiloso em proporções definidas. Os componentes da mistura, farinha ou cru no vocabulário da indústria cimenteira, têm suas proporções definidas em função de parâmetros químicos, basicamente relacionados às relações entre as quantidades de cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). São denominados Fator de Saturação de Cal (FSC), Módulo de Alumina (MA) e Módulo de Sílica (MS), podendo variar seus valores dentro de estreitos limites. A farinha demanda a adição de substâncias conhecidas como corretivos quando o calcário e/ou o material argiloso apresentam deficiência de um ou mais elementos químicos, não permitindo a satisfação dos citados parâmetros.

O clínquer, moído com aditivos como gesso e escória siderúrgica, resulta no cimento Portland. O seu endurecimento se processa através da hidratação dos seus principais minerais componentes: alita (Ca_3SiO_5), belita (Ca_2SiO_4), aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) e brownmillerita ou ferrita ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$). Na indústria cimenteira, as fórmulas químicas desses minerais são respectivamente simplificadas como C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF , conforme designação de Thörnebohm em 1897 (Duda, 1985).

A Unidade 1 da Fábrica de Cimento Votoran (FCV-1), do grupo S. A. Indústrias Votorantim (SAIV), opera desde 1936 em Santa Helena, município de Votorantim. Na composição da sua farinha, utiliza um calcário metamórfico de elevada pureza; porém, o material argiloso utilizado, um filito sericítico intemperizado, é deficiente em óxidos de Al e Fe, demandando a adição de bauxita e minério de ferro como corretivos, influenciando negativamente no custo de produção.

Na pesquisa desenvolvida, foi realizada a prospecção de material argiloso alternativo que, pelas suas propriedades físico-químicas, permitisse a minimização ou a eliminação do uso dos corretivos. A prospecção foi também condicionada por outros fatores: o material deveria ser inconsolidado; a distância da fábrica deveria ser a menor possível; a área da jazida deveria estar livre de títulos minerários de terceiros; deveriam ser evitadas áreas com possibilidades de conflitos da mineração com outros usos do solo; o volume de material deveria garantir um mínimo de vinte e cinco anos de vida útil e, finalmente, a lavra do depósito não deveria interferir em áreas de proteção ambiental.

A prospecção teve início com o estudo do processo de fabricação do clínquer Portland, da geologia regional e dos processos geoquímicos superficiais que, tendo atuado nas rochas da região, pudessem ter dado origem ao material buscado. A partir desse conhecimento e dos fatores condicionantes já descritos, foi estabelecido um modelo geológico para o tipo de material buscado, a partir do qual foram definidos critérios prospectivos, que permitiram a escolha de áreas exploratórias preferenciais na região.

As áreas assim identificadas foram objeto de reconhecimento geológico e amostragem preliminar. Em função dos resultados analíticos e das informações de campo, foram selecionados alvos, amostrados por sondagem a trado, para melhor conhecimento dos materiais em profundidade. O depósito que apresentou materiais com propriedades físicas e químicas mais promissoras foi amostrado mais detalhadamente, visando a caracterização do material e, também, a verificação preliminar do seu potencial volumétrico.

Com o conjunto de dados de campo e de laboratório, foram realizadas simulações computacionais da composição da farinha. Paralelamente, estudou-se também a possibilidade de otimizar a utilização das reservas de metacalcário de alta pureza, através da sua mistura com parte de suas encaixantes, metadolomitos, filitos carbonáticos e hornfels cálcio-silicáticos, que constituem o material estéril removido na lavra.

Após as simulações computacionais, decidiu-se, em acordo com a direção da FCV-1, através da sua Divisão de Mineração, pela realização de testes de produção do clínquer em escala piloto segundo a melhor alternativa simulada. Os testes foram realizados com a manutenção dos parâmetros operacionais normais de produção,

sendo os resultados avaliados segundo os procedimentos usualmente aplicados na FCV-1, com base nas normas técnicas da ABNT e dentro dos parâmetros estabelecidos pela certificação ISO 9002.

O presente texto apresenta uma síntese dos estudos desenvolvidos, descrevendo os métodos e materiais aplicados, seus resultados, bem como uma avaliação do impacto dos mesmos na otimização do processo de fabricação do cimento Portland na FCV-1, considerando os aspectos técnicos e econômicos envolvidos.

1.1 LOCALIZAÇÃO E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

1.1.1 Localização

A área de estudo localiza-se a sudoeste da cidade de São Paulo, numa região que abrange os municípios de Sorocaba, Votorantim, Salto de Pirapora, Brigadeiro Tobias, Alumínio, Mairinque e Piedade. Situa-se no entorno próximo das Unidades 1 (FCV-1, Votorantim) e 2 (FCV-2, Salto de Pirapora). A Figura 1.1 ilustra a localização da área.

Há duas alternativas de acesso à mesma a partir da Capital:

- através das rodovias Castello Branco (SP-280) e Senador José Ermírio de Moraes ("Castelinho"), tomando-se esta rumo a Sorocaba. Atravessa-se a cidade no rumo sul e toma-se a rodovia Sorocaba - Piedade (SP-079), passando por Votorantim e chegando-se à FCV-1, em Santa Helena, num percurso total de cerca de 110 km. Desta, chega-se à FCV-2 num percurso de 10 km. O restante da área é acessado por estradas municipais e vicinais diversas;
- através da rodovia Raposo Tavares (SP-270) até Sorocaba. Desta, toma-se a rodovia Sorocaba - Piedade (SP-079), sendo o restante do percurso o mesmo da primeira alternativa.

As estradas municipais e vicinais da região, numerosas e não pavimentadas em sua maioria, oferecem, salvo raras exceções, boas condições de tráfego durante o ano inteiro.

LEGENDA

✕ Minas ativas: 1 - Pastinho	✕ Minas inativas: 2 - Placa
3 - Baltar subterrânea	4 - Baltar céu aberto
5 - Mina do Lago (filito)	9 - Ponte Alta
6 - Mina 1 - Salto de Pirapora	
7 - Superbrita	
8 - Mineral	
□ Fábrica de cimento da S.A.	
FCV-1 Indústrias Votorantim	
	— Estrada pavimentada
	- - - Estrada não pavimentada
	... Estrada de ferro

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

1.1.2 Geomorfologia

Segundo a subdivisão geomorfológica de Ross & Moroz (1997), as porções centro, sul e sudeste da área de estudo situam-se no Planalto de Ibiúna/São Roque, um setor do Planalto Atlântico, por sua vez inserido na unidade morfoestrutural denominada Cinturão Orogênico do Atlântico. Na sua parte noroeste, a área insere-se na Depressão Paranapanema, setor da Depressão Periférica Paulista.

O relevo caracteriza-se, no Planalto de Ibiúna/São Roque, por morros altos apresentando formas de topos convexos. Escarpas ocorrem de maneira isolada. As altitudes estão geralmente acima dos 800 m, chegando a 1.100 m nos domínios das rochas graníticas. As declividades predominantes estão acima de 20 %, podendo chegar localmente a mais de 40 %. As formas de dissecção são médias a altas, apresentando vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, com padrão dendrítico dominante e alguns trechos subordinados às estruturas.

Na Depressão Paranapanema, caracterizada pelas rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, o relevo apresenta colinas com topos convexos, altitudes de 600 a 700 m e declividades entre 10 e 20 %. As formas de dissecção são baixas, com vales pouco entalhados e baixa densidade de drenagem.

Quanto à drenagem, a área situa-se no divisor de águas entre as bacias dos altos cursos dos rios Piracicaba e Paranapanema. Na primeira, destaca-se o rio Sorocaba, cujas cabeceiras situam-se na área de estudo. Na segunda, destacam-se os rios Pirapora e Sarapuí, que também nascem na área e correm no sentido sudeste-noroeste na parte sudoeste da área (Figura 1.1).

Os solos dominantes são classificados segundo intervalos de altitudes e os domínios geomorfológicos. No Planalto de Ibiúna/São Roque, entre 800 e 900 m predomina Latossolo Vermelho-Amarelo e, entre 900 e 1.100m, predomina o Podzólico Vermelho-Amarelo. Na Depressão Paranapanema, predominam os latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo Médio Grosso.

1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

Dados do SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (1998) mostram que, após a implantação do Plano Real e da conseqüente estabilidade da moeda nacional no período 1994-1998, ocorreu rápido aumento da demanda interna de cimento, fazendo a produção saltar de 25,2 milhões de toneladas em 1994 para 38,1 milhões em 1997. Um incremento de 51% no período considerado.

Esse aumento da demanda é devido, principalmente, aos pequenos consumidores, representados pelas camadas de mais baixa renda da população, fazendo com que alguns fabricantes passassem a comercializar, paralelamente aos tradicionais, de 50 kg, cimento em sacos de 25 kg, mais adaptados ao novo perfil de consumo.

Por outro lado, o consumo *per capita* brasileiro de cimento, de aproximadamente 240 kg em 1997, situa-se, segundo dados de SNIC (1998), bastante aquém daqueles de países desenvolvidos como Japão (654 kg) e Itália (584 kg) e, também, de alguns países em desenvolvimento, como China (388 kg), Tailândia (621 kg) e Coréia do Sul (1.326 kg). Apesar de o Brasil ser o 6º produtor mundial, o consumo *per capita* nacional ainda não está entre os 20 maiores do mundo, indicando que o Brasil apresenta potencial para aumento significativo da demanda de cimento.

O acentuado aumento da demanda e a consciência do potencial de crescimento fizeram com que muitas fábricas operassem no limite máximo da capacidade produtiva, obrigando alguns fabricantes a realizar projetos de expansão em ritmo acelerado.

Dentro desse panorama, a SAIV também colocou em marcha seus projetos de expansão da capacidade produtiva em algumas de suas fábricas, cujas unidades paulistas responderam por 70,25% da produção estadual de 8.077.765 toneladas em 1997. Os projetos de ampliação representam investimentos da ordem de centenas de milhões de reais, motivo pelo qual as suas fábricas passam atualmente por um processo de modernização técnico-administrativa, visando a melhora da produtividade e a redução de custos.

Nessa conjuntura, a FCV-1, responsável por 30,77% da produção estadual no mesmo período, não foi exceção. Entre vários itens, identificou-se a necessidade de reduzir os custos relativos às matérias-primas minerais do clínquer. A análise setorial

dos custos dentro da Divisão de Mineração da FCV-1 indicou, além dos ajustes operacionais nas diversas etapas de produção, a minimização da utilização dos corretivos e a otimização da lavra de metacalcário como prioritários no programa de redução de custos.

Desta maneira, o estudo justifica-se como uma aplicação de conhecimentos e procedimentos científicos na solução de problema tecnológico e econômico numa indústria. Esta, fabricante de um produto de enorme importância social. Ao mesmo tempo, justifica-se também por evidenciar o potencial de utilização dos materiais geológicos estudados e da aplicação dos métodos em situações similares.

1.3 OBJETIVOS

O presente estudo teve por objetivo o estudo da utilização de materiais argilosos alternativos, prospectados dentro de um raio econômico¹ de 50 km em torno da fábrica e, paralelamente, o aproveitamento parcial das rochas encaixantes do metacalcário. Os materiais argilosos foram estudados considerando as características mineralógicas, químicas e físicas que permitissem a minimização ou a eliminação do uso dos corretivos na composição da farinha.

Na mina Pastinho, foi estudada a possibilidade de aproveitamento, ainda que parcial, do metadolomito e do filito carbonático do setor sudeste (capa), desmontado como estéril na operação de aprofundamento da cava. Na mina subterrânea do Baltar, onde se encontra em desenvolvimento o 2º painel de lavra, inferior, foram consideradas as rochas cálcio-silicáticas, que constituem o estéril na abertura de rampas de acesso e galerias de desenvolvimento.

Essas rochas, misturadas ao metacalcário em proporções adequadas, poderiam proporcionar parâmetros aceitáveis na composição da farinha. Esse aproveitamento considerou a participação do novo material argiloso e a redução do volume de metacalcário lavrado, racionalizando-se a lavra como um todo e prolongando a vida útil da jazida. Adicionalmente, a redução do volume de material a ser descartado em pilhas de estéril (bota-fora) tem implicações ambientais positivas.

¹ Distância na qual o custo da extração + transporte do material argiloso se igualaria ao da aquisição da bauxita.

1.4 SÍNTESE DA METODOLOGIA

Os estudos foram realizados através da seguinte seqüência metodológica:

- ✦ - identificação do problema, através de contatos iniciais com a equipe da Divisão de Mineração da FCV-1, à qual foi então submetido um plano de trabalho;
- revisão bibliográfica, para conhecimento da geologia regional, do processo de fabricação do clínquer Portland e dos processos geoquímicos superficiais;
- estabelecimento de modelo geológico para a prospecção e definição de critérios prospectivos, através da análise de informações geológicas, fisiográficas e climáticas;
- preparação de bases cartográficas e fotográficas;
- trabalhos de campo para amostragem das minas: o metacalcário da mina Pastinho, suas encaixantes e o filito intemperizado da mina do Lago; análises laboratoriais para a caracterização petrográfica, mineralógica e química;
- reconhecimento geológico regional e trabalhos iniciais de campo para amostragem superficial preliminar;
- análise dos dados iniciais de campo e de laboratório, identificando-se as áreas promissoras e planejando-se nova etapa de campo;
- amostragem semi-detalhada nas áreas selecionadas, através de sondagem a trado, acompanhada de mapeamento superficial e cartografia digital; caracterização laboratorial dos materiais amostrados; identificação de alvos para pesquisa;
- análise e integração dos dados obtidos, cálculo preliminar de reserva, simulações computacionais das alternativas de composição da farinha com a participação dos materiais estudados;
- planejamento e execução de ensaios industriais de fabricação do clínquer Portland com os materiais estudados;
- interpretação, discussão e avaliação dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 2

O CIMENTO PORTLAND

2.1 BREVE HISTÓRICO

A síntese histórica do cimento aqui apresentada foi elaborada com base nas informações encontradas, principalmente, em Candlot (1906), Bogue (1947), Lea (1970), Gomà (1979), Von Landsberg (1992), Centurione (1993), Zampieri (1993), Pliskin (1993), e também na *Internet*, nos sites <http://www.portcement.org/indhist.htm> da PCA - *Portland Cement Association*, que congrega os fabricantes dos Estados Unidos e do Canadá, <http://www.olemiss.edu/courses/engr313/engr314/>, do Laboratório de Ciência dos Materiais da Universidade do Mississippi, E.U.A.; <http://edison.rutgers.edu/patente5.htm>, da Universidade de Rutgers, também nos E.U.A; <http://www.cimfra.fr>, do grupo produtor *Ciments Français*, e <http://www.abcp.org.br>, da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Desde os primórdios da civilização humana, foram buscados materiais ligantes que unissem os blocos rochosos nas construções. Os Assírios e Babilônios usaram argila ou betume para esse fim. Os Egípcios avançaram da argila misturada à palha até a argamassa de gesso e areia. Segundo Pliskin (1993), já conheciam os mesmos a produção da cal pela calcinação de rochas carbonáticas. A preferência pelo gesso teria sido em razão da escassez de combustível para a calcinação a temperaturas próximas de 700° C. A gipsita, embora menos abundante do que os calcários no Egito, podia ser desidratada em temperaturas entre 100° e 150° C.

Os gregos usavam material cimentício baseado na cal e, segundo alguns autores, transmitiram esse conhecimento aos romanos. Estes, utilizavam uma mistura de cal e cinza vulcânica denominada *pozzuolana*, extraída na região do Monte Pozzuoli. Este material deu origem ao nome *pozolana*, referente aos materiais naturais ou artificiais silicosos ou sílico-aluminosos que, não sendo por si só cimentícios, podem reagir com a cal na presença de umidade e à temperatura ambiente, resultando em compostos com propriedades cimentícias. As proporções da mistura eram variáveis de acordo com as necessidades, tendo sido utilizados aditivos como gordura animal, leite e até mesmo sangue.

Após a queda do Império Romano, esse conhecimento sobre o cimento ficou esquecido, voltando os materiais pozolânicos a ser utilizados somente no século 14; porém, com evolução lenta até o início do século 18. Em 1756, o inglês John Smeaton, na reconstrução do farol de Eddystone, chegou ao cimento hidráulico constituído por uma mistura homogênea de cal hidráulica e tufo vulcânico italiano em proporções iguais. Smeaton chegou também à conclusão de que as melhores cales resultavam da calcinação de calcários impuros, argilosos. Na época, ele comparou as propriedades de seu cimento às das melhores pedras de Portland, ilha de onde eram extraídos blocos de calcário para construção.

Depois de Smeaton, diversos estudiosos, como Bry Higgins, James Parker, James Frost, Canvas White, John Tickell, Abrahan Chambers, Maurice St. Leger, Henri Le Chatelier e Louis Vicat, entre outros, dedicaram-se à pesquisa de materiais cimentícios. Parker, por exemplo, chegou ao então bem aceito "cimento de Parker" ou "cimento Romano" através da calcinação de calcário impuro contendo nódulos de argila.

Nas bem sucedidas experiências do francês Vicat, entre 1812 e 1813, as rochas calcárias impuras deram lugar à mistura artificial de calcário e materiais argilosos, que podia ser feita em proporções ideais, resultando em cimento de boa e constante qualidade. Algumas fontes consultadas, como Pliskin (1993), consideram Vicat como o inventor do cimento Portland. Pouco depois, em 1822, o inglês James Frost preparou um cimento hidráulico similar ao de Vicat, denominando-o "cimento Britânico".

Em 1824, Joseph Aspdin, construtor inglês de Leeds, patenteou o "cimento Portland". Entretanto, muitos autores contestam o crédito dado a Aspdin como o inventor do mesmo porque ele teria apenas utilizado os conhecimentos adquiridos pelos seus antecessores, chegando a um produto que diferia pouco, por exemplo, do cimento de Vicat. Até mesmo o nome já havia surgido 68 anos antes, nos comentários de John Smeaton. A Figura 2.1 apresenta uma fotografia do forno de Aspdin.

Nos anos seguintes, a utilização do cimento aumentou gradualmente, até ser amplamente utilizado nas construções no final do século 19, e fábricas foram construídas em outros países. Em 1871, David O. Saylor fundou, em Coplay, Pensilvânia, a primeira fábrica de cimento Portland nos EUA, que o importava da Inglaterra desde 1868.

Fonte: Bogue (1947)

Figura 2.1 - Forno de cimento de Aspdin, em Northfleet, Kent, Inglaterra, fotografado por M. A. Swayze em 1938.

A crescente importância do cimento nos mais diversos tipos de construção fez aumentar rapidamente o seu consumo; porém, a produção em fornos fixos, de processo descontínuo, necessitava de modificações para atender ao acelerado crescimento da demanda. No início da década de 1870, Thomas Millen e seus dois filhos, norte americanos de South Bend, Indiana, produziram cimento Portland queimando a farinha numa peça de tubulação de esgoto e moendo o clínquer num moinho de café. Esse equipamento improvisado foi, talvez, o primeiro forno rotatório experimental na América.

Em 1885, o Engenheiro inglês F. Ransome patenteou um pequeno forno levemente inclinado e rotatório, com chama de gasogênio, que permitia ao material, introduzido seco em seu interior, mover-se de um extremo ao outro, num processo contínuo. Porém, segundo Candlot (1906), a qualidade do cimento produzido nesse forno deixava muito a desejar. O empresário Navarro, de New York, adquiriu a patente de Ransome e aperfeiçoou o equipamento com a ajuda do francês P. Giron. O novo equipamento, conhecido como forno de Giron, tinha 10 m de comprimento por 1,5 m de diâmetro, já contando com maçarico a óleo e ar comprimido. O material entrava semi-seco no forno, para que não fosse carregado pela corrente de gás.

Paralelamente aos progressos tecnológicos nos equipamentos, avançavam também os conhecimentos sobre a química do cimento. Em 1887, o francês Henri Le Chatelier estabeleceu razões de óxidos para o preparo da correta quantidade de cal para a fabricação do cimento, nomeando os componentes: alita (silicato tricálcico), belita (silicato bicálcico) e celita (aluminoferrita tetracálcica).

O forno rotatório, tornado de uso corrente já no final do século passado, passou por sucessivos desenvolvimentos tecnológicos praticados por pesquisadores renomados. Por exemplo, Thomas Alva Edison, fundador da *Edison Portland Cement Company*, obteve cinco patentes do equipamento entre 1904 e 1914.

Em 1906, já existiam fábricas de cimento na Inglaterra, França, Alemanha, Bélgica, Rússia, Dinamarca, Suécia, Portugal, Romênia, Japão e Estados Unidos. A produção mundial anual da época era estimada em cerca de 13 milhões de toneladas.

Em 1916, foi fundada nos EUA a PCA - *Portland Cement Association* e, no ano seguinte, o USBS - *United States Bureau of Standards* e a ASTM - *American Society for Testing Materials* estabeleceu uma fórmula padrão para o cimento Portland. Seguiram-

se entidades normativas em outros países produtores e o cimento Portland consagrou-se como material cimentício.

2.2 CIMENTO NO BRASIL E NO MUNDO

Desde a implantação, em 1926, da primeira fábrica bem sucedida no Brasil, a Companhia Brasileira de Cimento Portland, em Perus, a indústria cimenteira brasileira teve notável desenvolvimento. Atualmente, o Brasil conta com 60 fábricas em operação, das quais 10 são unidades de moagem. A Figura 2.2 mostra a evolução da produção e das importações brasileiras de cimento no período 1953 – 1997.

Dados do SNIC (1998) e do SFIC - *Syndicat Français de l'Industrie Cimentière* (1998) mostram que, após a implantação do Plano Real, ocorreu rápido aumento da demanda interna de cimento, que passou de 25.229.609 t em 1994 para 38.096.043 t em 1997, fazendo o Brasil saltar do 13º para o 6º lugar entre os maiores produtores mundiais, superando países como a Alemanha, Itália e Espanha. Em 1998, o Brasil produziu 39,7 milhões de toneladas de cimento, mantendo-se no 6º lugar.

A Figura 2.3 mostra a evolução do consumo aparente² *per capita* brasileiro no período 1953-1997. Apesar do aumento recente e acentuado, o consumo *per capita* brasileiro é inferior ao dos países desenvolvidos e até mesmo de alguns países em desenvolvimento, como visto em 1.2. Dados de SIFC (1998) e SNIC (1998) mostram que o consumo *per capita* de alguns países em desenvolvimento como a Tailândia e a Coreia do Sul superam aqueles dos países desenvolvidos, evidenciando a aceleração da atividade econômica nesses países. A comparação do consumo desses países com o brasileiro mostra claramente que o Brasil apresenta potencial para crescimento significativo da indústria de cimento.

A produção mundial de cimento, em 1997, foi de aproximadamente 1,516 bilhão de toneladas, com a produção brasileira representando 2,51 % desse total (SFIC 1998). As Figuras 2.4 e 2.5 mostram, respectivamente, os dez maiores produtores mundiais em 1997 e o consumo *per capita* de 10 países entre os maiores consumidores no mesmo ano. A figura 2.5 permite concluir que o consumo de cimento é bastante variável mesmo entre os países desenvolvidos.

² Consumo aparente *per capita* = (despachado-exportado+importado)/população recenseada e projetada.

Figura 2.2 - Evolução da produção e da importação de cimento no Brasil (1953 - 1997).

Figura 2.3 - Evolução do consumo aparente *per capita* de cimento no Brasil (1953-1997).

Figura 2.4 - Posições relativas dos 10 maiores produtores mundiais de cimento.

Figura 2.5 - Consumo *per capita* de cimento em alguns países desenvolvidos.

2.3 A FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é fabricado a partir de uma mistura de rocha carbonática e argila. Essa mistura, finamente moída, é submetida ao forno em temperaturas que chegam próximas de 1450°C . O processo envolve calcinação, sinterização e peletização, no qual reações químicas transformam os minerais das matérias-primas em outros, dando origem ao clínquer Portland. O cimento é então obtido através da moagem do clínquer com aditivos como gesso, escória siderúrgica, pozolanas e o próprio calcário. As proporções clínquer-aditivos são variáveis em função dos tipos de cimento Portland. As etapas de fabricação podem apresentar algumas diferenças em função das características das matérias-primas, das particularidades operacionais de cada fábrica, e dos equipamentos utilizados. A Figura 2.6 mostra o fluxograma ilustrado do processo de fabricação de cimento na FCV-1. As Figuras 2.7A a 2.7H ilustram fotograficamente parte das etapas da fabricação.

2.3.1 As matérias - primas

A rocha carbonática deve conter um mínimo de 42% de CaO e máximos de 4% de MgO e 10% de SiO_2 (CPRM 1972). Pliskin (1993) indica teor mínimo de 78,5% de CaCO_3 (aproximadamente 44% de CaO) e MgO inferior a 2% na farinha. Bigarella (1956) classifica as rochas calcárias (Tabela 2.1) e, segundo o mesmo, apenas os calcários calcíticos e magnesianos são utilizáveis na fabricação. Os mais magnesianos podem, eventualmente, ser misturados aos mais calcíticos, desde que a farinha não tenha MgO acima de aproximadamente 3%, variável segundo as condições de fabricação. Acima desse teor o MgO passa a ser um constituinte nocivo que, expresso sob a forma de periclásio (MgO) no clínquer, pode sofrer expansão lenta dentro do concreto.

Tabela 2.1 - Classificação das rochas calcárias segundo Bigarella (1956)

Denominação	MgO (%)
Calcário calcítico	0,0 - 1,1
Calcário magnesiano	1,1 - 4,3
Calcário dolomítico	4,3 - 10,5
Dolomito calcítico	10,5 - 19,1
Dolomito	19,1 - 22,0

Figura 2.6 - Fluxograma ilustrado da fabricação de cimento portland na FCV-1 (Fornos 1' e 3).

Figura 2.7 - A) Desmonte de metacalcário na mina Pastinho; B) Vista geral da mina do Lago; C) Entrada de metacalcário na britagem primária; D) Britagem secundária, com pilha de abastecimento em primeiro plano; E) Pré-homogeneização de metacalcário, com retomada em segundo plano; F) Pré-homogeneização de argila (retomada); G) Vista parcial do forno nº 2 da FCV-1; H) Vista geral da fábrica de cimento FCV-1.

Figura 2.7 - Ilustrações fotográficas das etapas de fabricação do cimento.

A argila deve também obedecer a especificações químico-mineralógicas. Idealmente, a argila deve conter SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em teores que permitam a satisfação dos parâmetros químicos exigidos para a farinha, com o menor conteúdo possível de quartzo e $\text{Na}_2\text{O} < 3,0\%$ e $\text{K}_2\text{O} < 4,0\%$. Os grãos de quartzo, se presentes em excesso, dificultam a moagem, implicam em maior consumo energético no processo e, quando grossos, dificultam a reação de formação de alita a partir da belita (Christensen 1981).

2.3.2 A farinha de clínquer

A farinha é obtida pela fina moagem da mistura de matérias-primas, em moinhos de tipos variados: de bolas, vertical ou de rolos horizontais. Quanto mais fina a farinha, mais facilmente se processarão as reações químicas no interior do forno; porém, uma moagem ultra-fina seria inviável em termos de custo, mesmo considerando a redução no consumo energético do forno.

A granulometria ou finura da farinha refere-se aos grãos de calcário e de quartzo, visto que as partículas de argila são naturalmente finas. Centurione (1993), ao estudar detalhadamente a influência das características das matérias-primas no processo de sinterização do clínquer Portland, considerou grossos os grãos de quartzo acima de $45\text{ }\mu\text{m}$ (malha 325) e os de calcário acima de $125\text{ }\mu\text{m}$ (malha 120). Pliskin (1993) refere-se à moagem até a obtenção de cru com 1,0 a 1,5% de retenção na peneira de abertura $160\text{ }\mu\text{m}$. Verifica-se que as especificações variam entre os autores.

A homogeneidade da farinha é de grande importância, favorecendo a combinação do CaO no clínquer e resultando em clínquer com composição uniforme. Segundo Kihara *et al.* (1983), as farinhas com homogeneidade deficiente não apresentam composição química constante, demandando maiores temperaturas e tempo de queima, implicando em maior consumo de energia, resultando em clínquer nem sempre com as qualidades esperadas.

A capacidade da farinha de se transformar em clínquer de boa qualidade é denominada aptidão à clínquerização. As composições química e mineralógica, a granulometria e o grau de homogeneização são os principais fatores que condicionam a aptidão à clínquerização de uma farinha. Um dos procedimentos práticos na indústria é a avaliação posterior da aptidão, medindo-se o conteúdo de CaO não combinado no clínquer (CaO livre), por métodos químicos ou ópticos (Kihara 1973; Miller 1981; ABCP

1984; Theisen 1992; Centurione 1993). O conteúdo de cal livre remanescente de um clínquer, comparado ao de um clínquer resultante de uma matéria-prima padrão, submetida às mesmas condições de queima e resfriamento, define a queimabilidade (*burnability*) (Theisen 1992), medida através do Índice de Queimabilidade:

$$IQ = A/B \times 3,73 \quad \text{onde:}$$

$$A = CL1 + CL2 + 2CL3 + 3CL4$$

$$B = (CL1/CL4)^{1/4}$$

Sendo: CL1 - % de cal livre a 1350°C

CL2 - % de cal livre a 1400°C

CL3 - % de cal livre a 1450°C

CL4 - % de cal livre a 1500°C

A queimabilidade depende não somente das características químicas e mineralógicas da farinha, mas também dos parâmetros operacionais do processo de queima. A indústria cimenteira controla a qualidade da farinha através de parâmetros químicos relacionados aos seus óxidos principais, mostrados na Tabela 2.2. Os limites dos parâmetros podem sofrer pequenas variações de acordo com as condições de fabricação.

Tabela 2.2 - Principais parâmetros químicos utilizados na indústria cimenteira

PARÂMETRO		FÓRMULA
FSC	Fator de Saturação de Cal (90 – 100) ³	$\frac{100CaO}{2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3} \quad (\%)$
MS	Módulo de Sílica (2,2 – 2,6) ³	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$
MA	Módulo de Alumina (1,5 – 2,5) ³	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$

Modificado de Centurione (1993)

O FSC está estreitamente relacionado às proporções de cal livre, alita e belita no clínquer. O aumento do FSC, com o teor de cal livre fixo, implicam no aumento do conteúdo de alita e diminuição da belita, com o aumento da resistência mecânica à

³ Limites usuais dos parâmetros, com pequenas variações entre autores e fabricantes.

compressão do cimento, principalmente em relação às resistências iniciais, de 3 e 7 dias. Porém, para FSC acima de 100%, forma-se excesso de cal livre, causando o decréscimo da resistência. O aumento de FSC implica também em maior consumo de combustível devido à maior demanda energética para a descarbonatação do CaCO_3 .

Sintetizando as informações de Duda (1985), Johansen (1977), Gouda (1978), Long (1982) e Pliskin (1993), o valor de MS, numa dada temperatura, é inversamente proporcional ao conteúdo da chamada fase líquida e diretamente proporcional ao conteúdo de alita e belita. A primeira favorece a reação de consumo de CaO , com formação da alita e, também, a formação da colagem protetora sobre os tijolos refratários do forno. Assim, um valor baixo de MS é favorável ao processo de clinquerização. Por outro lado, a elevação do MS é acompanhada do aumento da temperatura máxima, significando maior consumo energético.

Ainda segundo Kihara *et al.* (1983), o MA, também conhecido como módulo de fundente, controla a composição e a viscosidade da fase líquida, com importante influência na temperatura e no processo de clinquerização.

Os óxidos Al_2O_3 e Fe_2O_3 agem como fundentes, proporcionando economia no consumo energético. Quando o MgO estiver em teores normais, seu valor ideal é 1,63, no qual todo o conteúdo desses óxidos entra em fusão à temperatura aproximada de 1300°C (Johansen 1977; Miller 1981; Taylor 1997).

2.3.3 Componentes menores da farinha

Além dos quatro óxidos principais, a farinha contém vários outros elementos ou compostos químicos, contidos nos diversos minerais. Alguns desses compostos, como Na_2O , TiO_2 , CaF_2 , conhecidos como mineralizadores, atuam como fundentes em pequenas quantidades, facilitando a clinquerização; porém, causam diversos problemas se presentes em quantidades maiores. Outros, podem causar combinações químicas indesejáveis, como a formação de CaSO_4 pelo excesso de SO_3 . Chatterjee (1979a; 1979b) estudou a interferência dos componentes menores, e apresenta os intervalos ideais de teores para alguns componentes, conforme mostrado na Tabela 2.3. Porém, esses limites podem sofrer pequenas variações entre os fabricantes em função das características das matérias-primas e das condições operacionais.

Tabela 2.3 - Limites ideais para os teores de componentes menores do clínquer.

Componente	Limites ideais para os teores (%)
Cr_2O_3	0,3 – 0,5
SO_3	0,5 – 2,0
Na_2O	0,2 – 0,3
BaO	0,5 – 1,0
TiO_2	1,5 – 2,0
P_2O_5	< ~ 1,0
F^-	< ~ 1,0
Cl^-	0,3 – 0,5

Modificado de Chatterjee (1979b)

2.3.4 O clínquer Portland

O clínquer de cimento Portland pode ser definido como uma rocha artificial, resultante de um conjunto de reações sofridas pela fina mistura de calcário, argila e eventuais corretivos silicosos, aluminosos e/ou feríferos, com a formação de novos minerais. As reações ocorrem em estado sólido, com fusão parcial dos componentes, num processo de calcinação em temperaturas próximas de 1450°C , seguida de sinterização e peletização (Braga 1973; Kihara *et al.* 1990; Centurione 1993; Pliskin 1993).

Segundo Kihara & Valarelli (1975), o processo, com reações por difusão iônica, é semelhante à anatexia, sendo comparável ao metamorfismo de alto grau de rochas calcárias e argilosas finamente divididas. Nessas reações, os carbonatos, silicatos e óxidos que compõem a farinha são essencialmente transformados em quatro fases cristalinas: os silicatos bi e tricálcicos, o aluminato tricálcico e o ferroaluminato tetracálcico ou brownmillerita.

Os componentes do clínquer são mostrados na Tabela 2.4. A Tabela 2.5 mostra as proporções ponderais de cada componente do clínquer. A Figura 2.8 ilustra a seqüência de reações que ocorrem no interior de um forno de clínquer e a Figura 2.9 mostra os intervalos de estabilidade dos componentes em função da temperatura.

Figura 2.8 - Sequência de reações que ocorrem nas zonas de um forno de via seca (modificado de Wolter 1985).

Figura 2.9 - Intervalos de temperatura de estabilidade dos diferentes compostos no forno.

Tabela 2.4 - Principais fases cristalinas do clínquer Portland.

Notação	Nome	Fórmula química
C ₃ S	Silicato tricálcico ou alita	3CaO.SiO ₂
C ₂ S	Silicato bicálcico ou belita	2CaO.SiO ₂
C ₃ A	Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃
C ₄ AF	Ferroaluminato tetracálcico ou brownmillerita	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

Modificado de Pliskin (1993)

Tabela 2.5 - Proporções ponderais dos principais componentes do clínquer.

Composição (% peso)	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Teor mínimo	40	0	2	0
Teor médio	60	15	8	8
Teor máximo	70	30	15	15

Modificado de Pliskin (1993)

Os principais constituintes mineralógicos do clínquer são:

Alita: nome dado às diferentes formas do silicato tricálcico (C₃S). É formada pela reação sólido-sólido entre cristais de cal livre e belita. É um nesossilicato artificial, com estrutura definida por tetraedros independentes de SiO₄ unidos por íons intersticiais de cálcio, formando cristais geralmente tabulares, compactos e idiomórficos, com seção hexagonal. Pode ter pequenas inclusões de óxidos estranhos como MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, SO₃, Na₂O, K₂O e outros. Desempenha importante papel no endurecimento e na resistência mecânica do cimento.

Belita: nome dado à solução sólida envolvendo o silicato bicálcico (C₂S). em suas diferentes formas polimórficas, estabilizadas pela presença de óxidos estranhos como MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, SO₃, Na₂O, K₂O, Cr₂O₃, Mn₂O₃, BaO e outros. É importante para a resistência mecânica a longo prazo do cimento. Quando o teor de belita supera 50%, o cimento recebe o nome de clínquer belítico, produzido com menor consumos energético, porém, com diminuição das características hidráulicas. Os cristais têm estrutura semelhante à da alita, mas apresentam-se comumente em formas arredondadas ao microscópio.

Aluminato tricálcico: abreviado como C_3A , é um dos componentes do clínquer formado a partir da cristalização do material que se funde durante o processo de clinquerização (fase líquida). Seu sistema cristalino é o cúbico e a sua estrutura admite óxidos estranhos como MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O e outros em proporções de até 10% em massa.

Brownmillerita: também chamado de ferroaluminato tetracálcico ou ferrita. Dá a cor acinzentada ao cimento devido à presença do ferro, sendo praticamente ausente nos clínqueres brancos, e inferior a 15% nos demais. Correspondente a um termo da solução sólida entre os extremos C_2F (ou $Ca_2Fe_2O_5$) e o "hipotético" C_2A (ou $Ca_2Al_2O_5$), sendo basicamente representada pelo C_2AF . A forma mais estável, usada para representar a solução sólida, aparenta ser a C_4AF ($Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$). Cristaliza-se também a partir da fase intersticial fundida, formando cristais irregulares nos interstícios dos silicatos. Tem estrutura complexa, com camadas de octaedros (FeO_6 ou AlO_6) intercaladas por cadeias de tetraedros (FeO_4 ou AlO_4). Os vazios na estrutura são preenchidos por íons Ca e podem incorporar, também, elementos como Mg , Si , Ti , Mn e Cr . Embora tenha baixa reatividade hidráulica, esta fase caracteriza-se por conferir resistência à corrosão química do cimento.

Além desses componentes principais, o clínquer Portland apresenta os seguintes constituintes mineralógicos secundários:

Cal livre: apresenta-se na proporção média de 1%. É considerada indesejável a partir de 2%, podendo provocar, durante a hidratação, a formação de Portlandita [$Ca(OH)_2$], causando a expansão do cimento. Seu excesso reflete condições inadequadas no processo de clinquerização, e a porcentagem de cal livre é usada como parâmetro para a avaliação das condições do processo, conforme mostrado em 2.3.2.

Periclásio: típico de clínqueres ricos em MgO . Quando o teor de MgO for superior a aproximadamente 2%, o material excedente cristaliza como periclásio (MgO). Este, é praticamente inerte no processo de hidratação, mas o seu excesso é indesejável porque sofre lenta expansão no concreto.

Todos esses constituintes podem ser estudados por microscopia de luz refletida, em seções polidas atacadas com reagentes como KOH + sacarose e HNO_3 , para ressaltar determinadas feições.

2.4 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND FABRICADOS NO BRASIL

Segundo informações da ABCP, via *Internet*, os tipos de cimento Portland fabricados no Brasil são os constantes da Tabela 2.6 a seguir:

Tabela 2.6 - Tipos de cimento Portland fabricados no Brasil

TIPOS						
CIMENTO PORTLAND COMUM (NBR 5732)						
CP I - Cimento Portland Comum e CP I-S - Cimento Portland Comum com Adição						
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO (NBR 11578)						
CP II-E - Cimento Portland Composto com Escória						
CP II-Z - Cimento Portland Composto com Pozolana						
CP II-F - Cimento Portland Composto com Fíler						
CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO: CP III (NBR 5735)						
CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO: CP IV (NBR 5736)						
CIMENTO PORTLAND BRANCO (NBR 12989)						
CPB Cimento Portland Branco (Não Estrutural e Estrutural)						
CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL: CP V-ARI (NBR 5733)						
CIMENTO PORTLAND RESISTENTE A SULFATOS (NBR 5737)						
São designados pela sigla original de seu tipo acrescida de RS						
Por exemplo: CP I-S-32 RS, CP III-32 RS, CP V-ARI RS						
CLASSES						
		Resistência à Compressão				
Cimento	Classe	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP I CP I-S	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-E CP II-Z CP II-F	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
	40		≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	≥ 48,0 ⁽¹⁾
CP IV (NBR 5736)	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 ⁽¹⁾
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 ⁽¹⁾
CPB-E (estrutural)	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP V-ARI		≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-

(1) Ensaio Facultativo (1 MPa (megapascal) = 10,1977 kgf/cm²).

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA REGIONAL

A geologia da região caracteriza-se, fundamentalmente, pelas rochas metassedimentares e metabasitos proterozóicos do Grupo São Roque. Essa seqüência acha-se parcialmente sotoposta, em sua parte NNW, às rochas sedimentares permocarboníferas do Subgrupo Itararé, da Bacia Sedimentar do Paraná. Rochas granitóides, formando batólitos e *stocks*, acham-se intrudidas nas rochas do Grupo São Roque. Ocorrem também na região intrusões de rochas alcalinas datadas do Cretáceo Inferior, sendo o exemplo mais notável a de Ipanema. São observáveis, ainda, evidências de *sills* e diques de diabásio possivelmente juro-cretácicos. Localmente, são observadas coberturas sedimentares provavelmente cenozóicas, ainda pouco estudadas, e aluviões recentes. A leste e a sudeste da região ocorrem litologias do Complexo Embu, representadas por rochas metassedimentares migmatizadas.

A presente síntese resulta da pesquisa efetuada nas obras de autores que abordaram diferentes aspectos da geologia da região e adjacências, como Knecht (1943a, 1944, 1950, 1960), Coutinho (1972, 1980), Franco (1958), Cordani *et al.* (1963), Setzer (1960), Cordani *et al.* (1967), Amaral *et al.* (1967), Hennies *et al.* (1967), Flicíssimo Jr. (1967), Hasui *et al.* (1969), Hasui & Hama (1972), Hasui & Sadowski (1976), Wernick *et al.* (1976), Hasui *et al.* (1978), Hasui *et al.* (1980), Hasui *et al.* (1981), Ulbrich e Gomes (1981), Figueiredo *et al.* (1982), Petri & Fúlfaro (1983), Couto (1984), Carneiro *et al.* (1984), Hasui & Oliveira 1984, Tassinari *et al.* (1985), Campos Neto (1985), Van Schumus *et al.* (1986), Wernick e Galembeck (1986), Bergmann (1988, 1992), Soares (1988), Godoy (1989), Campos Neto *et al.* (1990), Instituto Geológico-SMA (1990a; 1990b), Frascá (1992), Hackspacher *et al.* (1992a, 1992b, 1992c), Oliveira *et al.* (1992), Hackspacher (1994), Juliani & Beljavskis (1995), Silva (1997) e Souza (1997), e outros citados no decorrer do texto.

A Figura 3.1 apresenta o mapa geológico regional, obtido a partir dos dados de CPRM (1998), no qual foram agrupadas as subdivisões da Formação Piragibu.

LEGENDA DO MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

(Figura 3.1)

CENOZÓICO

Qa Aluviões recentes

PALEOZÓICO / MESOZÓICO BACIA DO PARANÁ

Ap Rochas alcalinas

Subgrupo Itararé

Itl Lamitos

Ita Arenitos

PROTEROZÓICO - EOPALEOZÓICO DOMÍNIO SÃO ROQUE

Rochas ígneas e metamórficas de contato

+ Maciços granitóides

γ_{So} Sorocaba

γ_{Lv} Lavras Velhas

γ_{Sf} São Francisco

γ_{Sr} São Roque

γ_{Pr} Pirapora

H Hornfels

Grupo São Roque

Bt Formação Boturuna: Metarenitos / metarcóseos

βPg Metabasitos

Pg Formação Piragibu
Rochas metassedimentares rítmicas mais ou menos arcoseanas
Formação Pirapora do Bom Jesus

Pj1 Metacalcários e metadolomitos; calcio-silicáticas subordinadas

Pj2 Filitos com intercalações de calciofilitos, mármore e quartzitos

Pj3 Calcio-silicáticas, mármore impuro, calciofilitos e calciaarenitos

Grupo Serra do Itaberaba

Pp Formação Pedra Preta
Micaxistos, hornfels xistosos e xistos migmatizados

DOMÍNIO AÇUNGUI

Ga Granada-muscovita-biotita-xistos finos a médios

DOMÍNIO EMBU

+ Rochas ígneas granitóides

γ_{Sl} Granito Serra do Lopes γ_{Ib} Granito Ibiúna

γ_{Pi} Suite Granitóide Piedade γ_{Sb} Granitóides São Sebastião

Complexo Embu

Erm Rochas metapelíticas: biotita-quartzito-muscovita xistos e granada-biotita xistos migmatizados

CONVENÇÕES

	Contato litológico		Cidade
	Falha ou fratura		Estrada de ferro
	Falha ou zona de cisalhamento com movimentação relativa indicada		Estrada pavimentada
	Zona de rochas miloníticas		Estrada não pavimentada
	Foliação tectônica principal com mergulho medido		Drenagem
	Foliação tectônica principal com mergulho vertical		Reservatório
	Lineamento		

Figura 3.1 - Mapa geológico regional.

3.1 LITOLOGIAS

Os epimetamorfitos do Grupo São Roque são principalmente representados por quartzitos e filitos sericíticos e grafitosos. Subordinadamente, ocorrem metacalcários, metadolomitos, metabasito, itabirito e metaconglomerado oligomítico. O conjunto é considerado originariamente vulcano-sedimentar marinho. Essas rochas, penetradas por batólitos e *stocks* graníticos, desenvolveram auréolas de metamorfismo de contato, nas quais ocorrem gnaisses, micaxistos feldspáticos, *hornfels* cálcio-silicáticos, anfibolitos, quartzitos feldspáticos e mármore com biotita.

Os metapelitos, principalmente filitos, são as litologias mais abundantes. São comumente de cor acinzentada, essencialmente constituídos por quartzo e sericita. Ocasionalmente, podem conter carbonatos, transicionando para filitos carbonáticos, metamargas e mesmo calcários metamórficos.

As rochas carbonáticas ocorrem sob a forma de corpos lenticulares alongados segundo NE-SW. As rochas calcárias mais escuras correspondem a metacalcários e metacalcários magnesianos e, as mais claras, a metacalcários dolomíticos, metadolomitos calcíticos e metadolomitos. Constituem-se essencialmente de carbonatos em grãos mais ou menos equidimensionais, compondo um mosaico granoblástico. Os minerais acessórios são: quartzo, matéria carbonosa fina, muscovita, biotita e clorita. A quantidade de quartzo e de muscovita é às vezes elevada, constituindo os chamados filitos calcários. Às vezes, predomina o quartzo, constituindo quartzitos calcários ou calcários quartzosos. Associam-se a *hornfels* cálcio-silicáticos bordejando o Maciço de São Francisco desde a Serra de Inhaíba até a região de Salto de Pirapora.

As rochas psamíticas são representadas por corpos lenticulares de metarenitos e quartzitos, também orientados segundo NE-SW. Na região de Votorantim, camadas de quartzito apresentam quantidades expressivas de feldspato, merecendo designações de quartzito feldspático e metarcóseo. Os feldspatos são microclínio pertítico e oligoclásio.

Um corpo de metabasito ocorre na borda SE do Maciço Granítico de São Francisco. Esse corpo exhibe, em sua parte leste, rochas de granulação fina a média, cor verde escura, constituídas por labradorita sódica, quase totalmente saussuritizada, em arranjo sem orientação preferencial. O máfico presente é actinolita-tremolita

poiquiloblástica, também alongada e sem orientação. Junto ao contato com o granitóide, a rocha se constitui de oligoclásio, em grãos subédricos e anédricos, mais ou menos equidimensionais, entre prismas de hornblenda, às vezes poiquiloblástica e sem orientação. Os acessórios são titanita, clorita, biotita, apatita, opacos e quartzo.

Os granitóides são representados pelos batólitos de Sorocaba, São Francisco, São Roque e Piedade, com composição variando de granítica a monzonítica. As rochas de granulação mais fina também apresentam variação semelhante, mas podem ser mais básicas, de natureza até quartzo-diorítica. Nos maciços de Sorocaba e São Francisco, aparecem ocasionalmente massas de dezenas a centenas de metros de extensão de metamorfitos como xenólitos.

A intrusão alcalina de Ipanema, com cerca de 13 km² de área, é constituída por um núcleo de glimerito com veios tardios de aegirinito e sovito, contornado por um expressivo halo fenítico, em cuja porção interna ocorrem veios de glimerito e apatita. Diques de shonkinito cortam encaixantes e demais alcalinas. O corpo alcalino atravessa metamorfitos fenitizados do Grupo São Roque e arenitos do Subgrupo Itararé. Apresenta superfície profundamente intemperizada, com acúmulo residual de blocos de magnetita e sillexito, e apatita disseminada em laterita. A sua idade mínima, obtida em biotita do shonkinito, é de 123 Ma.

A cerca de 10 km a SSW de Piedade, ocorre uma intrusão alcalina elíptica (sienito) com cerca de 0,25 km², alongada segundo E-W e encaixada no Granito Piedade. Na superfície, só se observam produtos de alteração como magnetita, sillexito, barita e apatita. Pouco a W do corpo, um dique de shonkinito pórfiro corta as rochas granitóides do Batólito de Ibiúna. A datação K-Ar do shonkinito forneceu idade de 120 Ma.

As rochas permo-carboníferas do Subgrupo Itararé são representadas na região por arenitos predominantes, lamitos, folhelhos e conglomerados flúvio-glaciais e lacustrino-glaciais.

Os sedimentos finos e avermelhados, presumidamente terciários, têm ocorrências restritas e irregulares, tendo sido pouco estudados na região. Aparentemente, estão associados a pequenas bacias relacionadas a movimentos neotectônicos. Silva (1997) os relaciona a possíveis restos de *sills* de diabásio, assim como Setzer (1960). Possivelmente, são correlacionáveis aos sedimentos cenozóicos

descritos por Bjornberg *et al.* (1971), Fúlfaro & Suguio (1974), Melo & Ponçano (1983) e Melo (1995) em outras regiões do Estado. Segundo estes autores, esses sedimentos estariam relacionados a basculamentos tectônicos de blocos, dentro de um contexto neotectônico.

Aluviões recentes associam-se aos cursos d'água atuais, geralmente de forma descontínua e irregular.

3.2 ESTRATIGRAFIA

Embora não se pretenda, na presente pesquisa, analisar o mérito das propostas de subdivisão estratigráfica do Grupo São Roque, foram levantadas as mais recentes propostas em relação à mesma. A subdivisão estratigráfica do Grupo São Roque é muito dificultada pela intensa deformação das rochas, imbricando as litologias em várias escalas e colocando lado a lado, por empilhamento tectônico, unidades que não apresentam continuidade estratigráfica. Bergmann (1988) propôs, em estudos realizados na região de Pirapora do Bom Jesus, subdividir o Grupo São Roque em três formações, da base para o topo:

-Formação Pirapora: pilha de rochas metavulcânicas e sub-vulcânicas de caráter básico toleítico e rochas piroclásticas subordinadas, com um Membro Carbonático a cálciofilitos e metadolomitos a estromatólitos;

-Formação Estrada dos Romeiros: em contato transicional com a anterior, com um membro arenoso na base e um membro pelítico no topo;

-Formação Boturuna: Formação Boturuna: em contato brusco com a precedente, apresentando dois membros vulcânicos e dois membros arenosos.

A mesma autora considerou essas unidades como depositadas em ambiente associado a calhas rasas, do tipo *rift* intracontinental, numa provável margem continental passiva, com vulcanismo associado ao início de sua evolução. A sedimentação teria ocorrido no Proterozóico Inferior e o metamorfismo no Proterozóico Médio ou Superior.

Bergmann (1992) publicou revisão da litoestratigrafia e do paleoambiente do Grupo São Roque na mesma região, definindo três unidades litoestratigráficas, nomeando-as Unidade Vulcano-sedimentar Basal, Unidade Clástica Turbidítica Superior e Unidade Clástica Alóctone.

Hackspacher *et al.* (1992b), em estudos na mesma região, posicionaram na base do Grupo São Roque a Formação Estrada dos Romeiros, com siltitos e metarritmitos pelíticos, seguida pelos quartzitos e metassiltitos da Formação Boturuna, e pela Formação Pirapora, composta por rochas básicas toleíticas e calcários. Os mesmos autores consideram essas unidades depositadas no Proterozóico Inferior, com metamorfismo no Proterozóico Médio ou Superior.

Considerando essa subdivisão, a área das minas da FCV-1 estaria incluída na Formação Pirapora, em contato possivelmente tectônico com a Formação Estrada dos Romeiros. As metabásicas, incluídas na última, são de ocorrência restrita na região de Santa Helena.

Juliani & Beljavskis (1995), numa revisão, propuseram para a faixa São Roque/Serra do Itaberaba a separação de uma unidade metavulcanossedimentar, denominando-a Grupo Serra do Itaberaba, antes definida por Juliani (1993), subdividindo-a, da base para o topo, nas formações Morro da Pedra Preta, vulcanossedimentar e basal; Nhanguçu, superior e essencialmente composta por metapelitos com andaluzita ou manganésiferos com lentes subordinadas de rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas; e Pirucaia, predominantemente quartzítica, possivelmente correspondente a litofácies depositada nas margens da bacia sedimentar, podendo ser cronocorrelata às duas citadas formações, particularmente à Nhanguçu.

No Grupo São Roque, os mesmos autores reconheceram as formações Piragibu, metapelítica, com raras lentes de metavulcânicas e metaconglomerados na sua base; Pirapora do Bom Jesus, predominantemente vulcânica e vulcanoclástica, com biohermas e cálcio-filitos; Estrada dos Romeiros, com metapelitos e metarenitos rítmicos; e Boturuna, essencialmente metarenítica/arcoseana.

CPRM (1998), em sua Carta Geológica 1:250.000, Folha de São Paulo (SF 23-Y-C), subdivide o Grupo São Roque, na região do presente estudo, nas seguintes formações: Pirapora do Bom Jesus, basal, com rochas carbonáticas e cálcio-silicáticas; Piragibu, intermediária, com rochas metassedimentares rítmicas mais ou menos arcoseanas e metabasitos; e Estrada dos Romeiros, superior, com metapelitos e metarenitos rítmicos. Os micaxistos e hornfels xistosos junto à borda SE do Maciço Granítico Sorocaba foram posicionados na Formação Pedra Preta, unidade basal do

Grupo Serra do Itaberaba. O Quadro 3.1 a seguir sintetiza as propostas de subdivisão estratigráfica dos grupos São Roque e Serra do Itaberaba.

Quadro 3.1 - Propostas de subdivisão estratigráfica dos grupos São Roque e Serra do Itaberaba.

	Bergmann (1988)	Bergmann (1992)	Hackspacher <i>et al.</i> (1992b)	Juliani e Beljavskis (1995)	CPRM (1998)
Grupo São Roque	Formação Boturuna	Unidade clástica alóctone	Formação Pirapora	Formação Boturuna	Fm. Estrada dos Romeiros
	Formação Estrada dos Romeiros	Unidade clástica turbidítica Superior	Formação Boturuna	Formação Pirapora do Bom Jesus	Fm. Piragibu
	Formação Pirapora	Unidade vulcano-sedimentar basal	Formação Estrada dos Romeiros	Formação Piragibu	Fm. Pirapora do Bom Jesus
Grupo Serra do Itaberaba				Fm. Nhanguçu Fm. Pirucaia Fm. Morro da Pedra Preta	Fm. Nhanguçu Fm. Morro da Pedra Preta

Nota: O alinhamento horizontal das unidades geológicas não significa, necessariamente, a correlação lito-estratigráfica entre as mesmas.

3.3 METAMORFISMO

Os epimetamorfitos do Grupo São Roque são regionalmente metamorfizados na fácies xisto verde (Turner 1981). Litologias de fácies anfibolito são observadas apenas nas periferias de granitóides intrusivos. Nas rochas de fácies anfibolito, são comuns as associações mineralógicas em desequilíbrio, como biotita-clorita, plagioclásio com borda albitica ou saussuritizado, zoicita-clinozoisita, granada-clorita e sillimanita-muscovita. Essas associações são indicativas de um processo retrometamórfico em condições físicas bastante atenuadas.

Nas rochas carbonáticas mais puras e de granulação fina, evidências de metamorfismo são pouco visíveis. A pequena quantidade de quartzo provavelmente contribuiu para o escasso rearranjo mineral. A recristalização parcial da rocha é a evidência mais observável da ação metamórfica. Às vezes, nota-se a presença de talco nas fraturas, que podem exibir também carbonatos e quartzo recristalizados. Segundo Frascá (1992), a presença de abundantes romboedros de dolomita em algumas rochas carbonáticas poderia sugerir uma dolomitização secundária pela percolação de soluções magnesianas através de zonas de fraqueza.

Nas zonas de contato dos corpos granitóides com as rochas metassedimentares, desenvolveram-se auréolas de metamorfismo de contato, onde

são também observados fenômenos pneumatolíticos e hidrotermais, como turmalinização, pegmatitos e presença de fluorita e de pirita.

Associado às zonas de cisalhamento, ocorreu o metamorfismo cataclástico, com o desenvolvimento de produtos variando do cataclasito ao ultramilonito. Tais zonas chegam a ter largura quilométrica em alguns setores.

3.4 ESTRUTURAS

Estruturalmente, a região faz parte da organização das áreas pré-cambrianas de São Paulo e Paraná, caracterizada pela segmentação em blocos por uma intensa rede de zonas de cisalhamento (ZCTs), que são as feições estruturais mais marcantes da região, com orientação predominante NE-SW e alto ângulo de mergulho. São zonas de comportamento dúctil-rúptil, com movimentação lateral dextral em regime não coaxial. Ao longo das mesmas, desenvolveu-se marcante foliação milonítica. As ZCTs mais importantes são as de Taxaquara, Pirapora, Mairinque, Araçariguama e Caucaia. As áreas das minas Placa, Pastinho e Mina 1 de Salto de Pirapora são afetadas pela ZCT secundária denominada Moreiras.

As rochas metassedimentares do Grupo São Roque, quando não afetadas pelas ZCTs, exibem o acamamento reliquiar S_0 , acompanhado por uma foliação paralela a subparalela S_{n+1} . Essas estruturas são deformadas por conjuntos de dobras D_{n+2} e D_{n+3} , com orientações predominantemente em torno de NE. O conjunto D_{n+3} exhibe clivagem empinada nas proximidades das ZCTs. O auge metamórfico teria sido contemporâneo à fase D_{n+3} (Oliveira *et al.* 1992).

As estruturas reliquias observáveis são a estratificação plano-paralela, a laminação/estratificação cruzada, estrutura gradual e estrutura rítmica. A xistosidade apresenta direção regional NE-SW, com mergulhos variáveis para NW e SE. Crenulação e transposição são observáveis nos metapelitos, introduzindo ondulações adicionais visíveis em escala de afloramento ou microscópica.

As dobras observáveis em afloramentos são centimétricas a decamétricas, isoclinais ou cerradas, com planos axiais subverticais, com xistosidade também plano-axial. Apresentam adelgaçamento de flancos e espessamento de ápices. Quando há intercalação restrita de rochas mais competentes, como quartzitos, em pacotes de metapelitos, os últimos exibem padrões mais complexos de dobramento. No caso

metapelitos, os últimos exibem padrões mais complexos de dobramento. No caso inverso, os metapelitos mostram dobras de arrasto ou parasíticas. Dobras maiores, em escala regional, apresentam-se com eixos NE-SW.

Juntas são observáveis em quatro ou cinco sistemas bem desenvolvidos:

- um sistema subvertical e subtransversal à xistosidade;
- dois sistemas subverticais e oblíquos à xistosidade, com a obliquidade em torno de 50°;
- um ou dois sistemas subhorizontais, com menos de 40° de inclinação. Quando isoladamente observados nos afloramentos, aparentam tratar-se de juntas de alívio de carga, mas, quando observados em conjunto, apresentam-se opostamente inclinados, evidenciando relação com o mesmo regime de esforços causador dos anteriores.

3.5 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

Autores como Soares (1988) e Magalhães *et al.* (1995), interpretam a evolução geológica da porção leste do sul-sudeste brasileiro em estreita associação com a colisão de blocos crustais, com base na Teoria das Placas e apoio em evidências obtidas através de métodos geofísicos.

Para a região que compreende as áreas de estudo da presente pesquisa, teria ocorrido a colisão do chamado bloco Vitória, situado a ENE, com o bloco São Paulo, situado a WSW do primeiro e, em cuja borda teria ocorrido a sedimentação das rochas que hoje compõem o Grupo São Roque. A colisão, oblíqua e de baixo ângulo, teria resultado no cavalgamento do bloco Vitória sobre o São Paulo (subducção do tipo A), provocando, em estado plástico, a desarticulação, o imbricamento e a lenticularização das unidades rochosas. Esse evento teria imposto às rochas uma primeira foliação (S1), do tipo milonítica, com direção geral ENE-WSW, com mergulhos baixos para SSE e paralela à sutura dos blocos colisionais. Devido à obliquidade do movimento de cavalgamento, a lineação de estiramento (L1) apresenta direção EW.

A evolução dos eventos deformativos teria ocorrido não em fases isoladas no tempo, mas de maneira progressiva. Dentro desse princípio, numa etapa posterior, os maciços teriam se tornado progressivamente mais arrefecidos. Assim, o transporte de massas rochosas, que estaria ocorrendo de E para W em rampa oblíqua de baixo

ângulo, teria sido gradativamente impedido, induzindo o aparecimento de diversas zonas de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil de alto ângulo de direção ENE-WSW. A foliação S1 teria então sido verticalizada ou gerou uma nova foliação (S2), com o aparecimento de outra lineação de estiramento (L2). As zonas de cisalhamento de Taxaquara, Cubatão, Pirapora e outras seriam exemplos desse evento. A maioria dessas zonas tem direção NE-SW e caráter transcorrente dextral, compatível com o movimento de E para W do bloco Vitória. Segundo Magalhães *et al.* (1995), a ZCT de Moreiras, que afeta as regiões das Mina 1 de Salto de Pirapora e da mina Pastinho, enquadra-se nesse contexto.

As idades dos eventos deformativos e mesmo das unidades rochosas são ainda objeto de controvérsias. A sedimentação é atribuída, por autores como Hackspacher *et al.* (1992b) e Bergmann (1988), ao Proterozóico Inferior, com metamorfismo no Proterozóico Médio ou Superior. As grandes zonas de transcorrência teriam se desenvolvido no Proterozóico Superior - Eo-Cambriano. Juliani & Beljavskis (1995) atribuem idade proterozóica média ao Grupo Serra do Itaberaba e superior ao Grupo São Roque.

No Fanerozóico, parte da região foi coberta pelos sedimentos do Supergupo Itararé, da Bacia Sedimentar do Paraná. No Mesozóico, diques e *sills* de rochas básicas cortaram as rochas pré-existentes. No Cenozóico, basculamentos tectônicos de blocos teriam proporcionado a sedimentação das coberturas inconsolidadas.

CAPÍTULO 4

A ALTERAÇÃO SUPERFICIAL DAS ROCHAS

4.1 CONCEITOS GERAIS

A superfície terrestre exposta é coberta, em grande parte, por produtos originários da destruição das rochas sob ação dos agentes atmosféricos e biológicos. A transferência de matéria na epiderme dos continentes caracteriza o chamado ciclo supérgeno, que envolve intemperismo, pedogênese, erosão e sedimentação. Seus mecanismos fundamentais são a subtração e a adição de constituintes móveis durante o processo, cujas reações são controladas por três variáveis principais: as rochas, as águas meteóricas e os gases dissolvidos, principalmente O_2 e CO_2 .

A água é o principal agente do intemperismo, promovendo a dissolução dos sais solúveis (de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e outros), a hidratação de certos íons (Fe) e sobretudo a hidrólise, que provoca o colapso das estruturas cristalinas pela retirada de cátions do edifício cristalino dos minerais (Nahon 1991; Melfi 1993).

Sendo a água é o agente intempérico mais importante, é evidente a importância das chuvas. Tardy (1986) apresenta 74,6 mm como média de precipitação anual nas áreas expostas, embora ocorram grandes variações segundo as diversas zonas climáticas. Segundo Melfi (1993), os extremos chegam a 12.400 mm na Índia e menos de 2 mm em algumas regiões desérticas. Tardy (1986), comparando as porcentagens da precipitação que evapora com aquela que percola através do solo ou escoar na superfície, estimou em apenas 36% do total precipitado (26,8 mm) a quantidade média de água "efetiva", que participa como agente do intemperismo químico.

4.1.1 As soluções aquosas superficiais e suas ações intempéricas

Segundo Birot (1981), mesmo a água pura possui ação agressiva, dissociando-se espontaneamente em íons H^+ e OH^- e permitindo as reações de hidrólise. Em presença de sais, de ácidos ou de bases fortes, a ação de suas moléculas é suficiente para afastar os íons constituintes (por exemplo, $NaCl \Rightarrow Na^+ + Cl^-$). As águas carregadas de substâncias orgânicas ácidas ou de CO_2 são ainda mais agressivas aos minerais (Campy & Macaire 1989). As características das soluções variam conforme a natureza dos materiais dissolvidos e de suas concentrações, definindo o mecanismo

físico-químico de ataque aos minerais. Segundo Melfi (1993), essa relação pode ser resumida como mostrado no Quadro 4.1 a seguir.

Quadro 4.1 - Mecanismos físico-químicos de ataque em função das características das soluções naturais.

Mecanismo Físico – químico	Características gerais das soluções superficiais	pH da solução	Zona climática
Acidólise	Águas ricas em ácidos orgânicos hidrossolúveis ($p_k < p_k \text{ Al}$)*	4 – 4,5	Fria
Hidrólise	Águas puras e carregadas em CO_2 ou ainda reativos cujo $p_k > p_k \text{ Al}$	5 - 6	Temperada
Salinólise	Águas carregadas em sais de ácidos fortes (cloretos, sulfatos,...)	> 7	Desértica
Alcalinólise	Águas carregadas em sais de ácidos fracos (carbonatos)	5 – 6	Tropical

- p_k = constante ácida dos elementos químicos = $-\log K$, onde K = constante de ionização

Modificado de Melfi (1993)

Segundo Melfi (1993), os mecanismos de ataque aos minerais primários, citados no Quadro 4.1, diferem entre si pela maneira como os vários elementos participantes do processo aparecem na superfície, conforme descrição a seguir:

Acidólise: as soluções de ataque contêm reagentes ácidos ($p_k < 5$), podendo salificar não apenas os cátions básicos, mas também o Al, que aparece sob a forma de sal solúvel, dissociado em maior ou menor extensão.

Hidrólise: promove a extração e individualização do Al na forma de compostos insolúveis e fracamente ionizados, seja como hidróxidos livres ou sais básicos hidroxi – aluminossilicatados. Sílica e cátions básicos permanecem em solução no estado de ácido não dissociado ou de bases altamente ionizadas.

Salinólise: típica de soluções mais concentradas, formadas por sais de ácidos e bases fortes. O tipo de evolução é semelhante à hidrólise. O cátion básico aparece como sal solúvel.

Alcalinólise: as soluções contêm reagentes básicos ($pK > 9,6$), conduzindo à individualização da sílica e do alumínio, liberados na forma de aluminatos e silicatos (ânions), que podem ser neutralizados pelos cátions básicos externos (da solução).

4.1.2 Transformação e neoformação de minerais no perfil de intemperismo

Segundo Campy & Macaire (1989), o movimento dos íons no interior das alteritas se caracteriza pela formação dos chamados “complexos de alteração”, constituídos pelos minerais argilosos, óxidos e hidróxidos, através de dois processos:

- transformação progressiva da estrutura e modificação do quimismo dos minerais primários, como é o caso dos filossilicatos;
- neoformação, através da cristalização de minerais a partir de elementos menos móveis em solução, com passagem eventual por um estado amorfo intermediário (gel).

A cinética da destruição dos minerais primários e a composição do “complexo de alteração” depende, acima de tudo, do clima. Os trabalhos de Pedro (1964, 1969), McFarlane (1976), Tardy *et al.* (1991), Tardy & Roquin (1992), Tardy (1993) e outros pesquisadores resultaram no reconhecimento de domínios de alteração segundo as condições climáticas:

Alteração nula: nos climas frios das regiões polares ou quentes e secos dos desertos, os minerais primários praticamente não evoluem, predominando a desagregação física das rochas.

Bissialitização (hidrólise parcial): nos climas temperados e úmidos, os minerais são moderadamente afetados, dando origem a filossilicatos variados, sobretudo do tipo 2/1, caracterizados por cela unitária com duas camadas de tetraedros de SiO_4 e uma camada de octaedros de $Al_2(OH)_6$, principalmente representados pela illita, vermiculita, e esmectita (Santos 1992).

Monossialitização (hidrólise parcial): no clima tropical, quente e úmido, ocorre forte alteração dos minerais; o empobrecimento da alterita em sílica, mais solúvel do que Al e Fe, leva à formação preferencial de filossilicatos 1/1, com cela unitária de uma camada de tetraedros de SiO_4 e uma camada de octaedros de $Al_2(OH)_6$, principalmente representados pela caulinita e haloisita.

Alitização (hidrólise total): sob clima equatorial, muito quente e úmido, a alteração chega ao extremo, com a destruição total dos minerais primários e a eliminação quase

completa da sílica, restando somente alguns acessórios resistentes. Somente os óxidos de Al e Fe permanecem próximos à superfície.

A Figura 4.1 ilustra a variação da natureza dos minerais neoformados em função das condições climáticas e hídricas.

A gênese dos minerais secundários é freqüentemente induzida por uma “evolução inicial” nos minerais originais, como albitização, sericitização e cloritização, que podem ser de origem superficial; porém, mais comumente de origem profunda (retrodiagênese ou alteração hidrotermal).

4.1.3 Comportamento do ferro e do alumínio no intemperismo

O ferro, que ocupa o quarto lugar entre os elementos mais abundantes da crosta continental (5% em peso), tem a sua solubilidade bastante reduzida na sua forma férrica (Fe^{3+}), no intervalo natural de pH (3,5 a 9,5), sendo praticamente insolúvel em pH acima de 6 (Melfi 1993; Thomas 1994). Esse comportamento do ferro é mostrado no gráfico de solubilidade comparada da SiO_2 amorfa, do quartzo, do Al e do Fe em função do pH da Figura 4.2.

Diferentemente do alumínio, o Fe não se integra tão facilmente ao retículo cristalino dos filossilicatos argilosos, apresentando-se com freqüência sob a forma de óxidos ou hidróxidos criptocristalinos ou cristalizados, como hematita, limonita, goethita, lepidocrocita e outros, à exceção da magnetita. A goethita e a hematita são os mais importantes, juntamente com amorfos.

O alumínio, mais abundante do que o ferro (8% em peso) apresenta, segundo Thomas (1994), comportamento similar ao do Fe como Al^{3+} ; entretanto, em pH acima de 8, passa a $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ e tem a sua solubilidade aumentada. Com pH nas condições de hidrólise, o Al assume a forma Al^{3+} , menos solúvel, formando óxidos e hidróxidos; porém, Fe e Al têm suas solubilidades aumentadas na presença de ácidos orgânicos

Segundo Schwertmann (1983), o alumínio pode substituir o ferro nos óxidos mais comuns, sendo melhor observado na goethita, mas tem sido constatada em hematita, lepidocrocita e até mesmo em magnetita.

Modificado de PEDRO (1964)

Figura 4.1 - Variação da natureza dos minerais neoformados em função das condições climáticas e hídricas.

Modificado de Thomas (1994)

Figura 4.2 - Solubilidade da sílica amorfa, do quartzo, do ferro e do alumínio em função do pH.

4.1.4 Dissolução da sílica

A sílica pode se apresentar em diferentes graus de cristalinidade na natureza, variando do quartzo, a forma mais ordenada, à sílica amorfa, passando por tipos intermediários como a opala. A solubilidade da sílica é inversamente proporcional à sua cristalinidade (Krauskopf 1972; Birot 1981; Melfi 1993).

A dissolução da sílica se processa por hidrólise, segundo a reação:

O ácido silícico, embora muito mais fraco, apresenta analogias com o ácido carbônico (H_2CO_3), exceto pelo fato de a sua molécula conter uma molécula adicional de água. Em pH acima de 9, dissocia-se em:

O teor de sílica dissolvida nas águas superficiais é de aproximadamente 13 ppm, saturada em relação ao quartzo, cuja saturação a 25° C, termodinamicamente calculada, é de cerca de 6 ppm. Os teores mais elevados de sílica nas águas superficiais resultam da alteração dos silicatos, geralmente mais solúveis.

Segundo Birot (1981), os grãos de quartzo que se encontram dentro, por exemplo, de um granito fresco, apresentam uma película externa de sílica "amorfa", onde os íons perderam a estrutura regular, podendo chegar à espessura de 1 µm, quando começa a desagregação granular. A origem dessa película é controversa. Poderia representar uma desestabilização do quartzo ao contato com as águas estagnadas nos poros; porém, algumas dessas películas têm a forma de uma cascata que cobre o grão a partir da sua parte superior, levando a crer que se trata de um depósito vindo da parte superior do solo. Nas regiões tropicais úmidas, pode-se observar, ao microscópio eletrônico de varredura, partes do mesmo grão cobertas pela película e, outras, com feições de corrosão.

Segundo o mesmo autor, nos horizontes pedológicos, onde não está presente a película "amorfa", as águas levemente ácidas não retiram mais do que 1 a 2 mg/l de sílica por litro de drenagem anual, com cerca de 6 meses de contato.

4.2 INTEMPERISMO EM CONDIÇÕES TROPICAIS – LATERITIZAÇÃO

4.2.1 Definição e classificação das lateritas

Para a gênese do material argiloso focado na pesquisa, enriquecido em alumínio e ferro, o mecanismo de intemperismo mais favorável é o da lateritização, sobre o qual apresenta-se a seguir uma síntese, cujo conhecimento norteou os trabalhos prospectivos durante os estudos.

Extensas áreas das regiões tropicais são cobertas por espessos mantos de alteração de cor avermelhada, conhecidos como laterita, em cuja composição predominam óxidos de ferro, alumínio e silício.

O termo laterita vem do latim *later* (ladrilho). O primeiro autor a se referir à laterita foi Buchanan (1807 *apud* Pedro & Melfi 1983), descrevendo um material suficientemente mole para ser cortado em blocos, mas que endurecia quando exposto ao ar, transformando-se em excelente material para construção. O mesmo autor denominou de *brickstone* a um material que já era encontrado endurecido no solo.

Posteriormente, surgiram controvérsias sobre a definição de laterita. Alguns autores passaram a considerar laterita somente os materiais endurecidos (cauraças ferruginosas). Outros utilizaram o termo também para os materiais inconsolidados. No início do século, a cor avermelhada foi adotada como critério para a definição de laterita por Walther (1916 *apud* McFarlane 1976), levando os estudiosos a considerar laterita qualquer material vermelho, independentemente da dureza. Essas controvérsias perduraram por décadas.

Segundo Tardy (1992), evidenciam-se atualmente duas posições:

- a dos pesquisadores que consideram laterita todos os tipos de produtos de intemperismo em ambiente tropical;
- a dos estudiosos que adotam o termo para designar produtos de intemperismo ricos em ferro e alumínio, geralmente formados sob condições tropicais, duros ou que endurecem sob exposição alternada entre umidade e ressecamento. Esta definição, derivada de conclusões resultantes de encontros internacionais visando a uniformização de critérios, exclui caulinita moldável, saprolitos finos e solos ferralíticos não endurecidos.

Schellmann (1983) apresentou, como resultado de estudos realizados por grupos de trabalho, a moderna definição de laterita: "*acumulações superficiais ou subsuperficiais de produtos provenientes do intenso intemperismo de rochas, desenvolvidos sob condições favoráveis a uma maior mobilidade dos elementos alcalinos, alcalino – terrosos e sílica e imobilização de ferro e de alumínio*". Tais materiais possuem uma paragênese mineral relativamente simples, caracterizadas pela predominância de argilominerais do grupo da caulinita e de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, além do quartzo que, apesar da sua resistência, também pode ser parcialmente destruído e removido durante o processo.

A lateritização é favorecida pela combinação de temperatura e umidade elevadas, condição que caracteriza as regiões tropicais, delimitadas por uma faixa situada entre as latitudes 30° N e 30° S. A Figura 4.3 mostra a distribuição global do fenômeno da lateritização, segundo Bardossy & Aleva (1990).

Foram feitas várias tentativas de classificação dos diferentes tipos de laterita ao longo do tempo. Schellmann (1981), apresentou uma proposta que abrange todos os tipos. Este autor utilizou-se de base químico – mineralógica representada em diagrama triangular, considerando os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , em função dos minerais presentes: quartzo, caulinita, hematita – goethita e gibbsita. No diagrama da Figura 4.4, pode-se constatar a existência de cinco tipos de lateritas: silicosa (rica em quartzo), ferruginosa, aluminosa, caulínica e laterita *sensu strictu*. A laterita *sensu strictu* é caracterizada pela paragênese mineral mais comum dos solos tropicais: caulinita associada a quantidades variáveis de hematita, goethita e gibbsita.

4.2.2 Mecanismo de formação das lateritas

Segundo Pedro & Melfi (1983), a gênese das lateritas é geoquimicamente entendida como uma total desalcalinização da rocha-mãe, com a individualização de argilas caulínicas e hidróxidos, puros (Al: gibbsita; Fe: hidratos amorfos, hematita, goethita) ou mistos (goethita e hematita aluminosas).

A sílica também é mobilizada, embora em velocidade menor se comparada aos elementos alcalinos, podendo combinar-se com o alumínio que permanece *in situ*, dando origem aos argilominerais.

Modificado de Bardossy & Aleva (1990)

Figura 4.3 - Distribuição global do fenômeno de lateritização.

Modificado de Schellmann (1981)

Figura 4.4 - Diagrama triangular para a classificação de lateritas.

Embora formadas por um único processo, as lateritas podem abranger vários tipos de produtos, caracterizados não somente pelas diferenças composicionais, mas principalmente por variadas organizações estruturais, visto que a intensidade do processo, os materiais de origem e o tempo de atuação do processo podem variar segundo a posição geográfica.

A intensidade da hidrólise é, em grande parte, responsável pela constituição mineralógica das lateritas. A influência do grau de hidrólise na natureza dos seus produtos é mostrada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Comportamento da sílica, do alumínio e das bases, e tipos de lateritas resultantes em função da intensidade da hidrólise.

	Grau da hidrólise		
	Hidrólise total	Hidrólise parcial	
Geoquímica da Dessilicificação	Dessilicificação total	Dessilicificação parcial	
	Alitização	Sialitização	
Caracterização cristaloquímica	Hidróxido de alumínio	Silicatos argilosos	
	Gibbsita	Tipo 1/1 Caulinita	Tipo 2/1 Esmectitas
Processo de alteração	Alitização	Monossialitização	Bissialitização
Geoquímica da desalcalinização	Desalcalinização total		Desalcalinização parcial
Tipos de lateritas	Lateritização <i>sensu strictu</i> (ultraferralitização)	Lateritização <i>sensu latu</i>	Sialferralitização
Paragênese característica do perfil de alteração	Gibbsita – hidratos férricos (tipo óxido)	Caulinita – hidratos férricos (tipo caulinitico)	Esmectitas (Al – Fe)

Modificado de Pedro & Melfi (1983)

4.2.3 Perfís lateríticos

Segundo Melfi (1993, 1994), nos climas quentes e úmidos da zona intertropical, a alteração afeta a maioria dos minerais primários, que desaparecem rapidamente dos horizontes intempéricos, levando à formação de espessos perfis essencialmente

constituídos por minerais secundários, com pedogênese limitada aos horizontes superiores.

A Figura 4.5 apresenta o perfil esquemático da alteração das rochas em clima tropical, onde são identificados dois grandes conjuntos: a alterita e o solum. A primeira é formada pelos horizontes de alteração e o segundo caracteriza os horizontes de evolução pedológica. A Figura 4.6 mostra um detalhe do perfil latossólico.

O solum contém acumulações de argilominerais, óxidos e hidróxidos. Os últimos podem formar couraças ou carapaças contínuas, ou nódulos ou pisólitos. Estruturas reliquias da rocha são raramente preservadas. Os horizontes observados a partir da rocha fresca caracterizam-se pela diminuição progressiva de densidade aparente e pelo aumento da porosidade. Segundo Melfi (1994), os volumes originais da rocha fresca são geralmente preservados no interior da alterita (alteração isovolumétrica), apesar das perdas de matéria por dissolução, que chega a 80% no caso das rochas ultramáficas.

Minerais primários podem ser integralmente substituídos por minerais secundários, mantendo a estrutura original da rocha (pseudomorfose). Óxi-hidróxidos de Fe e Al e argilominerais, formados no início do processo na periferia dos minerais primários (minerais ferro-magnesianos e feldspatos), passam a constituir paredes ou cercas, que sustentam a estrutura original mesmo com a progressão da alteração e da conseqüente saída de matéria. As transferências iônicas nessa escala podem ser intracristalinas, intercristalinas, ou mesmo em escalas maiores, em nível de horizonte ou da paisagem. Processo análogo ocorre com o ferro em minerais como olivinas, piroxênios, anfibólios e biotitas, com a formação de paredes ou cercas goethíticas. A goethita e a gibbsita das lateritas podem, segundo Tardy *et al.* (1991), transformar-se em hematita e bohemita quando desidratadas, formando estruturas nodulares e pisolíticas.

Grubb (1983) estudou, no Zimbábue, a formação de perfis lateríticos e bauxíticos a partir de granitos, observando que ocorre substancial dissolução do granito mesmo próximo à rocha fresca, com a formação de gibbsita nos primeiros estágios do intemperismo, passando por uma fase argílica. Pouca gibbsita se formaria posteriormente, predominando a remobilização e a recristalização da mesma no perfil.

Modificado de Melfi (1994)

Figura 4.5 - Perfil esquemático de alteração das rochas em clima tropical.

Modificado de Chauvel (1977 *apud* TARDY 1992)

Figura 4.6 - Estrutura micronodular da laterita, feita da assembléia de hematita, caulinita e quartzo, porosa e caracterizada pela drenagem rápida.

Logo após a fase de formação da gibbsita, ocorre significativa dissolução do quartzo, com a redução do tamanho dos grãos.

4.2.4 Influência do clima e do tempo de exposição na lateritização

Segundo McFarlane (1976), é amplamente aceita a idéia de que as lateritas não podem se formar em ambientes extratropicais; porém, existem divergências entre os autores quanto ao papel do calor no processo. Tais divergências decorrem da dificuldade de definir se uma determinada laterita está ou não se formando atualmente. Assim, lateritas formadas em condições paleoclimáticas diferentes das atuais podem induzir a erros de interpretação.

Segundo Tardy & Roquin (1992), os ferricretes, concentrações ferruginosas comuns em ambientes de lateritização, desenvolvem-se principalmente em zonas tropicais úmidas com precipitação média anual em torno de 1.500 mm, estação seca de 5 meses e temperatura média anual entre 25° e 30° C.

Grubb (1983) estabeleceu como guia exploratório para zonas altamente lixiviadas, com potencial para depósitos lateríticos ou bauxíticos, as áreas delimitadas pela pluviosidade acima de 1.000 mm/ano e altitudes acima de 1.200 m.

Bardossy & Aleva (1990), resumem as condições climáticas para a formação de bauxitas: temperatura média anual acima de 22° C e precipitação anual superior a 1.200 mm, distribuída em 9 a 11 meses chuvosos e 1 a 3 meses relativamente mais secos. Tal fato não significa, segundo os mesmos autores, que os depósitos encontrados dentro dessa faixa sejam atuais, podendo as suas formações terem se iniciado há milhões de anos, continuando a se formar nos locais onde encontram presentemente condições favoráveis. Depósitos situados fora dessa faixa favorável de temperatura e de precipitação seriam testemunhos de condições climáticas pretéritas adequadas.

Ferrari (1996) simulou, através de dados paleoclimáticos e paleomagnéticos dos últimos 100 Ma, a sucessão paleoclimática associada à deriva continental e calculou o tempo de exposição das bauxitas lateríticas da África e da América do Sul às condições de lateritização. Concluiu que a maioria dos depósitos localiza-se em zonas que estiveram expostas por muito tempo, chegando a 100 Ma. Mostrou, também, que as bauxitas africanas abandonaram os ambientes favoráveis ao desenvolvimento há mais tempo do que as sul americanas, posicionando-se em ambientes mais favoráveis à

formação de ferricretes, motivo pelo qual teriam teor mais elevado de Fe_2O_3 do que as da América do Sul. Para os depósitos brasileiros, o tempo de exposição teria sido superior a 17 Ma, com a última exposição há 1 milhão de anos. Em seu estudo, o autor não considerou os depósitos do sudeste brasileiro.

Samama (1986), apresenta tempos bastante variáveis para a formação de depósitos de bauxita: 2 Ma ou menos para rocha-mãe pobre em quartzo e ferro; 10 mil anos no Havaí e 60 Ma na Índia, para rochas pobres em quartzo e ricas em ferro (como os basaltos); 2 Ma no Escudo das Guianas e 50 Ma no norte da Austrália, para as rochas quartzosas.

Pedro & Melfi (1983) apresentam as situações mais frequentes em relação à drenagem:

- meio úmido e permanentemente percolado: as condições de hidrólise são privilegiadas, podendo desenvolver latossolos e materiais ricos em gibbsita;
- meio úmido, saturado ou não, correspondendo à zona de oscilação do nível hidrostático: essa alternância de meio livre e saturado leva à formação de concreções ferruginosas na zona de oscilação;
- meio com alternância entre condições de umidade e ultra-seco: situação comum em regiões tropicais, onde o solo é muito ressecado na estiagem, podendo formar perfis com solos encouraçados.

Nos casos extremos da primeira situação, pode ocorrer a formação de depósitos de bauxita. Segundo Samama (1986), mesmo rochas silicosas, com mais de 90% de quartzo, como os arenitos arcoseanos, podem dar origem a depósitos aluminosos, chegando até mesmo a bauxíticos. Como exemplo, pode ser citada a jazida de bauxita de Porto Trombetas, no Pará, formada a partir de arenitos arcoseanos e siltitos argilosos (Boulangé & Carvalho 1997; Hernalsteens & Lapa 1988). Ainda como exemplo, no alto rio Cachorrinho (NW do Pará), existem de espessos perfis lateríticos desenvolvidos sobre platôs graníticos, com mais de 15 m espessura, enriquecidos em gibbsita abaixo de um horizonte superior argiloso e couraça ferruginosa nos níveis inferiores (observação pessoal deste autor).

4.2.5 Importância econômica das lateritas

Além da bauxita, os depósitos lateríticos podem apresentar concentrações economicamente importantes, por exemplo, de níquel (quando originários de rochas ultramáficas), manganês, ouro e outros elementos, conforme descritos por Samama (1986) e Melfi *et al.* (1988).

Nas condições de lateritização, até mesmo um elemento estável como o ouro, contido na estrutura cristalina de minerais da rocha-mãe ou disseminado em partículas microscópicas, é solubilizado, migra e precipita ao encontrar variações das condições físico-químicas, dando origem às concentrações secundárias, caracterizadas por partículas grossas, como aquelas conhecidas nas regiões de Cuiabá (MT) e Barro Alto (GO) (Shimada 1983). Em Chapada (GO), ocorre espesso manto laterítico sobre depósito sulfetado de cobre e ouro, no qual o último, contido na estrutura da calcopirita no minério primário, ocorre sob a forma de partículas de metal nativo na laterita, suficientemente grossas para permitir a separação gravimétrica (constatação pessoal deste autor).

4.2.6 Lateritas no Brasil

O Brasil, segundo Melfi (1994) é um país essencialmente laterítico, com mais de 60 % da sua superfície recoberta por diferentes materiais lateríticos. Os mais comuns são os materiais argilo-ferruginosos friáveis, que dão origem, por pedogênese, aos latossolos, solos muito finos e pulverulentos, com microagregação característica.

Segundo Melfi (1997), todos os depósitos brasileiros de bauxita são de origem laterítica, formados através do intenso intemperismo de diferentes tipos de rocha e essencialmente constituídos de gibbsita. Ainda segundo o mesmo autor, são observadas variações mineralógicas regionais em relação aos óxidos nas lateritas brasileiras. As diferenças mineralógicas são, sobretudo, reflexo de variações paleoclimáticas, tendo o clima atual pouco afetado estas formações.

Na Amazônia, a cobertura laterítica é essencialmente constituída por geothita e gibbsita, sendo a hematita subordinada ou ausente. Destacam-se na região as grandes jazidas de bauxita, como a de Porto Trombetas.

Na região Centro-Oeste, são encontradas extensas áreas de laterita ferruginosa, nodular ou localmente formando crostas ou carapaças. Observa-se a associação de goethita, hematita e gibbsita.

No Nordeste, são também comuns as lateritas, cobrindo várias litologias e formando freqüentemente espessas couraças abaixo de um nível nodular, como ocorre no vale do rio Paramirim, na região de Macaúbas, Bahia (observadas por este autor). A goethita é o mineral ferrífero predominante, não ocorrendo gibbsita ou hematita.

Na Província Mantiqueira Central, no Quadrilátero Ferrífero e no Sudeste são conhecidos depósitos bauxíticos relacionados à lateritização de diversos tipos de rocha: filitos no Quadrilátero Ferrífero; gnaisses em Cataguases (MG); anfibolitos em Nazaré Paulista; metadiabásio em Curucutu (SP); granito em Mogi das Cruzes; rochas alcalinas em Resende, Rio Bonito, Pirai e Macacu (RJ), e Poços de Caldas e Passa Quatro (MG). Além dos depósitos bauxíticos, a lateritização é observada sobre variadas litologias, principalmente sobre os basaltos da Bacia Sedimentar do Paraná, onde a goethita desaparece nas lateritas, com a hematita passando a principal constituinte (Melfi 1997).

O depósito bauxítico situado mais a sul no Brasil é o de Lages (SC), associado a rochas do Distrito Alcalino de Lages, principalmente fonólitos (Formoso *et al.* 1997).

Ainda segundo Melfi (1994), os depósitos lateríticos brasileiros distribuem-se de acordo com as posições que ocupam no relevo. Relevo este que resulta de uma evolução iniciada no Cretáceo superior, com o soerguimento do continente sul americano. A seguir, estabeleceu-se um longo período de erosão, nivelando as paisagens brasileiras sob a forma de um imenso peneplano, a Superfície Sul-Americana (King 1956). As imensas coberturas lateríticas formaram-se no Terciário Inferior por ação da alteração meteórica, durante a fase de agradiação desta superfície.

No Terciário Superior, ocorreu novo soerguimento, com novo ciclo erosivo, o ciclo Velhas, no qual a Superfície Sul-Americana foi, em grande parte, erodida e desmantelada. Porém, ainda é possível encontrar grandes e bem preservados testemunhos desse peneplano no interior do País, onde os mesmos formam a essência do Planalto Central Brasileiro, com altitudes variando de 500 a 1.000 m.

A alteração retomou a sua progressão sobre os testemunhos da Superfície Sul-Americana. Sobre a Superfície Velhas, inferior e embutida na primeira, iniciou-se nova

fase de lateritização. As lateritas friáveis da Superfície Velhas apresentam-se compartimentadas em grandes setores que correspondem, aproximadamente, às bacias hidrográficas brasileiras: Amazônia, Araguaia – Tocantins, São Francisco e algumas bacias de rios do sudeste, em posições topográficas mais baixas.

Retomadas de erosão sub-atual (Ciclo Paraguaçu) e atual causaram o entalhamento dessas superfícies e deram origem a um novo conjunto de paisagens rejuvenescidas.

Lateritas no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, são conhecidos vários depósitos lateríticos gibbsíticos, formando concentrações de bauxita, em Mogi das Cruzes, Curucutu (região sul da Capital), Lavrinhas, Nazaré Paulista e na região de Santo Antônio do Pinhal, Sapucaí-Mirim e Camanducaia, na divisa com o Estado de Minas Gerais.

Esses depósitos originaram-se a partir de litologias variadas, envolvendo rochas alcalinas, metabasitos/metaultrabasitos, gnaisses, migmatitos e granitos. Essa litoindpendência evidencia a importância das condições climáticas e topográficas na gênese dos mesmos. Mesmo rochas bastante silicosas podem sofrer forte lixiviação da sílica, resultando em concentrações bauxíticas.

Knecht (1960) descreveu produtos de alteração de rochas alcalinas em Piedade e Toledo-Grohe & Melfi (1982) estudaram os aspectos micromorfológicos associados às bauxitas desenvolvidas sobre rochas básicas e alcalinas no Estado de São Paulo.

Segundo Oliveira & Toledo (1997), os depósitos de bauxita da Província Costeira Sudeste são derivados de rochas ígneas e metamórficas em condições de alta temperatura e pluviosidade. A distribuição da bauxita é controlada no relevo pelas condições de drenagem, ocorrendo preferencialmente nos topos e nas encostas superiores bem drenadas.

O Quadro 4.3 a seguir apresenta uma síntese das informações sobre os depósitos de bauxita do Estado de São Paulo.

Quadro 4.3 - Depósitos de bauxita laterítica do Estado de São Paulo (incluindo parte de Minas Gerais).

Depósito	Natureza da rocha-mãe	Altitude (m)	Recursos (t) e teores médios (%)	Teores na rocha-mãe	Referências bibliográficas
Nazaré Paulista	Anfibolito (metabásica)	930 – 1.000	5,6 x 10 ⁶ t SiO ₂ = 7,7 % Al ₂ O ₃ = 35,0 % Fe ₂ O ₃ = 29,0 % TiO ₂ = 1,9 %	SiO ₂ = 48,8 % Al ₂ O ₃ = 14,0 % Fe ₂ O ₃ = 16,4 % TiO ₂ = 1,4 %	Beljavskis (1981); Beljavskis <i>et al.</i> (1984); Silva & Oliveira (1989); Oliveira & Toledo (1997)
Lavrinhas (coluvial)	Nefelina sienito	500 - 1.330	5,5 x 10 ⁶ t SiO ₂ = 1,67 % Al ₂ O ₃ = 58,20 % Fe ₂ O ₃ = 6,62 % TiO ₂ = 1,36 %	SiO ₂ = 54,20 % Al ₂ O ₃ = 21,00 % Fe ₂ O ₃ = 2,06 % TiO ₂ = 0,62 %	Sigolo (1979, 1988); Sigolo & Boulangé (1997)
Mogi das Cruzes	Gnaisses e migmatitos	820 - 830	120.000 t SiO ₂ = 19,2 % Al ₂ O ₃ = 52,1 % Fe ₂ O ₃ = 3,0 % TiO ₂ = 0,6 %	SiO ₂ = 63,5 % Al ₂ O ₃ = 24,3 % Fe ₂ O ₃ = 1,9 % TiO ₂ = 0,6 % (na caulinita associada)	Knecht (1943b); Knecht (1950); Gomes (1956); Toledo-Groke (1981); Oliveira & Toledo (1997)
Curucutu	Metabásicas e metaultrabásicas	800 - 900	72.000 t SiO ₂ = 1,94 % Al ₂ O ₃ = 41,98 % Fe ₂ O ₃ = 19,82 % TiO ₂ = 1,82 %	SiO ₂ = 50,94 % Al ₂ O ₃ = 11,90 % Fe ₂ O ₃ = 9,81 % TiO ₂ = 1,00 % (metadiabásio)	Gomes (1956); Toledo-Groke (1981); Oliveira & Toledo (1997)
Santo Antônio do Pinhal, Sapucaí-Mirim e Camanducaia	Granitos e anfibolitos	1.500 - 1.700	Não quantificado	Não quantificado	Goraieb <i>et al.</i> (1998)

CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O problema referente às matérias-primas, citado em 1.2, foi identificado através de contatos iniciados pelos Professores Doutores Jorge Silva Bettencourt e Jorge Kazuo Yamamoto com a direção da Divisão de Mineração da FCV-1. Com o avanço das conversações, foi apresentado um plano de trabalho, elaborado por este autor e aprovado pela FCV-1.

Já nesta etapa, simulações computacionais da composição da farinha, realizadas segundo o método descrito em 5.6.3, mostraram que a composição de uma argila hipotética, que substituísse integralmente a argila em uso, dispensando os corretivos, teria como composição aproximada 55,20 % de SiO_2 , 22 % de Al_2O_3 e 10 % de Fe_2O_3 . Uma segunda argila hipotética que, adicionada à argila em uso, substituísse apenas os corretivos (bauxita e minério de ferro), teria como composição aproximada 40 % de SiO_2 , 32 % de Al_2O_3 e 12 % de Fe_2O_3 . Constituintes menores, como MgO , K_2O , Na_2O , deveriam ter teores baixos, da ordem de 0,1 a 0,3 %. Esses dados indicaram como materiais a prospectar aqueles de composição de lateritas caulínicas, segundo a classificação de Schellmann (1981).

5.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica abrangeu a geologia regional, a fabricação do cimento Portland e os processos geoquímicos superficiais, particularmente aqueles envolvidos na gênese de materiais lateríticos.

Foram realizadas pesquisas nas bibliotecas do IG-USP, do IG-SMA, da ABCP, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (Rio Claro, SP), do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (Curitiba, PR), do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-USP (Piracicaba, SP) e do Instituto Agronômico de Campinas. Além das bibliotecas, foram realizadas buscas na Internet, tendo sido consultados os *sítes* já mencionados em 2.1.

5.3 DEFINIÇÃO DO MODELO GEOLÓGICO E DOS CRITÉRIOS PROSPECTIVOS

5.3.1 Definição do modelo geológico

A análise do problema da FCV-1 mostrou que o material argiloso buscado deveria ser inconsolidado, com as características químicas citadas em 5.1, típicas de materiais lateríticos. Assim, as condições para a formação de depósitos lateríticos, já citadas em 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4, foram somadas aos dados climáticos da região para uma análise conjunta.

Embora o clima atual possa não estar influenciando na formação de depósitos lateríticos na região, foram levantados os dados de Tavares (1997), que compilou, analisou, e definiu tendências dos dados climáticos da região de Sorocaba. Segundo esse autor, as áreas a centro-sul, sul e sudeste da cidade de Sorocaba apresentam, no período 1972-1991, as médias pluviométricas mais elevadas da região, variando de 1.400 a 2.000 mm anuais. Mesmo nos anos mais secos, não caiu abaixo de 1.000 mm. No inverno, cai bruscamente, chegando a menos de 50 mm, apresentando o contraste favorável à lateritização. A Figura 5.1 mostra a distribuição da pluviosidade média na região no período considerado. Nota-se média superior a 1.400 mm a SSE de Sorocaba.

Quanto aos dados de temperatura, o mesmo autor estudou somente aqueles medidos na Fazenda Ipanema, em Araçoiaba da Serra, na parte NW da sua área de estudo. O período abrangido pelas medidas foi de 1950-1991. Segundo suas interpretações, a média das máximas decresceu ligeiramente nesse período, indo de 27,9° C a 26,7° C. A média das mínimas, por outro lado, apresentou acréscimo de 1,6° C no mesmo período, variando de 13,8° C a 15,4° C. A média absoluta apresentou variação positiva de 0,7° C, indo de 19,3° C a 20° C.

A análise dos dados levantados permitiu concluir que havia a possibilidade de existência de depósitos lateríticos na região, com distribuição restrita e dependente das condições topográficas, à semelhança dos demais depósitos do paulistas.

Desta maneira, definiu-se o seguinte modelo geológico: *depósitos lateríticos cauliniticos, desenvolvidos a partir de litologias variadas, através da lixiviação parcial da sílica e acumulação do ferro e do alumínio, em condições de elevada pluviosidade e temperatura, em terreno bem drenado, preferencialmente em altos topográficos.*

Figura 5.1 - Distribuição espacial da pluviosidade média no período 1972 -1991 na região de Sorocaba.

5.3.2 Estabelecimento de critérios prospectivos e seleção de prospectos

Estabelecido o modelo, partiu-se para a definição dos critérios prospectivos que norteariam os trabalhos de campo. Sabia-se que as lateritas não ocorrem de maneira generalizada na região, manifestando-se em setores restritos, de pequena expressão superficial, sendo necessário selecionar as sub-áreas ou prospectos mais favoráveis com base nesses critérios.

Uma rocha-mãe pobre em sílica seria uma condição favorável à lateritização, consideradas constantes as demais condições. Seria o caso das rochas metabásicas e alcalinas da região, como ocorre nos depósitos de Nazaré Paulista e Curucutu. Assim, as metabásicas e as alcalinas foram, em princípio, consideradas as litologias mais favoráveis, sem desprezar o fato de a lateritização poder afetar litotipos variados, inclusive os mais silicosos, como os granitos, como ocorre em Mogi das Cruzes.

Os parâmetros geológicos e fisiográficos associados aos depósitos lateríticos, descritos na literatura consultada, somados aos condicionantes econômicos, legais, sociais e ambientais, permitiram chegar aos seguintes critérios:

- posicionamento em altos topográficos, freqüentemente relacionados a testemunhos da Superfície Sul-Americana, em cotas entre 500 e 1000 m ou mais;
- distância rodoviária máxima de 50 km a partir da FCV-1, com boas condições de acesso;
- área isenta de títulos minerários de terceiros;
- área isenta de outros usos do solo potencialmente conflitantes com a futura lavra, como loteamentos e áreas de proteção ambiental, incluindo áreas de mata secundária desenvolvida.

Além dos critérios acima, foram consideradas as ocorrências conhecidas de materiais inconsolidados avermelhados, indicativos da presença de ferro.

Os títulos minerários incidentes sobre a região foram levantados através do SICOM—Sistema de Controle Minerário do DNPM—Departamento Nacional da Produção Mineral, que permite a consulta informatizada através de janelas delimitadas por coordenadas, por município, por substância ou por tipo de título.

A aplicação dos critérios resultou na seleção de 4 sub-áreas dentro da área de estudo, denominadas prospectos (Figura 5.2):

Prospecto 1 - Metabásica de Alumínio: abrangendo o corpo metabásico e seu entorno próximo, a sul da referida cidade, foi considerado prioritário devido à natureza da rocha, favorável à gênese de materiais intempéricos ricos em alumínio e ferro, aliada às altitudes da ordem de 900 m.

Prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco: embora situado em área de rochas mais silicosas, foi selecionado pelas condições fisiográficas, com amplos altos topográficos acima de 950 m, em terreno bem drenado, além da sua proximidade da FCV-1.

Prospecto 3 - Zona de ocorrência da cobertura sedimentar avermelhada: embora em situação topográfica desfavorável, de colinas suaves com altitudes em torno de 700 m, foi selecionado devido à presença conhecida de materiais inconsolidados avermelhados, indicativos de concentração de ferro.

Prospecto 4 - Sienito de Piedade: foi também selecionado em razão da litologia favorável e das condições topográficas, com cotas acima de 1.000 m.

5.4 PLANEJAMENTO DOS TRABALHOS DE CAMPO

Primeiramente, foram planejados estudos nas minas Pastinho, Baltar subterrânea e do Lago, para um melhor conhecimento geológico, principalmente da primeira, com caracterização das litologias, particularmente do metadolomito de alto cálcio da capa (setor SE da mina). Na mina Pastinho, foi realizado através da descrição/amostragem de pontos numerados e levantados pela equipe de topografia, além de amostragem mais detalhada do metadolomito da capa. O número de pontos não foi previamente estabelecido, optando-se por defini-los de acordo com o andamento da atividade.

Para os 4 prospectos de materiais argilosos, foram planejados trabalhos de campo divididos em duas etapas:

Prospecção estratégica: teve como objetivo o conhecimento dos aspectos da geologia regional descritos na literatura ou fotointerpretados, assim como de realizar uma amostragem preliminar, nos prospectos, dos produtos de intemperismo considerados

LEGENDA

Prospectos

1	Metabásica de Alumínio
2	Maciço Granítico São Francisco
3	Cobertura sedimentar avermelhada
4	Sienito de Piedade

- ✕ Minas ativas: 1 - Pastinho
3 - Baltar subterrânea
5 - Mina do Lago (filito)
6 - Mina 1 - Salto de Pirapora
7 - Superbrito
8 - Mineral
- ✕ Minas inativas: 2 - Placa
4 - Baltar céu aberto
9 - Ponte Alta
- Estrada pavimentada
- - Estrada não pavimentada
... Estrada de ferro

Figura 5.2 - Localização dos prospectos selecionados.

interessantes. A amostragem foi predominantemente superficial e não sistemática, com alguma investigação em subsuperfície. Em função das dimensões da área a percorrer, cerca de 900 km², e da malha viária existente, os caminhamentos foram todos rodoviários.

Prospecção táctica: sucedendo a estratégica, visou o detalhamento dos trabalhos nos alvos selecionados dentro dos prospectos. Teve como objetivos a caracterização física e química preliminar do material e a avaliação preliminar de reservas, através de amostragem em subsuperfície. Nesta etapa, foram definidos os alvos para a pesquisa sistemática posterior, a ser realizada pela equipe da Divisão de Mineração da FCV-1, com execução de malha regular de amostragem e modelamento através de métodos geoestatísticos.

5.5 PREPARAÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAFICAS

5.5.1 Bases cartográficas

As bases cartográficas utilizadas durante os estudos são divididas em:

- carta 1:250.000 - utilizou-se a folha de São Paulo, editada em 1976 pela Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo - SEPLAN, para a visão conjunta da área de estudo;
- cartas topográficas na escala 1:50.000 do IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponíveis no acervo do Instituto Geológico-SMA, conforme a Tabela 5.1;
- cartas topográficas na escala 1:10.000 da SEPLAN, editadas em 1979 e adquiridas sob a forma de cópias heliográficas no IGC-Instituto Geográfico e Cartográfico, conforme a Tabela 5.2:

Tabela 5.1 - Relação das cartas topográficas 1:50.000 do IBGE utilizadas no estudo.

Folha	Código de identificação	Ano de edição
Jurupará	SF-23-Y-C-V-3	1973
Salto de Pirapora	SF-23-Y-C-IV-2	1971
São Roque	SF-23-Y-C-V-2	1973
Sorocaba	SF-23-Y-C-V-1	1973

Tabela 5.2 - Relação das cartas topográficas 1:10.000 da SEPLAN.

Folha	Código de identificação
Bairro Cafezal de Baixo	SF-23-Y-C-V-3-NO-A
Bairro do Arado	SF-23-Y-C-V-1-NO-E
Bairro Miguel Russo	SF-23-Y-C-V-3-NO-C
Bairro Pirapora	SF-23-Y-C-IV-2-NE-E
Bairro Utinga	SF-23-Y-C-IV-2-NE-F
Brigadeiro Tobias II	SF-23-Y-C-V-1-NE-A
Fazenda Santa Maria	SF-23-Y-C-V-1-NE-C
Fazenda São Marcos	SF-23-Y-C-IV-2-NE-D
Jundiaquara	SF-23-Y-C-IV-2-NE-C
Mairinque I	SF-23-Y-C-V-1-NE-D
Mairinque II	SF-23-Y-C-V-2-NO-C
Piraporinha	SF-23-Y-C-IV-2-SE-B
Represa de Itupararanga	SF-23-Y-C-V-1-NE-F
Salto de Pirapora	SF-23-Y-C-IV-2-SE-A
Santa Helena	SF-23-Y-C-V-1-NO-F
Serra de São Francisco	SF-23-Y-C-V-1-NE-D
Serrote do Paiol Velho	SF-23-Y-C-V-1-NE-E
Vila Elvio	SF-23-Y-C-V-3-NO-D
Vila Industrial	SF-23-Y-C-V-1-NE-B
Votorantim II	SF-23-Y-C-V-1-NO-C
Votorantim III	SF-23-Y-C-V-1-NO-D

As cartas, algumas com mais de 20 anos após a edição, apresentam a malha viária desatualizada, causando problemas na localização em campo, motivo pelo qual se utilizou um receptor *GPS-Global Positioning System*, marca *Trimble*, modelo *Ensign*, cedido pelo então Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada (DGE) do Instituto de Geociências-USP (IG-USP). Como foi utilizado somente um receptor *GPS*, não houve correção do erro induzido, mas, os desvios foram minimizados através de amarração com pontos próximos bem definidos.

5.5.2 Bases aerofotográficas

Para a fotointerpretação geológica, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:25.000, elaboradas pela BASE S.A. na obra O-590 URBES (1995) e cedidas pela Divisão de Mineração da FCV-1.

Como equipamento para a fotointerpretação, foram utilizados um estereoscópio de espelho *Wild* e um estereoscópio de bolso DFV. A tabela 5.3 mostra as faixas e a numeração das fotografias utilizadas.

Tabela 5.3 - Relação das fotografias aéreas utilizadas.

Faixa	Fotografias
02	16, 17
03	16, 17, 18
04	15, 16, 17
05	13, 14, 15
06	14, 15, 16, 17
07	5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16
08	5, 6, 7, 8

5.6 AMOSTRAGEM

A localização dos pontos de amostragem foi realizada, no campo, nas cartas 1:10.000 relacionadas na Tabela 5.2, com apoio do *GPS* nas ocasiões em que a desatualização das cartas causava dúvidas. No alvo da Fazenda Ventania, no setor oeste do prospecto 2 (Granito São Francisco), onde a amostragem foi mais detalhada, as posições dos furos de trado foi posteriormente levantada com precisão centimétrica pela equipe de topografia da FCV-1, através de uma estação total a infravermelho marca *Topcon*.

Nos trabalhos na mina Pastinho, os pontos descritos/amostrados foram levantados pela mesma equipe de topografia e lançados em planta 1:1.000.

Os procedimentos de amostragem variaram conforme a natureza dos materiais amostrados e, também, em função da etapa dos trabalhos de campo. A seguir, são resumidamente descritos os métodos adotados.

5.6.1 Amostragem de solo e de rocha alterada (amostragem de superfície)

As amostras superficiais de solo e rocha alterada, dos prospectos, foram preferencialmente coletadas em cortes de estrada, com raspagem e descarte do material exposto à superfície. Cada amostra representou uma canaleta vertical da altura do corte. A quantidade de material foi de aproximadamente 1 kg por amostra.

5.6.2 Amostragem de rocha nas minas

Na mina Pastinho, foi realizada através de coleta de fragmentos (*chip samples*) de rocha para análise química, em pontos escolhidos, posteriormente levantados pela

equipe de topografia da FCV-1 e numerados dentro de uma seqüência já estabelecida na mina. A quantidade de material foi de aproximadamente 0,5 kg por amostra. Além dos fragmentos para análise química, foram coletadas amostras das litologias mais representativas para estudos petrográficos.

O metadolomito de alto cálcio, o estéril que seria desmontado em maior volume na abertura da cava para SE, foi amostrado numa série das chamadas canaletas, com amostragem contínua de fragmentos em intervalos de 3 m entre dois pontos numerados e topograficamente levantados, sempre na base dos taludes. Inicialmente, pensou-se em amostrar malhas regulares nos taludes do metadolomito; porém, mostrou-se a mesma impraticável por motivo de segurança. Alternativas de amostragem foram estudadas com base nas informações de Annels (1991), optando-se pela amostragem horizontal na base dos taludes através das canaletas, com complementações futuras, na ocasião dos desmontes, por amostragens de pó de perfuratriz e de blocos desmontados.

Na mina Baltar subterrânea, foram apenas coletadas amostras das rochas descritas como cálcio-silicáticas pelos Geólogos da FCV-1, para estudos petrográficos.

Na mina do Lago, foram coletadas amostras do filito são e intemperizado, para estudos mineralógicos e petrográficos.

5.6.3 Amostragem de subsuperfície

As amostras de subsuperfície, tanto na prospecção estratégica como na tática, foram coletadas através de sondagem a trado. Inicialmente, foi utilizado o trado modelo IPT, de 4 polegadas de diâmetro, substituído pelo trado mecanizado de mesmo diâmetro, cedido pela FCV-1. Este, revelou-se bastante problemático na sua operação pelos seguintes motivos:

- demanda, no mínimo, um técnico e dois auxiliares, elevando o custo operacional;
- embora perfure mais rapidamente do que o trado manual, as manobras, a cada 30 cm de avanço, demandam muito tempo devido ao sistema de junção de hastes por roscas e luvas;
- apresenta freqüentes problemas mecânicos, sendo também pesado e ruidoso;

Devido a esses inconvenientes, o trado mecanizado foi utilizado somente nos furos rasos, de até 3 m, destinados à delimitação da área de ocorrência de material laterítico do prospecto 2.

Os furos de trado mais profundos, de até 10,5 m, na fase de prospecção táctica, foram executados com trado manual marca *Eijkelcamp*, de fabricação holandesa e cedido pelo DGE / IG – USP. Este equipamento mostrou-se o mais adequado ao tipo de trabalho, devido à leveza do conjunto e à operação muito facilitada pela junção das hastes por luvas e encaixes, proporcionando rendimento superior ao do trado mecanizado. Em profundidades de até 5 m, pode ser operado por apenas uma pessoa.

5.6.4 Outros tipos de amostragem

Inserem-se nesta categoria as amostras para controle de teores e determinação de peso específico do material argiloso, assim como de farinha e de clínquer Portland.

Amostragem para controle de teores: foram coletadas nas pilhas de material argiloso da mina do Lago e da Fazenda Ventania, destinadas aos ensaios de produção de clínquer. Várias amostras foram coletadas em diferentes pontos das pilhas, resultando em amostra compostas.

Amostragem para a determinação dos pesos específicos *in situ* e a seco da laterita da Fazenda Ventania: foram coletadas nos cortes abertos pela lavra experimental, na forma de blocos aproximadamente cúbicos, de dimensões variadas, cujos volumes foram medidos no campo, sendo então encaminhados aos laboratório da FCV-1 em embalagens herméticas.

Amostragem de farinha: foi realizada através dos amostradores automáticos instalados na saída dos moinhos, segundo procedimentos usuais na FCV-1.

Amostragem de clínquer Portland: destinada à obtenção de amostras representativas do mesmo, foram realizada através do peneiramento de cerca de 3 kg do material *in natura* em peneiras com abertura de 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,4 mm e 0,3 mm. As frações retidas foram manualmente fragmentadas e novamente peneiradas, sendo as porções passantes na peneira 2,4 mm e retidas na 0,6 mm compostas, para formar 50 g de amostra. Este procedimento foi realizado no laboratório da FCV-1.

5.7 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

5.7.1 Análise química

Na análise química das amostras do estudo, foram utilizados os seguintes métodos:

Análise química clássica (via úmida): realizada no laboratório da FCV-1, foi utilizada nas primeiras amostras de materiais argilosos dos prospectos (24 do prospecto 1, 44 do prospecto 2, 10 do prospecto 3 e 2 do prospecto 4). Devido à morosidade na execução, este método foi substituído pela análise instrumental. Foi também utilizado para a calibração da análise instrumental via fluorescência de raios-X, com a laterita do prospecto 2.

Espectrofotometria de plasma ICP (Ratti 1994): realizada no laboratório Nomos Análises Minerais, do Rio de Janeiro, foi utilizada em grande parte das amostras de material argiloso (28 do prospecto 1, 122 do prospecto 2 e 7 do prospecto 3).

Fluorescência de raios-X (Ratti 1994): foi realizada através do espectrômetro Phillips PW 1606 do laboratório da FCV-1. Foi utilizada nas amostras de rocha das minas Pastinho e do Lago, na bauxita, no minério de ferro, na farinha, no clínquer, e nas amostras da laterita do prospecto 2 após a calibração do instrumento para o material, já na fase de ensaios de produção de clínquer. As amostras foram preparadas sob a forma de pastilhas prensadas após moagem abaixo da malha 150. Este método é aplicado na rotina diária de análises na FCV-1.

5.7.2 Análise petrográfica e mineralógica

Análise petrográfica em lâminas delgadas: foi realizada em amostras de rochas da mina Pastinho (15), da metabásica de Alumínio (1), da mina Baltar subterrânea (3) e da mina do Lago (1). As 20 lâminas foram confeccionadas na Seção de Laminação do IG-USP. Para verificar a distribuição de calcita e dolomita, uma lâmina do metacalcário e três do metadolomito da capa foram coloridas por alizarina com a colaboração da Geóloga M.Sc. Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, do IPT, segundo método utilizado por Frascá (1992). A análise petrográfica foi realizada no Laboratório de Petrografia do IG-SMA e no Laboratório de Microscopia do IG-USP, com a colaboração do Geólogo M.Sc. José Maria de Azevedo Sobrinho e do Prof. Dr. Francisco Dias Alves, do IG-USP.

Identificação microscópica de minerais pesados: os minerais pesados de algumas amostras do saprolito do Granito São Francisco, da laterita sobrejacente e da cobertura sedimentar avermelhada foram separados e identificados ao microscópio, após concentração por bateamento manual, separação da fração magnética por ímã manual e separação fina por bromofórmio. As lâminas, em sua maioria, foram montadas de forma provisória, com líquido de imersão, sendo apenas as mais representativas montadas de forma definitiva, com bálsamo do Canadá. A identificação dos minerais foi realizada nos mesmos laboratórios acima citados, com a colaboração do Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini, do IG-USP e do Geólogo M.Sc. José Maria de Azevedo Sobrinho do IG-SMA.

Microscopia de clínquer Portland: teve o objetivo de avaliar a qualidade do clínquer obtido nos ensaios. As amostras de clínquer, obtidas conforme descrito em 5.3.4, foram montadas em seções polidas em enxofre (análise qualitativa) e resina (análise quantitativa) e estudadas ao microscópio de luz refletida quanto à mineralogia e aos aspectos físicos dos componentes. A descrição foi realizada no laboratório da FCV-1, pela Técnica Química Janete Rosa, com a participação deste autor. As seções foram examinadas no estado natural e após ataque com KOH + sacarose em solução aquosa a 10%, KOH + álcool e HNO₃, destinados a ressaltar determinadas feições ou minerais.

difratometria de raios-X: foi realizada no Laboratório de Difratometria de Raios-X do IG – USP (difratômetro Siemens D-500) e no LCT - EPUSP (difratômetro Phillips MPD 1880 - PW 1710). Foi realizada em amostras selecionadas dos materiais argilosos, da farinha de clínquer, do clínquer e de algumas rochas, como complemento à análise petrográfica. As amostras foram reduzidas abaixo da malha 150 e manualmente prensadas em suporte adequado. Para a interpretação dos resultados, foram utilizados os programas *Difrac AT* da Siemens e *Ident* da Phillips.

5.7.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Amostras selecionadas do saprolito do Granito São Francisco, da laterita da Fazenda Ventania e do clínquer Portland, convencional e produto do ensaio, foram examinadas nos microscópios eletrônicos de varredura (MEV) LEO-440I, do Instituto de Geociências – USP, e LEO-S440 do LCT-EPUSP.

Na laterita, visou o conhecimento da morfologia dos minerais constituintes na fração argila e, também, dos grãos de quartzo, para comparação com o quartzo do saprolito do granito. As amostras, já separadas na fração argila ou como grãos isolados de quartzo obtidos por lavagem, foram montadas nos suportes (*stubs*) espalhadas sobre fita de carbono, sendo metalizadas com carbono e ouro.

No clínquer procurou-se comparar a morfologia dos cristais dos componentes dos clínqueres convencional e produzido no ensaio, como parte do processo de avaliação da qualidade do último. As amostras, na forma de fragmentos, foram montadas sobre os *stubs* coladas à fita de carbono, tendo sido recobertas somente com ouro, o que privilegia a obtenção das imagens.

Para o estudo pontual e qualitativo da composição química das amostras, utilizou-se o recurso do MEV denominado Detetor de Energia Dispersiva (EDS em inglês), cuja aplicação é mais adequada em amostras recobertas com carbono.

5.7.4 Análises físicas

Granulometria: inicialmente, 5 amostras do prospecto 2 foram submetidas à análise granulométrica pelo método da pipetagem descrito em Suguio (1973), mas, devido à lentidão do mesmo, foi adotada a análise instrumental, realizada em 30 amostras selecionadas de material argiloso, nas frações abaixo de 1 mm, utilizando-se o analisador a laser *Mastersizer Microplus Ver. 2.17*, marca *Malvern*, do LCT- EPUSP. A fração acima de 1,00 mm foi estudada por peneiramento convencional, utilizando-se as peneiras *Tyler* de aberturas 4 mm (5 #), 2,38 mm (8 #) e 1,68 mm (10 #) e 1,00 mm (16 #).

Peso específico *in situ* e seco: foi determinado em amostras da laterita da Fazenda Ventania. Os blocos aproximadamente cúbicos do material, coletados na área de lavra experimental do Alvo 1 – Fazenda Ventania, foram medidos, acondicionados em embalagem hermética e enviados ao laboratório da FCV-1, onde foram pesados, submetidos a secagem por 24 horas a 60° C, e novamente pesados. No material escavado, foram também determinados os pesos específicos úmido e seco, através da pesagem em tambores de volume conhecido. Este procedimento prestou-se, também, ao cálculo do fator de empolamento.

5.7.5 Determinação aproximada do teor de sílica livre

Para o conhecimento aproximado do conteúdo de sílica livre, principalmente sob a forma de grãos de quartzo, amostras selecionadas dos materiais argilosos foram tratadas pelo processo conhecido como elutriação (Yamamoto, no prelo), no Laboratório de Preparação de Amostras do DGE/IG-USP.

Neste processo, uma massa conhecida de amostra, previamente desagregada em meio aquoso, é colocada num funil de vidro cuja base está conectada a uma torneira através de uma mangueira. Controlando-se a vazão da água, é possível eliminar as partículas mais finas, que saem pela parte superior, restando em seu interior as partículas grossas, entre elas os grãos de quartzo.

Evidentemente, o método separa outros grãos minerais juntamente com quartzo, motivo pelo qual, ao fornecer o teor de areia, permite conhecer apenas o teor aproximado de quartzo. Porém, após exame visual, admitiu-se como desprezível a massa desses minerais em relação à do quartzo. Foi também desconsiderada a eventual massa de grãos muito finos de quartzo eliminados com as demais partículas finas. Estas, submetidas à análise granulométrica instrumental no analisador a laser *Mastersizer Microplus Ver. 2.17*, marca *Malvern*, do LCT- EPUSP, revelaram a média de 44 μm para o limite com a fração grossa.

No tratamento das amostras, deu-se ênfase àquelas dos furos de trado do Alvo 1-Fazenda Ventania e dos furos dos Alvos 2 e 3 do prospecto 2 (92), tratando-se também amostras da "argila ferruginosa" (5), do saprolito do Granito São Francisco (5) e da cobertura sedimentar avermelhada (7).

5.8 PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL DE DADOS

Para o tratamento do grande volume de dados, recorreu-se ao processamento computacional, tanto para as informações gráficas como para os cálculos. Foram aplicadas as seguintes técnicas:

5.8.1 Cartografia digital

Para a digitalização das cartas topográficas nas áreas de interesse, foi utilizado o programa *Autocad* (Autodesk 1997), na sua versão R14. Como equipamento, foi

utilizada uma mesa digitalizadora *Summagraphics* formato A0, acoplada a um microcomputador *Pentium* 166 MHz.

Além do *Autocad R14*, foram utilizados programas computacionais desenvolvidos e/ou adaptados ao presente estudo, como *Coord*, para conversão de sistemas de coordenadas de geográficas para UTM e vice-versa, e *Isopoly5*, para conversão de arquivos .DWG em .DXF para exportação e uso em outros programas. Esses programas foram respectivamente desenvolvidos e colocados à disposição dos usuários, em 1996, pelo Geofísico Otávio Coaracy Brasil Gandolfo e pelo Geógrafo Dr. José Antonio Ferrari; o primeiro, pós-graduando do IAG-USP e, o segundo, Pesquisador do Instituto Geológico-SMA.

Os arquivos gerados através do *Autocad R14* foram a base de todos os mapas e perfis aqui apresentados, embora a maioria tenha sido editada em suas versões finais em programas como o *Corel Draw 7.0* (Corel Corporation 1997).

5.8.2 Cálculo preliminar de reserva mineral

Para o cálculo preliminar da reserva de material argiloso no Alvo 1 - Fazenda Ventania, do prospecto 2, utilizou-se o método clássico dos triângulos (Popoff 1966), onde a reserva é resultante da soma dos volumes de primas de base triangular, definida por triângulos formados por furos de sonda posicionados em seus vértices.

O teor médio de cada prisma é obtido pela média dos teores dos furos, ponderada pelas espessuras. O teor médio da reserva é obtido pela ponderação dos teores dos prismas pelos respectivos volumes.

Os cálculos foram realizados com o uso da planilha do Excel 97 (Microsoft Corporation 1997), também utilizada para os demais cálculos, tabulações de dados e confecção de gráficos.

5.8.3 Diagramas triangulares

Os diagramas triangulares dos dados de análise química foram obtidos através do programa Triplot 2.0⁴, e editados através do Corel Draw 7.0 para apresentação final.

⁴ Programa computacional elaborado por S. J. Baedke & T. A. Thompson (1993), Bloomington, Indiana.

5.8.4 Simulações computacionais da composição da farinha

Uma vez obtidos os resultados da campanha prospectiva e definido um alvo promissor, foram realizadas simulações da composição da farinha com os diversos componentes, visando a definição da melhor alternativa de combinação dos mesmos. O cálculo da composição da mistura ideal de componentes é realizado através da solução do sistema de equações abaixo, exemplificado para quatro componentes:

$$X_1S_1 + X_2S_2 + X_3S_3 + X_4S_4 = T_1$$

$$X_1A_1 + X_2A_2 + X_3A_3 + X_4A_4 = T_2$$

$$X_1F_1 + X_2F_2 + X_3F_3 + X_4F_4 = T_3$$

$$X_1C_1 + X_2C_2 + X_3C_3 + X_4C_4 = T_4$$

onde:

X_1, X_2, X_3, X_4 = proporção de cada óxido nos componentes 1, 2, 3 e 4

S_1, S_2, S_3, S_4 = teores de SiO_2 dos componentes 1, 2, 3 e 4

A_1, A_2, A_3, A_4 = teores de Al_2O_3 dos componentes 1, 2, 3 e 4

F_1, F_2, F_3, F_4 = teores de Fe_2O_3 dos componentes 1, 2, 3 e 4

C_1, C_3, C_4, C_5 = teores de CaO dos componentes 1, 2, 3 e 4

T_1, T_2, T_3, T_4 = teores de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 e CaO na farinha (objetivos)

T_1, T_2, T_3 e T_4 são estabelecidos de forma a obedecer aos limites ideais dos parâmetros químicos exigidos: Módulo de Sílica (MS), Módulo de Alumina (MA) e Fator de Saturação de Cal (FSC), mostrados na Tabela 2.2.

As equações do sistema podem ser representadas sob a forma de matrizes, como mostrado a seguir:

$$Q X = T$$

onde Q é a matriz:

$$\begin{vmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \\ C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{vmatrix}$$

$$X \text{ é a matriz: } \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{vmatrix} \quad \text{e } T \text{ é a matriz: } \begin{vmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{vmatrix}$$

A variação de 1% em T_1 , com T_2 , T_3 e T_4 constantes, corresponde a certas variações, positivas ou negativas, na proporção de cada um dos quatro componentes. Essas variações são designadas ΔS_1 , ΔA_1 , ΔF_1 , ΔC_1 e definidas como objetivos incrementais. Analogamente, uma variação de 1% em T_2 corresponde a objetivos incrementais ΔS_2 , ΔA_2 , ΔF_2 , ΔC_2 , e assim por diante.

Cada um dos quatro conjuntos de Δs pode ser obtido através da solução do problema da mistura com os quatro conjuntos de objetivos, como mostrado na matriz 1 a seguir:

MATRIZ 1

Quatro conjuntos de objetivos incrementais, expressos em porcentagem:

	1º conjunto de objetivos incrementais	2º conjunto de objetivos incrementais	3º conjunto de objetivos incrementais	4º conjunto de objetivos incrementais
SiO_2	1,00	0,00	0,00	0,00
Al_2O_3	0,00	1,00	0,00	0,00
Fe_2O_3	0,00	0,00	1,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	1,00

Uma vez obtidos os Δs , podem os mesmos ser arranjados para formar a matriz inversa da composição. Sendo a matriz de composição representada pela matriz 2, pode-se obter a matriz inversa da composição (matriz 3).

MATRIZ 2

matriz de composição

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
SiO_2	S_1	S_2	S_3	S_4
Al_2O_3	A_1	A_2	A_3	A_4
Fe_2O_3	F_1	F_2	F_3	F_4
CaO	C_1	C_2	C_3	C_4

MATRIZ 3

Matriz inversa da composição

	1% SiO_2	1% Al_2O_3	1% Fe_2O_3	1% CaO
SiO_2	ΔS_1	ΔS_2	ΔS_3	ΔS_4
Al_2O_3	ΔA_1	ΔA_2	ΔA_3	ΔA_4
Fe_2O_3	ΔF_1	ΔF_2	ΔF_3	ΔF_4
CaO	ΔC_1	ΔC_2	ΔC_3	ΔC_4

Cada elemento da matriz inversa é calculado de tal forma que:

$$| \text{MATRIZ 2} | \times | \text{MATRIZ 3} | = | \text{MATRIZ I} |$$

Onde a matriz I é:

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

Uma vez obtidos os objetivos incrementais da matriz 3, são os mesmos multiplicados pelos objetivos estabelecidos T_1 , T_2 , T_3 e T_4 para se chegar às proporções X_1 , X_2 , X_3 e X_4 dos óxidos de cada componente, conforme mostrado na matriz 4.

MATRIZ 4

	$T_1\% \text{ SiO}_2$	$T_2\% \text{ Al}_2\text{O}_3$	$T_3\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$	$T_4\% \text{ CaO}$
Componente 1	$T_1 \times \Delta S_1$	$T_2 \times \Delta S_2$	$T_3 \times \Delta S_3$	$T_4 \times \Delta S_4$
Componente 2	$T_1 \times \Delta A_1$	$T_2 \times \Delta A_2$	$T_3 \times \Delta A_3$	$T_4 \times \Delta A_4$
Componente 3	$T_1 \times \Delta F_1$	$T_2 \times \Delta F_2$	$T_3 \times \Delta F_3$	$T_4 \times \Delta F_4$
Componente 4	$T_1 \times \Delta C_1$	$T_2 \times \Delta C_2$	$T_3 \times \Delta C_3$	$T_4 \times \Delta C_4$

O resultado é a matriz a seguir, cujos elementos são as proporções buscadas para cada componente:

Componente 1	X_1
Componente 2	X_2
Componente 3	X_3
Componente 4	X_4

Nas simulações, foram utilizados os programas computacionais FARINHA.PAS, desenvolvido pelo orientador desta pesquisa, e FARINHA.EXE, desenvolvido pela SAIV.

5.9 TESTE DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER PORTLAND

Após as simulações da composição da farinha, os dados da melhor alternativa, incluindo as opções de mistura das rochas encaixantes com o metacalcário, foram utilizados para a realização de testes de produção de clínquer em escala industrial nos fornos 1 e 2 da FCV-1. A alternativa de testes em escala de laboratório foi abandonada por recomendação da própria indústria, devido à dificuldade de realização dos mesmos na fábrica. Seus técnicos de processo julgaram os resultados das simulações suficientemente confiáveis para a realização de testes em escala industrial.

CAPÍTULO 6

AS MINAS PASTINHO, DO LAGO E BALTAR SUBTERRÂNEA

Antes dos trabalhos de prospecção, foram realizados estudos para o conhecimento geologia das minas e das matérias-primas minerais em utilização na FCV-1. Na mina Pastinho, foram estudados os principais litotipos: metacalcário calcítico, metadolomito de alto cálcio, metadolomito silicoso, filito carbonático e metarenito. Na mina do Lago, foram estudadas amostras do filito são e intemperizado. A Figura 6.1 mostra, em vista aérea, a localização das minas Pastinho, do Lago, Baltar subterrânea, Baltar céu aberto e Placa, sendo as duas últimas paralisadas. A Figura 6.2 mostra o mapa geológico de Santa Helena.

* Não foram realizados estudos na mina Baltar subterrânea (Figura 6.3) devido aos problemas operacionais para a realização dos trabalhos subterrâneos. O seu metacalcário é muito semelhante ao da mina Pastinho, e foram apenas coletadas amostras de rochas cálcio-silicáticas para estudos petrográficos. Os dados químicos referentes às litologias da mina foram fornecidos pela Divisão de Mineração da FCV-1. Esta, realiza mapeamento geológico-estrutural da mina subterrânea na escala 1:500 e monitora rigorosamente as deformações do maciço rochoso através de uma rede de extensômetros. Nesta mina, o volume de estéril a ser removido é inferior ao da mina a céu aberto, limitando-se ao material removido nos trabalhos de desenvolvimento e nas poucas intercalações no minério.

6.1 A MINA PASTINHO

6.1.1 Análise química de amostras de rocha

Foram descritos 321 pontos, coletadas 290 amostras pontuais e 107 amostras de canaleta. Deste total, 85 amostras foram do metadolomito de alto cálcio. O trabalho representou um refinamento do mapeamento geológico da FCV-1, com um maior detalhamento das informações sobre as propriedades químicas e mineralógicas das rochas. As análises das amostras da mina foram realizadas no laboratório da FCV-1, por fluorescência de raios-X e parcialmente por via úmida, dentro de uma rotina já bem estabelecida na fábrica. Os resultados analíticos são mostrados no Anexo 1.

LEGENDA

- 1 - Fábrica de cimento FCV-1
- 2 - Mina do Lago (filito)
- 3 - Entrada da mina Baltar Subterrânea (metacalcário)
- 4 - Mina Baltar céu aberto (metacalcário - paralisada)
- 5 - Mina Pastinho (metacalcário)
- 6 - Mina Placa (metacalcário - paralisada)
- 7 - Represa da Prainha
- 8 - Bota-fora da mina Pastinho
- 9 - Bota-fora de metadolomito de alto cálcio
- 10 - Localização aproximada da mina Baltar Subterrânea
- 11 - Usina hidrelétrica de Ituparanga
- 12 - Bota-fora da mina Baltar céu aberto

Base fotográfica: Base S.A. - O-590 URBES,
1:25.000, Dez/95, FX. 05,
Nº 14.

Figura 6.1 - Vista aérea de Santa Helena: FCV-1 e minas de metacalcário e filito.

LEGENDA DA FIGURA 6.2

Metabasitos

Maciço Granítico São Francisco.

Filitos e metarritmitos dominantes, com quartzitos e metassiltitos subordinados.

Quartzitos, filitos e metarenitos em alternância cíclica.

Metacalcários calcíticos escuros, localmente grafitosos.

Dolomitos predominantes. Subordinadamente metamargas, filitos calcários, talco xistos e hornfels cálcio-silicatados.

CONVENÇÕES

Contato geológico definido

Contato geológico inferido

Atitude de acamamento

Atitude de xistosidade (inclinada e vertical)

Atitude de eixos de dobras

Lineação

Mina a céu aberto em atividade

Mina a céu aberto paralisada

Estrada pavimentada

Estrada não pavimentada

Curso d'água

Reservatório

Figura 6.2 - Mapa geológico de Santa Helena e do seu entorno.

Figura 6.3 - Mina Baltar Subterrânea: A) Projeção da mina na superfície do terreno; B) Perfil longitudinal; C) Detalhe de salão de lavra.

Os resultados analíticos das amostras da mina Pastinho são mostrados no Anexo 1. A Figura 6.4 mostra os pontos numerados de descrição/amostragem da mina Pastinho, e as Figuras 6.5 e 6.6 mostram, respectivamente, o mapa geológico da mina e o perfil geológico da mesma.

O filito carbonático, do qual foram coletadas 16 amostras, incluindo um lote de 10 posteriormente coletadas pela equipe da FCV, tem ocorrência restrita na mina, em faixas delgadas, com pequena expressão volumétrica. O metadolomito silicoso, com 85 amostras, não será mais desmontado no setor NW da mina (lapa), estando os taludes e bermas desse flanco da cava já em configuração final. A Figura 6.7A e B mostram a cava da minas Pastinho. A Figura 6.7C mostra um modelo geológico digital da mina Pastinho. A Figura 6.7D mostra uma vista aérea das minas Baltar Céu Aberto, Pastinho e Placa. A Figura 6.7E mostra o desmonte do metadolomito e do filito carbonático no setor SE da mina Pastinho. As Figuras 6.8A a 6.8H mostram detalhes macroscópicos dos litotipos da mina Pastinho.

Para o metacalcário calcítico (115 amostras), o metadolomito de alto cálcio do setor SE da mina (capa), o filito carbonático e o metadolomito silicoso, foram obtidas as médias para os teores, conforme apresentados na Tabela 6.1 a seguir:

Tabela 6.1 – Teores médios, em %, das amostras de rocha da mina Pastinho.

Litologia	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
metacalcário calcítico	51,93	3,28	0,50	0,41	0,80
metadolomito de alto cálcio	31,73	3,45	1,11	0,84	17,94
filito carbonático	15,07	49,44	10,09	3,66	7,16
metadolomito silicoso	23,55	23,51	3,31	2,06	12,83

Os teores de K₂O e Na₂O foram determinados em apenas 32 amostras devido à falta de disponibilidade do laboratório da FCV para a execução das análises via úmida, motivo pelo qual não foram incluídos seus valores médios na Tabela 6.1. Nas amostras analisadas, apresentam-se baixos, chegando o K₂O a mais de 2,0 % apenas nas amostras do filito carbonático.

Figura 6.4 - Mapa de pontos de observação / amostragem na mina Pastinho.

LEGENDA DA FIGURA 6.5

Filito

Metadolomito silicoso

Metacalcário calcítico

Metacalcário dolomítico

Filito carbonático

Metadolomito de alto cálcio (capa)

Metarenito silicificado

Metarenito com intercalações de metassiltitos

Contato geológico definido

Contato geológico inferido

Atitude de foliação

570

Cota em metros

Fonte: SAIV, complementado por dados deste estudo.

Figura 6.5 - Mapa geológico da mina Pastinho.

Figura 6.6 - Perfil geológico da mina Pastinho.

LEGENDA DAS FIGURAS 6.7A A 6.7E

Figura 6.7 - A) Mina Pasrinho: vista de NE para SW; B) Vista de SW para NE; C) Modelo geológico digital da mina Pastinho, gerado no programa *Datamine*; D) Vista aérea das minas Baltar céu aberto (em primeiro plano), Pastinho (no alto, à esquerda, e Placa (inundada); E) Desmonte do metadolomito de alto cálcio e do filito carbonático no setor SE na mina Pastinho (capa).

- ca - metacalcário
- dc - metadolomito de alto cálcio (capa)
- ds - metadolomito silicoso (lapa)
- fc - filito carbonático
- fi - filito
- ma - metarenito

Figuras 6.7A a E - Ilustrações fotográficas gerais da mina Pastinho.

Figura 6.8 - A) Zona brechada com cimento calcítico no metacalcário da mina Pastinho;
 B) Aspecto foliado do metacalcário da mina Pastinho;
 C) Intercalação de metacalcário (escuro) no dolomito de alto cálcio (capa);
 D) Aspecto venulado e não foliado do dolomito de alto cálcio da mina Pastinho;
 E) Aspecto foliado do dolomito silicoso da lapa (setor NW da mina Pastinho);
 F) Venulas paralelas de quartzo no dolomito silicoso da lapa;
 G) Contato por falha do metacalcário (escuro) com o dolomito silicoso em atitude discordante (setor NE da mina Pastinho);
 H) Deformação do metacalcário se amoldando ao dolomito maciço da capa, evidenciando a diferença de comportamento mecânico.

Figuras 6.8A a H - Ilustrações fotográficas de detalhes geológicos da mina Pastinho.

6.1.2 Análise petrográfica

Foram realizados estudos petrográficos em 15 lâminas delgadas das litologias da mina Pastinho (amostras 4933A⁵, 4933B, 4934A, 4934B, 4936, 4941, 4944, 4948, 4954, 4956A, 4956B, 4958, 4965, 5002 e 5188).

As descrições petrográficas foram realizadas no Laboratório de Microscopia do Instituto Geológico – SMA, com o auxílio do Geólogo M.Sc. José Maria de Azevedo Sobrinho. A nomenclatura das rochas carbonáticas foi baseada nos critérios estabelecidos por Dunhan (1962) em sua proposta de classificação de acordo com a textura deposicional. Segundo essa classificação, as rochas carbonáticas muito finas da mina Pastinho são *mudstones* carbonáticos.

As Figuras 6.9A a 6.9H e 6.10A a D apresentam fotomicrografias e descrições dos litotipos mais representativos da mina Pastinho.

Em lâminas delgadas, as evidências de metamorfismo, nas rochas das minas Pastinho e Baltar são típicas do fácies xisto verde. No metacalcário e no metadolomito de alto cálcio, a quase ausência de minerais além dos carbonatos não propiciou a formação de minerais metamórficos. O pouco quartzo presente contribuiu para algum rearranjo mineral, mas são as recristalizações parciais e a intensa venulação, no caso dos metadolomitos, que indicam fenômenos metamórficos.

Nota-se, tanto em escala macroscópica como microscópica, que as rochas encontram-se localmente deformadas em consequência dos esforços relacionados ao cisalhamento transcorrente da ZCT de Moreiras (Magalhães *et al.* 1995; Silva 1997), que se estende de Salto de Pirapora, afetando as minas Mina 1, Pastinho, Placa e prolongando-se para NE até juntar-se à ZCT de Pirapora.

Rochas contendo minerais micáceos, como o filito carbonático, mostram uma foliação oblíqua à laminação mais evidente. Nota-se a mesma foliação oblíqua no metadolomito silicoso da lapa.

6.3 MINA BALTAR SUBTERRÂNEA

Como anteriormente exposto, os trabalhos nesta mina limitaram-se à coleta e estudo petrográfico de amostras das rochas cálcio-silicáticas, respectivamente

⁵ As letras após o número do ponto identificam amostram em duplicata do mesmo ponto ou amostras coletadas em ambos os lados de contatos geológicos.

LEGENDAS DAS FIGURAS 6.9A A 6.9H.

A

Fotomicrografia da amostra 4934-A: metadolomito (mudstone) maciço c/ fraturas submilimétricas deformadas e preenchidas por quartzo. Polarizadores cruzados.

B

Fotomicrografia da amostra 4934-B: metadolomito de aspecto brechóide, granulação muito fina e sem recristalização. Polarizadores cruzados.

C

Fotomicrografia da amostra 4941: metadolomito da capa com granulação média e textura granoblástica tendendo à poligonização, cortado por veio carbonático de espessura submilimétrica. Polarizadores cruzados.

D

Fotomicrografia da amostra 4954: metadolomito silicoso (mudstone foliado) com foliação marcada por filmes de opacos. Fraturas subcentimétricas preenchidas por carbonatos e quartzo xenomórfico a idiomórfico. Polarizadores cruzados.

E

Fotomicrografia da amostra 4956-A: metacalcário (mudstone deformado) com veio calcítico dobrado. Polarizadores cruzados.

F

Fotomicrografia da amostra 4956-B: metadolomito maciço com filmes de opacos marcando a presença de estilólitos. Polarizadores paralelos.

G

Fotomicrografia da amostra 4956-A: metacalcário (mudstone) com veios calcíticos deformados paralelamente à foliação e carbonatos de granulação mais grossa formando *augens*. Polarizadores cruzados.

H

Fotomicrografia da amostra 4965: metacalcário (mudstone) parcialmente recristalizado com filmes de opacos dobrados e transpostos. Polarizadores cruzados.

Figuras 6.9A a H - Fotomicrografias de rochas da mina Pastinho.

LEGENDAS DAS FIGURAS 6.10A A 6.10H.

A

Fotomicrografia da amostra 5002: metadolomito da capa da mina Pastinho, com vênulas de carbonato e quartzo cortando a massa dolomítica. Polarizadores cruzados e tratada com alizarina, para coloração da calcita.

B

Fotomicrografia da amostra 4944: metadolomito da capa mina Pastinho, com grãos de calcita coloridos por alizarina e dispersos ao longo de fratura. Polarizadores paralelos.

C

Fotomicrografia da amostra 4936: Filito carbonático da mina Pastinho, com quartzo, sericita e carbonatos em estrutura bandada. Polarizadores cruzados.

D

Fotomicrografia da amostra 4936: Filito carbonático da mina Pastinho, exibindo banda mais rica em carbonatos, com sericita e quartzo. Polarizadores cruzados.

E

Fotomicrografia da amostra CSX-01: Cálcio-silicática bandada da mina Baltar subterrânea, com bandas formadas por quartzo, acinolita-tremolita, carbonatos e opacos. Microfalhas provocaram dobras de arrasto na xistosidade. Polarizadores cruzados.

F

Fotomicrografia da amostra CSM-01: Cálcio-silicática maciça da mina Baltar subterrânea, exibindo estrutura xistosa, com biotita e quartzo como constituintes essenciais e carbonatos acessórios. Polarizadores paralelos.

G

Fotomicrografia da amostra CSB-01: Cálcio-silicática bandada da mina Baltar subterrânea, exibindo banda rica em quartzo à esquerda, cristal de vesuvianita no centro e banda rica em actinolita-tremolita à direita. Polarizadores cruzados.

H

Fotomicrografia da amostra CSB-01: detalhe de cristal de vesuvianita. Polarizadores paralelos.

Figuras 6.10A a H - Fotomicrografias de rochas da mina Pastinho e Baltar subterrânea.

denominadas maciça (CSM-01), bandada (CSB-02) e xistosa (CSX-01) pelos Geólogos da FCV-1. A primeira apresenta-se xistosa, contendo como minerais essenciais biotita e quartzo, comparecendo os carbonatos como acessórios. A segunda apresenta-se em bandas centimétricas de grãos de quartzo e de material constituído por actinolita-tremolita, carbonatos e cristais zonados de vesuvianita. A última mostra-se bem xistosa, contendo actinolita-tremolita, quartzo, carbonatos e opacos, com microfalhas cortando a xistosidade e provocando pequenas dobras de arrasto (*drag folds*) (Figuras 6.10E a 6.10H). A litologia que apresenta interesse para a mistura com o metacalcário é a cálcio-silicática xistosa, que ocorre intercalada no metacalcário, cuja análise típica, fornecida pela FCV-1, é apresentada abaixo:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
47,40	5,94	6,15	2,50	0,98

6.3 A MINA DO LAGO

A mina do Lago foi objeto de um rápido reconhecimento geológico, com a coleta de amostras da rocha intemperizada e fresca para análise mineralógica. O filito intemperizado da mina do Lago (amostra FL-01) foi submetido à difração de raios-X, apresentando como minerais essenciais quartzo, mica e caulinita no difratograma (Figura 6.11). Nota-se que o material apresenta heterogeneidade mineralógica em função da presença de blocos de rocha semi-intemperizada.

A rocha fresca (amostra FL-02) apresenta-se macroscopicamente com coloração cinza e bem foliada. Microscopicamente, revela como constituintes essenciais sericita e quartzo. Como acessórios, notam-se grãos muito finos de zircão, turmalina e apatita.

Os dados de análise química da mina do Lago foram fornecidos pela FCV-1, que realiza rotineira e sistematicamente por fluorescência de raios-X, para controle de enchimento dos depósitos de argila. Apresenta-se a seguir uma análise típica do filito intemperizado:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
63,12	18,00	7,33	1,13	2,68

Observação: onde se lê illite, leia-se mica (variedade não identificada)

Figura 6.11 - Difratoograma de raios-X do filito intemperizado da mina do Lago.

CAPÍTULO 7

PROSPECÇÃO

7.1 PROSPECÇÃO ESTRATÉGICA: RECONHECIMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM PRELIMINAR

Na primeira etapa de campo, iniciada em outubro/98, foi realizado um reconhecimento geral de campo, na área da Figura 1.1, para conhecimento das unidades geológicas regionais, abrangendo suas litologias, estruturas e relações de campo. Paralelamente, realizou-se a amostragem preliminar. Estas atividades somaram 5 etapas não contínuas de 4 dias cada.

Os trabalhos desta etapa contaram com a participação parcial dos Geólogos Marcos de Araújo Pinto, da Divisão de Mineração da FCV-1, e Paulo César Fernandes da Silva, do Instituto Geológico, além do graduando do curso de Geologia do IG-USP, Carlos Alberto da Silva. O primeiro contribuiu substancialmente durante todo o desenvolvimento do estudo com o seu amplo conhecimento da geologia das minas da SAIV e das particularidades da mistura das matérias-primas do clínquer. O segundo, que então realizava os trabalhos de campo de seu projeto de Mestrado (Silva 1997), colaborou com importantes informações e discussões sobre os aspectos geológico - estruturais regionais. O último auxiliou nos trabalhos de amostragem.

A área abrangida pelo reconhecimento é limitada a leste por Mairinque, a oeste por Salto de Pirapora, a norte por Sorocaba e a sul por Piedade. Procurou-se cobrir uma extensão territorial que contivesse as principais unidades geológicas regionais, dentro do raio econômico estabelecido pela FCV-1. Particular atenção foi dada às áreas do prospectos descritos em 5.3.2.

Na porção a norte e a oeste de Sorocaba, esse raio foi reduzido devido à predominância de litologias arenosas do Subgrupo Itararé, da Bacia Sedimentar do Paraná, com cotas abaixo de 700 m e altos topográficos pouco pronunciados, desfavoráveis aos fins prospectivos propostos. Lamitos intercalados aos arenitos seriam fontes potenciais de argila; porém, a única exposição expressiva, próxima ao pedágio da "Castelinho", encontra-se em aproveitamento por uma indústria cerâmica.

A intrusiva alcalina da Serra de Ipanema, a NW de Sorocaba, embora apresentasse dimensões e fatores geológicos e geomorfológicos favoráveis (litologias com baixo teor de sílica e alto topográfico bem drenado), além da conhecida lateritização em seus altos, foi descartada devido à sua total cobertura por títulos minerários de terceiros, principalmente de empresas concorrentes da SAIV, como Holdercim e Cia. de Cimento Ipanema.

Os conflitos potenciais com outros usos do solo nos prospectos seriam verificados durante os trabalhos de campo. A região que engloba os prospectos tem seus limites aquém dos 50 km de distância rodoviária da FCV-1.

7.1.1 Prospecto 1 - Metabásica de Alumínio

Na área da metabásica de Alumínio, de provável origem basáltica segundo Souza (1997), notou-se que ocorrem solos avermelhados, argilosos; porém verificou-se, também, que a rocha alterada está praticamente exposta em muitos dos pontos mais elevados do relevo, com capeamento centimétrico de solo. Este, apresenta-se freqüentemente como acumulações coluviais nas encostas ou no sopé das elevações, levando a crer que ocorreram processos erosivos após a formação do solo, possivelmente em consequência de movimentação neotectônica. A rocha encontra-se profundamente intemperizada, mantendo a estrutura original e apresentando coloração amarelada a avermelhada.

Os perfis de alteração têm, freqüentemente, altura decamétrica até a rocha fresca. Nas partes inferiores dos perfis, são comuns os blocos com núcleos de rocha semi-intemperizada. Em altos topográficos próximos ao contato com o Maciço São Francisco, foram notados, na superfície do terreno, blocos arredondados da metabásica, com esfoliação esferoidal e núcleo de rocha fresca. Ferricretes não são comuns na área. O relevo da metabásica encontra-se ligeiramente abaixo do Maciço São Francisco, com altitudes entre 900 e 950 m. A Figura 7.1 apresenta o mapa geológico e de pontos de observação/amostragem da área da metabásica de Alumínio.

Materiais avermelhados foram observados e amostrados também sobre as os filitos, metassiltitos e granitos, encaixantes da metabásica. Foram coletadas 52 amostras de materiais de alteração no total, sendo 23 da metabásica, 14 do filito, 11 do metassiltito e 4 do granito.

LEGENDA

Qa Aluviões recentes

Rochas granitóides

YSF Maciço São Francisco

YSR Maciço São Roque

Grupo São Roque

PEsrc Rochas cálcio-silicáticas com intercalações de mármore impuros, cálcio-filitos, cálcio-arenitos e intercalações tectônicas de granitóides.

PEsrs Metassiltitos esbranquiçados, passando localmente para quartzitos finos.

PEsrr Metarritmitos psamo-pelíticos, marcados com níveis alternados de espessuras centimétricas/milimétricas.

PEsrf Sericita filitos laminados, com intercalações locais de quartzitos finos.

PEsrb Metabasitos foliados, compostos essencialmente por plagioclásio e hornblenda.

●²⁰ Ponto de amostragem/descrição

~ Contato geológico

~ Estrada pavimentada

~ Zona de cisalhamento

~ Estrada não pavimentada

~ Estrada de ferro

Figura 7.1 - Mapa geológico e de pontos de descrição/amostragem do prospecto 1 - metabásica de Aluminópolis.

Das amostras do prospecto 1, as 24 primeiras foram analisadas no laboratório da FCV-1, por via úmida, visto que a via instrumental (fluorescência de raios-X) não estava calibrada para o tipo de material. Foram analisados SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO e MgO . Devido à sobrecarga do laboratório e da lentidão da análise não instrumental, as 28 amostras restantes foram analisadas, por espectrofotometria de emissão atômica por plasma de acoplamento induzido (ICP), no laboratório Nomos Análises Minerais, do Rio de Janeiro, contemplando também CrO_2 , CrO , K_2O , MnO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , ZrO_2 , e perda ao fogo (PF). Os resultados analíticos das amostras encontram-se no Anexo 1.

As médias dos teores (%) das amostras analisadas por via úmida e por espectrofotometria de plasma ICP são respectivamente apresentadas nas Tabela 7.1 e 7.2 a seguir:

Tabela 7.1 - Teores médios das amostras MB-01 a 17 do prospecto 1, analisadas por via úmida.

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
Alteração da metabásica	39,44	19,58	21,98	0,41	0,17
Alteração do filito	51,37	20,16	12,92	0,76	0,20
Alteração do metassiltito	51,65	19,81	13,00	0,60	0,14

Tabela 7.2 – Teores médios das amostras MB-18 a 52 do prospecto 1, analisadas por espectrofotometria de plasma ICP.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	CrO_2	K_2O	MnO_2	P_2O_5	TiO_2	ZrO_2	PF
1)	41,48	21,18	18,20	0,88	1,19	0,02	0,85	0,23	0,22	1,73	0,06	13,34
2)	46,16	23,61	13,27	0,25	0,46	0,02	1,29	0,18	0,16	1,12	0,06	12,83
3)	55,97	15,76	15,00	0,30	0,34	0,01	1,10	0,22	0,28	1,31	0,10	9,16
4)	50,73	21,90	8,65	1,01	0,77	0,01	0,68	0,11	0,20	1,62	0,13	13,65

Nota: 1) Alteração da metabásica; 2) Do filito; 3) Do metassiltito; 4) Do granito

Segundo cálculos realizados a partir dos dados de Souza (1997), a metabásica fresca de Alumínio apresenta os seguintes teores médios: 48,76% SiO_2 , 13,75% Al_2O_3 e 10,12% Fe total ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$). Comparando esses teores com aqueles obtidos para

os materiais de alteração da mesma rocha, verifica-se que houve remoção não muito acentuada da sílica e acumulação do alumínio e do ferro. Para as demais litologias, não há resultados de análise de rocha sã para comparação.

A composição mineralógica dos materiais amostrados foi estudada, em caráter preliminar, através da difratometria de raios-X. A Figura 7.2 apresenta os difratogramas das amostras MB-01 (alteração do filito), MB-14 (alteração do metassiltito) e MB-16 (alteração da metabásica). Nota-se pelos mesmos que a mineralogia dos materiais é semelhante, essencialmente representada por quartzo, caulinita e goethita. Nas amostras MB-01 e MB-14, nota-se também a presença secundária de mica e gibbsita.

Simulações computacionais da composição da farinha com os dados médios das Tabelas 7.1 e 7.2 mostram que nenhum dos materiais estudados poderia substituir integralmente a mistura argila da mina do Lago + bauxita + minério de ferro, podendo atuar apenas como substituto parcial dos corretivos, dispensando o uso do minério de ferro e reduzindo o consumo da bauxita. Utilizando os produtos de alteração da metabásica, do filito, do metassiltito e do granito, as reduções no consumo de bauxita seriam, respectivamente, de 39,02 %, 12,20 %, 26,83 % e 17,07 %.

Em relação aos demais fatores condicionantes, descritos em 5.3.2, a área do prospecto 1 apresenta a seguinte situação:

- o material que aparenta ter o melhor potencial volumétrico é a alteração da metabásica;
- a ocupação da superfície do terreno é principalmente caracterizada por dezenas de pequenas e médias propriedades rurais (sítios, pequenas fazendas e haras, incluindo propriedades da SAIV), além de condomínios residenciais de luxo e bolsões de habitações de população de baixa renda;
- títulos minerários de terceiros, em fases diversas de tramitação junto ao DNPM, cobrem cerca de 60 % da área;
- ocorrem manchas de vegetação secundária desenvolvida na área;

Apesar da indicação desfavorável do conjunto de dados levantados, a direção da SAIV considerou o prospecto potencialmente interessante, decidindo pelo requerimento de pesquisa da áreas ainda livres de títulos minerários, principalmente sobre a metabásica.

Figura 7.2 - Difratomogramas de raios-X das amostras MB-01 (alteração do filito); MB-14 (alteração do metassiltito) e MB-16 (alteração da metabásica).

7.1.2 Prospecto 2 – Setor do Maciço Granítico São Francisco

No prospecto 2, observa-se que o granito apresenta afloramentos em profusão na maioria de seus altos e encostas, formando lajes com centenas de metros quadrados, além da presença constante de matacões; porém, notou-se que alguns dos seus pontos mais elevados não apresentam afloramentos, com as suas características superficiais mascaradas por reflorestamentos de eucaliptos, indicativos da presença de solo desenvolvido.

As fotografias aéreas da área mostram um sistema principal de fraturamento N45°W, com maior densidade na zona próxima ao contato com os filitos do Grupo São Roque, na porção NW do prospecto. Observa-se também um padrão secundário aproximadamente N60°E. Esses dois sistemas são os principais condicionadores das drenagens locais, estando presentes também em escala de afloramento, provavelmente favorecendo a permeabilidade do maciço rochoso e dando boas condições de drenagem ao terreno.

No reconhecimento de geológico, cruzando o prospecto 2 no sentido SW-NE através da estrada municipal não pavimentada, foram notadas pequenas exposições de couraças (ferricretes) ou nódulos ferruginosos nos pontos 1, 20, 21 e 26. Nos pontos 1, 21 e 26 são observados nódulos ferruginosos, com maior expressão no ponto 21, onde apresentam-se como uma camada de cerca de 1 m de espessura no corte de estrada. No ponto 20, ocorre couraça silicosa com pequena expressão superficial e espessura inferior a 1 m. As Figuras 7.3 e 7.4 mostram, respectivamente, o mapa Geológico e de pontos de observação/amostragem no prospecto 2.

Verificou-se os altos topográficos do Maciço São Francisco dentro do prospecto 2 exibem, nos cortes de estrada, um solo avermelhado, argiloso, diferenciado do solo arenoso típico do granito das áreas mais baixas, geralmente abaixo de 950 m. Esse tipo de solo avermelhado foi observado nos cortes de estrada, nos pontos 1, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 15, 16, 19, 32, 33, 44, 56, 57, 61 e 62. Entretanto, o solo superficial argiloso desses altos exibe coloração amarelada a marrom na maioria dos leitos das estradas, mascarando o substrato. Apesar desse inconveniente, foi possível identificar a presença de material avermelhado no subsolo através da observação de formigueiros, onde saúvas trazem o material à superfície. Nesses locais, o material contém geralmente abundantes grãos angulosos milimétricos de quartzo.

LEGENDA

Maciço Granítico São Francisco

	Monzogranitos porfíroides róseos, com texturas rapakivi e anti-rapakivi locais		Hornfels - rochas do Grupo São Roque afetadas por metamorfismo de contato
	Sienogranitos equigranulares róseos, holo a leucocráticos, de granulação média a grossa		Rochas miloníticas e/ou cataclásticas
	Sienogranitos porfíroides róseos, com texturas rapakivi e anti-rapakivi		Grupo São Roque - rochas metassedimentares e metaígneas indiferenciadas
	Sienogranitos e monzogranitos porfíricos, inequigranulares com textura rapakivi		Enclaves - ocorrências de xenólitos maiores
	Área de prospecção		Área industrial
	Zona de cisalhamento com indicação do sentido de movimento		Curva de nível
	Sinforme		Estrada pavimentada
	Contato geológico definido		Estrada sem pavimentação
	Contato geológico inferido		Estrada de ferro
	Falha / fratura inferida		Drenagem
	Mina em operação / paralisada		Reservatório

Figura 7.3 - Mapa geológico do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco.

Figura 7.4 - Mapa pontos de observação/amostragem no prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco.

Na área do Maciço Granítico São Francisco, foram inicialmente coletadas e analisadas amostras superficiais de 10 pontos, cujos resultados analíticos constam do Anexo 2, onde são identificadas como GSF 01 a GSF 10. O pequeno número de amostras analisadas nesta etapa do trabalho deve-se à lentidão da análise via úmida. As médias dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 para essas 10 amostras são:

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)
40,37	25,06	15,47

Além das amostragem superficial, foram executados 5 furos de trado para reconhecimento do material avermelhado em subsuperfície. Foram furos rasos, com profundidades variando de 1 a 5 metros. Apenas os furos GSF 1T e 5T atingiram o saprolito do granito. Observou-se que o material é argiloso e plástico até a profundidade aproximada de 2 m, tornando-se gradualmente menos plástico em profundidades maiores, com aspecto granulado e cor vermelha intensa. Nódulos ferruginosos milimétricos e grãos angulosos de quartzo, isolados ou formando agregados, são observáveis nos nesses níveis inferiores. O saprolito apresenta-se amarelado ou avermelhado, com manchas caulíníticas brancas e abundância de grãos angulosos de quartzo.

Os resultados analíticos dos furos encontram-se também no Anexo 2. A Tabela 7.3 a seguir apresenta os teores médios de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO e MgO para os 5 furos.

Tabela 7.3 – Resultados analíticos médios dos furos de trado GSF 1T a GSF 5T.

Furo	Prof. (m)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Ki (1)
GSF 1T	3	45,57	16,37	22,73	0,60	0,02	2,78
GSF 2T	1,5	25,66	34,89	13,50	0,01	0,09	0,74
GSF 3T	1	35,94	28,35	5,99	0,45	n.d. (2)	1,27
GSF 4T	2	36,95	28,65	12,40	0,37	0,04	1,29
GSF 5T	5	48,73	22,93	10,51	0,66	0,04	2,12
Médias		38,66	26,49	13,69	0,47	0,05	1,46

(1) $Ki = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$

(2) n.d. = não detectado

Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , em algumas amostras superficiais e de trado, apresentam valores próximos do material que substituiria os corretivos, conforme

descrito em 5.1 e, se comparados aos teores do saprolito e do granito fresco, mostrados a seguir, apresentam nítido contraste, com teor de sílica acentuadamente menor e teores maiores de alumina e de óxido férrico.

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Saprolito do granito	68,55	20,15	2,15
Granito fresco	76,66	12,24	2,39

Os teores no saprolito foram obtidos pelas médias de 5 amostras analisadas e, no granito fresco, foram calculados a partir dos dados de Godoy (1989).

Adicionalmente, os valores de Ki apresentam-se inferiores a 1,8 em várias amostras, indicando que houve, segundo o conceito de Harrassowitz (1926 *apud* Pedro & Melfi 1983), condições para a lateritização, com a formação de gibbsita. Assim, os dados obtidos indicaram que o material seria resultado de um processo de lateritização, com considerável lixiviação da sílica e acumulação de Al₂O₃ e Fe₂O₃.

Quanto à mineralogia do material amostrado no prospecto 2, não foram feitos difratogramas nesta etapa dos trabalhos em problemas operacionais e de disponibilidade do equipamento, tendo sido adiados para a etapa de prospecção táctica.

Embora as extensões superficiais das ocorrências do material laterítico não fossem ainda conhecidas com precisão, tornou-se claro que ocorrem em três altos topográficos, com cotas máximas variando de 971 a 1.015 m e alongados segundo a direção NW-SE, conforme ilustrado na Figura 7.4.

Outros dados levantados indicaram aspectos positivos quanto aos demais condicionantes:

- cerca de 80 % da área do prospecto pertencem à SAIV;
- igual porcentagem situa-se dentro dos limites de títulos minerários (concessões de lavra) da SAIV;
- não há mata nativa ou secundária desenvolvida nos altos topográficos amostrados;
- inexistem habitações ou outras construções nesses altos, e o uso do solo limita-se ao plantio de eucaliptos da CBA, uma empresa controlada pela SAIV;
- a área não pertence a unidade de conservação ambiental;

Os dados analíticos e de campo expostos permitiram escolher o prospecto 2 como merecedor de trabalhos prospectivos adicionais para melhor caracterização física, química e mineralógica do material, assim como para determinação de seu potencial volumétrico, visto que as reservas do material argiloso alternativo devem garantir o consumo da FCV-1 pelo período mínimo de 25 anos.

7.1.3 Prospecto 3 - Cobertura sedimentar avermelhada

Nos taludes e bermas do extremo NE da mina de metacalcário da FCV-2, conhecida como Mina 1, em Salto de Pirapora, havia sido recentemente exposto um material avermelhado, aparentando ser uma cobertura sedimentar inconsolidada, denominado de "argila ferruginosa" pelos técnicos das FCVs 1 e 2. Trata-se de material argilo-arenoso fino, sem estruturas ou horizontes diferenciados, contendo grãos submilimétricos e subarredondados de quartzo numa matriz argilosa vermelha, com presença constante de grãos milimétricos de magnetita e espessura máxima superior a 10 m. Pelo seu aspecto ferruginoso e argiloso, o material foi considerado potencialmente interessante para os objetivos do estudo.

Na área a NNW da Mina 1, principalmente a norte da estrada Votorantim–Salto de Pirapora, foram também observadas algumas exposições de cobertura sedimentar avermelhada, verificando-se que a mesma ocorre predominantemente em topos e em meia encosta, cobrindo litologias do Grupo São Roque e do Subgrupo Itararé. É um material argiloso, de coloração avermelhada, semelhante ao material da Mina 1, com presença freqüente de fragmentos milimétricos de magnetita, embora aparente ser mais argiloso.

A Figura 7.5 apresenta o mapa de pontos de observação/amostragem da área da cobertura sedimentar avermelhada. A Figura 7.6 apresenta o mapa geológico da área, que mostra envoltórias das zonas de ocorrência da cobertura, visto que a mesma apresenta grande irregularidade nos seus limites, demandando trabalhos de campo muito detalhados, com o apoio de sondagem, para o traçado preciso dos mesmos.

Foram coletadas 10 amostras superficiais da cobertura sedimentar avermelhada a NNW da Mina 1 (amostras CSA) e 5 da "argila ferruginosa" do NE da Mina 1 (amostras AFE). Em relação à amostragem de subsuperfície, a equipe da DM/FCV-1 executou uma malha de 17 furos de trado na chamada "argila ferruginosa", na tentativa

Figura 7.5 - Mapa de localização dos pontos de observação / amostragem superficial e de furos de trado no prospecto 3.

LEGENDA

Unidades cenozóicas

Depósitos aluviais

Cobertura sedimentar avermelhada

Subgrupo Itararé

Termos arenosos, com predominância de arenitos maciços ou com estratificação plano - paralela.

Lamitos maciços com seixos polimíticos, localmente passando a siltitos.

Granitóides

Maciço São Francisco: cinza - róseo a cinza escuro esverdeado, com vários termos texturais. Foliado nas bordas do corpo.

Grupo São Roque

Metargilitos maciços a laminares; localmente metassiltitos laminares, bandados e rítmicos.

Metamargas laminares ou bandadas, com alternância de níveis milimétricos a decimétricos de material carbonático e clástico - pelítico. Localmente filitos carbonáticos

Metarritmitos, compostos por alternância de lâminas milimétricas a decimétricas de metarritmo muito fino e metapelitos.

Metadolomitos e metacalcilutitos (dolomíticos a calcíticos), geralmente bandados a laminares com estruturas sedimentares. Localmente maciço ou brechóide.

Filitos sericíticos; localmente quartzófilos, filitos grafitosos, biotita-clorita filitos, filitos ardósianos e carbonáticos.

Metacalcários calcíticos, predominantemente maciços. Localmente laminares ou bandados.

Área do prospecto 3

Instalações industriais SAIV

Rodovia pavimentada

Mina a céu aberto em operação

Drenagem

Foliação tectônica Sn

Contato geológico observado

Foliação milonítica (Sm) ou clivagem Sn+1

Contato geológico inferido

Antiforma

Acamamento sedimentar So

Sinforma

Planos de falha com indicação da direção do movimento.

Faixas cataclásticas / miloníticas relacionadas às zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT)

Traços de fraturas mapeáveis

Figura 7.6 - Mapa geológico da área do prospecto 3 - Cobertura sedimentar avermelhada.

de viabilizar a utilização da argila alternativa em curto prazo. Os furos, todos com 10 m de profundidade, foram concentrados numa pequena área, de aproximadamente 100 m por 160 m, mostrada na Figura 7.7, que ilustra também a localização das amostras AFE-01 a 05. As amostras de 9 furos foram analisadas em intervalos de 1 m e os resultados encontram-se no Anexo 3. Os teores médios (%) das 89 amostras analisadas são:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
60,56	15,21	12,44	0,43	0,15

Confirmando as observações de campo, a "argila ferruginosa" mostrou-se bastante silicosa, sendo uma parte expressiva dessa sílica representada por grãos de quartzo (cerca de 32% da massa total do material, estimada por separação física dos grãos).

A equipe da DM/FCV-1 realizou simulações computacionais e teste de forno com a utilização conjunta da argila da Mina do Lago e da "argila ferruginosa". Os resultados não foram promissores, motivo pelo qual não foram realizados estudos adicionais no local.

Nas amostras superficiais CSA-01, 01, 05, 06, 07, 13, 14, 18, 19 e 20 e AFE-01 a 05, as médias (%) de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO e MgO são:

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
CSA (10 amostras)	47,42	27,12	12,24	0,70	0,26
AFE (5 amostras)	61,91	15,61	11,79	0,42	0,18

Na cobertura sedimentar a NNW da mina 1, foram realizados dois furos de trado, TA-01 e TA-02, atravessando todo o perfil do material.

O furo TA-01, situado à cota aproximada de 700 m, com 4 m de profundidade, partiu de um solo avermelhado e argiloso-arenoso na superfície, mantendo-se homogêneo até 3,70 m, quando passou a lamito do Subgrupo Itararé, de coloração mais clara, amarelada.

Figura 7.7 - Localização dos furos de trado e das amostras superficiais no extremo NE da Mina 1 - Salto de Pirapora.

O furo TA-02, com 3 m de profundidade, foi feito a cerca de 2 km a NE do primeiro, numa altitude de cerca de 655 m. Este, apresentou material semelhante ao primeiro nos dois metros iniciais e, a partir de 2 m, passou a um material marrom, plástico, passando a rosado com manchas brancas a partir de 2,3 m. Aparentemente, trata-se de uma alteração do siltito do Subgrupo Itararé.

A ocorrência da cobertura sedimentar não é contínua no intervalo entre os dois furos, restringindo-se a setores de meia-encosta de elevações. Seus limites são bem visíveis no terreno e em fotografias aéreas quando o terreno está exposto; porém, em caso de haver vegetação nativa ou cultivada, suas características ficam inteiramente mascaradas.

As amostras foram analisadas no laboratório da FCV-1, via úmida, e a tabela 7.4 a seguir apresenta os resultados dos furos TA-01 e 02 (%):

Tabela 7.4 – Resultados analíticos das amostras dos furos TA-01 e TA-02.

Amostra	Intervalo (m)	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	PF
TA-01/1	0 – 1	1,18	43,72	37,10	11,12	0,00	0,58	13,39
TA-01/2	1 – 2	1,39	46,28	33,20	10,88	0,00	1,14	12,31
TA-01/3	2 – 3	1,59	45,28	28,54	9,99	0,00	0,72	12,92
TA-01/4	3 – 4	1,93	50,16	25,94	9,94	0,19	0,66	22,36
Médias		1,49	46,36	31,20	10,48	0,05	0,78	15,25
TA-02/1	0 – 1	1,88	50,44	26,80	8,79	0,00	0,86	12,50
TA-02/2	1 – 2	1,96	48,46	24,72	10,36	0,00	0,79	10,94
TA-02/3	2 – 3	2,92	60,18	20,64	8,16	0,14	0,74	22,36
Médias		2,20	53,03	24,05	9,10	0,05	0,80	15,27

Os resultados mostram que os materiais situados em cotas mais elevadas (furo TA-01) encontram-se possivelmente mais lixiviados, apresentando Ki mais baixo e maiores conteúdos de Al₂O₃ e Fe₂O₃.

Nota-se que a "argila ferruginosa" da Mina 1 e a cobertura sedimentar avermelhada são materiais quimicamente distintos, embora sejam macroscopicamente semelhantes. A primeira é, provavelmente, resultante da alteração das rochas cálcio-silicáticas subjacentes, com algum transporte e contribuição das rochas do Subgrupo Itararé. Tal suposição baseia-se no fato de que a magnetita, observada na cálcio-silicática alterada, ser constante na "argila ferruginosa" e a assembléia de minerais

pesados, com zircão, sillimanita, turmalina e acessórios como monazita, epidoto e rutilo ser indicativa de origem metassedimentar. Por outro lado, os grãos subarredondados de quartzo, abundantes, levam a crer em contribuição de sedimentos arenosos do Subgrupo Itararé. A cobertura sedimentar avermelhada apresenta assembléia de minerais pesados mais relacionada a granitos, com zircão, turmalina, rutilo, cassiterita e monazita, em grãos subarredondados. A presença de grãos arredondados de quartzo indica que houve também a possível contribuição dos sedimentos do Subgrupo Itararé.

Mineralogicamente, a cobertura sedimentar tem como constituintes principais quartzo, caulinita, gibbsita e hematita, conforme mostrado nos difratogramas de raios-X das amostras 01 a 04 do furo TA-01 (Figura 7.8). A "argila ferruginosa" da Mina-1 apresenta composição mineralógica similar, com prováveis diferenças nas proporções dos componentes, principalmente do quartzo, mais abundante nesta última. A magnetita, embora freqüentemente visível nos dois materiais, não foi detectada nos difratogramas, possivelmente por comparecer em quantidade inferior a 5 % dos minerais.

Os resultados obtidos no prospecto 3 mostraram que a cobertura sedimentar avermelhada possui características físicas e químicas favoráveis à substituição dos corretivos, principalmente no furo TA-01. Em relação aos demais fatores condicionantes, foram levantados os seguintes dados:

- cerca de 40 % da área do prospecto pertencem à SAIV;
- cerca de 50 % da área situa-se dentro dos limites de títulos minerários (concessões de lavra) da SAIV, havendo áreas não oneradas nos limites do prospecto;
- o material aparenta ter bom potencial volumétrico, embora a sua espessura não seja expressiva nos pontos observados, não passando de 4 m;
- há manchas de mata secundária desenvolvida dispersas na área;
- o uso do solo é caracterizado por pequenas propriedades rurais e reflorestamentos de eucaliptos da SAIV;
- a área não pertence a unidade de conservação ambiental.

Figura 7.8 - Difractogramas de raios-X das amostras 01 a 04 do furo TA-01, na cobertura sedimentar avermelhada.

Em função dos resultados obtidos, o prospecto 3 foi considerado como merecedor de trabalhos exploratórios adicionais; porém, como segunda prioridade em relação ao prospecto 2, que apresenta o conjunto mais favorável de dados.

Tendo em vista a proximidade das ocorrências em relação à FCV-2, a SAIV considera o estudo da futura utilização da cobertura sedimentar nessa unidade, cujo processo envolve matérias-primas e parâmetros operacionais diferentes daqueles da FCV-1.

As Figuras 7.9A a F apresentam ilustrações fotográficas dos prospectos 1 e 3, e as Figuras 7.10A a G mostram o mesmo tipo de ilustrações do prospecto 2.

7.1.4 Prospecto 4 - Sienito de Piedade

Na área da intrusiva sienítica de Piedade, o prospecto mais distante da FCV-1 (cerca de 35 km), verificou-se que a rocha ocorre num morrote de encostas abruptas e pequena área superficial, inferior a 1 km². A posição da intrusiva no contexto geológico regional é mostrada no mapa geológico da Figura 3.1.

O solo que a capeia, amarelado a marrom, observado ao longo de uma estrada que corta a área no sentido N-S, é pouco espesso, raramente superior a 1 m, passando diretamente à rocha alterada. Esta, é compacta, de coloração rosada a amarelada, mantendo a estrutura original da rocha (alterita com estrutura preservada). No solo, são comuns os blocos centimétricos de magnetita e métricos de material silicificado extremamente duro.

Pelas dimensões superficiais da intrusiva e pelas características do material de alteração, conclui-se que o potencial volumétrico do mesmo é pequeno.

Constatou-se, também, que área é coberta por mata secundária já bem desenvolvida na sua metade sul, onde passa, como impedimento adicional, uma linha de transmissão de energia elétrica. A metade norte é ocupada por cultivo de hortaliças e chácaras de lazer. Em relação aos títulos minerários, a área encontrava-se livre

Considerando os aspectos geológicos e de uso do solo desfavoráveis, decidiu-se pelo descarte da área sem trabalhos adicionais.

LEGENDAS DAS FIGURAS 7.9A A 7.9F

Figura 7.9 - A) Aspecto do perfil intempérico da metabásica de Alumínio; B) Produto intempérico avermelhado sobre filitos na área de Alumínio; C) Aspecto da "argila ferruginosa" na parte NE da Mina 1 - Salto de Pirapora; D) Detalhe de corte na "argila ferruginosa" da Mina 1; E) Aspecto superficial da cobertura sedimentar avermelhada a NW da Mina 1; F) Execução de furo de trado na cobertura sedimentar.

Figuras 7.9A a F - Ilustrações fotográficas dos prospectos 1 e 3.

LEGENDAS DAS FIGURAS 7.10A A G

Figura 7.10 - A) Aspecto superficial do Maciço Granítico São Francisco, em cotas abaixo de 900 m; B) Aspecto superficial do solo típico do granito, próximo ao ponto GSF 53; C) Couraça ferruginosa (ferricrete) sobre o granito (ponto GSF 53); D) Formigas trazendo material laterítico à superfície através de capeamento argiloso amarelado. Área da Fazenda Ventania, próximo ao furo GSF 42T; E) Execução de furo de trado na área da Fazenda Ventania; F) Trado mecanizado utilizado na fase inicial dos trabalhos prospectivos; G) Couraça ferruginosa na borda oeste da área da Fazenda Ventania (ponto 20).

Figuras 7.10A a G - Ilustrações fotográficas do prospecto 2.

7.2 PROSPECÇÃO TÁTICA

Esta fase dos trabalhos foi dirigida ao prospecto 2, selecionado como o mais promissor em função dos resultados obtidos na primeira fase. Na prospecção tática, foram realizadas atividades de campo e de laboratório, envolvendo sondagem complementar a trado, caracterização do material amostrado e cálculo preliminar de reservas.

7.2.1 Sondagem

No prospecto 2, os trabalhos de campo da segunda etapa de prospecção foram realizados com a execução de 143 m de sondagem em 38 furos de trado (furos GSF-6T a 43T), utilizando-se o trado mecanizado da SAIV nos furos GSF 6T a 22T. Os demais furos foram realizados com o uso do trado manual *Eijkelcamp*.

Os furos foram identificados com piquetes numerados e suas posições foram lançadas em cartas topográficas 1:10.000, com o auxílio do GPS, sendo posteriormente localizados com precisão pela equipe de topografia da FCV-1.

A distribuição dos furos não obedeceu a uma malha sistemática, tendo caráter prospectivo e subordinada às condições de acesso aos locais da perfuração. Os furos de trado GSF 1T a 43T (incluindo os 5 furos da prospecção estratégica) e seus resultados analíticos encontram-se relacionados no Anexo 4.

Devido aos problemas operacionais do trado mecanizado, já descritos em 5.6.3, os furos executados por este equipamento foram rasos, não passando de 3 m e, excetuando os furos de borda do depósito, não atravessaram o perfil da laterita. Desta maneira, esses furos prestaram-se mais à delimitação da zona de ocorrência da laterita.

Os furos realizados com o trado manual, com profundidade máxima de 10,5 m, atravessaram o perfil da laterita, à exceção de um furo que atingiu o lençol freático (GSF 31T) e daqueles que pararam em possíveis couraças de distribuição irregular na base do material (impenetrável nos furos GSF 32T, 34T, 35T, 38T, 41T e 43T).

Cada metro perfurado resultou em cerca de 10 kg de amostra, integralmente levada à FCV, onde foram secas ao ar livre a quarteadas para a obtenção das alíquotas para análise.

O perfil da laterita apresenta pouca variação nos furos. Geralmente, os furos apresentam, do topo para a base:

- um solo com matéria orgânica, marrom claro a amarelado, de aproximadamente 0,5 m a 1 m;
- o solo passa gradualmente a um material avermelhado, argiloso e plástico até cerca de 3 m;
- abaixo desse horizonte, o material perde progressivamente a plasticidade, tornando-se mais compacto, com coloração vermelha intensa. Ao ser cortado pelo trado, apresenta-se granulado e solto, a ponto de cair da concha durante a manobra para recuperação;
- nódulos ferruginosos milimétricos são comuns a partir de 3 m de profundidade, aumentando em profundidade;
- grãos angulosos milimétricos de quartzo estão presentes em maior ou menor quantidade em todo o perfil, com maior abundância na parte inferior dos mesmos, principalmente nos furos de borda do depósito;
- a passagem para o saprolito do granito é marcada pelo aumento brusco na quantidade de grãos angulosos de quartzo e alteração na cor do material, o qual pode passar a amarelado ou avermelhado mais claro, com manchas brancas de caulinita. Aparentemente, ocorrem localmente couraças compactas na base da laterita, de penetração impossível com o trado.

A profundidade máxima atingida, de 10,5 m (furos GSF 34T e 35T), leva a crer que a espessura da laterita não ultrapasse em muito os 10 m. A Figura 7.11 apresenta um perfil geológico típico de furo de trado na área, mostrando também a variação dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 ao longo do mesmo. A Figura 7.12 apresenta o mapa de localização dos furos de sondagem e os limites dos três altos que contêm os depósitos lateríticos, que receberam a denominação de Alvos 1, 2 e 3. A Figura 7.13 apresenta perfis geológicos do prospecto 2. A Figura 7.14 apresenta a fotografia aérea do Alvo 1. A Figura 7.15 apresenta ilustrações fotográficas do prospecto 2.

As zonas de borda do depósito laterítico, em cotas mais baixas, revelam concentrações de nódulos ferruginosos, sempre contendo grãos angulosos de quartzo indicando que houve migração lateral e descendente do ferro.

Figura 7.11 - Perfis geológico e de teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 do furo GSF 35T.

Figura 7.12 - Mapa de localização dos furos de trado e dos alvos para detalhamento no prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco.

Figura 7.13 - Perfis geológicos do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco.

LEGENDA

Limite aproximado depósito laterítico do Alvo 1

Ocorrências de nódulos ou couraças ferruginosas

Figura 7.14 - Fotografia aérea do Alvo 1 do prospecto 2: Fazenda Ventania.

Figura 7.15 - Prospecto 2: A, B e C) Detalhes da sondagem a trado; D) Vista do furo GSF 42T para NW no alto mais a W; E) Vista de SW para NE do segundo alto; F) Vista de N para S do alto mais a E.

7.2.2 Caracterização dos materiais amostrados

Análises químicas

Em relação às análises, foi novamente enfrentado o problema da lentidão da via úmida ou clássica. Desta maneira, apenas as amostras dos furos GSF 6T a 13T foram analisadas por via úmida no laboratório da FCV-1, para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO e MgO e perda ao fogo. As demais, por espectrofotometria de plasma ICP no laboratório Nomos Análises Minerais, para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , MnO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3 e perda ao fogo, conforme os resultados analíticos apresentados no Anexo 4. As médias para as amostras analisadas por via úmida foram:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Ki	P.F.
40,35	27,70	11,39	0,57	0,02	1,73	16,53

As médias para as amostras analisadas espectrofotometria de plasma ICP foram:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	MnO_2	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	Ki	P.F.
45,16	26,01	10,94	0,13	0,09	0,20	0,02	1,54	0,20	0,02	1,79	14,94

Os resultados permitem observar que, com o aprofundamento dos furos, houve elevação nos teores médios de Al_2O_3 e ligeiro decréscimo da sílica. A média das espessuras passou a 4,85 m, com os mais profundos situados no primeiro alto topográfico a partir de Santa Helena, no local denominado Fazenda Ventania.

Caracterização dos tipos de laterita

Com os resultados das análises dos materiais amostrados nas duas etapas da prospecção, procurou-se estudar preliminarmente os tipos de laterita que ocorrem nos prospectos estudados. Para tanto, os resultados de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 dos materiais argilosos foram lançados no diagrama de Schellmann (1981) da Figura 7.16A. Nele, nota-se que as amostras do prospecto 1 distribuem-se principalmente nos campos das lateritas silicosa e caulínica, tendendo a laterita, enquanto as amostras do prospecto 2 distribuem-se nos mesmos campos da silicosa, da laterita e da caulínica, com predominância na caulínica. As amostras da cobertura sedimentar avermelhada situam-se nos campos da laterita silicosa e da laterita.

No prospecto 2, foi também confeccionado um diagrama triangular para ilustrar a evolução geoquímica da laterita a partir do granito (Figura 7.16B), onde foram lançados os resultados analíticos de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 do granito são, do saprolito do granito e da laterita.

Os dados de análise do granito fresco foram obtidos em Godoy (1989). As amostras de saprolito, cinco no total, foram coletadas num corte de estrada a cerca de 1500 m a oeste do Alvo 1 (Fazenda Ventania). Seus resultados analíticos, obtidos por via úmida no laboratório da FCV-1, encontram-se na Tabela 7.5 a seguir.

Tabela 7.5 – Resultados analíticos de amostras de saprolito do Granito São Francisco.

Amostra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
GSF 01SP	69,38	19,84	2,21
SPSF-1	74,87	15,81	1,65
SPSF-2	69,60	18,51	2,58
SPSF-3	56,90	28,18	2,44
SPSF-4	72,02	18,14	1,88
Médias	68,55	20,10	2,15

Estimativa do teor de areia (sílica livre) por elutriação

Para conhecimento aproximado do conteúdo de sílica livre, principalmente sob a forma de grãos de quartzo, relevante no processo de fabricação do cimento, amostras selecionadas foram tratadas pelo processo conhecido como elutriação (Yamamoto, no prelo), no Laboratório de Preparação de Amostras do DGE/IG-USP.

No tratamento das amostras, deu-se ênfase àquelas dos furos de trado no depósito mais a oeste no prospecto 1 (Fazenda Ventania). Adicionalmente foram tratadas amostra de furos dos demais depósitos do prospecto da área do Granito São Francisco e, também, da "argila ferruginosa", do saprolito do granito e da cobertura sedimentar avermelhada.

Para as amostras da laterita dos Alvos 1, 2 e 3, a média do conteúdo de areia é de 16,29 %, para um teor médio de sílica total de 41,94 %. Na amostra da "argila ferruginosa" essa relação é de 31,54 % para 60,56 %; no saprolito do granito, de 56,09

Figura 7-16 - A) Posições das amostras da área de estudo no diagrama de Schellmann (1981);
B) Evolução geoquímica da lateritização no prospecto 2.

Figura 7.17 - Difractogramas de raios-X das amostras do furo GSF 36T.

% para 69,38 % e, na cobertura sedimentar, de 20,36 % para 43,72 %. Todos os resultados obtidos encontram-se no Anexo 5.

Identificação mineralógica por difratometria de raios-X

No prospecto 2, foram escolhidas as amostras dos furos GSF 25T, 29T, 36T e 42T para a difratometria de raios-X. O primeiro situa-se no alto mais a leste, o segundo no central e os demais naquele mais a oeste. As amostras para difratometria foram reduzidas abaixo da malha 150 e manualmente prensadas em suporte adequado. Os parâmetros operacionais do equipamento constam do difratograma.

Os difratogramas mostraram que a mineralogia das amostras praticamente não varia entre os furos e ao longo dos mesmos, apresentando como constituintes principais quartzo, caulinita, hematita e gibbsita. Os picos deste último são intensos, evidenciando a concentração de alumínio e comprovando o processo de lateritização. Para efeito ilustrativo, a Figura 7.17 apresenta os difratogramas das amostras do furo GSF 36T. As amostras dos demais furos citados apresentaram difratogramas semelhantes.

Separação e identificação de minerais pesados

Minerais pesados foram separados e qualitativamente identificados nas amostras compostas dos furos GSF 34T, GSF 42T, TA-01 e TA-02, além de amostras SPSF-1 e SPSF-2 do saprolito do Granito São Francisco, visando o conhecimento das fontes dos materiais estudados. A Figura 7.18 apresenta as fotomicrografias dos minerais pesados das amostras estudadas.

Nas amostras da laterita da Fazenda Ventania (furos GSF 34T e 42T), a assembléia de minerais pesados é típica do granito, com zircão, turmalina, monazita, cassiterita e algum rutilo. Os minerais apresentam-se, em sua maioria, angulosos a subangulosos, evidenciando pouco ou nenhum transporte, constituindo forte evidência da origem da laterita a partir do granito.

Nas amostras do saprolito do granito, utilizadas para comparação, destacam-se zircão, turmalina, monazita, cassiterita e raras hornblendas. O zircão, em prismas biterminados, apresenta-se freqüentemente zonado ou com inclusões fluidas. Grãos de quartzo com impregnações ferruginosas tiveram suas densidades aumentadas, tendo sido concentrados com os pesados.

A - amostra do furo GSF 34T.

B - Amostra do furo GSF-42T

C - Amostra do saprolito do granito
São Francisco (SPSF-1). D - Amostra do saprolito do granito
São Francisco (SPSF-2). E - Amostra da cobertura sedimentar
avermelhada (Furo TA-01). F - Amostra da cobertura sedimentar
avermelhada (Furo TA-02).

Figura 7.18 - Fotomicrografias de concentrados de minerais pesados.

Nas amostras dos furos TA-01 e TA-02, da cobertura sedimentar avermelhada, nota-se também zircão, turmalina, monazita e cassiterita, evidenciando contribuição granítica; porém, os grãos apresentam-se geralmente arredondados, indicando transporte. Como acessórios, comparecem epidoto, rutilo e sillimanita, indicando contribuição metamórfica.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Amostras dos furos GSF 29T (3-4 m e 4-5 m), GSF 31T (3-4 m) e GSF 42T (0-1 m) foram examinadas nos microscópios eletrônicos de varredura (MEV) do Instituto de Geociências – USP e do LCT-EPUSP, visando o conhecimento da morfologia dos minerais constituintes na fração argila e, também, do quartzo, para comparação com o quartzo do saprolito do granito e verificação de feições de corrosão.

Os minerais principais: caulinita, gibbsita e hematita revelaram-se de difícil individualização ao MEV. Somente na amostra GSF 29T (4-5m) foi possível ver vagas formas hexagonais mal formadas da caulinita, em cristais de dimensões nanométricas (Figura 7.19A). Nas demais amostras, os minerais formam agregados micronodulares, sendo impossível a individualização nos aumentos utilizados, da ordem de 40.000 vezes (Figuras 7.19B e D). Apesar das sucessivas tentativas, não foi possível conseguir nitidez focal em aumentos maiores. Análises qualitativas pontuais através do EDS revelam presença de Al, Si, O e Fe nesses agregados micronodulares. Zonas aluminosas, identificadas na amostra GSF 31T (3-4m) através do EDS, mostraram-se como manchas escuras sobre uma massa aluminos-ferruginosa-silicosa (Figura 7.19C).

Os grãos de quartzo, apresentando maiores dimensões, permitiram a visualização de imagens nítidas. A Figura 7.20 compara grãos do saprolito do granito (Figuras 7.20A, C e E) com os da laterita (Figuras 7.20B, D e F). Os últimos apresentam, freqüentemente, feições de corrosão, evidenciando a lixiviação da sílica, inclusive sob a forma de quartzo, no processo de lateritização.

Granulometria

Amostras dos furos GSF 35T e 42T foram escolhidas para análise granulométrica. As amostras do furo GSF 35T foram submetidas à análise granulométrica convencional, por peneiramento e pipetagem, segundo o método

Figura 7.19 - A) Amostra GSF 29T5: cristais nanométricos e mal formados de caulinita); B) Amostra GSF 29T4: agregados micro-nodulares contendo Al, Fe, Si e O; C) Amostra GSF 31T4: zonas aluminosas (escuras) em massa alumínio - ferruginosa - silicosa; D) Amostra GSF 42T: agregado micronodular contendo Al, Fe, Si e O.

A: grão de quartzo do saprolito do Granito São Francisco, com mol-des de outros minerais.

B: grão de quartzo da laterita sobre o granito, mostrando evidências de dissolução ao longo de fissuras.

C: grão de quartzo do saprolito do granito, exibindo poros.

D: grão de quartzo da laterita, exibindo aumento de porosidade no início da dissolução.

E: grão de quartzo do saprolito do granito, sem evidências de dissolução.

F: detalhe de grão de quartzo da laterita exibindo feições de dissolução.

Figura 7.20 - Imagens de microcopia eletrônica de varredura (elétrons secundários), de grãos de quartzo do saprolito do granito e da laterita do prospecto 2.

descrito em Suguio (1973). Não mostraram variações significativas na granulometria ao longo do perfil, e a curva granulométrica da amostra composta do furo mostra, também, que há pouca variação em relação às amostras individuais. Apenas nas amostras da base do furo nota-se um ligeiro aumento da porcentagem das partículas mais grossas, acima de 2 mm, que representam 2,05 % da massa total. No geral, as partículas têm diâmetros inferiores a 4 mm, com a fração 1 - 4 mm representando 6,08 %. Predominam as frações mais finas, com 94,51 % de silte e argila, com diâmetro inferior a 62 μm . Os Anexos 6A e 6B apresentam, respectivamente, as curvas granulométricas da amostra GSF 35T2 e da amostra composta do furo (11 amostras), ilustrando a similaridade das curvas.

A predominância de partículas finas torna as análises granulométricas pelo método convencional muito demoradas, motivo pelo qual se optou pela combinação do peneiramento com a via instrumental nas amostras do furo GSF 42T. Foi utilizado o analisador a laser *Mastersizer Microplus Ver. 2.17*, marca *Malvern*, do LCT-EPUSP/Minas, que analisa volumetricamente a distribuição granulométrica.

O peneiramento das partículas acima de 1 mm mostrou que, em média, as mesmas representam cerca de 8,45 % da massa das amostras. Nota-se que há uma concentração no intervalo de 1 a 2,38 mm, com uma média de 93,97 % no furo GSF 42T. As partículas acima de 4 mm representam apenas 2,51 % das amostras, estando ausentes em 4 delas. O Anexo 6C apresenta os dados do peneiramento.

A análise instrumental das frações abaixo de 1 mm mostra que, no furo estudado, nas amostras dos 3 metros superiores, as partículas situam-se no intervalo de 0,05 a 100 μm , com predominância entre 20 e 45 μm . Nas amostras entre 4 e 10 m, com exceção do intervalo de 6 a 8 m, onde há similaridade com os 3 m iniciais, as partículas distribuem-se mais amplamente, indo aproximadamente de 0,05 a 555 μm . Observa-se que esta distribuição é semelhante à da farinha de clínquer da FCV-1. O Anexo 6D apresenta as curvas granulométricas instrumentais do furo GSF 42T.

7.2.3 Identificação de alvos para detalhamento – cálculo preliminar de reservas

A prospecção permitiu identificar três depósitos de material laterítico nos domínios do prospecto 2, denominados Alvos 1, 2 e 3, indicados no mapa da Figura 7.12.

No Alvo 1, de maior expressão superficial e onde foi feita a maioria dos furos, foi efetuado um cálculo preliminar de reservas com base nos furos de trado. Para tanto, utilizou-se o método dos triângulos (Popoff 1996), já descrito em 5.8.2 e baseado no princípio das variações graduais entre duas estações de amostragem adjacentes. A Figura 7.21 apresenta os 24 triângulos considerados no cálculo. O resumo do cálculo preliminar de reserva encontra-se no Anexo 7.

Para o cálculo da tonelagem *in situ*, o peso específico do material foi determinado em $1,63 \text{ g/cm}^3$ como média obtida para três corpos de prova indeformados. Chegou-se a uma área superficial de 442.051 m^2 , encerrando um volume total de $2.269.809 \text{ m}^3$, equivalente a $3.699.789 \text{ t}$. Os teores médios (%) de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 , ponderados pelos volumes dos prismas de seção triangular, são:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	TiO_2
42,56	29,02	11,22	0,06	1,44

Os outros dois alvos da área, indicados na Figura 7.12, têm dimensões reduzidas em relação ao primeiro, e os dados de sondagem dos mesmos não são ainda suficientes para um cálculo semelhante. Os dados disponíveis de sondagem indicam também espessuras menores para esses alvos; porém, com laterita de características físicas, químicas e mineralógicas similares às do Alvo 1.

As áreas superficiais estimadas para os Alvos 2 e 3 são, respectivamente, de 340.000 m^2 e 360.000 m^2 . Considerando uma espessura média de $2,5 \text{ m}$, pode-se inferir uma reserva somada de $2.852.500 \text{ t}$ para os mesmos, totalizando um potencial de cerca de $6.550.000 \text{ t}$ para os três alvos.

Figura 7.21 - Triângulos considerados no cálculo de reserva do Alvo 1 - Fazenda Ventania.

CAPÍTULO 8

TESTES DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER

Os resultados da sondagem a trado, da caracterização da laterita e do cálculo preliminar de reserva justificaram a realização de testes de produção de clínquer em escala piloto com o uso da laterita do Alvo 1- Fazenda Ventania e das rochas encaixantes das minas Pastinho e Baltar subterrânea.

Inicialmente, foi escolhido o local do Alvo 1 para a lavra do material a ser utilizado nos testes, no qual foram estudadas em detalhe as propriedades da laterita. Em seguida, foram realizadas simulações computacionais da composição da farinha, para definição das combinações e proporções ótimas. Estas, foram utilizadas na orientação da composição dos depósitos de rocha carbonática e de argila destinados aos testes, conduzidos nos fornos W1 e W2, sem alteração dos demais parâmetros operacionais. Os resultados técnicos dos testes foram então avaliados pela equipe do laboratório da FCV-1, segundo procedimentos usuais e normatizados pela ABNT e dentro dos critérios estabelecidos pela certificação ISO 9002.

A seguir, são sintetizados os detalhes envolvidos nos testes.

8.1 LAVRA EXPERIMENTAL

A Figura 8.1 ilustra em detalhes o local, situado na parte centro norte do Alvo 1, dentro de um polígono delimitado pelos furos de trado GSF 40T, 50T, 51T e 52T. Os três últimos furos já fazem parte da malha sistemática de sondagem (50 m x 50 m) em execução pela equipe da DM/FCV-1, como parte do trabalho de avaliação do depósito laterítico. As coordenadas UTM e as cotas dos furos, bem como os resultados analíticos, estão compondo um banco de dados para futuro tratamento, modelagem e planejamento de lavra através do programa *Datamine*, de uso corrente na FCV-1.

Para o cálculo dos teores médios do bloco de lavra, foram considerados apenas os 4 m superiores nos furos 40T e 50T e 3 m nos furos 51T e 52T, embora a espessura total deva se aproximar dos 10 m no local, visto que a lavra foi planejada para os 3 m superiores. Dados dos demais intervalos dos três últimos furos ainda não estavam disponíveis na ocasião.

Figura 8.1 - Área da lavra experimental no Alvo 1.

Nesse mesmo local, após a escavação do material, foram coletados os corpos de prova indeformados para a determinação do seu peso específico. A laterita apresenta peso específicos *in natura* e *in situ* de $1,63 \text{ g/cm}^3$, e *in situ* seco de $1,35 \text{ g/cm}^3$. No material escavado (empolado), o peso específico, com umidade natural, é de $1,20 \text{ g/cm}^3$; no empolado seco, é de $1,07 \text{ g/cm}^3$.

A Tabela 8.1 a seguir apresenta os dados médios parciais dos furos citados, bem como os dados médios calculados para o bloco de lavra experimental.

Tabela 8.1 - Dados médios dos furos GSF 40T, 50T, 51T e 52T.

Furo	espessura (m)	CaO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	K ₂ O %
40T	4,0	0,01	44,46	28,19	9,22	0,04	0,14
50T	4,0	0,37	34,05	35,34	11,87	0,07	0,13
51T	3,0	0,34	30,39	36,39	12,42	0,07	0,13
52T	3,0	0,28	30,84	36,07	12,42	0,05	0,13
Médias	3,7	0,24	35,55	33,68	11,35	0,06	0,13

Na ocasião das análises das amostras dos furos 50T a 52T, o laboratório da FCV-1 já havia estabelecido a curva de calibração do espectrômetro de fluorescência de raios-X para a laterita, realizada com base em dados de análises feitas no laboratório da ABCP por via úmida.

Para a realização dos dois testes, foram lavrados cerca de 1.000 t da laterita, através dos seguintes procedimentos:

- corte dos eucaliptos, destinados à Votocel - Votorantim Celulose, também situada na cidade homônima;
- remoção do solo superficial (0,5 m) por trator de esteira e estocagem do mesmo para posterior recomposição do terreno;
- escavação do material através de pá carregadeira mecânica;
- carregamento e transporte em caminhões basculantes para o pátio de estocagem e secagem prévia na FCV-1.

Como a laterita do Alvo 1 apresenta umidade média de 21,7 % ao ser escavada, demanda uma secagem natural antes da utilização. Caso contrário, causaria entupimentos no britador de martelos usado na cominuição dos torrões, o mesmo utilizado para a argila da mina do Lago. Em rotina de produção, será necessário um galpão coberto para essa secagem prévia, tendo sido iniciada a sua construção imediatamente após os testes.

8.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DA COMPOSIÇÃO DA FARINHA

Na etapa seguinte de preparação dos testes, foram realizadas simulações computacionais da composição da farinha, conforme o método descrito em 5.8.4, com o objetivo de definir a proporção ideal de cada componente da farinha. Foram estudadas as opções possíveis de combinação dos componentes das matérias-primas, chegando-se à escolha da alternativa mais adequada aos objetivos deste estudo. Os resultados das simulações são sintetizados nas Tabelas 8.2 e 8.3.

Os teores utilizados nas simulações foram obtidos a partir de análises de controle nos materiais já extraídos. A partir desses dados, foram compostos os depósitos de metacalcário e de argila utilizados nos testes, dando um total de 15.362 t para o Teste 1 e 15.490 t para o Teste 2, suficientes para cerca de 42 h de operação cada.

8.3 TESTES DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER

Os técnicos da FCV-1 julgaram os dados das simulações suficientemente confiáveis para a execução dos testes em escala piloto, realizados no segundo semestre de 1998, tendo sido os mesmos conduzidos em condições de produção, tanto em termos volumétricos de matérias-primas, como dos parâmetros operacionais do processo. Assim, a parte industrial do teste seguiu os procedimentos ilustrados no fluxograma da Figura 2.7, sem a adição dos corretivos.

As farinhas dos Testes 1 e 2 (amostras FT-01 e FT-02A) foram submetidas à identificação mineralógica por difração de raios-X (Figura 8.2), com difratogramas comparados ao da farinha sem o uso da laterita (FN-01). São observadas diferenças nas intensidades dos picos correspondentes à mica e à caulinita, provavelmente devido à heterogeneidade do material da mina do Lago, contendo quantidades variáveis de

Tabela 8.2 - Síntese da simulação da composição da farinha para o Teste 1 de produção de clínquer
(teores em %)

ROCHAS CARBONÁTICAS	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Metacalcário mina Pastinho	9.070	64,36%	49,37	4,80	0,89	0,69	1,45	0,34	1,29	3,04	330,48
Metacalcário Baltar subterrânea	1.690	11,99%	50,00	4,60	0,95	0,67	1,42	0,78	1,42	2,84	346,34
Metadolomito alto cálcio Pastinho	2.455	17,42%	30,10	17,20	1,82	1,25	15,90	0,26	1,46	5,60	58,88
Cálcio-silicática Baltar subterrânea	877	6,22%	9,05	47,50	5,98	6,20	2,68	1,00	0,96	3,90	6,28
Pré-homo rocha carbonática (A)	14.092	100,00%	43,58	9,04	1,27	1,05	3,87	0,33	1,21	3,91	158,52
Metas pré-homo	14.092	100,00%	43,56				< 4,00	< 2,00	1,20	3,90	158-162
ARGILA	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Argila da mina do Lago	790	62,20%	0,34	65,40	15,80	8,35	0,62	3,21	1,89	2,71	0,16
Laterita do Alvo 1 - Faz. Ventania	480	37,80%	0,03	38,97	32,90	11,95	0,05	0,13	2,75	0,87	0,02
Bauxita	0	0,00%	0,00	15,77	43,15	9,10	0,00	0,00	4,74	0,30	0,00
Minério de ferro	0	0,00%	8,82	3,93	1,86	73,79	0,00	0,00	0,03	0,05	14,42
Pre-homo argila obtida (B)	1.270	100,00%	0,22	55,41	22,26	9,71	0,40	2,05	2,29	1,73	0,12
Limites especificados na argila				55 - 65							
COMPOSIÇÃO DA FARINHA	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Metacalcário pré-homo (A)	14.092	91,73%	43,58	9,04	1,27	1,05	3,87	0,33	1,21	3,91	158,52
Argila pré-homo (B)	1.270	8,27%	0,22	55,41	22,26	9,71	0,40	2,05	2,29	1,73	0,12
Farinha obtida	15.362	100,00%	39,99	12,88	3,00	1,76	3,58	0,47	1,70	2,70	98,17
Limites especificados na farinha							< 4,00	< 2,00	1,40-2,00	2,40-3,00	98-102
MA = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ MS = $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ FSC = $100.\text{CaO}/(2,8.\text{SiO}_2+1,18.\text{Al}_2\text{O}_3+0,65.\text{Fe}_2\text{O}_3)$											

Tabela 8.3 - Síntese da simulação da composição da farinha para o Teste 2 de produção de clínquer
(teores em %)

ROCHAS CARBONÁTICAS	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Metacalcário mina Pastinho	9.120	64,41%	49,51	4,50	0,78	0,72	1,35	0,23	1,08	3,00	353,94
Metacalcário Baltar subterrânea	1.700	12,01%	50,05	4,30	0,95	0,67	1,42	0,19	1,42	2,65	368,11
Metadolomito alto cálcio Pastinho	2.420	17,09%	29,84	16,54	1,73	1,28	15,88	0,14	1,35	5,50	60,67
Cálcio-silicática Baltar subterrânea	920	6,50%	8,97	46,56	5,88	6,15	2,54	1,00	0,96	3,87	6,35
Pré-homo rocha carbonática (A)	14.160	100,00%	43,58	8,75	1,18	1,08	3,75	0,24	1,09	3,86	163,83
Metas pré-homo	14.092	100,00%	43,56				< 4,00	< 2,00	1,20	3,90	158-162
ARGILA	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Argila da mina do Lago	850	63,91%	0,32	64,95	14,98	8,15	0,61	3,12	1,84	2,81	0,16
Laterita do Alvo 1 - Faz. Ventania	480	36,09%	0,02	37,84	32,65	11,84	0,05	0,11	2,76	0,85	0,01
Bauxita	0	0,00%	0,00	15,77	43,15	9,10	0,00	0,00	4,74	0,30	0,00
Minério de ferro	0	0,00%	8,82	3,93	1,86	73,79	0,00	0,00	0,03	0,05	14,42
Pre-homo argila obtida (B)	1.330	100,00%	0,21	55,17	21,36	9,48	0,41	2,03	2,25	1,79	0,11
Limites especificados na argila				55 - 65							
COMPOSIÇÃO DA FARINHA	Massa (t)	%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MA	MS	FSC
Metacalcário pré-homo (A)	14.160	91,41%	43,58	8,75	1,18	1,08	3,75	0,24	1,09	3,86	163,83
Argila pré-homo (B)	1.330	8,59%	0,21	55,17	21,36	9,48	0,41	2,03	2,25	1,79	0,11
Farinha obtida	15.490	100,00%	39,86	12,74	2,92	1,80	3,46	0,39	1,62	2,70	98,97
Limites especificados na farinha							< 4,00	< 2,00	1,40-2,00	2,40-3,00	98-102
MA = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ MS = $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ FSC = $100.\text{CaO}/(2,8.\text{SiO}_2+1,18.\text{Al}_2\text{O}_3+0,65.\text{Fe}_2\text{O}_3)$

Figura 8.2 - Difrátogramas de raios-X das farinhas FN-01 (normal), FT-01 e FT-02A (com a laterita do Alvo 1 - Fazenda Ventania). Onde se lê Muscovite, leia-se Mica (variedade não precisada).

blocos de rocha em diferentes graus de alteração, implicando em variações na sua mineralogia.

As granulometrias das farinhas normal e dos testes são bastante similares, com as partículas predominantemente no intervalo aproximado de 0,1 μm a 480 μm . O Anexo 8 apresenta as curvas granulométricas instrumentais das farinhas FN-01 e FT-01. As partículas acima de 480 μm não foram detectadas pelo analisador *Malvern*, embora estivessem dentro dos limites operacionais do equipamento, possivelmente devido ao efeito pepita inerente à pequena alíquota utilizada na análise, mas, sabe-se que a retenção na malha 100 situa-se em torno de 2,7 %.

Durante os testes, foram feitas análises de controle da farinha e do clínquer em intervalos de 2 h, totalizando 21 lotes de amostra para cada teste. Caso ocorressem variações nos parâmetros químicos fora das especificações, seriam realizadas pequenas correções através da adição de corretivos. Estes, não foram necessários no Teste 1, mas, no Teste 2, ocorreu a elevação do MA para 2,06 numa das alimentações, de 740 t de matéria-prima, demandando a adição de 1,38 t de minério de ferro, representando 0,3 % dos 46 t de argila participante, muito aquém dos 14,6 t que seriam necessários sem a participação da laterita. Essa variação pode ter ocorrido em razão da pré-homogeneização insuficiente, visto que as simulações indicaram não haver necessidade de correção.

O clínquer produzido nos dois testes foi, após a aprovação da sua qualidade, foi inserido no circuito de moagem e o cimento resultante normalmente comercializado. Os resultados da avaliação dos testes são apresentados e analisados no capítulo seguinte.

As Figuras 8.3A a 8.3H apresentam ilustrações fotográficas da lavra experimental e dos testes de produção.

Figura 8.3 - A) Vista do local da lava experimental no Alvo 1 - Fazenda Ventania, a partir das proximidades do ponto 21; B e C) Detalhes do local da lava; D) Corte de blocos para determinação do peso específico; E) Depósito do material na fábrica; F e G) Pré-homogeneização de metacalcário e de argila do forno 2; H) Construção do galpão para estocagem da laterita.

CAPÍTULO 9

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

9.1 AVALIAÇÃO TÉCNICA

9.1.1 Vida útil da reserva de laterita

Considerando apenas a reserva preliminarmente calculada do Alvo 1 - Fazenda Ventania, estimando uma recuperação de 85 % na lavra e considerando os níveis de consumo de matérias-primas mostrados nas simulações (Tabelas 8.2 e 8.3), pode-se fazer a seguinte projeção da vida útil da reserva:

- reserva preliminar calculada do Alvo 1: 3.669.789 t
- reserva recuperável (85 %): 3.119.321 t
- consumo anual previsto da laterita: 100.375 t (275 t/dia)
- vida útil da reserva: 31,07 anos

Assim, apenas o Alvo 1 encerra material suficiente para superar largamente a meta de 25 anos para vida útil da argila alternativa. As informações disponíveis sobre o depósito, de geometria lenticular e sem variações acentuadas de espessura, permitem dizer que essa perspectiva de vida útil não será grandemente alterada com os resultados da avaliação sistemática em andamento.

9.1.2 Resultados dos testes de produção de clínquer

Os resultados dos testes de produção, avaliados pela equipe do laboratório da FCV-1, constaram de:

- análises químicas das farinhas e dos clínqueres, realizadas em intervalos 2 h durante a realização dos testes;
- cálculo dos módulos MA, MS e do FSC;
- peneiramento das farinhas na malha 100;
- determinação do peso específico do clínquer (PL = peso por litro);

- granulometria e microscopia óptica de clínquer;
- ensaios de resistência à compressão do cimento resultante a 3, 7 e 28 dias, nos períodos de janeiro-maio/99 e junho-setembro/99;
- finura do cimento por peneiramento na malha 325.

Paralelamente, foram realizadas, como procedimento não rotineiro na indústria, a difratometria de raios-X e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos clínqueres. A primeira prestou-se à comparação da mineralogia do clínquer produzido sem o uso da laterita com aqueles dos testes. As imagens MEV visaram o estudo morfológico tridimensional dos componentes do clínquer.

As Tabelas 9.2 e 9.3 resumem os resultados de análise química, cálculo de MA, MS e FSC, peneiramento das farinhas e determinação do PL, todos dentro das especificações.

A granulometria dos clínqueres obtidos nos dois testes é apresentada na Tabela 9.1 a seguir:

Tabela 9.1 - Granulometria dos clínqueres dos testes 1 e 2.

Teste	RP 25,0 %	RP 19,1 %	RP 9,5 %	RP 4,7 %	RP 2,4 %	Passante em 2,4 mm
1	14,2	18,7	34,9	20,8	7,9	3,5
2	14,5	18,6	35,2	20,7	7,2	3,8

RP 25,0 = retido na malha 25,0 mm, RP 19,1 = retido na malha 19,1 μ m,...

As Figuras 9.1A a 9.1D apresentam fotomicrografias de uma amostra de clínquer fabricado sem o uso da laterita, para efeito de comparação com as fotomicrografias do clínquer do Teste 1 das Figuras 9.2A a 9.2D e 9.3A a 9.3D. Não foram fotografadas as seções do clínquer do Teste 2 por serem similares às do Teste 1.

Os clínqueres dos testes foram considerados de qualidade regular na avaliação microscópica, apresentando dimensões médias dos cristais de alita e belita respectivamente em torno de 29,2 μ m e 15 μ m. Os últimos encontram-se dispersos ou formam zonas indefinidas com dimensão média de 210 μ m. Os cristais de alita

Tabela 9.2 - Síntese dos resultados analíticos e de resistência do cimento do Teste 1

Dados médios de análise de farinha e do clínquer do forno W1 (teores em %)														
Forno W1	Período	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	MA	MS	FSC	# 100*	g/l	% cal livre
Farinha	Antes do Teste 1	40,88	12,84	3,18	1,76	3,22	0,56	0,69	1,81	2,60	100,08	2,70	-	-
	No Teste 1	40,29	12,83	3,18	1,84	3,53	0,59	0,72	1,73	2,56	98,58	2,76	-	-
Clínquer	Antes do Teste 1	63,01	20,34	5,01	2,53	4,96	1,77	1,08	1,98	2,70	97,68	-	1.160	1,36
	No Teste 1	62,70	20,21	5,07	2,63	5,41	2,16	1,07	1,93	2,62	97,54	-	1.185	0,93
Dados médios de análise de farinha e do clínquer do forno W2														
Forno W2	Período	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	MA	MS	FSC	# 100*	g/l	% cal livre
Farinha	Antes do Teste 1	40,54	12,85	3,11	1,82	3,42	0,52	0,70	1,71	2,61	99,28	2,80	-	-
	No Teste 1	40,71	12,67	3,07	1,59	3,51	0,60	0,65	1,93	2,72	101,44	2,57	-	-
Clínquer	Antes do Teste 1	62,76	20,20	5,08	2,53	4,84	1,75	1,02	2,01	2,65	97,76	-	1.175	1,52
	No Teste 1	61,40	20,07	4,91	2,41	5,59	1,99	1,01	2,04	2,74	96,61	-	1.182	1,62
* - porcentagem retida na malha 100#														
Resistência mecânica do cimento antes e depois do Teste 1														
Cimento	Período	Resistência			Finura # 325**									
		3 dias	7 dias	28 dias										
	CP II-E-32	Antes do Teste 1	21,97	27,25	35,07	14,55								
No Teste 1		22,79	27,15	35,52	13,51									
CP II-E-40	Antes do Teste 1	30,38	37,10	45,52	1,34									
	No Teste 1	30,73	37,64	45,79	1,59									
** - porcentagem retida na malha 325#														

Tabela 9.3 - Síntese dos resultados analíticos e de resistência do cimento do Teste 2

Dados médios de análise de farinha e clínquer do forno W1 (teores em %)														
Forno W1	Período	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	MA	MS	FSC	# 100*	g/l	% cal livre
Farinha	Antes do Teste 2	40,88	12,84	3,18	1,76	3,22	0,56	0,69	1,81	2,60	100,08	2,70	-	-
	No Teste 2	40,55	12,92	3,01	1,64	3,47	0,54	0,69	1,84	2,78	99,40	2,76	-	-
Clínquer	Antes do Teste 2	63,01	20,34	5,01	2,53	4,96	1,77	1,08	1,98	2,70	97,68	-	1.160	1,36
	No Teste 2	62,66	20,42	4,98	2,50	5,37	2,05	1,08	1,99	2,73	96,88	-	1.186	1,03
Dados médios de análise de farinha e clínquer do forno W2														
Forno W2	Período	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	MA	MS	FSC	# 100*	g/l	% cal livre
Farinha	Antes do Teste 2	40,54	12,85	3,11	1,82	3,42	0,52	0,70	1,71	2,61	99,28	2,80	-	-
	No Teste 2	40,39	12,95	3,02	1,75	3,53	0,66	0,66	1,73	2,71	98,61	2,57	-	-
Clínquer	Antes do Teste 2	62,76	20,20	5,08	2,53	4,84	1,75	1,02	2,01	2,65	97,76	-	1.175	1,52
	No Teste 2	60,83	19,94	4,85	2,61	5,64	2,08	1,00	1,86	2,67	96,17	-	1.191	1,45
* - porcentagem retida na malha 100#														
Resistência mecânica do cimento antes e depois do Teste 2														
Cimento	Período	Resistência			Finura # 325**									
		3 dias	7 dias	28 dias										
CP II-E-32	Antes do Teste 2	21,97	27,25	35,07	14,55									
	No Teste 2	22,81	27,32	35,51	13,38									
CP II-E-40	Antes do Teste 2	30,38	37,12	45,52	1,31									
	No Teste 2	30,72	37,58	45,37	1,61									
** - porcentagem retida na malha 325#

Figura 9.1 - Fotomicrografias de clínquer produzido sem o uso da laterita da Fazenda Ventania: A) Aspecto geral, mostrando a porosidade (sem ataque químico); B) Cristais de C_3S justapostos, poros e aglomerado de C_2S à esquerda (ataque com HNO_3); C) Cristais de C_2S digitados e em início de digitação, em meio a cristais de C_3S e periclásio (ataque com HNO_3); D) Fase cristalizada, cristais de C_3S e periclásio (ataque com HNO_3).

Figura 9.2 - Fotomicrografias de clínquer produzido com o uso da laterita da Fazenda Ventania: A) Cristais arredondados de C_2S e cristais de C_3S corroídos (ataque c/ sílica gel + álcool etílico); B) Cristais xenomórficos de C_2S (claros) em meio a cristais de C_3S e poros (ataque com HNO_3 + álcool etílico); C) Cristais de C_3S corroídos e C_2S arredondados (ataque c/ sílica gel + álcool etílico); D) Fase intersticial cristalizada (azul) entre cristais de C_3S e periclásio (ataque c/ KOH + sacarose).

Figura 9.3 - Fotomicrografias de clínquer produzido com o uso da laterita da Fazenda Ventania: A) Cristais C_3S com inclusões de periclásio e fase intersticial (ataque c/ KOH + sacarose); B) Cristais C_2S (claros) em meio a cristais de C_3S e poros (ataque c/ KOH + sacarose); C) Cristais de C_3S e cristais xenomórficos de C_2S (ataque c/ sílica gel + álcool etílico); D) Cristais de C_3S (ataque c/ HNO_3).

apresentam-se subidiomórficos e pseudo-hexagonais, com bordas retilíneas e em início de digitação. A belita ocorre em cristais arredondados e em início de digitação. Cristais de cal livre são pouco freqüentes, apresentando dimensão média de 12 μm . O periclásio comparece disperso e freqüente, em cristais idiomórficos e pseudo-hexagonais, com dimensão média de 15 μm . A fase intersticial apresenta-se cristalizada, com C_4AF em maior proporção. O grau de cristalização dos componentes indica resfriamento de normal a lento.

A Tabela 9.4 apresenta as porcentagens dos componentes dos clínques calculadas pela análise microscópica quantitativa:

Tabela 9.4 - Porcentagem dos componentes dos clínques calculada pela microscopia quantitativa

Teste	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	MgO	Cal livre	Porosidade
1	66,0	15,5	7,6	5,6	1,9	3,3	20,5
2	65,3	16,6	7,8	5,3	2,0	2,9	19,7

As Figuras 9.4A e 9.4B apresentam imagens de MEV do clínquer do Teste 1, mostrando cristais desenvolvidos dos seus componentes. Espectros qualitativos EDS não puderam ser realizados em alguns pontos das amostras devido, na ocasião, a problemas no equipamento, motivo pelo qual os componentes desses pontos são identificados acompanhados de sinal de interrogação.

A Figura 9.5 apresenta os difratogramas de raios-X dos clínques dos testes e, também, de um clínquer dito normal, sem o uso da laterita, onde não são observadas variações significativas na mineralogia.

Embora a resistência do cimento nos dois testes atendesse às especificações, optou-se por realizar uma avaliação mais completa, em dois períodos de 4 meses após os dois testes. O primeiro, de janeiro a maio/99, sem o uso da laterita. No segundo, de junho a setembro/99, com o uso rotineiro da laterita no processo. Os dados médios mensais obtidos para esses períodos mostram que a resistência do cimento praticamente não sofreu alterações, atendendo às especificações das normas ABNT citadas na Tabela 2.6.

A: Imagem com elétrons secundários de cristais de C_3S e de C_2S digitado no clínquer do Teste 1.

B: Imagem com elétrons retroespalhados do clínquer do Teste 1, mostrando a fase intersticial entre os cristais de C_3S (hexagonais) e C_2S (arredondados).

Figura 9.4 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostra de clínquer do Teste 1 com o uso da laterita.

Figura 9.5 - Difractogramas dos clínques CN1A (normal), CT1A e CT-02 (com o uso da laterita do Alvo 1 - Fazenda Ventania).

A tabela 9.5 apresenta as médias mensais dos resultados dos ensaios de compressão a 3, 7 e 28 dias dos cimento CP II-32 e CP II-40, e a Figura 9.6 apresenta os gráficos correspondentes.

As composições dos cimentos em termos de porcentagens de clínquer, escória e calcário aditivo (*filler*) não foram divulgadas pela FCV-1.

Tabela 9.5 - Resistência à compressão dos cimentos CP II-32 e CP II-40 a 3, 7 e 28 dias, no período de janeiro - setembro/99.

CP II-32	Resistência	Resistência	Resistência
Mês	3 dias (Mpa)	7 dias (Mpa)	28 dias (Mpa)
Jan/99	23,53	28,45	35,78
Fev/99	22,39	27,40	0,00
Mar/99	22,41	27,71	35,40
Abr/99	20,74	27,04	34,59
Mai/99	19,80	25,62	33,86
Médias	21,77	27,24	27,93
Jun/99	22,44	28,05	35,59
Jul/99	22,49	28,02	35,91
Ago/99	22,79	25,59	36,29
Set/99	21,74	26,72	34,36
Médias	22,37	27,10	35,54

CP II-40	Resistência	Resistência	Resistência
Mês	3 dias (Mpa)	7 dias (Mpa)	28 dias (Mpa)
Jan/99	30,05	36,51	45,30
Fev/99	30,66	37,47	45,60
Mar/99	30,49	36,73	45,10
Abr/99	30,24	37,44	45,60
Mai/99	30,42	37,38	46,00
Médias	30,37	37,11	45,52
Jun/99	30,89	37,69	45,70
Jul/99	30,57	37,45	45,90
Ago/99	31,01	38,10	45,60
Set/99	30,41	37,34	46,00
Médias	30,72	37,65	45,80

9.1.3 Moabilidade da farinha e do clínquer

Dados sobre o consumo energético específico, em KWh/tonelada, na moagem da farinha e do clínquer, permitiriam a avaliação das moabilidades da farinha e do clínquer nos dois períodos acima citados; porém, não foram divulgados pela FCV-1.

Figura 9.6 - Resistência à compressão dos cimentos CP II-32 e CP II-40 antes do uso da laterita do Alvo 1 - Fazenda Ventania (janeiro-maio/99) e com o uso da mesma (junho-setembro/99).

Sabe-se apenas que não houve variação significativa nas moabilidades na comparação dos dois períodos.

9.1.4 Consumo de metadolomito de alto cálcio da mina Pastinho e da cálcio-silicática xistosa da mina Baltar subterrânea

Cálculos realizados a partir dos dados das simulações da farinha das Tabelas 8.2 e 8.3 mostram que a mistura dessas rochas ao metacalcário representa redução significativa nos volumes de rocha destinados aos bota-foras, bem como uma substancial economia no volume lavrado de metacalcário puro.

A mina Pastinho produziu, no período outubro/98 a outubro/99, cerca de 1.000.000 t de bota-fora, principalmente composto por metadolomitos e, secundariamente, por metarenito e filito carbonático. A tendência é de redução nesse volume com a cava se aproximando da sua configuração final.

A mina Baltar subterrânea, onde a lavra se processa dentro do corpo de metacalcário, produz uma média de 26.000 t anuais de bota-fora, composto pelas cálcio-silicáticas maciça, bandada e xistosa. As duas primeiras não são utilizáveis na mistura com o metacalcário devido ao elevado teor de sílica sob a forma de quartzo.

As rochas potencialmente aproveitáveis são estocadas em pilhas separadas do bota-fora efetivamente estéril.

As simulações indicaram que pode haver uma participação importante do metadolomito de alto cálcio (15,80 %) e da cálcio-silicática xistosa (5,82 %) na composição da farinha. Isso representa, em termos anuais, cerca de 517.000 t do primeiro e 183.264 t da segunda. Como a quantidade produzida desta última não chega a esse valor, conclui-se que a mesma será consumida na totalidade, com a conseqüente elevação da participação do metadolomito para cerca de 570.000 t, o que representa cerca de 57 % da massa total de bota-fora da mina Pastinho.

O filito carbonático, embora utilizável na proporção de 6,84 % na farinha, combinado com 11,78 % do metadolomito de alto cálcio, foi desconsiderado devido ao pequeno volume produzido e aos melhores resultados da combinação do metadolomito com a cálcio-silicática xistosa.

9.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Por uma questão de sigilo industrial, a FCV-1 não autoriza a divulgação dos números absolutos sobre a redução de custos proporcionada pela substituição dos corretivos pela laterita do Alvo 1. Assim os resultados da avaliação econômica, realizada pelas equipes de mineração e de processo da FCV-1, são aqui apresentados apenas em porcentagens.

Estudos econômicos realizados para os fornos W1, W2 e W3 funcionando em plena capacidade produtiva, mostraram que a redução média no custo da matéria-prima argila com o uso da laterita em substituição aos corretivos é de 45,62 %. Isso representa uma redução de 1,56 % no custo de produção do clínquer que, convertida em toneladas anuais de clínquer, significam cerca de 37.580 t, suficientes para a fabricação de cerca de 50.000 t de cimento.

A porcentagem de redução acima considera ainda o uso de pequenas quantidades de minério de ferro na correção de eventuais desvios, como aquele citado em 8.3. Observa-se que esse corretivo pode ser substituído por certos resíduos industriais menos onerosos, como a lama de aciaria, e a FCV-1 já os aplica em seu processo. A bauxita, o corretivo mais oneroso, é integralmente substituída pela laterita do Alvo 1, que passou a ser denominado mina Ventania pela equipe da Divisão de Mineração da FCV-1.

A economia resultante da utilização do metadolomito de alto cálcio e da cálcio-silicática xistosa não foi quantificada, visto que o benefício se traduz em ganhos de difícil quantificação em termos econômicos, como o ganho ambiental pela redução do volume de bota-fora e a otimização da lavra do metacalcário.

CAPÍTULO 10

CONCLUSÕES

Os estudos realizados demonstraram, antes de tudo, a importância e o impacto da aplicação de conhecimentos geológicos fundamentais na solução de um problema industrial. Problema este enfrentado pela FCV-1 por 63 anos, desde a sua implantação em 1936. Tentativas, sem sucesso, de busca de materiais argilosos alternativos haviam sido feitas ao longo desse período; porém, restritas aos domínios dos metamorfitos do Grupo São Roque.

A abordagem metodológica, fundamentada em conhecimentos sobre a geologia regional, dos processos de alteração superficial das rochas, das técnicas de exploração mineral e do processo de fabricação do cimento Portland, utilizando métodos e materiais em grande parte simples, mostrou-se apropriada, podendo ser adaptada e aplicada em situações similares.

Destaca-se, também, a necessidade e a importância do detalhado conhecimento da geologia dos distritos mineiros onde se situam as unidades industriais, através de uma visão geológica mais ampla, não limitada aos detalhes das minas. A SAIV, ciente da importância desse conhecimento, tem desenvolvido trabalhos nesse sentido em estreita colaboração com universidades e outras instituições de pesquisa, com evidentes benefícios para as suas unidades industriais. O estudo aqui apresentado é um bom exemplo dessa colaboração.

O conjunto de dados da avaliação técnica mostrou que o depósito laterítico do Alvo 1 - Fazenda Ventania atende às especificações técnicas quanto às propriedades físicas, químicas e mineralógicas do material, bem como aos demais condicionantes apresentados em 5.3.2.

Os cimentos CP II-32 e CP II-40, produzidos com o uso da laterita do Alvo 1 em substituição integral da bauxita e parcial do minério de ferro, têm qualidades equivalentes às dos anteriormente fabricados, mantidos constantes os parâmetros operacionais do processo.

O cimento tipo CP II representa, segundo dados de SNIC (1998), 78,02 % do total de cimento produzido no Brasil em 1996-1997. Este fato, aliado ao aumento expressivo do consumo após 1994 que, embora em ritmo menos acelerado, mantém o crescimento, tem obrigado as indústrias do setor a pesados investimentos para a ampliação da capacidade produtiva, evidenciando a importância da redução de custos na fabricação. Devido ao alto grau de desenvolvimento tecnológico alcançado no processo de fabricação, as reduções têm sido geralmente traduzidas em porcentagens numericamente pequenas, mas, que assumem grande importância no cenário altamente competitivo do cimento. Assim, a redução mostrada na avaliação econômica pode ser considerada relevante para a FCV-1 como um todo e muito expressiva para a sua Divisão de Mineração.

Complementando a otimização do processo de fabricação, o aproveitamento do metadolomito de alto cálcio da mina Pastinho e da cálcio-silicática xistosa da mina Baltar subterrânea, misturadas aos metacalcários das duas minas, representam redução importante no volume de rocha destinado aos bota-foras de estéril, significando ganho ambiental e racionalização da utilização das reservas de metacalcário puro.

Adicionalmente, os resultados da prospecção produziram desdobramentos positivos até mesmo não relacionados à FCV-1 ou de importância futura para a mesma. O prospecto 3 - cobertura sedimentar avermelhada revelou-se potencialmente interessante para a FCV-2, em Salto de Pirapora, motivo pelo qual a sua equipe técnica já realiza um detalhamento exploratório na área. O prospecto 1 - Metabásica de Alumínio também não foi descartado pela FCV-1, que requereu autorização de pesquisa em parte de sua área, considerando o aproveitamento futuro dos seus materiais intempéricos.

Concluindo, pode-se afirmar que os objetivos do estudo aqui apresentado foram plenamente atingidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. 1984. *Curso de microscopia de clínquer de cimento portland*. São Paulo, 86 p.
- Amaral, G.; Bushee, J.; Cordani, U. G.; Kawashita, K.; Reynolds, J. H. 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**:117-142.
- Annels, A. E. 1991. *Mineral deposit evaluation - a practical approach*. London, Chapman & Hall. 436 p.
- Bardossy, G. & Aleva, G. J. J. 1990. Lateritic bauxites. Amsterdam, Elsevier. 624 p. (*Developments in Economic Geology* 27).
- Beljavskis, P. 1981. *Avaliação das ocorrências de bauxita na região de Nazaré Paulista*. São Paulo, IPT, 78 p. (Relatório n. 15.849).
- Beljavskis, P.; Juliani, C.; Uchoa, M. L. de A.; Perosa, P. T. Y.; Tanno, L. C.; Martins, F. A. 1984. Prospecção de bauxita na Serra do Itaberaba e Pedra Branca, São Paulo. *Ciência da Terra*, **10**:20 - 24.
- Bergmann, M. 1988. *Caracterização estratigráfica e estrutural da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque, região de Pirapora do Bom Jesus(SP)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 164p.
- Bergmann, M. 1992. Litoestratigrafia e paleoambiente do Grupo São Roque na região do sinclínório de Pirapora (SP) - revisão. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, **1**:282-283.
- Bettencourt, J. S. 1972. *Mapa geológico da região de Santa Helena e Salto de Pirapora (1:25.000)*. (Cópia heliográfica, inédita).
- Bigarella, J. J. 1956. Contribuição ao estudo dos calcários do Estado do Paraná. *Boletim, Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica*, Curitiba, n. 37, 83 p.
- Biro, P. 1981. *Les processus d'érosion à la surface des continents*. Paris, Masson Editeurs, 607 p.

- Bjornberg, A. J. S., Gandolfi, N., Paraguassu, A. B. 1971. Basculamentos tectônicos modernos no Estado de São Paulo. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, *Anais*, 2:159-174.
- Bogue, R. H. 1947. *The chemistry of Portland cement*. New York, Reinhold Publishing. 572 p.
- Boulangé, B. & Carvalho, A. 1997. The bauxite of Porto Trombetas. *In*: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A.J.; Lucas, Y. (Eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/ORSTROM, p. 55-73.
- Braga, M. O. 1973. Microscopia quantitativa de clínqueres e cimentos portland. *Revista de Engenharia*, Lisboa, 418:125-135 (Separata).
- Campos Neto, M. C. 1985. Evolução do Pré-Cambriano paulista e regiões adjacentes (mesa redonda). *In*: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 5, São Paulo, *Atas*, p. 561-586.
- Campos Neto, M. C.; Bergmann, M.; Siga Jr., O.; Figueiredo, M. C. H. 1990. *Geologia da Folha Pilar do Sul, 1:25.000*. São Paulo, IG-USP/PRO-MINÉRIO, v.1 (Relatório).
- Campy, M. & Macaire, J. J. 1989. *Géologie des formations superficielles – Géodynamique – faciès – utilisation*. Paris, Masson Editeurs, 433 p.
- Candlot, E. 1906. *Ciments et Chaux Hydrauliques*. 3 ed. Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger Editeur, 531 p.
- Carneiro, C. D. R.; Coutinho, J. M. V.; Suemitsu, A. ; Rodrigues, E. P. 1984. Relações geométricas e temporais de eventos magmáticos no Grupo São Roque, a partir da descoberta de rochas metavulcânicas e da aplicação de critérios estruturais. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 3196-3211.
- Centurione, S. L. 1993. *Influência das características das matérias-primas no processo de sinterização do clínquer Portland*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 155 p.
- Chatterjee, A. K. – 1979a - Phase composition, microstructure, quality and burning of portland cement clinkers: a review of phenomenological interrelations, part 1. London, *World Cement*, v. 10, nº 4, p. 124 - 135.

- Chatterjee, A. K. - 1979b - Phase composition, microstructure, quality and burning of portland cement clinkers: a review of phenomenological interrelations, part 2. London, *World Cement*, v. 10, n° 5, p. 165 - 73.
- Christensen, N. H. 1981. Modelling the clinker reaction. *World Cement, London*, **12**(5): 238-247.
- Cordani, U. G.; Gomes, C. B.; Girardi, V. A. V. 1963. Rochas cálcio-silicatadas da região de Perus, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **35**:361-372.
- Cordani, U. G.; Melcher, G. C. ; Almeida, F. F. M. 1967. Outline of Precambrian geochronology of South America. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **5**:629-632.
- Coutinho, J. M. V. 1972 - Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores. *Boletim Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo*, **1**:5-99.
- Coutinho, J. M. V. 1980. *Mapa geológico da região metropolitana de São Paulo - 1:100.000*. São Paulo, EMPLASA.
- Couto, J. G. P. 1984. Algumas considerações sobre a evolução tectônica/metagenética dos continentes sul americano e africano no Proterozóico (formação de bacias rifteanas) e os efeitos de uma tríplice colisão cratônica na região sul do Estado de Minas Gerais e áreas adjacentes dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo (Brasil). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, **2**:3044-3055.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 1972. *Projeto calcário para cimento - relatório final*. São Paulo, CPRM, v.1.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1998. *Mapa Geológico da Folha de São Paulo - 1:250.000*.
- Duda, W. H. (1985). *Cement data book – v. 1: International process engineering in the cement industry*. Berlim, Wiesbaden, Bauerverlag GmbH., 636 p.
- Dunhan, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Memoir, American Association of Petroleum Geologists*, **1**:108-121.
- Felissíssimo Junior, J. 1967. Carbonatitos do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências. Suplemento*, **40**:93 – 115.

- Ferrari, J. A. 1996. *Deriva continental e sucessão paleoclimática: simulação da evolução das paisagens lateríticas da América do Sul e da África*. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 111p.
- Figueiredo, M. C. H.; Bergmann, M.; Penalva, F. e Tassinari, C. C. G. 1982. Ocorrência de *pillow-lavas* no Grupo São Roque, Estado de São Paulo. *Ciências da Terra*, 2:6-8.
- Formoso, M.; Dani, N; Valetton, I. 1997. The bauxite of Lages District. *In*: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A.J.; Lucas, Y. (Eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/ORSTROM. p. 273 - 308.
- Franco, R. R. 1958. Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Universidade de São Paulo. Série Mineralogia*, 189:1-81.
- Frascá, M. H. B. de O. 1992. *Petrografia e geoquímica de rochas carbonáticas pré-cambrianas do Estado de São Paulo*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 168p.
- Fúlfaro, V. J. & Suguio, K. 1974. O Cenozóico paulista: gênese e idade. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, *Anais*, 3:91-101.
- Godoy, A. M. 1989. *Caracterização faciológica, petrográfica e geoquímica dos maciços Sorocaba e São Francisco – SP*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 220p.
- Gomà, F. 1979. *El cemento portland y otros aglomerantes*. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 487 p.
- Gomes, J. F. C. 1956. Jazida de bauxita de Curututu, SP. *Revista da Escola de Minas, Universidade Federal, Ouro Preto*, 20(2):47 – 157.
- Goraieb, C. L.; Almeida, A. dos S.; Cuchierato, G. 1998. Novos depósitos bauxíticos associados a rochas graníticas no sul de Minas Gerais. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, *Anais*, p. 153.

- Gouda, G. R. 1978. Influence des matières premières de cimenterie sur la consommation de combustibles. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*. Paris, **712**:151-154.
- Grubb, P. L. C. 1983. Weathering and leaching patterns associated with some gibbsitic soils in Southern Africa. *in: Augustitis, S.S. (Ed.). Leaching and diffusion in rocks and their weathering products*. Atenas, *Theophrastus Publications*, 562 p.
- Hackspacher, P. C.; Morales, N.; Zanardo, A.; Godoy, A. M.; Oliveira, M. A. F.; Arthur, A. C. 1992a. A tectônica transcorrente - transpressiva brasileira da Folha São Roque(SP). *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, 2*:348-349.
- Hackspacher, P. C.; Godoy, A. M.; Oliveira, M. A. F. 1992b. Geologia da Folha Pirapora (SP), 1:25.000. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, 2*:127-128.
- Hackspacher, P. C.; Oliveira, M. A.; Godoy, A. M. 1992c. Geologia dos Grupos Serra de Itaberaba e São Roque na Folha Cabreúva, SP, 1:50.000. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, 2*:124-125.
- Hackspacher, P. C. 1994. *Tectônica transtensiva/transpressiva e alojamento de rochas plutônicas, a exemplo da Folha Cabreúva (SP) 1:50.000*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, Tese de Livre-Docência, 203 p.
- Hasui, Y. ; Penalva F.; Hennies, W. T. 1969. Geologia do Grupo São Roque. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 23, Salvador, Anais*, p. 101-134.
- Hasui, Y. & Hama, M. 1972. Geocronologia do Grupo São Roque pelo método potássio - argônio. *Revista Brasileira de Geociências, 2*:18-24.
- Hasui, Y. & Oliveira, M. A. F. 1984. Província Mantiqueira - Setor Central. *In: Almeida, F.F.M. de & Hasui, Y. (coords.). O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, *Edgard Blücher*, p. 308 - 344.
- Hasui, Y. & Sadowski, G. R. 1976. Evolução geológica do pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências, 6*:(3):180-200.

- Hasui, Y.; Almeida, F. F. M. de; Neves, B. B. de B. 1978. As estruturas Brasilianas. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, 6:2423-2437.*
- Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R.; Bistrichi, C. A. 1980. Estruturas e Tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 52(1):61-76.*
- Hasui, Y.; Dantas, A. S. L.; Carneiro, C. D. R.; Bistrichi C. A. 1981. O Embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. *In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo - texto explicativo. São Paulo, IPT/PRO-MINÉRIO, 1:12-45.*
- Hennies, W. T.; Hasui, Y.; Penalva, F. 1967. O falhamento transcorrente de Taxaquara. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 21, Curitiba, Anais, p. 159-168.*
- Hernalsteens, C. M. de O. & Lapa, R. P. 1988. Bauxita de Porto Trombetas, Oriximiná, Pará. *In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. (Coords.). Principais depósitos minerais do Brasil, v. 3, metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral – Companhia Vale do Rio Doce, p. 621-639.*
- IG – SMA - Instituto Geológico – Secretaria do Meio Ambiente. 1990a. *Mapeamento geológico da Folha Salto de Pirapora (SP), Escala 1:50.000. São Paulo, 76p. (Relatório Técnico).*
- IG – SMA - Instituto Geológico – Secretaria do Meio Ambiente. 1990b. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Sorocaba (SP). São Paulo, 2 v. (Relatório Técnico).*
- Johansen, V. 1977. Cocción de clínquer de cemento Portland em hornos rotatórios. *Materiales de Construction, Madrid, 166-167: 85-101.*
- Juliani, C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das Serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade São Paulo, SP. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 803 p.*
- Juliani, C. & Beljavskis, P. 1995. Revisão litoestratigráfica da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 16(1/2):33-58.*

- Kihara, Y. 1973. *Estudo mineralógico de clínquer de cimento Portland*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado 72 p.
- Kihara, Y. & Valarelli, J. V. 1975. Estudo de clínqueres de cimento Portland brasileiros por microscopia óptica. *Revista Brasileira de Tecnologia*, 6:207-16.
- Kihara, Y.; Battagin, A. F.; Marciano Jr., E.; Shuzukawa, J.K. 1983. *Aptidão à clinquerização de farinhas de cimento; fator de controle e qualidade do cimento*. São Paulo, ABCP (ET-48).
- 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, *Anais*, 1:241-264.
- King, L. E. 1956. A geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147 – 265.
- Knecht, T. 1943a. Estauroлита da Série São Roque. *O IGG*, São Paulo, 1(2):165-168.
- Knecht, T. 1943b. Notícia sobre a gênese de algumas ocorrências de bauxita no Município de Mogi das Cruzes. *Revista do Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, 1(1):32-39.
- Knecht, T. 1944. Sillimanita no km 20 da Via Anhanguera. *O IGG*, São Paulo, 2(2):129-132.
- Knecht, T. 1950. *Ocorrências minerais do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 144 p.
- Knecht, T. 1960. Notas preliminares sobre novas ocorrências de rochas alcalinas no Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 9(1):71 – 76.
- Krauskopf, K. B. 1972. *Introdução à geoquímica*. São Paulo, Polígono/EDUSP. 2v.
- Lea, F. M. 1970. *The chemistry of cement and concrete*. 3 ed. Glasgow, Edward Arnold, 726 p.

- Long, G. R. 1982. Clinker quality characterization by reflected light techniques. *In*: International Cement Microscopy Association, International Conference on Cement Microscopy, 14, Nevada, *Proceedings*, p. 92-109.
- Magalhães, F. S. *et al.* 1995. Levantamento geológico-estrutural e geotécnico do maciço rochoso da mina de Salto (Salto de Pirapora, SP). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Relatório da Disciplina SGS 812 - Levantamento Geológico-Geotécnico de Maciços Rochosos).
- McFarlane, M. J. 1976. *Laterite and landscape*. London, Academic Press. 151 p.
- Melfi, A. J. 1993. *Geoquímica de superfície*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo (Resumo de curso de pós – graduação).
- Melfi, A. J. 1994. *Lateritas e processos de lateritização*. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia. (Transcrição de aula inaugural).
- Melfi, A. J. 1997. Brazilian bauxite deposits: a review. *In*: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A.J. ; Lucas, Y. (Eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/ORSTROM. p. 3 - 22.
- Melfi, A. J.; Trescases, J. J.; Carvalho, A.; Oliveira, S. M. B; Ribeiro Filho, E.; Formoso, M.L.L. 1988. The lateritic ore deposits of Brasil. *Science Géologique, Bulletin*, 41(1):5 – 36.
- Melo, M. S. de & Ponçano, W. L. 1983. Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo. *Monografias IPT*, 9:1-74.
- Melo, M. S. de. 1995. *A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica na depressão periférica paulista*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 144 p.
- Miller, F. M. (1981). Microscopy as an aid in evaluation of mix burnability and clinker formation. *Ciments, Bétons, Plastres, Chaux*. Paris, 731:213 – 218.
- Nahon, D. B. 1991. *Introduction to the petrology of soils and chemical weathering*. New York, John Wiley & Sons. 313 p.

- Oliveira, M. A. F.; Zanardo, A.; Arthur, A. C.; Godoy, A. M.; Andrade, F. R. M. D.; Negri, F. de A.; Morales, N.; Machado, P. R.; Hackspacher, P. C.; Galembeck, T. M. B. 1991. Mapa geológico em 1:50.000 da folha São Roque. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP (Rio Claro) – Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico (Pró-Minério).
- Oliveira, M. A. F.; Godoy, A. M.; Zanardo, A.; Arthur, A. C.; Hackspacher, P. C.; Morales, N. 1992. Geologia da Folha São Roque (SP). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, 2:26-127.
- Oliveira, S. M. B. & Toledo, M. C. M. de. 1997. The bauxite of Nazaré Paulista and associated deposits. In: A. Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A. J. & Lucas, Y. (Eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/ORSTROM, p. 209-224.
- Pedro, G. 1964. *Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, Thèse, 345 p.
- Pedro, G. 1969. A alteração das rochas em condições superficiais (perimorfismo) – caracterização dos processos fundamentais. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 9(17):3 –14 (Tradução de A. J. Melfi).
- Pedro, G. & Melfi, A. J. 1983. The superficial alteration in tropical region and the lateritisation phenomena. In: IGCP-129/IAGC, *International Seminar on Lateritization Processes*, 2, São Paulo, *Proceedings*, IAG-USP, p. 3-13.
- Petri, S. & Fúlfaro, V. J. 1983. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo, Ed. T. A. Queiroz /EDUSP, 631 p.
- Pliskin, L. 1993. *La fabrication du ciment*. Paris, *Ciments Français/ Editions Eyrolles*, 213 p.
- Popoff, C. C. 1966. Computing reserves of mineral deposits: principles and conventional methods. Washington, *Bureau of Mines*. 113 p. (I.C. 8283).
- Ratti, G. 1994. *Análises químicas na engenharia mineral*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 83 p.

- Ross, J. L. S. & Moroz, I. C. - 1997 - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia, Depto. de Geografia FFCLH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada-IPT/FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo. v. 1 (Relatório) e v. 2 (mapa).
- Samama, J. C. 1986. *Ore fields and continental weathering*. New York, Hutchinson Ross, 326 p.
- Santos, P. de S. 1992. *Ciência e tecnologia de argilas*. São Paulo, Edgard Blücher, 3v.
- Schellmann, W. 1981. Considerations on the definition and classification of laterites. In: IGCP-129/IAGC, *International Seminar on Lateritization Processes*, Trivandrum, 1979, *Proceedings, Balkema*, Rotterdam, p. 1-10.
- Schellmann, W. 1983. A new definition of laterite. *Natural Resources and Development*, 18:7-21. Tubingen.
- Schwertmann, U. 1983. The role of aluminium in iron oxide systems. In: IGCP-129/IAGC, *International Seminar on Lateritization Processes*, 2, São Paulo, *Proceedings*, IAG-USP, p. 65-68.
- Setzer, J. 1960. Identificação de *sills* de diabásio decompostos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 9:(1):63 - 70.
- SFIC – Syndicat Français de l'Industrie Cimentière. 1998. *Rapport Exercice 1997*. Paris, Paris, SFIC, 25 p.
- Shimada, H. 1983. *Contribution à l'étude des gisements latéritiques d'or du Brésil*. Nancy, *Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de la Prospection Minière*, 36 p. (Mémoire de stage).
- Sígolo, J. B. 1979. *Geologia dos depósitos residuais bauxíticos de Lavrinhas, SP e sua viabilidade econômica*. Instituto de Geociências, Universidade de São, Paulo São Paulo, Dissertação de Mestrado, 190 p.
- Sígolo, J. B. 1988. *As formações bauxíticas do Maciço Alcalino de Passa Quatro, MG: sua evolução micromorfológica, geoquímica e as implicações do relevo*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 208p.

- Sígo, J. B. & Boulangé, B. 1997. The bauxites of the Passa Quatro alkaline massif. *In*: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A.J. & Lucas, Y. (Eds.). *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/ORSTROM, p. 255 – 272.
- Silva, M. L. M. C. E. & Oliveira, S. M. B. de. 1989. Ferruginous bauxite from Nazaré Paulista: geochemical evolution. Académie Yugoslave des Sciences et des Arts, Travaux Comité International pour l'Etude des Bauxites, de l'Alumine et de l'Aluminium, Zagreb, **19**(22):147 – 158.
- Silva, P. C. F. da. 1997. *Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo São Roque na região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo São Paulo, Dissertação de Mestrado, 127p.
- SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. 1998. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – 45 anos – 1953-1998. Rio de Janeiro, 78 p.
- Soares, P. C. 1988. Tectônica colisional em torno de Bloco Paraná, Brasil. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35/Congresso Latino – Americano de Geologia, 7, Belém, *Anais*, 1:63-79.
- Souza, S. C. A. de. 1997. *Anfibolitos ortoderivados do Complexo Itapira e do Bloco São Roque nas folhas: Cabreúva, Sorocaba, Itu e São Roque (SP). Petrografia, litoquímica, química mineral e termobarometria*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 137p.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher/ EDUSP. 317 p.
- Tardy, Y. 1986. *Le cycle de l'eau*. Paris, Masson, 338 p.
- Tardy, Y. 1992. Diversity end terminology of lateritic profiles. *In*: Martini, I.P. & Chesworth, W. (Eds.). *Weathering, soils & paleosols*. Amsterdam, Elsevier, 618 p. (*Developments in Earth Surface Processes* 2).
- Tardy, Y. 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Paris, Masson, 256 p.

- Tardy, Y.; Kobilsek, B.; Paquet, H. 1991. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites - the influence of continental drift and tropical paleoclimates during past 150 million years and implications for India and Australia. *Journal of African Earth Sciences*, 12(1/2):283 -295.
- Tardy, Y. & Roquin, C. 1992. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. In: Martini, I.P. & Chesworth, W. (Eds.). *Weathering, soils & paleosols*. Amsterdam, Elsevier, 618 p. (*Developments in Earth Surface Processes* 2).
- Tassinari, C. C. G.; Kawashita, K. e Kikuchi, R. K. P. de. 1985. Estudo geocronológico nos metaconglomerados do Grupo São Roque, SP. In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 5, São Paulo, Atas, 1:201-208.
- Tavares, R. 1997. *O clima local de Sorocaba*. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 205 p.
- Taylor, H. F. W. 1997. *Cement chemistry*. London, Thomas Tilford, 459 p.
- Theisen, K. 1992. *The influence of raw mix burnability on cement clinker*. *World Cement*, London, 23(8):17-23.
- Thomas, M. F. 1994. *Geomorphology in the tropics - a study of weathering and denudation in low latitudes*. Chichester, John Wiley, 460 p.
- Toledo-Groke, M. C. de. 1981. *Evolução geoquímica, mineralógica e micromorfológica no processo de bauxitização: estudo comparativo dos depósitos de Mogi das Cruzes, Curucutu e Lavrinhas, SP, associados a diferentes tipos litológicos*. Instituto de Geociências, Universidade de São, Paulo São Paulo, Dissertação de Mestrado, 106 p.
- Toledo-Groke, M. C. de & Melfi, A. J. 1982. Aspectos micromorfológicos da evolução bauxítica de rochas básicas e alcalinas no Estado de São Paulo. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Atas, 2:702 - 713
- Turner, F. J. 1981. *Metamorphic Petrology*. 2 ed., Washington, Hemisphere, 524 p.
- Ulbrich, H. H. G. J. & Gomes, C. de B. 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Science Reviews*, Amsterdam, 17:135-154.

- Van Schmus, W. R.; Tassinari, C. C. G. e Cordani, U. G. 1986. Estudo geocronológico da parte inferior do Grupo São Roque. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 34, Goiânia, *Anais*, 3:1399-1405.
- Von Landsberg, D. 1992. The history of lime production and use from early times to the industrial revolution. *Zement – Kalk – Gips*, Wiesbaden, 4(8):199-203.
- Wernick, E. e Galembeck, T. M. B. 1986. Caracterização do plutonismo granitóide do ciclo Brasileiro no Estado de São Paulo através do método da tipologia do zircão. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 34, Goiânia, *Anais*, 3:1360-1384.
- Wernick, E.; Oliveira, M. A. F.; Kawashita, K.; Cordani, U. G.; Delhal, J. 1976. Estudo geocronológico pelo método Rb-Sr em rochas do bloco Jundiá e regiões adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências*, 50(3):125-135.
- Wolter, A. 1985. Influence of the kiln system on the clinker properties. *Zement – Kalk – Gips*, Wiesbaden, 37(12):327-329.
- Yamamoto, J. K. (no prelo). A simple and practical device for wet elutriation of sediments. *Journal of Sedimentology Research*.
- Zampieri, V. A. 1993. *Cimento portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 233 p.

ANEXO 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
1	Mcal	4932	49,84	1,88	0,46	1,92	2,50	0,13	0,10	43,01	0,79	0,24	706,40
2	Fil ca	4933A	22,05	36,10	5,11	3,06	12,34	1,66	0,09	25,86	4,42	1,67	20,20
3	Fil ca	4933B	16,40	33,08	5,33	3,01	10,74	2,23	0,09	27,81	3,97	1,77	16,30
4	Mdol ac	4934	33,88	2,46	0,25	0,43	22,35	0,02	0,06	44,49	3,62	0,57	454,60
5	Mcal	4935	48,54	2,32	0,34	1,16	4,21	-	-	-	1,55	0,57	454,60
6	Fil ca	4936	14,44	44,52	9,73	3,15	9,64	3,66	0,12	19,94	3,46	3,09	10,40
7	Mcal	4938	54,18	1,87	0,45	0,20	0,58	0,11	0,08	42,94	2,88	2,25	918,77
8	Mdol sil	4939	20,62	45,71	4,18	2,45	12,33	1,26	0,07	24,80	6,89	1,71	15,33
9	Mdol ac	4941	34,07	0,80	0,36	0,30	24,28	0,03	0,08	45,48	1,21	1,20	1.191,34
10	Fil ca	4943	12,99	51,35	10,67	3,02	8,02	4,22	0,11	18,94	3,75	3,53	8,20
11	Mdol ac	4944	33,93	1,45	0,63	0,35	23,50	0,17	0,07	45,33	1,48	1,80	674,43
12	Mdol ac	4944A	33,81	0,29	0,34	0,43	23,12	-	-	-	0,38	0,79	2.265,02
13	Mcal	4945	49,50	6,63	1,49	0,59	1,02	0,50	0,08	40,40	3,19	2,53	239,06
14	Mcal	4946	51,98	3,37	0,76	0,63	0,27	-	-	-	2,42	1,21	483,88
15	Mcal sil	4947A	41,39	13,78	3,37	0,76	1,76	2,04	0,09	36,32	3,34	4,43	96,13
16	Mdol ac	4947B	31,71	3,86	0,95	0,43	21,91	0,45	0,11	44,42	2,80	2,21	259,74
17	Mdol ac	4949	31,97	3,20	0,96	0,63	21,45	0,38	0,00	43,78	2,01	1,52	304,41
18	Mcal dol	4951	47,47	2,61	0,62	0,53	4,33	0,11	0,00	43,10	2,27	1,17	566,19
19	Mcal	4952	51,22	3,84	0,57	0,33	1,62	0,18	0,06	41,88	4,27	1,73	440,07
20	Mcal sil	4953	42,86	8,14	1,18	0,69	3,80	0,44	0,00	39,27	4,35	1,71	173,99
21	Mdol sil	4954	19,99	23,06	3,22	2,25	14,79	0,91	0,11	33,37	4,22	1,43	28,63
22	Mdol sil	4954A	20,10	23,05	3,14	2,05	14,72	0,85	0,07	32,84	4,44	1,53	28,89
23	Mdol sil	4955	21,63	24,32	1,87	1,53	12,41	0,64	0,07	33,44	7,15	1,22	30,34
24	Mcal	4956	50,70	5,96	0,57	0,36	1,12	0,17	0,08	40,82	6,41	1,58	288,16
25	Mdol sil	4958	19,23	26,57	2,99	1,96	14,33	0,97	0,06	33,09	5,37	1,53	24,28
26	Mdol sil	4962	21,27	23,26	2,18	1,85	14,59	0,87	0,06	35,28	5,77	1,18	30,87
27	Mcal	4963	52,64	3,90	0,50	0,36	0,38	0,18	-	41,39	4,53	1,39	448,23
28	Mcal	4964	50,99	5,11	0,79	0,48	1,11	0,19	-	41,74	4,02	1,65	327,86
29	Mcal	4965	53,61	1,78	0,39	0,25	0,40	0,12	-	42,17	2,78	1,56	956,18
30	Mcal	4966	52,77	1,87	0,42	0,61	0,98	0,09	-	41,98	1,82	0,69	861,12
31	Mcal sil	4967	39,50	14,74	1,56	0,64	3,00	0,61	0,00	35,96	6,70	2,44	90,74

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
32	Mdol sil	4967A	22,84	20,46	3,07	1,63	13,50	-	-	-	4,35	1,88	36,86
33	Mcal sil	4968	34,24	13,75	2,08	1,43	5,99	0,79	0,02	36,46	3,92	1,45	81,75
34	Mdol sil	4969	20,31	22,71	2,96	1,99	14,03	-	-	-	4,59	1,49	29,70
35	Mcal	4970	54,08	1,18	0,28	0,19	0,46	0,03	0,00	42,98	2,51	1,47	1.439,10
36	Mcal	4971A	53,60	2,21	0,49	0,27	0,96	-	-	-	2,91	1,81	772,15
37	Mcal	4972	54,05	1,38	0,34	0,21	0,46	-	-	-	2,51	1,62	1.227,93
38	Mcal	4973	53,68	1,34	0,32	0,23	0,80	-	-	-	2,44	1,39	1.254,47
39	Mcal	4973A	53,67	0,61	0,22	0,23	0,89	-	-	-	1,36	0,96	2.535,07
40	Mdol sil	4974	25,83	14,77	0,55	0,66	16,04	-	-	-	12,21	0,83	60,87
41	Mdol sil	4975	22,75	16,12	1,90	2,73	14,25	0,23	0,06	36,98	3,48	0,70	46,28
42	Mcal	4976	54,48	1,27	0,35	0,17	0,33	-	-	-	2,44	2,06	1.335,46
43	Mcal	4977	50,90	2,46	0,66	0,47	1,47				2,18	1,40	638,46
44	Mcal sil	4978	47,49	6,42	1,38	0,66	2,46	-	-	-	3,15	2,09	237,05
45	Mcal sil	4979	49,77	6,11	1,18	0,73	0,95	-	-	-	3,20	1,62	262,29
46	Mcal sil	4980	41,87	7,20	2,26	1,22	4,01	-	-	-	2,07	1,85	177,27
47	Mcal	4981	50,76	3,51	0,72	0,37	1,02	-	-	-	3,22	1,95	464,92
48	Mcal	4982	51,62	5,48	0,49	0,32	0,51	-	-	-	6,77	1,53	320,02
49	Mcal	4983	47,70	5,88	1,00	0,48	1,50	-	-	-	3,97	2,08	265,65
50	Mcal sil	4984	30,48	16,56	2,10	1,29	8,42	-	-	-	4,88	1,63	61,35
51	Mcal	4984A	51,62	3,90	0,70	0,46	0,94	-	-	-	3,36	1,52	428,56
52	Mcal sil	4985	43,59	10,17	0,74	0,56	4,10	-	-	-	7,82	1,32	146,70
53	Mdol sil	4986	20,19	24,72	1,89	1,49	13,82	-	-	-	7,31	1,27	27,88
54	Mdol sil	4986A	24,61	15,36	1,71	1,44	14,55	-	-	-	4,88	1,19	53,54
55	Mdol sil	4987	24,79	13,20	1,86	1,49	15,69	-	-	-	3,94	1,25	61,78
56	Mcal sil	4988A	42,98	9,11	1,07	0,58	4,03	-	-	-	5,52	1,84	158,32
57	Mcal	4988B	50,15	5,88	0,89	0,52	1,00	-	-	-	4,17	1,71	280,92
58	Mdol sil	4990	19,80	29,54	0,78	1,14	12,71	-	-	-	15,39	0,68	23,47
59	Mdol ac	4992	31,90	3,46	1,29	0,79	15,86	-	-	-	1,66	1,63	272,10
60	Mdol ac	4993	32,78	1,11	0,61	0,72	17,92	-	-	-	0,83	0,85	763,07
61	Mdol ac	4994	32,64	0,94	0,45	0,43	18,35	-	-	-	1,07	1,05	948,15
62	Mdol ac	4997	30,94	2,19	0,81	0,81	17,63	-	-	-	1,35	1,00	406,34

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
63	Mdol sil	4998	25,43	8,92	3,72	4,06	12,35	-	-	-	1,15	0,92	79,46
64	Mdol ac	4999	30,07	4,33	1,47	2,08	17,83	-	-	-	1,22	0,71	197,69
65	Mar sil	5000	8,70	55,62	11,55	2,96	4,60	4,18	0,03	-	3,83	3,90	5,08
66	Mdol sil	5001	25,89	9,54	1,61	4,64	15,54	-	-	-	1,53	0,35	81,86
67	Mdol ac	5002	31,01	2,18	0,80	2,89	17,85	-	-	-	0,59	0,28	347,39
68	Mdol ac	5002A	31,91	2,32	0,81	0,54	20,24	-	-	-	1,72	1,50	408,96
69	Mcal	5002B	51,38	3,30	0,79	0,85	1,22	-	-	-	2,01	0,93	479,08
70	Mdol sil	5002C	30,19	7,21	2,93	1,34	12,24	-	-	-	1,69	2,19	123,14
71	Mdol sil	5002D	29,73	6,43	1,30	0,64	19,14	-	-	-	3,31	2,03	148,99
72	Mdol ac	5002E	29,53	4,92	1,71	0,71	18,88	-	-	-	2,03	2,41	181,66
73	Mdol ac	5003	33,12	4,39	1,83	0,51	18,63	-	-	-	1,88	3,59	224,04
74	Mdol ac	5004	30,96	4,77	2,30	0,63	20,76	-	-	-	1,63	3,65	187,87
75	Mcal sil	5005	47,43	8,36	2,32	1,07	0,86	-	-	-	2,47	2,17	176,71
76	Mdol ac	5006	30,49	5,64	2,12	0,76	20,27	-	-	-	1,96	2,79	162,29
77	Mdol ac	5007	30,81	5,21	1,79	0,86	20,61	-	-	-	1,97	2,08	178,51
78	Mdol ac	5008	33,05	4,58	1,34	0,62	18,84	-	-	-	2,34	2,16	223,19
79	Mdol ac	5009	31,56	4,05	1,16	0,51	22,48	-	-	-	2,43	2,27	242,02
80	Mcal	5010	49,66	4,97	1,16	0,51	1,68	-	-	-	2,98	2,27	318,00
81	Mdol sil	5011	36,10	11,18	1,45	0,85	7,81	-	-	-	4,86	1,71	107,54
82	Mcal	5012	50,53	3,41	0,53	0,29	1,53	-	-	-	4,16	1,83	487,65
83	Mcal	5013	51,06	5,14	0,56	0,48	0,50	-	-	-	4,94	1,17	332,32
84	Mcal	5014	50,27	5,28	0,92	0,50	0,76	-	-	-	3,72	1,84	310,41
85	Mcal sil	5015	48,95	7,80	0,93	0,63	0,91	-	-	-	5,00	1,48	209,66
86	Mdol sil	5016	25,72	18,04	1,83	1,43	15,06	-	-	-	5,53	1,28	47,98
87	Mdol sil	5017	18,50	27,91	5,54	2,09	12,83	-	-	-	3,66	2,65	21,50
88	Mdol sil	5018	27,81	19,16	1,73	1,18	12,29	-	-	-	6,58	1,47	49,26
89	Mdol sil	5019	16,86	22,71	5,32	3,44	16,84	-	-	-	2,59	1,55	23,38
90	Mdol sil	5020	21,09	20,58	4,62	2,49	16,32	-	-	-	2,89	1,86	32,60
91	Mdol sil	5021	24,01	21,08	2,10	1,79	14,71	-	-	-	5,42	1,17	38,31
92	Mdol sil	5022	19,98	25,95	3,24	2,12	15,14	-	-	-	4,84	1,53	25,66
93	Mdol sil	5023	19,04	28,69	3,93	2,37	14,30	-	-	-	4,55	1,66	22,01

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
94	Mdol sil	5024	21,22	27,01	2,50	1,75	14,43	-	-	-	6,36	1,43	26,62
95	Mdol sil	5025	19,57	39,90	7,64	3,56	11,65	-	-	-	3,56	2,15	15,90
96	Mdol sil	5026	32,31	14,77	1,89	0,95	7,27	-	-	-	5,20	1,99	73,09
97	Mdol sil	5027	20,05	45,56	4,25	1,77	10,03	-	-	-	7,57	2,40	14,99
98	Mdol sil	5028	19,28	45,86	4,09	2,03	10,76	-	-	-	7,49	2,01	14,33
99	Mdol sil	5029	26,19	11,78	3,86	1,59	14,48	-	-	-	2,16	2,43	67,90
100	Mdol sil	5030	24,74	25,29	2,13	1,33	9,26	-	-	-	7,31	1,60	33,35
101	Mdol sil	5031A	24,34	22,34	3,96	1,98	8,61	-	-	-	3,76	2,00	35,53
102	Mdol sil	5031B	18,78	42,45	9,71	3,43	9,84	-	-	-	3,23	2,83	14,17
103	Mdol sil	5032	16,56	40,09	7,64	3,48	10,62	-	-	-	3,61	2,20	13,41
104	Mdol sil	5033	26,32	9,51	4,35	1,89	15,54	-	-	-	1,52	2,30	79,78
105	Mcal	5034	57,65	0,50	0,23	0,16	0,30	-	-	-	1,28	1,44	3.247,16
106	Mar sil	5035	0,46	57,48	26,62	4,58	2,02	-	-	-	1,84	5,81	0,24
107	Mdol ac	5036	28,44	6,49	1,28	1,15	16,78	-	-	-	2,67	1,11	139,21
108	Mdol ac	5037	31,14	2,54	0,99	1,33	17,18	-	-	-	1,09	0,74	340,53
109	Mdol ac	5038	26,69	7,13	3,54	0,70	1,56	-	-	-	1,68	5,06	108,51
110	Mdol ac	5039	34,08	0,74	0,44	0,46	16,55	-	-	-	0,82	0,96	1.179,16
111	Mdol ac	5047	30,88	2,81	1,22	0,47	17,67	-	-	-	1,66	2,60	321,23
112	Mdol ac	5048	32,47	1,31	0,63	0,39	18,12	-	-	-	1,28	1,62	696,05
113	Mdol ac	5049	29,36	7,17	3,14	1,68	15,68	-	-	-	1,49	1,87	118,04
114	Mar sil	5050	5,99	49,20	22,40	4,65	2,50	-	-	-	1,82	4,82	3,58
115	Mdol sil	5051A	25,90	18,08	1,53	0,67	15,36	-	-	-	8,22	2,28	48,99
116	Mcal sil	5051B	45,42	10,10	2,43	0,83	0,99	-	-	-	3,10	2,93	143,34
117	Mcal sil	5052	36,79	15,94	4,39	0,81	1,63	-	-	-	3,07	5,42	73,08
118	Mcal sil	5053	44,75	10,25	2,29	0,66	0,72	-	-	-	3,47	3,47	140,59
119	Mcal sil	5054	49,15	6,66	1,53	0,72	0,31	-	-	-	2,96	2,13	234,93
120	Mdol ac	5054B	29,37	4,70	1,77	0,55	17,74	-	-	-	2,03	3,22	188,20
121	Mcal sil	5055	44,67	8,68	2,36	0,49	0,64	-	-	-	3,05	4,82	162,99
122	Mdol ac	5055B	29,47	4,03	1,99	0,75	17,26	-	-	-	1,47	2,65	208,72
123	Mcal sil	5056	31,69	24,75	3,58	1,01	0,93	-	-	-	5,39	3,54	42,72
124	Mdol ac	5056B	30,08	3,51	1,26	0,68	17,93	-	-	-	1,81	1,85	255,85

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
125	Mdol ac	5057	30,68	2,56	1,12	0,54	18,17	-	-	-	1,54	2,07	347,04
126	Mdol ac	5058	32,00	1,24	0,59	0,42	18,73	-	-	-	1,23	1,40	720,53
127	Mdol sil	5059	23,46	21,58	2,22	1,58	14,22	-	-	-	5,68	1,41	36,62
128	Mdol sil	5060	20,48	23,69	5,00	1,46	13,64	-	-	-	3,67	3,42	27,99
129	Mcal dol	5062	31,32	32,36	2,85	1,36	10,19	-	-	-	7,69	2,10	33,02
130	Mcal	5063	48,85	3,86	0,43	0,32	2,37	-	-	-	5,15	1,34	423,92
131	Mdol sil	5065	26,03	17,41	1,33	1,51	14,90	-	-	-	6,13	0,88	50,74
132	Mdol ac	5066	35,84	2,00	0,71	0,40	16,34	-	-	-	1,80	1,78	535,10
133	Mcal sil	5067	46,64	7,60	1,63	0,66	1,98	-	-	-	3,32	2,47	197,36
134	Mdol ac	5068	32,65	1,00	0,41	0,33	18,98	-	-	-	1,35	1,24	933,31
135	Mar sil	5070	11,53	54,35	12,49	3,39	7,98	-	-	-	3,42	3,68	6,82
136	Mdol ac	5071	32,72	2,25	0,77	0,44	16,76	-	-	-	1,86	1,75	436,58
137	Mar sil	5072	36,06	43,22	3,72	1,46	0,56	-	-	-	8,34	2,55	0,00
138	Mar sil	5073	6,35	92,11	5,52	4,93	2,12	-	-	-	8,81	1,12	2,37
139	Mar sil	5074	6,28	64,28	14,68	5,02	3,30	-	-	-	3,26	2,92	3,13
140	Mar sil	5075	11,70	47,30	13,04	5,60	6,09	-	-	-	2,54	2,33	7,72
141	Mdol ac	5076	27,25	6,90	2,15	6,86	12,20	-	-	-	0,77	0,31	103,55
142	Mar sil	5077	3,96	82,02	4,36	3,26	3,01	-	-	-	10,76	1,34	1,67
143	Mcal	5080	49,35	5,39	1,19	0,61	1,37	-	-	-	2,99	1,95	292,14
144	Mcal	5082	54,99	0,63	0,08	0,10	0,55	-	-	-	3,50	0,80	2.859,00
145	Mcal sil	5083	45,76	8,22	1,38	1,35	2,21	-	-	-	3,01	1,02	179,30
146	Mcal sil	5084	44,01	10,79	2,50	0,68	0,89	-	-	-	3,39	3,68	130,97
147	Mdol ac	5085	32,85	4,60	0,94	0,55	16,26	-	-	-	3,09	1,71	228,97
148	Mcal	5086	50,25	4,34	0,52	0,45	1,26	-	-	-	4,47	1,16	384,82
149	Mcal	5087	50,04	4,66	0,86	0,70	0,90	-	-	-	2,99	1,23	344,68
150	Mcal	5088	53,39	2,15	0,31	0,24	0,57	-	-	-	3,91	1,29	816,14
151	Mcal	5089	51,81	4,30	0,55	0,52	0,40	-	-	-	4,02	1,06	397,71
152	Mdol sil	5090	27,51	17,17	0,80	1,39	13,52	-	-	-	7,84	0,58	55,10
153	Mcal	5091	55,30	0,77	0,17	0,13	0,22	-	-	-	2,57	1,31	2.265,37
154	Mcal	5092	52,08	2,73	0,38	0,39	0,81	-	-	-	3,55	0,97	624,02
155	Fil ca	5093	11,16	49,03	15,69	5,89	2,68	-	-	-	2,27	2,66	6,99

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
156	Mdol ac	5095	31,13	7,23	1,51	1,07	16,74	-	-	-	2,80	1,41	137,01
157	Mar sil	5096B	23,09	44,93	2,22	3,11	11,06	-	-	-	8,43	0,71	17,70
158	Fil ca	5096A	3,06	63,75	21,67	2,75	2,53	-	-	-	2,61	7,88	1,49
159	Mdol sil	5097	22,38	22,24	3,46	1,19	14,45	-	-	-	4,78	2,91	33,34
160	Mdol ac	5098	29,65	3,64	1,55	1,42	17,33	-	-	-	1,23	1,09	229,06
161	Mar sil	5100	0,39	66,86	23,78	4,11	1,52	-	-	-	2,40	5,79	0,18
162	Mdol sil	5103	23,46	24,03	1,48	1,32	11,65	-	-	-	8,58	1,12	33,57
163	Mdol sil	5104	33,64	12,94	1,05	0,67	9,09	-	-	-	7,52	1,57	88,74
164	Mcal	5105	52,71	3,96	0,81	0,36	0,60	-	-	-	3,38	2,25	429,31
165	Mcal	5106	53,80	2,00	0,32	0,27	0,37	-	-	-	3,39	1,19	874,36
166	Mcal	5107	54,82	0,87	0,16	0,15	0,06	-	-	-	2,81	1,07	2.013,74
167	Mdol sil	5109	19,02	42,71	9,41	4,01	6,74	-	-	-	3,18	2,35	14,27
168	Mdol sil	5110	25,93	25,88	5,92	2,39	3,92	-	-	-	3,11	2,48	32,01
169	Mdol sil	5111	21,34	32,16	6,72	4,17	13,58	-	-	-	2,95	1,61	21,19
170	Mdol sil	5112	19,82	27,74	4,57	2,02	12,77	-	-	-	4,21	2,26	23,49
171	Mdol sil	5113	21,66	25,12	3,18	1,89	11,18	-	-	-	4,95	1,68	28,76
172	Mdol sil	5114	22,27	36,84	2,82	1,90	12,19	-	-	-	7,81	1,48	20,68
173	Mdol sil	5115	27,12	40,50	4,65	2,61	8,07	-	-	-	5,58	1,78	22,49
174	Mdol sil	5116	18,64	27,80	4,61	2,71	14,22	-	-	-	3,80	1,70	21,92
175	Mdol sil	5117	21,70	22,25	3,34	2,37	15,89	-	-	-	3,90	1,41	32,01
176	Mdol sil	5118	27,33	9,17	2,90	2,11	15,93	-	-	-	1,83	1,37	89,70
177	Mdol sil	5119	19,80	27,05	3,16	2,25	14,67	-	-	-	5,00	1,40	24,47
178	Mdol sil	5120	19,66	26,43	3,98	2,15	14,23	-	-	-	4,31	1,85	24,54
179	Mdol sil	5121	20,30	26,30	3,11	2,51	14,25	-	-	-	4,68	1,24	25,72
180	Mdol sil	5122	20,14	25,41	4,60	1,74	12,86	-	-	-	4,01	2,64	25,92
181	Mdol sil	5123	25,56	19,29	2,53	1,89	13,08	-	-	-	4,36	1,34	43,90
182	Mdol sil	5124	24,60	16,73	3,17	1,95	15,08	-	-	-	3,27	1,63	47,44
183	Mdol sil	5125	23,91	35,89	3,42	2,06	13,87	-	-	-	6,55	1,66	22,59
184	Mdol sil	5126	18,94	25,20	4,72	3,04	16,04	-	-	-	3,25	1,55	24,25
185	Mdol sil	5127	21,15	24,24	3,94	2,08	13,64	-	-	-	4,03	1,89	28,63
186	Mdol sil	5128	19,41	26,60	4,70	1,99	12,80	-	-	-	3,98	2,36	23,87

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
187	Mdol sil	5129	24,11	20,17	2,11	1,52	15,39	-	-	-	5,56	1,39	40,21
188	Mcal	5130	50,15	5,71	0,59	0,42	1,16	-	-	-	5,65	1,40	295,74
189	Mcal	5131	53,42	1,02	0,23	0,19	0,25	-	-	-	2,43	1,21	1.643,24
190	Mcal	5132	51,99	2,87	0,42	0,39	0,52	-	-	-	3,54	1,08	591,80
191	Mcal	5133	54,05	1,34	0,22	0,20	0,24	-	-	-	3,19	1,10	1.305,05
192	Mcal	5134	53,20	2,03	0,16	0,19	0,57	-	-	-	5,80	0,84	887,21
193	Mdol sil	5135	33,88	20,76	4,22	0,73	1,50	-	-	-	4,19	5,78	53,29
194	Mdol sil	5136	27,66	14,64	1,21	0,73	16,06	-	-	-	7,55	1,66	64,48
195	Mdol ac	5137	29,69	4,83	0,95	0,57	18,35	-	-	-	3,18	1,67	197,73
196	Mdol ac	5138	30,47	2,57	1,11	0,55	18,47	-	-	-	1,55	2,02	343,78
197	Mdol ac	5139	31,01	3,54	0,97	0,73	18,17	-	-	-	2,08	1,33	268,92
198	Mcal	5140	53,60	1,24	0,32	0,19	0,64	-	-	-	2,43	1,68	1.349,07
199	Mcal	5141	54,15	1,35	0,18	0,40	0,34	-	-	-	2,33	0,45	1.273,40
200	Mcal	5142	50,57	3,25	0,72	0,58	1,11	-	-	-	2,50	1,24	489,71
201	Mcal	5143	52,69	3,38	0,24	0,31	0,57	-	-	-	6,15	0,77	529,62
202	Mcal	5144	52,74	2,54	0,26	0,31	0,45	-	-	-	4,46	0,84	692,10
203	Mcal sil	5145	44,94	12,69	0,81	0,78	2,56	-	-	-	7,98	1,04	121,48
204	Mdol ac	5146	32,04	2,63	1,43	0,48	18,13	-	-	-	1,38	2,98	342,18
205	Mcal sil	5147	25,63	24,99	7,15	1,54	3,43	-	-	-	2,88	4,64	32,28
206	Mcal sil	5148	47,56	8,16	2,16	1,09	0,69	-	-	-	2,51	1,98	182,19
207	Mcal sil	5149	48,19	7,24	1,71	1,11	0,48	-	-	-	2,57	1,54	209,42
208	Mdol sil	5150	19,77	25,10	4,74	2,44	14,99	-	-	-	3,50	1,94	25,52
209	Mdol sil	5151	20,28	25,71	3,45	2,42	15,09	-	-	-	4,38	1,43	26,12
210	Mdol sil	5152	23,21	23,21	3,33	2,12	13,64	-	-	-	4,26	1,57	33,02
211	Mdol sil	5253	20,95	26,57	2,78	2,10	14,49	-	-	-	5,44	1,32	26,51
212	Mdol sil	5154	22,51	21,91	2,96	1,89	13,72	-	-	-	4,52	1,57	34,07
213	Mdol sil	5155	18,55	28,33	3,39	4,02	12,99	-	-	-	3,82	0,84	21,59
214	Mdol sil	5156	18,83	25,71	4,83	2,29	15,34	-	-	-	3,61	2,11	23,78
215	Mdol sil	5157	21,95	25,19	2,60	1,81	14,18	-	-	-	5,71	1,44	29,35
216	Mdol sil	5158	22,97	20,24	3,28	1,90	14,14	-	-	-	3,91	1,73	37,18
217	Mdol sil	5159	21,84	23,12	2,84	1,99	14,42	-	-	-	4,79	1,43	31,48

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
218	Mdol sil	5160	22,78	23,61	2,19	1,68	14,48	-	-	-	6,10	1,30	32,64
219	Mdol sil	5161	33,09	11,11	1,46	1,08	10,24	-	-	-	4,37	1,35	98,68
220	Mdol sil	5162	25,09	17,22	1,92	1,63	15,04	-	-	-	4,85	1,18	48,68
221	Mdol sil	5163	25,97	17,02	1,42	1,48	15,51	-	-	-	5,87	0,96	51,64
222	Mdol sil	5164	21,90	25,00	2,23	1,45	14,13	-	-	-	6,79	1,54	29,77
223	Mdol sil	5165	25,19	17,76	1,64	1,51	15,42	-	-	-	5,64	1,09	47,85
224	Mdol sil	5166	24,02	19,91	2,17	1,47	15,27	-	-	-	5,47	1,48	40,53
225	Mdol sil	5167	25,36	15,98	1,96	1,55	15,35	-	-	-	4,55	1,26	52,76
226	Mdol sil	5168	23,30	22,14	2,33	1,89	14,13	-	-	-	5,25	1,23	35,32
227	Mdol sil	5169	23,25	19,36	2,99	2,02	15,39	-	-	-	3,86	1,48	39,37
228	Mdol sil	5170	23,67	23,34	2,38	1,86	13,39	-	-	-	5,50	1,28	34,12
229	Mdol sil	5171	17,48	29,60	3,85	1,64	12,40	-	-	-	5,39	2,35	19,75
230	Mdol sil	5172	19,31	25,03	4,10	2,83	16,09	-	-	-	3,61	1,45	25,16
231	Mdol sil	5173	17,66	27,75	5,71	2,46	14,69	-	-	-	3,40	2,32	20,53
232	Mdol sil	5174	25,25	15,36	2,40	1,60	15,85	-	-	-	3,84	1,50	53,86
233	Mdol sil	5175	23,71	18,89	2,82	1,60	16,42	-	-	-	4,27	1,76	41,41
234	Mcal	5176	50,88	4,55	0,55	0,38	1,30	-	-	-	4,89	1,45	373,13
235	Mcal	5177	54,32	1,31	0,19	0,19	0,17	-	-	-	3,45	1,00	1.352,69
236	Mcal sil	5178	46,41	7,62	0,77	2,80	1,54	-	-	-	2,13	0,28	192,86
237	Mdol sil	5179	26,27	16,64	2,02	1,31	14,82	-	-	-	5,00	1,54	52,72
238	Mcal sil	5180	48,32	7,95	1,18	0,83	0,88	-	-	-	3,96	1,42	199,74
239	Mcal	5181	51,72	4,52	0,45	0,33	0,34	-	-	-	5,79	1,36	385,93
240	Mcal	5182	51,69	3,46	0,75	0,66	0,60	-	-	-	2,45	1,14	469,82
241	Mcal	5183	50,59	4,98	0,51	0,50	0,81	-	-	-	4,93	1,02	340,20
242	Mcal	5184	51,71	3,86	0,41	0,33	0,76	-	-	-	5,22	1,24	449,41
243	Mcal	5185	51,12	3,51	0,29	0,32	1,00	-	-	-	5,75	0,91	492,57
244	Mcal	5186	50,50	3,47	0,35	0,32	1,80	-	-	-	5,18	1,09	488,54
245	Mcal	5187	52,94	2,52	0,25	0,32	0,41	-	-	-	4,42	0,78	700,36
246	Mcal	5188	50,55	3,76	0,54	0,41	0,96	-	-	-	3,96	1,32	442,19
247	Mcal	5189	48,36	7,51	0,74	0,73	1,58	-	-	-	5,11	1,01	216,13
248	Mcal	5191	53,88	1,70	0,23	0,21	0,24	-	-	-	3,86	1,10	1.042,59

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
249	Mcal	5192	53,04	2,60	0,36	0,23	0,52	-	-	-	4,41	1,57	675,30
250	Mcal	5193	53,89	2,53	0,43	0,21	0,17	-	-	-	3,95	2,05	697,34
251	Mcal	5194	53,67	1,37	0,18	0,16	0,10	-	-	-	4,03	1,13	1.292,51
252	Mcal sil	5195	46,59	8,92	1,90	2,15	0,43	-	-	-	2,20	0,88	162,81
253	Mcal sil	5196	46,31	11,03	1,08	0,90	1,18	-	-	-	5,57	1,20	141,43
254	Mcal	5197	51,95	3,34	0,43	0,39	0,52	-	-	-	4,07	1,10	513,70
255	Mcal sil	5198	30,38	20,18	2,92	1,32	3,09	-	-	-	4,76	2,21	49,96
256	Mcal	5199	50,66	4,02	0,83	0,57	0,95	-	-	-	2,87	1,46	401,88
257	Mcal	5200	53,23	2,43	0,41	0,30	0,36	-	-	-	3,42	1,37	711,36
258	Mcal sil	5180	48,32	7,95	1,18	0,83	0,88	-	-	-	3,96	1,42	199,74
259	Mcal	5181	51,72	4,52	0,45	0,33	0,34	-	-	-	5,79	1,36	385,93
260	Mcal	5182	51,69	3,46	0,75	0,66	0,60	-	-	-	2,45	1,14	469,82
261	Mcal	5183	50,59	4,98	0,51	0,50	0,81	-	-	-	4,93	1,02	340,20
262	Mcal	5184	51,71	3,86	0,41	0,33	0,76	-	-	-	5,22	1,24	449,41
263	Mcal	5185	51,12	3,51	0,29	0,32	1,00	-	-	-	5,75	0,91	492,57
264	Mcal	5186	50,50	3,47	0,35	0,32	1,80	-	-	-	5,18	1,09	488,54
265	Mcal	5187	52,94	2,52	0,25	0,32	0,41	-	-	-	4,42	0,78	700,36
266	Mcal	5188	50,55	3,76	0,54	0,41	0,96	-	-	-	3,96	1,32	442,19
267	Mcal sil	5189	48,36	7,51	0,74	0,73	1,58	-	-	-	5,11	1,01	216,13
268	Mcal	5190	52,81	3,26	0,28	0,24	0,57	-	-	-	6,27	1,17	549,28
269	Mcal	5201	51,25	5,32	0,46	0,39	0,45	-	-	-	6,26	1,18	326,59
270	Mcal	5202	51,10	4,97	0,46	0,38	0,32	-	-	-	5,92	1,21	347,48
271	Mcal	5203	51,45	3,73	0,54	0,43	0,71	-	-	-	3,85	1,26	452,88
272	Mcal sil	5204	45,63	8,08	1,23	1,17	2,72	-	-	-	3,37	1,05	183,73
273	Mcal	5205	53,77	2,12	0,11	0,14	0,19	-	-	-	8,48	0,79	873,34
274	Mcal sil	5206	38,76	17,81	0,95	0,49	2,68	-	-	-	12,37	1,94	75,54
275	Mcal sil	5207	50,84	6,66	0,23	0,28	0,31	-	-	-	13,06	0,82	266,16
276	Mcal sil	5208	33,23	14,02	2,67	1,17	6,70	-	-	-	3,65	2,28	76,98
277	Mcal	5209	51,08	5,20	0,47	0,36	0,89	-	-	-	6,27	1,31	332,80
278	Mcal	5210	49,13	5,17	0,97	0,67	1,67	-	-	-	3,15	1,45	305,99
279	Mcal sil	5211	28,92	16,86	1,64	1,06	7,61	-	-	-	6,24	1,55	58,03

ANEXO 1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE ROCHA DA MINA PASTINHO
(Análise de K₂O e Na₂O por via úmida e dos demais óxidos por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	MS	MA	FSC
280	Mcal sil	5212	18,51	22,06	5,66	1,57	11,56	-	-	-	3,05	3,61	26,65
281	Mcal sil	5213	22,08	17,59	1,18	1,34	11,79	-	-	-	6,98	0,88	42,86
282	Mdol sil	5214	26,58	15,44	1,82	1,45	12,50	-	-	-	4,72	1,26	57,38
283	Mcal	5215	51,85	3,80	0,45	0,35	0,68	-	-	-	4,75	1,29	454,88
284	Mdol sil	5216	24,51	18,36	2,34	1,56	15,40	-	-	-	4,71	1,50	44,42
285	Mdol sil	5217	23,62	39,46	3,95	2,09	9,76	-	-	-	6,53	1,89	20,27
286	Mdol sil	5218	21,38	48,84	3,19	1,72	9,61	-	-	-	9,95	1,85	15,10
287	Mcal sil	5219	46,27	10,24	1,37	1,01	1,72	-	-	-	4,30	1,36	149,52
288	Mcal	5220	50,47	5,71	0,46	0,48	0,90	-	-	-	6,07	0,96	299,65
289	Mcal	5221	54,18	1,79	0,25	0,21	0,15	-	-	-	3,89	1,19	995,32
290	Mcal	5222	53,48	2,59	0,25	0,24	0,32	-	-	-	5,29	1,04	694,27

Fil ca = filito carbonático; Mcal = metacalcário; Mcal dol = metacalcário dolomítico; Mcal sil = metacalcário silicoso; Mdol ac = metadolomito de alto cálcio
Mdol sil = metadolomito silicoso; Mar sil = metarenito silicoso

ANEXO 1 (Continuação)
RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE CANALETA DA MINA PASTINHO
 (Análise por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MS	MA	FSC
CANALETA 1										
1	Fil ca	4943	12,99	51,35	10,67	3,02	8,02	3,75	3,53	8,20
2	Mdol ac	4943+3	32,13	1,81	0,47	0,33	18,85	2,26	1,42	550,44
3	Mdol ac	4943+6	31,01	2,33	0,91	0,50	18,34	1,65	1,82	391,40
4	Mdol ac	4943+9	30,10	3,75	1,80	0,73	17,48	1,48	2,47	229,80
5	Mdol ac	4943+12	35,72	3,03	0,91	0,43	15,52	2,26	2,12	363,11
6	Mdol ac	4943+15	31,48	1,97	0,85	0,43	18,39	1,54	1,98	463,04
7	Mdol ac	4943+18	32,88	0,60	0,34	0,35	19,03	0,87	0,97	1.424,18
8	Mdol ac	4943+21	32,01	1,35	0,70	0,43	18,55	1,19	1,63	655,20
9	Mdol ac	4943+24	32,24	1,25	0,61	0,41	18,48	1,23	1,49	718,63
10	Mdol ac	4943+27	32,04	1,47	0,68	0,48	18,62	1,27	1,42	612,57
11	Mdol ac	4944	33,93	1,45	0,63	0,35	23,50	1,48	1,80	674,43
12	Mdol ac	4944+3	32,69	2,89	1,42	0,52	17,20	1,49	2,73	323,48
13	Mdol ac	4944+6	33,55	2,17	0,83	0,48	17,99	1,66	1,73	455,38
14	Mdol ac	4944+9	34,39	0,79	0,47	0,37	18,58	0,94	1,27	1.143,63
15	Mdol ac	4944+12	30,96	2,36	0,80	0,95	16,75	1,35	0,84	378,97
16	Mdol ac	4944+15	34,39	1,95	0,76	0,63	17,22	1,40	1,21	508,25
17	Mdol ac	4944+18	34,60	2,79	0,82	0,41	16,59	2,27	2,00	382,49
18	Mdol ac	4944+21	34,47	0,79	0,43	0,29	18,00	1,10	1,48	1.185,39
19	Mdol ac	4944+24	34,27	1,61	0,56	0,42	41,00	1,64	1,33	629,75
20	Mdol ac	4944+27	32,52	4,05	1,99	0,49	18,29	1,63	4,06	232,17
21	Mdol ac	4944A	33,81	0,29	0,34	0,43	23,12	0,38	0,79	2.265,02
22	Mdol ac	4944A+3	34,11	1,74	0,70	0,69	17,14	1,25	1,01	554,95
23	Mdol ac	4944A+6	35,32	0,55	0,18	0,23	18,21	1,34	0,78	1.857,09
24	Mdol ac	4944A+9	34,18	0,99	0,48	0,41	18,22	1,11	1,17	948,15
25	Mdol ac	4944A+12	30,83	4,50	2,07	0,59	16,95	1,69	3,51	199,86
26	Mdol ac	4944A+15	31,51	4,43	1,84	0,44	17,48	1,94	4,18	212,03
27	Mdol ac	4944A+18	30,59	5,22	1,92	0,48	17,30	2,18	4,00	177,92
28	Mdol ac	4944A+21	33,56	2,30	0,70	0,35	18,11	2,19	2,00	447,85
29	Mdol ac	4944A+24	33,56	2,45	0,94	0,55	16,52	1,64	1,71	403,04
30	Mdol ac	4944A+27	29,28	22,26	5,76	1,29	2,29	3,16	4,47	41,85
31	Mdol ac	4944A+30	36,78	4,57	0,88	0,51	10,71	3,29	1,73	259,64
32	Mdol ac	4944A+33	49,00	3,45	0,76	0,57	1,88	2,59	1,33	448,42
33	Mdol ac	4944A+36	34,69	2,76	1,08	0,62	16,17	1,62	1,74	368,83
34	Mdol ac	4944A+39	34,31	1,10	0,39	0,56	18,03	1,16	0,70	878,80
35	Mdol ac	4944A+42	51,10	3,66	0,81	0,52	0,83	2,75	1,56	442,74
36	Mdol ac	4944A+45	49,93	5,49	1,26	0,62	0,68	2,92	2,03	289,25
37	Mdol sil	4945	49,50	6,63	1,49	0,59	1,02	3,19	2,53	239,06
38	Mdol sil	4945+3	43,65	6,29	1,58	0,55	3,36	2,95	2,87	220,08
39	Mdol sil	4945+6	22,45	28,56	7,63	1,71	2,96	3,06	4,46	24,92
40	Mdol sil	4945+9	44,56	7,76	2,15	0,83	1,47	2,60	2,59	179,64
41	Mdol sil	4945+12	42,02	11,27	3,17	0,86	0,86	2,80	3,69	117,19
42	Mdol sil	4945+15	49,40	5,55	1,57	0,99	0,47	2,17	1,59	273,90
43	Mdol sil	4945+18	49,96	5,34	1,35	0,83	0,37	2,45	1,63	292,43
44	Mdol sil	4945+21	47,81	7,52	2,02	0,86	0,43	2,61	2,35	199,22
45	Mdol sil	4946	51,98	3,37	0,76	0,63	0,27	2,42	1,21	483,88
46	Mdol sil	4946+3	50,16	4,58	1,07	0,95	0,31	2,27	1,13	341,13
47	Mdol sil	4946+6	52,88	2,61	0,70	0,56	0,32	2,07	1,25	622,26
48	Mdol sil	4946+9	38,23	13,76	4,25	0,89	0,76	2,68	4,78	86,65
49	Mdol sil	4946+12	37,58	14,84	4,45	0,97	0,96	2,74	4,59	79,23
50	Mdol sil	4946+15	47,69	7,56	2,14	1,10	0,37	2,33	1,95	195,39
51	Mdol sil	4946+18	49,24	5,95	1,56	1,11	0,44	2,23	1,41	256,18
52	Mdol sil	4946+21	40,88	12,46	3,57	0,75	0,83	2,88	4,76	103,26
53	Mdol sil	4946+24	42,81	10,15	3,11	0,71	0,69	2,66	4,38	131,52
54	Mdol sil	4946+27	44,72	10,37	2,12	0,63	0,52	3,77	3,37	139,98
55	Mdol sil	4946+30	49,03	6,61	1,39	0,56	0,62	3,39	2,48	239,03
56	Mdol sil	4946+33	43,59	9,29	2,25	0,56	1,29	3,31	4,02	150,15
57	Mdol sil	4946+36	41,77	11,92	2,43	0,63	1,43	3,90	3,86	113,96

ANEXO 1 (Continuação)
RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE CANALETA DA MINA PASTINHO
(Análise por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MS	MA	FSC
58	Mdol sil	4946+39	42,68	10,89	2,19	0,61	1,55	3,89	3,59	127,51
59	Mdol ac	4947B	31,71	3,86	0,95	0,43	21,91	2,80	2,21	259,74
		Médias	37,89	6,15	1,71	0,66	10,73	2,59	2,57	192,74
		Média Mdol ac	33,14	2,29	0,89	0,48	18,70	1,67	1,86	426,89
	CANALETA 2									
1	Mdol ac	4934	33,88	2,46	0,25	0,43	22,35	3,62	0,58	454,00
2	Mar sil	4934+3	4,28	91,53	0,87	1,13	2,98	45,77	0,77	1,66
3	Mdol ac	4934+6	31,58	8,67	0,43	0,70	16,35	7,67	0,61	125,13
4	Mdol ac	4934+9	32,57	5,33	0,30	0,44	16,89	7,20	0,68	209,26
5	Mcal	4934+12	52,15	3,59	0,24	0,40	0,62	5,61	0,60	492,20
6	Mcal	4934+15	53,94	2,04	0,56	0,60	0,19	1,76	0,93	797,60
7	Mcal	4934+21	53,70	1,45	0,33	0,26	0,72	2,46	1,27	1.162,74
8	Mcal	4934+24	53,82	1,60	0,29	0,33	0,51	2,58	0,88	1.068,56
9	Mcal	4934+27	43,59	3,53	0,37	1,22	4,34	2,22	0,30	392,22
10	Mcal	4935	48,54	2,32	0,34	1,16	4,21	1,55	0,29	634,41
11	Mcal	4935+3	54,45	1,07	0,29	0,25	0,44	1,98	1,16	1.555,40
12	Mdol ac	4935+6	33,67	5,29	0,37	0,82	13,48	4,45	0,45	213,35
13	Mdol sil	4935+9	28,95	10,69	0,96	0,85	13,82	5,91	1,13	91,56
14	Mdol sil	4935+12	27,86	13,34	0,70	1,09	13,42	7,45	0,64	71,64
15	Mdol sil	4935+15	28,24	12,26	1,70	1,18	14,71	4,26	1,44	76,12
16	Mdol sil	4935+18	19,62	22,57	3,20	1,87	13,19	4,45	1,71	28,77
17	Mcal sil	4935+21	27,90	30,48	1,35	2,94	13,72	7,10	0,46	31,40
18	Mcal sil	4935+24	24,34	20,65	0,84	2,28	14,34	6,62	0,37	40,37
		Médias	36,28	13,27	0,74	1,00	9,24	7,62	0,75	93,79
		Médias Mdol ac + Mcal	41,66	2,91	0,31	0,53	6,06	3,49	0,59	469,76
	CANALETA 3									
1	Mdol ac	4997	30,94	2,19	0,81	0,81	17,63	1,35	1,00	406,34
2	Mdol ac	4997+3	28,96	5,33	0,83	2,31	16,58	1,70	0,36	166,39
3	Mdol ac	4997+6	29,02	6,83	2,40	3,00	15,44	1,26	0,80	121,39
4	Mdol sil	4998	25,43	8,92	3,72	4,06	12,35	1,15	0,92	79,46
5	Mdol sil	4998+3	26,01	11,01	3,65	4,01	13,70	1,44	0,91	68,92
6	Mdol ac	4998+6	30,44	6,26	1,82	3,56	12,00	1,16	0,51	138,43
7	Mdol sil	4998+9	26,77	13,12	2,19	2,35	15,43	2,89	0,93	65,54
8	Mdol sil	4998+12	23,04	18,10	3,33	3,76	13,26	2,55	0,89	40,38
9	Mdol ac	4999	30,07	4,33	1,47	2,08	17,83	1,22	0,71	197,69
10	Mdol sil	4999+3	23,05	17,92	3,86	2,06	14,30	3,03	1,87	41,11
11	Mdol ac	4999+6	29,19	6,13	1,68	4,38	15,15	1,01	0,38	132,72
12	Mdol sil	4999+9	24,86	33,29	2,71	3,39	12,99	5,46	0,80	25,21
13	Mdol ac	4999+12	26,57	9,43	1,88	1,46	16,40	2,82	1,29	89,85
14	Mdol sil	4999+15	14,85	57,41	4,78	4,21	8,12	6,39	1,14	8,78
15	Mdol sil	4999+18	14,67	35,35	13,96	5,68	7,97	1,80	2,46	12,31
16	Mar sil	4999+21	11,45	55,22	11,27	4,33	6,69	3,54	2,60	6,71
17	Mar sil	4999+24	4,90	77,58	12,42	3,14	3,81	4,99	3,96	2,09
18	Mar sil	5000	8,70	55,62	11,55	2,96	4,60	3,83	3,90	5,08
19	Mar sil	5000+3	6,56	80,12	8,65	3,17	4,53	6,78	2,73	2,77
20	Mar sil	5000+6	1,63	70,83	18,94	3,87	2,76	3,11	4,89	0,73
21	Mdol sil	5000+9	21,65	36,26	4,68	4,49	10,78	3,95	1,04	19,69
22	Mdol sil	5000+12	11,47	57,43	9,48	3,57	7,48	4,40	2,66	6,58
23	Mdol sil	5000+15	19,13	22,53	4,13	3,70	11,66	2,88	1,12	27,19
24	Mdol ac	5001	25,89	9,54	1,61	4,64	15,54	1,53	0,35	81,86
		Médias	20,64	29,20	5,49	3,37	11,54	3,29	1,63	22,82
		Média Mdol ac	28,89	6,26	1,56	2,78	15,82	1,44	0,56	136,48
	CANALETA 4									
1	Mdol ac	5047	30,88	2,81	1,22	0,47	17,67	1,66	2,60	321,23
2	Mdol ac	5047+3	29,52	4,10	1,25	0,57	17,88	2,25	2,19	221,53
3	Mdol sil	5135	33,88	20,76	4,22	0,73	1,50	4,19	5,78	53,29
4	Mdol ac	5135+3	29,81	4,25	0,90	0,53	18,08	2,97	1,70	224,03
5	Mdol ac	5135+6	27,37	8,41	1,55	0,63	17,20	3,86	2,46	106,14
6	Mdol ac	5136	29,88	1,27	1,27	0,61	17,72	0,68	2,08	548,15

ANEXO 1 (Continuação)
RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE CANALETA DA MINA PASTINHO
 (Análise por fluorescência de raios-X; teores em %)

NR	Litologia	Amostra	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MS	MA	FSC
7	Mdol ac	5136+3	30,40	3,47	0,81	0,51	18,11	2,63	1,59	276,28
8	Mdol ac	5137	29,69	4,83	0,95	0,57	18,35	3,18	1,67	197,73
		Médias	30,18	6,24	1,52	0,58	15,81	2,97	2,63	153,70
		Média Mdol ac	29,65	4,16	1,14	0,56	17,86	2,46	2,04	221,98
	CANALETA 5									
1	Mcal	5086	50,25	4,34	0,52	0,45	1,26	4,47	1,16	384,82
2	Mcal	5086+5	53,93	1,42	0,17	0,19	0,41	3,94	0,89	1.254,16
3	Mcal	5086+10	54,50	1,05	0,21	0,20	0,34	2,56	1,05	1.642,65
4	Mcal	5086+15	54,73	1,02	0,26	0,33	0,18	1,73	0,79	1.620,53
5	Mcal	5086+20	54,39	1,28	0,17	0,21	0,13	3,37	0,81	1.387,11
6	Mcal	5086+25	52,34	2,81	0,38	0,35	0,64	3,85	1,09	612,60
7	Mcal	5086+30	51,30	2,57	0,40	0,41	1,42	3,17	0,98	646,54
8	Mcal sil	5086+35	47,43	9,57	1,08	0,75	0,84	5,23	1,44	166,08
9	Mcal	5086+40	51,28	4,47	0,55	0,45	0,46	4,47	1,22	381,05
10	Mcal	5086+45	50,88	7,14	0,18	0,24	0,23	17,00	0,75	249,90
11	Mcal	5086+50	54,55	1,38	0,19	0,19	0,15	3,63	1,00	1.295,20
12	Mcal	5086+55	50,97	4,30	0,61	0,42	1,13	4,17	1,45	391,09
13	Mcal	5086+60	49,35	4,72	0,89	0,63	1,02	3,11	1,41	336,27
14	Mcal	5086+65	49,57	4,96	0,83	0,56	1,38	3,57	1,48	325,45
15	Mcal	5086+70	54,34	1,95	0,30	0,20	0,22	3,90	1,50	914,20
16	Mcal	5086+75	53,21	2,83	0,42	0,30	0,45	3,93	1,40	617,67
17	Mcal	5087	50,04	4,66	0,86	0,70	0,90	2,99	1,23	344,68

ANEXO 2

RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS DA PROSPECÇÃO ESTRATÉGICA

ANEXO 2 – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS DA PROSPECÇÃO ESTRATÉGICA

Amostras da área da metabásica de Alumínio e de seu entorno (análise via úmida)

Amostra	Substrato	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
MB-01	Filito	49,10	21,56	11,38	1,01	0,60
MB-02	Filito	54,72	18,89	10,16	1,12	0,32
MB-03	Filito	51,88	20,02	11,70	0,78	0,32
MB-04	Filito	50,52	20,60	12,34	1,01	0,08
MB-05	Filito	52,60	19,93	11,46	0,78	0,32
MB-06	Filito	56,14	11,17	19,49	1,01	n.d.
MB-07	Metassilito	55,08	17,28	11,10	1,01	n.d.
MB-08	Metassilito	42,80	19,82	16,87	0,96	0,16
MB-09	Metabásica	51,58	15,40	15,83	1,12	0,08
MB-10	Metabásica	29,47	14,37	40,72	0,30	0,18
MB-11	Metabásica	32,78	26,72	23,56	0,15	0,19
MB-12	Metabásica	56,77	20,01	10,04	0,22	0,16
MB-13	Metassilito	60,14	17,74	8,80	0,36	0,13
MB-14	Metassilito	31,36	19,61	29,95	0,20	0,20
MB-15	Metabásica	22,50	19,67	40,08	0,22	0,11
MB-16	Metabásica	38,11	23,78	23,33	0,22	0,21
MB-17	Filito	45,70	29,06	9,62	0,24	0,08
MB-18	Metabásica	40,27	26,43	14,93	0,34	0,04
MB-19	Metassilito	57,05	18,77	10,11	0,48	0,31
MB-20	Metassilito	73,29	11,01	7,77	0,41	0,05
MB-21	Metassilito	48,75	24,52	11,42	0,17	0,05
MB-22	Metassilito	52,92	24,18	8,74	0,79	0,06
MB-23	Metabásica	44,00	10,28	7,31	0,68	0,38
MB-24	Metassilito	43,50	25,35	12,20	1,01	n.d.
	Média da alteração da metabásica	39,44	19,58	21,98	0,41	0,17
	Média da alteração de filito	51,37	20,16	12,92	0,76	0,20
	Média da alteração de metassilito	51,65	19,81	13,00	0,60	0,14

Anexo 2 – continuação

Amostras da área da metabásica de Alumínio (Análise por espectrofotometria de plasma ICP)

Amostra	Substrato	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	CrO ₂ (%)	K ₂ O (%)	MnO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	TiO ₂ (%)	ZrO ₂ (%)	PF (%)
MB-25	Metabásica	42,86	13,41	16,05	9,18	12,22	0,05	0,28	0,33	0,17	1,00	0,03	3,92
MB-26	Metassilito	61,65	17,01	8,25	0,35	0,55	0,02	2,07	0,08	0,09	1,02	0,07	8,41
MB-27	Metabásica	52,74	20,47	11,55	0,20	0,44	0,03	1,87	0,09	0,22	1,33	0,07	10,70
MB-28	Metabásica	46,26	19,92	11,47	0,40	0,45	0,03	1,90	0,10	0,29	1,19	0,06	17,25
MB-29	Metabásica	56,45	18,41	10,01	0,14	0,58	0,02	2,46	0,18	0,12	1,19	0,06	9,80
MB-30	Metabásica	55,93	18,88	10,41	0,18	0,48	0,02	1,44	0,06	0,19	1,41	0,08	10,35
MB-31	Metabásica	35,42	19,15	28,51	0,06	0,09	0,00	0,15	0,48	0,30	2,39	0,03	12,67
MB-32	Metabásica	32,95	21,58	26,59	0,46	0,21	0,00	0,15	0,40	0,19	2,20	0,03	14,56
MB-33	Metabásica	46,28	18,86	14,60	0,89	1,27	0,03	1,16	0,29	0,21	1,26	0,10	14,21
MB-34	Metabásica	27,98	24,64	26,73	0,19	0,26	0,01	0,14	0,26	0,24	2,58	0,06	16,38
MB-35	Metabásica	59,99	18,26	6,56	0,14	0,52	0,02	1,62	0,02	0,12	1,17	0,07	10,90
MB-36	Metabásica	40,73	17,76	19,01	3,13	2,40	0,00	0,42	0,37	0,25	1,45	0,04	13,93
MB-37	Granito	69,74	17,97	1,83	0,15	0,16	0,01	3,01	0,27	0,22	0,17	0,02	5,85
MB-38	Filito	43,10	23,95	14,37	0,09	0,33	0,01	0,73	0,02	0,19	1,73	0,11	14,62
MB-39	Filito	60,85	23,32	1,53	0,14	0,17	0,01	0,70	0,01	0,20	1,53	0,16	10,75
MB-40	Granito	37,09	23,84	17,54	0,32	0,25	0,04	0,42	0,29	0,37	1,73	0,04	17,41
MB-41	Metabásica	31,48	23,00	27,07	0,11	0,15	0,00	0,12	0,29	0,21	2,32	0,04	14,59
MB-42	Metabásica	33,88	24,00	23,51	0,23	0,31	0,01	0,15	0,25	0,17	1,58	0,03	15,28
MB-43	Filito	46,73	23,26	9,50	0,25	0,26	0,01	1,02	0,04	0,19	1,98	0,16	15,95
MB-44	Granito	57,49	22,41	5,10	0,56	0,20	0,00	1,46	0,02	0,19	0,76	0,07	11,32
MB-45	Filito	54,59	23,25	4,56	0,51	0,25	0,01	0,57	0,03	0,14	1,52	0,17	13,97
MB-46	Metabásica	31,96	32,49	14,00	0,22	0,24	0,02	0,73	0,02	0,22	1,89	0,14	17,38
MB-47	Metabásica	30,07	24,48	26,26	0,38	0,20	0,00	0,26	0,39	0,25	2,32	0,02	14,79
MB-48	Metassilito	50,28	14,51	21,74	0,25	0,12	0,00	0,12	0,36	0,46	1,59	0,13	9,91
MB-49	Filito	45,34	26,67	11,09	0,13	0,47	0,02	3,05	0,07	0,11	1,17	0,08	11,15
MB-50	Filito	37,02	25,18	18,52	0,22	0,34	0,03	0,28	0,31	0,10	1,39	0,06	15,88
MB-51	Filito	36,56	25,08	18,49	0,35	1,39	0,09	0,35	0,33	0,16	1,03	0,02	15,68
MB-52	Metabásica	34,76	20,31	25,65	0,30	0,43	0,00	0,12	0,30	0,20	2,00	0,03	15,17
Média	metabásica	41,48	21,18	18,20	0,88	1,19	0,02	0,85	0,23	0,22	1,73	0,06	13,34
Média	metassilito	55,97	15,76	15,00	0,30	0,34	0,01	1,10	0,22	0,28	1,31	0,10	9,16
Média	filito	46,16	23,61	13,27	0,25	0,46	0,02	1,29	0,18	0,16	1,12	0,06	12,83
Média	granito	50,73	21,90	8,65	1,01	0,77	0,01	0,68	0,11	0,20	1,62	0,13	13,65

Anexo 2 – continuação

Amostras de solo do prospecto 2 - Setor do Maciço Granítico São Francisco (análise via úmida)

Amostra	Natureza	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
GSF-01	Solo avermelhado, argiloso, c/ ferricrete	36,25	16,35	32,76	0,56	n.d.
GSF-02	Solo avermelhado, argiloso, c/ quartzo	44,98	17,28	20,84	0,76	n.d.
GSF-03	Solo avermelhado, quartzoso	55,72	15,50	14,41	0,46	0,05
GSF-04	Solo avermelhado, argiloso, c/ quartzo.	40,86	29,07	11,94	0,56	n.d.
GSF-05	Solo avermelhado, argiloso, c/ quartzo	34,88	28,94	12,10	0,45	0,07
GSF-06	Solo avermelhado, argiloso, c/ ferricrete	36,22	24,79	21,27	0,75	0,12
GSF-07	Solo avermelhado claro, quartzoso	64,22	18,80	5,78	0,63	n.d.
GSF-08	Solo avermelhado, argiloso	25,50	35,17	12,57	0,54	n.d.
GSF-09	Solo avermelhado, argiloso	29,28	34,52	11,69	0,98	n.d.
GSF-10	Solo avermelhado, argiloso	35,74	30,21	11,36	0,53	0,10
	Médias	40,37	25,06	15,47	0,62	0,09

n.d. - não detectado

Amostras da cobertura sedimentar avermelhada (análise via úmida)

Amostra	Natureza	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
CSA-01	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	42,52	36,98	11,21	0,85	n.d.
CSA-02	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	45,28	33,15	10,88	1,41	n.d.
CSA-05	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	44,38	28,52	9,98	0,27	n.d.
CSA-06	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	50,26	25,74	9,49	0,66	0,19
CSA-07	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	50,14	26,08	8,97	0,68	n.d.
CSA-13	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	48,26	24,27	10,63	0,97	n.d.
CSA-14	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	60,12	20,46	8,61	0,47	0,14
CSA-18	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	39,66	27,13	16,43	< 0,01	0,25
CSA-19	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	45,73	24,63	12,85	0,18	0,40
CSA-20	Solo avermelhado, argiloso, c/ magnetita	47,82	24,26	23,33	0,80	0,30
	Médias	47,42	27,12	12,24	0,70	0,26

Anexo 2 – continuação

Amostras da "argila ferruginosa" do NW da Mina 1 – Salto de Pirapora (análise via úmida)

Amostra	Natureza	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
AFE-01	Solo avermelhado, areno-argiloso, c/ magnetita	62,40	15,40	13,51	0,85	0,16
AFE-02	Solo avermelhado, areno-argiloso, c/ magnetita	61,72	15,17	11,94	0,64	0,20
AFE-03	Solo avermelhado, areno-argiloso, c/ magnetita	66,78	15,43	10,45	0,24	0,18
AFE-04	Solo avermelhado, areno-argiloso, c/ magnetita	66,42	15,51	10,86	0,14	0,17
AFE-05	Solo avermelhado, areno-argiloso, c/ magnetita	52,22	16,53	12,18	0,23	0,20
	Médias	61,91	15,61	11,79	0,42	0,18

ANEXO 3

RESULTADOS ANALÍTICOS DOS FUROS DE TRADO NO EXTREMO NE DA MINA 1

ANEXO 3 - RESULTADOS ANALÍTICOS DOS FUROS DE TRADO NO EXTREMO NW DA MINA 1
(Análise por via úmida)

NR	Furo trado	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
1	652/1	1 (0-1m)	63,42	15,04	13,15	0,58	0,16
2	652/1	2 (1-2m)	60,27	15,71	11,49	0,46	0,20
3	652/1	3 (2-3m)	65,87	15,34	10,54	0,42	0,18
4	652/1	4 (3-4m)	67,24	15,15	10,68	0,41	0,17
5	652/1	5 (4-5m)	53,22	16,35	12,81	0,32	0,20
6	652/1	6 (5-6m)	54,69	17,40	7,45	0,64	0,30
7	652/1	7 (6-7m)	71,43	15,78	4,38	0,30	0,20
8	652/1	8 (7-8m)	71,45	15,53	5,36	0,69	0,19
9	652/1	9 (8-9m)	48,02	15,86	16,12	0,27	0,15
10	652/1	10 (9-10m)	70,60	15,28	8,38	0,28	0,16
11	653/1	1 (0-1m)	65,15	14,48	13,93	0,61	0,12
12	653/1	2 (1-2m)	62,52	14,41	15,89	0,62	0,10
13	653/1	3 (2-3m)	54,27	15,02	16,67	0,42	0,11
14	653/1	4 (3-4m)	48,65	15,02	16,67	0,31	0,11
15	653/1	5 (4-5m)	55,02	15,38	15,42	0,57	0,15
16	653/1	6 (5-6m)	51,75	16,09	13,54	0,42	0,18
17	653/1	7 (6-7m)	58,99	15,84	7,15	0,71	0,24
18	653/1	8 (7-8m)	69,73	16,06	4,05	0,33	0,25
19	653/1	9 (8-9m)	70,86	15,93	3,95	0,64	0,31
20	653/1	10 (9-10m)	66,41	16,55	4,84	0,30	0,28
21	654/1	1 (0-1m)	61,16	14,36	17,13	0,45	0,10
22	654/1	2 (1-2m)	56,02	14,35	19,59	0,32	0,08
23	654/1	3 (2-3m)	55,96	14,27	19,31	0,23	0,07
24	654/1	4 (3-4m)	49,53	14,59	20,50	0,28	0,07
25	654/1	5 (4-5m)	54,14	14,93	18,57	0,20	0,10
26	654/1	6 (5-6m)	68,31	15,21	9,85	0,18	0,15
27	654/1	7 (6-7m)	64,94	12,98	6,80	0,31	0,31
28	654/1	8 (7-8m)	76,27	15,66	2,87	0,15	0,23
29	654/1	9 (8-9m)	68,01	14,43	3,71	0,25	0,36
30	654/1	10 (9-10m)	77,14	15,03	1,82	0,18	0,21
31	654/2	1 (0-1m)	54,93	15,14	17,18	1,07	0,13
32	654/2	2 (1-2m)	59,12	14,76	16,68	0,75	0,11
33	654/2	3 (2-3m)	58,27	14,89	16,82	0,45	0,09
34	654/2	4 (3-4m)	58,62	15,00	16,47	0,28	0,09
35	654/2	5 (4-5m)	61,39	15,17	14,29	0,24	0,11
36	654/2	6 (5-6m)	56,51	16,12	13,06	0,24	0,16
37	654/2	7 (6-7m)	73,26	15,67	6,21	0,21	0,16
38	654/2	8 (7-8m)	78,82	15,53	3,82	0,18	0,18
39	654/2	9 (8-9m)	67,45	14,85	3,91	0,45	0,37
40	654/2	10 (9-10m)	59,38	15,98	13,67	0,19	0,22
41	655/2	1 (0-1m)	53,84	14,72	17,97	0,31	0,07
42	655/2	2 (1-2m)	51,04	14,82	19,19	0,36	0,07
43	655/2	3 (2-3m)	52,22	14,88	19,29	0,63	0,11
44	655/2	4 (3-4m)	51,84	14,81	19,13	1,31	0,15
45	655/2	5 (4-5m)	54,59	14,71	19,47	0,73	0,11
46	655/2	6 (5-6m)	54,85	14,80	18,74	0,31	0,09
47	655/2	7 (6-7m)	53,82	15,07	18,67	0,31	0,10
48	655/2	8 (7-8m)	58,51	15,00	15,59	0,35	0,11
49	655/2	9 (8-9m)	60,31	14,98	14,44	0,26	0,11
50	655/2	10 (9-10m)	61,34	15,03	14,60	0,31	0,11
51	656/1	1 (0-1m)	50,87	15,35	18,25	0,63	0,12
52	656/1	2 (1-2m)	54,42	14,52	19,99	0,61	0,08

ANEXO 3 - RESULTADOS ANALÍTICOS DOS FUROS DE TRADO NO EXTREMO NW DA MINA 1
(Análise por via úmida)

NR	Furo trado	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
53	656/1	3 (2-3m)	56,22	14,45	19,42	0,62	0,07
54	656/1	4 (3-4m)	55,39	14,49	20,00	0,37	0,07
55	656/1	5 (4-5m)	61,14	14,73	16,69	0,28	0,08
56	656/1	6 (5-6m)	66,01	14,99	12,18	0,29	0,09
57	656/1	7 (6-7m)	74,88	14,97	6,80	0,55	0,11
58	656/1	8 (7-8m)	83,92	14,55	4,18	0,29	0,10
59	656/1	9 (8-9m)	78,31	15,06	5,27	0,40	0,12
60	658/1	1 (0-1m)	61,40	14,09	15,00	0,38	0,21
61	658/1	2 (1-2m)	60,03	15,25	15,77	0,24	0,28
62	658/1	3 (2-3m)	62,57	15,41	12,94	0,30	0,25
63	658/1	4 (3-4m)	70,81	13,60	8,09	0,51	0,10
64	658/1	5 (4-5m)	66,74	14,97	9,47	0,51	0,10
65	658/1	6 (5-6m)	70,96	12,38	9,52	0,97	0,15
66	658/1	7 (6-7m)	73,68	12,05	7,60	0,68	0,26
67	658/1	8 (7-8m)	75,46	10,75	6,91	0,55	0,13
68	658/1	9 (8-9m)	72,86	12,21	7,70	0,53	0,17
69	658/1	10 (9-10m)	68,76	12,86	10,24	0,71	0,41
70	658/2	1 (0-1m)	52,87	16,30	15,44	0,56	0,14
71	658/2	2 (1-2m)	52,19	16,38	15,67	0,47	0,12
72	658/2	3 (2-3m)	51,45	16,76	16,47	0,39	0,09
73	658/2	4 (3-4m)	52,46	16,56	15,99	0,41	0,11
74	658/2	5 (4-5m)	50,99	16,55	15,93	0,38	0,09
75	658/2	6 (5-6m)	51,85	16,79	16,20	0,43	0,12
76	658/2	7 (6-7m)	51,71	16,19	14,48	0,55	0,11
77	658/2	8 (7-8m)	53,32	16,79	15,17	0,40	0,11
78	658/2	9 (8-9m)	53,95	15,48	14,68	0,39	0,12
79	658/2	10 (9-10m)	53,14	16,62	15,03	0,40	0,12
80	658/3	1 (0-1m)	55,12	15,95	10,31	0,31	0,09
81	658/3	2 (1-2m)	55,93	15,82	9,80	0,28	0,08
82	658/3	3 (2-3m)	55,68	15,86	9,48	0,27	0,08
83	658/3	4 (3-4m)	55,58	16,03	9,97	0,28	0,10
84	658/3	5 (4-5m)	54,20	15,96	11,34	0,28	0,09
85	658/3	6 (5-6m)	51,26	18,45	10,02	0,31	0,13
86	658/3	7 (6-7m)	58,11	17,08	6,24	0,36	0,11
87	658/3	8 (7-8m)	60,60	15,68	6,34	0,40	0,11
88	658/3	9 (8-9m)	53,65	16,72	8,21	0,34	0,13
Médias dos furos			60,56	15,21	12,44	0,43	0,15
Desvio Padrao			8,42	1,17	5,16	0,20	0,07

ANEXO 4

RESULTADOS ANALÍTICOS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 01T1	0-1 m	2,20	36,02	16,34	32,96	0,57	0,00						12,38	98,27
GSF 01T2	1-2 m	2,60	44,98	17,28	20,84	0,76	0,00						10,40	94,26
GSF 01T3	2-3 m	3,59	55,72	15,50	14,41	0,46	0,05						8,47	94,61
GSF 02T1	0-0,3 m	0,79	27,97	35,22	13,20	0,03	0,10						22,63	99,15
GSF 02T2	0,3-0,6 m	0,76	26,71	35,01	13,19	0,01	0,09						22,74	97,75
GSF 02T3	0,6-0,9 m	0,75	26,18	34,90	13,35	< 0,01	0,10						21,71	96,24
GSF 02T4	0,9-1,2 m	0,77	27,38	35,67	13,44	< 0,01	0,09						22,46	99,04
GSF 02T5	1,2-1,5m	0,60	20,08	33,63	14,34	0,01	0,08						22,02	90,16
GSF 03T1	0-1 m	1,27	35,94	28,35	5,99	0,45	0,00						20,43	91,16
GSF 04T1	0-1 m	1,34	37,06	27,70	12,50	0,38	0,01						18,34	95,99
GSF 04T2	1-2 m	1,24	36,84	29,61	12,31	0,36	0,06						16,64	95,82
GSF 05T1	0-1 m	1,67	43,90	26,25	9,56	0,56	0,05						15,62	95,94
GSF 05T2	1-2 m	1,79	44,84	25,03	10,06	0,92	0,00						15,23	96,08
GSF 05T3	2-3 m	1,64	42,20	25,69	10,14	0,54	0,12						17,27	95,96
GSF 05T4	3-4 m	2,11	48,01	22,80	10,54	0,90	0,00						12,94	95,19
GSF 05T5	4-5m	4,34	64,68	14,90	12,23	0,40	0,03						6,95	99,19
GSF 06T1	0 - 1 m	1,06	33,08	31,25	12,62	0,52	0,00						19,60	97,07
GSF 06T2	1 - 2 m	0,91	29,88	32,87	12,65	0,48	0,00						19,46	95,34
GSF 07T1	0 - 1 m	1,50	41,36	27,56	11,41	1,06	0,00						16,18	97,57
GSF 07T2	1 - 2 m	1,45	41,96	28,88	11,31	0,45	0,04						16,18	98,82
GSF 07T3	2 - 3 m	1,43	40,30	28,21	11,12	0,37	0,00						15,83	95,83
GSF 08T1	0 - 1 m	0,88	29,00	32,96	12,28	0,50	0,00						21,43	96,17
GSF 08T2	1 - 2 m	0,73	25,60	35,27	12,59	0,52	0,00						21,63	95,61
GSF 08T3	2 - 3 m	0,64	23,40	36,46	13,46	0,58	0,26						21,75	95,91
GSF 09T1	0 - 1 m	1,05	32,39	30,95	12,72	0,57	0,00						20,21	96,84
GSF 09T2	1 - 2 m	1,06	32,74	30,92	11,59	0,50	0,00						19,13	94,88
GSF 09T3	2 - 3 m	0,85	29,26	34,42	11,89	1,01	0,00						19,92	96,50
GSF 10T1	0 - 1 m	1,32	37,64	28,54	11,02	0,45	0,04						18,86	96,55
GSF 10T2	1 - 2 m	1,19	35,60	30,01	11,46	0,54	0,00						17,53	95,14
GSF 10T3	2 - 3 m	1,18	36,88	31,16	12,02	0,59	0,00						16,55	97,20

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 11T1	0 - 1 m	3,28	53,40	16,26	15,98	0,53	0,00						10,43	96,60
GSF 11T2	1 - 2 m	4,94	69,42	14,04	7,38	0,49	0,00						6,70	98,03
GSF 12T1	0 - 1 m	4,10	64,70	15,78	7,45	0,49	0,00						9,08	97,50
GSF 12T2	1 - 2 m	2,66	55,14	20,73	8,71	0,50	0,00						11,42	96,50
GSF 13T1	0 - 1 m	2,73	54,82	20,06	8,77	0,65	0,00						12,09	96,39
GSF 14T1	0 - 1 m	1,48	41,38	28,02	10,34	0,03	0,13	0,17	0,02	1,69	0,09	0,02	16,94	98,83
GSF 14T2	1 - 2 m	1,70	45,37	26,68	10,21	0,10	0,10	0,21	0,02	1,58	0,26	0,01	14,77	99,31
GSF 14T3	2 - 3 m	3,49	63,32	18,16	7,23	0,09	0,08	0,33	0,01	0,84	0,16	0,01	9,24	99,47
GSF 15T1	0 - 1 m	1,50	41,73	27,89	10,43	0,12	0,12	0,20	0,02	1,65	0,21	0,02	16,94	99,33
GSF 15T2	1 - 2 m	1,51	42,37	28,12	10,31	0,10	0,11	0,19	0,02	1,66	0,16	0,01	16,19	99,24
GSF 16T1	0 - 1 m	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GSF 17T1	0 - 1 m	2,28	48,29	21,20	14,81	0,13	0,06	0,18	0,05	1,55	0,27	0,01	12,72	99,27
GSF 17T2	1 - 2 m	1,95	45,16	23,15	17,14	0,17	0,10	0,36	0,06	1,59	0,34	0,01	11,24	99,32
GSF 18T1	0 - 1 m	1,39	39,91	28,63	10,89	0,12	0,10	0,13	0,02	1,69	0,17	0,02	17,63	99,31
GSF 18T2	1 - 2 m	1,31	38,96	29,78	10,77	0,16	0,09	0,14	0,02	1,76	0,23	0,02	17,39	99,32
GSF 19T1	0 - 1 m	1,55	42,02	27,17	10,39	0,14	0,12	0,17	0,03	1,55	0,21	0,01	17,31	99,12
GSF 19T2	1 - 2 m	1,72	45,10	26,17	10,23	0,19	0,10	0,18	0,02	1,61	0,22	0,01	14,93	98,76
GSF 20T1	0 - 1 m	1,83	46,52	25,42	9,71	0,18	0,07	0,13	0,02	1,44	0,17	0,01	15,63	99,30
GSF 20T2	1 - 2 m	1,65	44,05	26,77	10,79	0,21	0,09	0,16	0,02	1,63	0,22	0,02	15,29	99,25
GSF 20T3	2 - 3 m	1,40	40,91	29,29	11,22	0,12	0,05	0,15	0,02	1,71	0,12	0,01	15,39	98,99
GSF 21T1	0 - 1 m	1,90	47,94	25,21	9,51	0,13	0,09	0,21	0,01	1,51	0,15	0,02	14,47	99,25
GSF 21T2	1 - 2 m	1,52	43,31	28,56	10,46	0,13	0,10	0,22	0,02	1,68	0,12	0,02	14,72	99,34
GSF 22T1	0 - 1 m	2,23	50,70	22,70	10,17	0,06	0,10	0,17	0,01	1,26	0,28	0,02	13,93	99,40
GSF 22T2	1 - 2 m	1,82	45,85	25,24	12,25	0,07	0,09	0,23	0,01	1,35	0,17	0,02	14,15	99,43
GSF 23T1	0 - 1 m	1,52	41,95	27,61	10,59	< 0,01	0,04	0,12	0,01	1,55	0,22	0,02	17,17	99,28
GSF 23T2	1 - 2 m	1,64	44,99	27,46	10,75	< 0,01	0,03	0,14	0,01	1,59	0,22	0,02	14,17	99,38
GSF 24T1	0 - 1 m	1,11	35,97	32,30	12,54	< 0,01	0,04	0,14	0,02	1,78	0,23	0,01	16,26	99,29
GSF 24T2	1 - 2 m	1,73	46,93	27,16	11,61	< 0,01	0,05	0,23	0,02	1,41	0,15	0,02	11,74	99,32
GSF 25T1	0 - 1 m	0,93	31,22	33,54	12,35	< 0,01	0,03	0,10	0,01	1,86	0,28	0,01	19,88	99,28
GSF 25T2	1 - 2 m	0,94	32,15	34,25	12,57	< 0,01	0,02	0,11	0,01	1,93	0,12	0,01	18,15	99,32

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 25T3	2 - 3 m	0,93	32,28	34,62	12,62	< 0,01	0,03	0,11	0,01	1,91	0,18	0,01	17,53	99,30
GSF 25T4	3 - 4 m	0,85	30,76	36,13	13,11	< 0,01	0,02	0,11	0,01	1,94	0,16	0,01	16,97	99,22
GSF 25T5	4 - 5 m	1,00	34,71	34,71	12,58	< 0,01	0,02	0,16	0,02	1,90	0,18	0,01	15,05	99,34
GSF 26T1	0 - 1 m	1,53	43,17	28,25	10,91	< 0,01	0,08	0,30	0,03	1,61	0,15	0,02	14,74	99,26
GSF 26T2	1 - 2 m	1,41	42,42	30,00	11,47	< 0,01	0,07	0,48	0,05	1,76	0,21	0,02	12,87	99,35
GSF 26T3	2 - 3 m	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GSF 27T1	0 - 1 m	1,46	42,17	28,86	10,85	0,02	0,04	0,22	0,02	1,57	0,19	0,01	15,33	99,28
GSF 27T2	1 - 2 m	1,27	39,87	31,44	12,08	< 0,01	0,05	0,34	0,04	1,75	0,20	0,01	13,57	99,35
GSF 27T3	2 - 3 m	1,53	44,40	28,95	11,80	< 0,01	0,06	0,46	0,04	1,64	0,20	0,02	11,81	99,38
GSF 28T1	0 - 1 m	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GSF 29T1	0 - 1 m	1,06	34,36	32,34	11,49	< 0,01	0,04	0,14	0,02	1,81	0,18	0,01	18,87	99,26
GSF 29T2	1 - 2 m	1,02	34,71	33,87	11,65	< 0,01	0,05	0,13	0,02	1,92	0,10	0,02	16,89	99,36
GSF 29T3	2 - 3 m	0,87	31,45	36,14	12,25	< 0,01	0,09	0,15	0,02	2,02	0,23	0,01	16,98	99,34
GSF 29T4	3 - 4 m	1,15	38,37	33,25	11,09	< 0,01	0,07	0,21	0,02	1,84	0,13	0,01	14,33	99,32
GSF 29T5	4 - 5 m	1,35	41,78	30,92	12,08	< 0,01	0,04	0,46	0,04	1,77	0,19	0,01	12,04	99,33
GSF 30T1	0 - 1 m	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GSF 31T1	0 - 1 m	1,38	39,41	28,64	10,84	> 0,01	0,04	0,13	0,01	1,55	0,22	0,01	18,40	99,25
GSF 31T2	1 - 2 m	1,33	39,27	29,42	12,47	0,10	0,03	0,12	0,03	1,54	0,12	0,02	16,16	99,28
GSF 31T3	2 - 3 m	1,20	36,17	30,09	14,59	< 0,01	0,02	0,14	0,06	1,56	0,13	0,01	16,50	99,27
GSF 32T1	0 - 1 m	1,20	37,03	30,79	11,10	< 0,01	0,02	0,10	0,02	1,76	0,20	0,02	18,20	99,24
GSF 32T2	1 - 2 m	1,16	36,51	31,60	11,59	0,04	0,03	0,15	0,02	1,83	0,22	0,01	17,25	99,25
GSF 32T3	2 - 3 m	1,09	35,52	32,52	11,77	0,04	0,04	0,14	0,02	1,84	0,16	0,01	17,19	99,25
GSF 32T4	3 - 4 m	1,08	34,33	31,90	14,82	< 0,01	0,04	0,16	0,02	1,77	0,12	0,01	16,07	99,24
GSF 33T1	0 - 1 m	0,93	31,23	33,72	11,78	< 0,01	0,04	0,09	0,02	1,93	0,28	0,01	20,14	99,24
GSF 33T2	1 - 2 m	0,99	33,48	33,81	11,85	< 0,01	0,03	0,12	0,01	1,92	0,19	0,01	17,80	99,22
GSF 33T3	2 - 3 m	0,98	33,83	34,41	11,75	< 0,01	0,03	0,12	0,02	1,99	0,22	0,01	16,94	99,32
GSF 33T4	3 - 4 m	0,85	30,97	36,49	12,22	< 0,01	0,02	0,12	0,02	2,08	0,11	0,01	17,27	99,31
GSF 33T5	4 - 5 m	0,92	32,75	35,51	11,94	< 0,01	0,03	0,11	0,02	2,11	0,09	0,01	16,84	99,41
GSF 33T6	5 - 6 m	1,12	37,55	33,50	11,13	< 0,01	0,05	0,13	0,02	1,93	0,20	0,01	14,83	99,35
GSF 34T1	0 - 1 m	1,15	36,21	31,59	11,33	< 0,01	0,02	0,10	0,02	1,83	0,25	0,01	17,96	99,32

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 34T2	1 - 2 m	1,10	36,02	32,61	11,61	< 0,01	0,05	0,11	0,02	1,89	0,21	0,01	16,79	99,32
GSF 34T3	2 - 3 m	0,97	33,65	34,73	12,09	< 0,01	0,03	0,12	0,02	1,93	0,14	0,01	16,55	99,27
GSF 34T4	3 - 4 m	0,94	32,97	35,00	12,15	< 0,01	0,03	0,11	0,02	1,91	0,18	0,01	16,87	99,25
GSF 34T5	4 - 5 m	0,92	32,70	35,62	12,37	< 0,01	0,02	0,11	0,02	1,94	0,21	0,02	16,27	99,28
GSF 34T6	5 - 6 m	1,01	35,29	34,79	12,09	< 0,01	0,03	0,16	0,02	1,93	0,17	0,01	14,86	99,35
GSF 34T7	6 - 7 m	1,41	43,35	30,65	10,89	< 0,01	0,03	0,27	0,03	1,68	0,01	0,01	12,44	99,36
GSF 34T8	7 - 8 m	1,51	44,64	29,53	11,32	< 0,01	0,04	0,38	0,05	1,64	0,18	0,01	11,56	99,35
GSF 34T9	8 - 9 m	1,48	43,75	29,62	12,12	< 0,01	0,06	0,46	0,05	1,72	0,21	0,01	11,36	99,36
GSF 34T10	9 - 10 m	1,67	46,80	28,04	11,37	< 0,01	0,05	0,40	0,04	1,65	0,15	0,01	10,86	99,37
GSF 34T11	10 - 10,5m	2,92	59,00	20,23	10,51	< 0,01	0,03	0,37	0,03	1,18	0,23	0,02	7,80	99,40
GSF 35T1	0 - 1 m	1,19	37,19	31,18	10,65	< 0,01	0,03	0,09	0,01	1,78	0,07	0,01	18,39	99,40
GSF 35T2	1 - 2 m	1,14	36,87	32,37	11,01	< 0,01	0,03	0,13	0,01	1,82	0,18	0,01	16,96	99,39
GSF 35T3	2 - 3 m	1,09	36,46	33,40	11,05	< 0,01	0,03	0,14	0,01	1,84	0,04	0,01	16,38	99,36
GSF 35T4	3 - 4 m	2,99	30,97	36,49	12,22	< 0,01	0,02	0,12	0,02	2,08	0,11	0,01	17,27	99,31
GSF 35T5	4 - 5 m	1,06	36,30	34,25	10,84	< 0,01	0,02	0,13	0,02	1,95	0,29	0,02	15,67	99,49
GSF 35T6	5 - 6 m	1,43	43,66	30,52	10,43	< 0,01	0,03	0,22	0,02	1,71	0,20	0,01	12,64	99,44
GSF 35T7	6 - 7 m	1,44	43,72	30,30	11,35	< 0,01	0,06	0,42	0,04	1,73	0,19	0,01	11,58	99,40
GSF 35T8	7 - 8 m	1,57	45,29	28,87	11,22	< 0,01	0,06	0,45	0,04	1,70	0,09	0,01	11,68	99,41
GSF 35T9	8 - 9 m	1,65	46,31	28,06	11,12	< 0,01	0,08	0,50	0,04	1,70	0,28	0,01	11,32	99,42
GSF 35T10	9 - 10 m	1,70	47,36	27,85	11,07	< 0,01	0,07	0,53	0,04	1,66	0,23	0,01	10,60	99,42
GSF 35T11	10 - 10,5m	1,75	47,59	27,21	11,35	< 0,01	0,08	0,55	0,03	1,64	0,25	0,01	10,74	99,45
GSF 36T1	0 - 1 m	1,49	41,21	27,63	10,27	< 0,01	0,08	0,14	0,02	1,52	0,03	< 0,01	18,37	99,27
GSF 36T2	1 - 2 m	1,45	41,33	28,57	10,84	0,05	0,12	0,16	0,02	1,54	0,15	< 0,01	16,30	99,08
GSF 36T3	2 - 3 m	1,23	38,33	31,13	11,39	< 0,01	0,08	0,16	0,01	1,72	-0,01	< 0,01	16,12	98,93
GSF 36T4	3 - 4 m	1,20	38,07	31,65	11,42	< 0,01	0,05	0,14	0,02	1,70	0,02	< 0,01	16,25	99,32
GSF 36T5	4 - 5 m	2,59	44,34	29,32	11,30	0,05	0,07	0,31	0,02	1,63	0,02	< 0,01	13,88	100,94
GSF 36T6	5 - 6 m	1,57	45,16	28,85	10,72	< 0,01	0,08	0,26	0,02	1,50	0,11	0,01	12,39	99,10
GSF 37T1	0 - 1 m	3,56	58,45	16,41	13,10	< 0,01	0,05	0,19	< 0,01	0,68	0,03	< 0,01	10,41	99,32
GSF 37T2	1 - 2 m	3,06	54,27	17,71	17,05	< 0,01	0,04	0,24	< 0,01	0,70	0,14	< 0,01	9,60	99,75
GSF 37T3	2 - 3 m	3,69	66,33	18,00	6,06	< 0,01	0,05	0,29	< 0,01	0,44	< 0,01	< 0,01	7,89	99,06

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 38T1	0 - 1 m	2,77	57,16	20,63	8,48	< 0,01	0,04	0,13	0,10	0,96	0,17	< 0,01	11,51	99,18
GSF 38T2	1 - 2 m	2,65	55,82	21,07	10,30	< 0,01	0,05	0,16	< 0,01	0,97	0,07	< 0,01	10,49	98,93
GSF 38T3	2 - 3 m	2,60	46,89	18,03	22,84	< 0,01	0,04	0,26	< 0,01	0,80	< 0,01	< 0,01	10,18	99,04
GSF 39T1	0 - 1 m	1,28	37,66	29,31	11,04	< 0,01	0,08	0,12	0,01	1,60	0,12	0,01	19,06	99,01
GSF 39T2	1 - 2 m	1,49	42,14	28,23	9,79	< 0,01	0,03	0,12	0,01	1,51	< 0,01	0,01	17,46	99,30
GSF 39T3	2 - 3 m	1,30	39,30	30,34	10,54	< 0,01	0,07	0,13	0,01	1,62	< 0,01	< 0,01	16,93	98,94
GSF 39T4	3 - 4 m	1,48	42,27	28,59	9,53	< 0,01	0,03	0,12	0,01	1,50	0,08	< 0,01	17,25	99,38
GSF 39T5	4 - 5 m	1,27	39,31	30,87	10,34	< 0,01	0,04	0,13	0,01	1,62	0,15	< 0,01	18,56	101,03
GSF 39T6	5 - 6 m	1,60	44,17	27,58	9,28	< 0,01	0,05	0,13	0,02	1,43	< 0,01	< 0,01	16,22	98,88
GSF 39T7	6 - 7 m	1,77	48,72	27,60	7,63	< 0,01	0,08	0,19	0,01	1,40	0,07	< 0,01	13,46	99,16
GSF 40T1	0 - 1 m	1,68	45,10	26,90	8,79	< 0,01	0,03	0,12	0,01	1,38	0,10	< 0,01	16,50	98,93
GSF 40T2	1 - 2 m	1,54	44,03	28,51	9,30	< 0,01	0,06	0,16	0,01	1,47	0,40	< 0,01	15,06	99,00
GSF 40T3	2 - 3 m	1,41	42,04	29,87	9,80	< 0,01	0,04	0,13	0,10	1,54	0,07	< 0,01	15,50	99,09
GSF 40T4	3 - 4 m	1,70	46,67	27,47	9,00	< 0,01	0,04	0,14	0,01	1,39	0,06	< 0,01	14,57	99,35
GSF 40T5	4 - 5 m	1,95	50,55	25,98	8,64	< 0,01	0,05	0,12	0,02	1,30	0,03	< 0,01	12,26	98,95
GSF 40T6	5 - 6 m	2,11	52,44	24,82	9,07	< 0,01	0,07	0,40	0,03	1,28	0,02	< 0,01	11,17	99,30
GSF 40T7	6 - 7 m	2,13	51,97	24,44	9,45	< 0,01	0,07	0,40	0,04	1,33	0,01	< 0,01	11,12	98,83
GSF 40T8	7 - 8 m	2,34	53,62	22,93	9,65	< 0,01	0,08	0,43	0,04	1,37	0,15	< 0,01	11,09	99,36
GSF 40T9	8 - 9 m	2,68	56,63	21,12	8,74	< 0,01	0,08	0,45	0,03	1,25	0,01	< 0,01	10,63	98,94
GSF 41T1	0 - 1 m	3,12	56,79	18,20	7,55	< 0,01	0,08	0,19	0,10	1,13	< 0,01	< 0,01	15,10	99,14
GSF 41T2	1 - 2 m	2,04	49,80	24,46	10,53	< 0,01	0,06	0,29	0,01	1,26	< 0,01	< 0,01	12,73	99,14
GSF 41T3	2 - 3 m	1,80	44,33	24,57	17,26	< 0,01	0,10	0,17	< 0,01	1,28	< 0,01	0,01	11,55	99,27
GSF 42T1	0 - 1 m	1,47	40,94	27,79	10,33	< 0,01	0,08	0,13	0,01	1,57	0,04	< 0,01	18,31	99,20
GSF 42T2	1 - 2 m	1,33	40,48	30,34	10,52	0,02	0,05	0,18	0,01	1,64	< 0,01	0,01	18,15	101,40
GSF 42T3	2 - 3 m	1,23	39,22	31,91	10,81	< 0,01	0,06	0,22	0,02	1,61	0,16	< 0,01	15,40	99,41
GSF 42T4	3 - 4 m	1,34	41,55	30,99	10,74	< 0,01	0,05	0,23	0,02	1,67	< 0,01	< 0,01	14,56	99,81
GSF 42T5	4 - 5 m	1,22	39,77	32,72	12,12	0,20	0,11	0,36	0,04	1,71	0,07	0,01	12,63	99,74
GSF 42T6	5 - 6 m	1,86	53,95	29,03	11,66	< 0,01	0,09	0,42	0,05	1,61	< 0,01	< 0,01	2,05	98,86
GSF 42T7	6 - 7 m	1,54	44,94	29,22	11,86	< 0,01	0,09	0,49	0,05	1,61	< 0,01	< 0,01	11,52	99,78
GSF 42T8	7 - 8 m	1,54	44,58	29,02	11,54	< 0,01	0,11	0,51	0,05	1,58	0,19	0,01	12,16	99,75

ANEXO 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DOS FUROS DE TRADO NO PROSPECTO 2
(GSF 1T a 13T - via úmida; 14T a 43T - plasma ICP; teores em %)

Nr. Campo	Intervalo	Ki	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	SOMA
GSF 42T9	8 - 9 m	1,68	46,28	27,62	11,51	< 0,01	0,14	0,59	0,05	1,61	0,10	0,01	11,66	99,57
GSF 42T10	9 - 10 m	1,58	46,75	29,54	10,80	< 0,01	0,14	0,59	0,04	1,47	0,17	< 0,01	11,19	100,69
GSF 43T1	0 - 1 m	1,45	40,34	27,78	10,44	< 0,01	0,10	0,12	0,02	1,51	< 0,01	0,01	18,61	98,93
GSF 43T2	1 - 2 m	1,32	39,66	30,08	10,65	< 0,01	0,06	0,18	0,01	1,64	0,13	< 0,01	16,62	99,03
GSF 43T3	2 - 3 m	1,34	40,07	29,90	10,52	< 0,01	0,04	0,12	0,03	1,64	0,04	< 0,01	17,32	99,68
GSF 43T4	3 - 4 m	1,25	38,64	30,98	10,54	< 0,01	0,05	0,13	0,01	1,67	0,04	< 0,01	17,00	99,06
GSF 43T5	4 - 5 m	1,34	40,08	29,96	11,18	< 0,01	0,08	0,14	0,02	1,62	< 0,01	< 0,01	15,88	98,96
	MÉDIAS	1,58	42,40	28,92	11,22	0,11	0,06	0,22	0,03	1,60	0,16	0,01	14,71	99,33
	Desv pad	0,75	8,66	5,15	2,77	0,27	0,04	0,13	0,02	0,29	0,08	0,00	3,58	1,61
NA = não analisada														

ANEXO 5

RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AREIA POR ELUTRIAÇÃO

ANEXO 5
RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AREIA POR ELUTRIAÇÃO

	Amostra	Peso seco (g)	Peso areia (g)	% areia (Quartzo)	SiO₂* Total (%)	Observação
1	GSF 25T1	93,63	16,89	18,04	31,22	Alvo 3
2	GSF 25T2	93,57	17,89	19,12	32,15	
3	GSF 25T3	93,39	12,11	12,97	32,28	
4	GSF 25T4	93,63	11,69	12,49	30,76	
5	GSF 25T5	93,09	10,15	10,90	34,71	
6	GSF 28T1	92,99	29,25	31,45	N. A.	solo arenoso, típico de granito
7	GSF 29T1	93,41	11,15	11,94	34,36	Alvo 2
8	GSF 29T2	92,97	14,89	16,02	34,71	
9	GSF 29T3	93,25	10,92	11,71	31,45	
10	GSF 29T4	91,02	10,27	11,28	38,37	
11	GSF 29T5	91,66	11,56	12,61	41,78	
12	GSF 31T1	332,31	54,05	16,26	39,41	Alvo 1
13	GSF 31T2	207,25	58,98	28,46	39,27	
14	GSF31T3	361,56	80,36	22,23	36,17	
15	GSF 32T1	272,81	83,14	30,48	37,03	
16	GSF 32T2	260,48	46,36	17,80	36,51	
17	GSF 32T3	272,50	44,44	16,31	35,52	
18	GSF 32T4	294,93	53,47	18,13	34,33	
19	GSF 33T1	202,45	28,05	13,86	31,23	
20	GSF 33T2	283,93	36,20	12,75	33,48	
21	GSF 33T3	203,57	29,23	14,36	33,83	
22	GSF 33T4	265,43	30,75	11,58	30,97	
23	GSF 33T5	281,45	31,80	11,30	32,75	
24	GSF 33T6	295,05	30,40	10,30	37,55	
25	GSF 34T1	92,93	16,18	17,41	36,21	
26	GSF 34T2	91,94	16,07	17,48	36,02	
27	GSF 34T3	91,73	13,82	15,07	33,65	
28	GSF 34T4	98,30	10,62	10,80	32,97	
29	GSF 34T5	88,02	10,50	11,93	32,70	
30	GSF 34T6	93,03	9,12	9,80	35,29	
31	GSF 34T7	89,84	9,12	10,15	43,35	
32	GSF 34T8	92,05	7,34	7,97	44,64	
33	GSF 34T9	307,25	37,33	12,15	43,75	
34	GSF 34T10	261,09	34,12	13,07	46,80	
35	GSF 34T11	303,24	124,53	41,07	59,00	fundo de furo/saprolito
36	GSF 35T1	234,87	43,37	18,47	37,19	
37	GSF 35T2	236,40	46,06	19,48	36,87	
38	GSF 35T3	247,47	34,10	13,78	36,46	
39	GSF 35T4	223,73	28,69	12,82	39,46	
40	GSF 35T5	228,02	28,31	12,42	36,30	
41	GSF 35T6	224,94	28,31	12,59	43,66	
42	GSF 35T7	291,69	33,69	11,55	43,72	
43	GSF 35T8	244,50	28,89	11,82	45,29	
44	GSF 35T9	245,16	27,83	11,35	46,31	

ANEXO 5
RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AREIA POR ELUTRIAÇÃO

	Amostra	Peso seco (g)	Peso areia (g)	% areia (Quartzo)	SiO₂* Total (%)	Observação
1	GSF 25T1	93,63	16,89	18,04	31,22	Alvo 3
2	GSF 25T2	93,57	17,89	19,12	32,15	
3	GSF 25T3	93,39	12,11	12,97	32,28	
4	GSF 25T4	93,63	11,69	12,49	30,76	
5	GSF 25T5	93,09	10,15	10,90	34,71	
6	GSF 28T1	92,99	29,25	31,45	N. A.	solo arenoso, típico de granito
7	GSF 29T1	93,41	11,15	11,94	34,36	Alvo 2
8	GSF 29T2	92,97	14,89	16,02	34,71	
9	GSF 29T3	93,25	10,92	11,71	31,45	
10	GSF 29T4	91,02	10,27	11,28	38,37	
11	GSF 29T5	91,66	11,56	12,61	41,78	
12	GSF 31T1	332,31	54,05	16,26	39,41	Alvo 1
13	GSF 31T2	207,25	58,98	28,46	39,27	
14	GSF31T3	361,56	80,36	22,23	36,17	
15	GSF 32T1	272,81	83,14	30,48	37,03	
16	GSF 32T2	260,48	46,36	17,80	36,51	
17	GSF 32T3	272,50	44,44	16,31	35,52	
18	GSF 32T4	294,93	53,47	18,13	34,33	
19	GSF 33T1	202,45	28,05	13,86	31,23	
20	GSF 33T2	283,93	36,20	12,75	33,48	
21	GSF 33T3	203,57	29,23	14,36	33,83	
22	GSF 33T4	265,43	30,75	11,58	30,97	
23	GSF 33T5	281,45	31,80	11,30	32,75	
24	GSF 33T6	295,05	30,40	10,30	37,55	
25	GSF 34T1	92,93	16,18	17,41	36,21	
26	GSF 34T2	91,94	16,07	17,48	36,02	
27	GSF 34T3	91,73	13,82	15,07	33,65	
28	GSF 34T4	98,30	10,62	10,80	32,97	
29	GSF 34T5	88,02	10,50	11,93	32,70	
30	GSF 34T6	93,03	9,12	9,80	35,29	
31	GSF 34T7	89,84	9,12	10,15	43,35	
32	GSF 34T8	92,05	7,34	7,97	44,64	
33	GSF 34T9	307,25	37,33	12,15	43,75	
34	GSF 34T10	261,09	34,12	13,07	46,80	
35	GSF 34T11	303,24	124,53	41,07	59,00	fundo de furo/saprolito
36	GSF 35T1	234,87	43,37	18,47	37,19	
37	GSF 35T2	236,40	46,06	19,48	36,87	
38	GSF 35T3	247,47	34,10	13,78	36,46	
39	GSF 35T4	223,73	28,69	12,82	39,46	
40	GSF 35T5	228,02	28,31	12,42	36,30	
41	GSF 35T6	224,94	28,31	12,59	43,66	
42	GSF 35T7	291,69	33,69	11,55	43,72	
43	GSF 35T8	244,50	28,89	11,82	45,29	
44	GSF 35T9	245,16	27,83	11,35	46,31	

ANEXO 5
RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AREIA POR ELUTRIAÇÃO

	Amostra	Peso seco (g)	Peso areia (g)	% areia (Quartzo)	SiO₂* Total (%)	Observação
45	GSF 35T10	271,60	30,10	11,08	47,36	
46	GSF 35T11	256,54	35,83	13,97	47,59	
47	GSF 36T1	94,80	18,21	19,21	41,21	
48	GSF 36T2	92,41	17,43	18,86	41,33	
49	GSF 36T3	92,82	15,55	16,75	38,33	
50	GSF 36T4	91,94	14,81	16,11	38,07	
51	GSF 36T5	92,34	12,50	13,54	44,34	
52	GSF 36T6	95,47	17,52	18,35	45,16	
53	GSF 37T1	104,11	40,33	38,74	58,45	borda N do Alvo 1
54	GSF 37T2	101,63	45,37	44,64	54,27	borda N do Alvo 1
55	GSF 37T3	99,41	42,50	42,75	66,33	borda N do Alvo 1
56	GSF 38T1	272,49	97,88	35,92	57,16	borda NE do Alvo 1
57	GSF 38T2	249,75	93,80	37,56	55,82	borda NE do Alvo 1
58	GSF 38T3	184,73	43,51	23,55	46,89	borda NE do Alvo 1
59	GSF 39T1	277,46	50,85	18,33	37,66	
60	GSF 39T2	212,70	38,27	17,99	42,14	
61	GSF 39T3	173,50	27,74	15,99	39,30	
62	GSF 39T4	180,15	30,29	16,81	42,27	
63	GSF 39T5	194,50	27,80	14,29	39,31	
64	GSF 39T6	161,78	20,40	12,61	44,17	
65	GSF 39T7	152,29	23,04	15,13	48,72	
66	GSF 40T1	212,19	36,27	17,09	45,10	
67	GSF 40T2	145,91	24,86	17,04	44,03	
68	GSF 40T3	215,78	25,28	11,72	42,04	
69	GSF 40T4	149,91	15,21	10,15	46,67	
70	GSF 40T5	189,13	18,75	9,91	50,55	
71	GSF 40T6	212,33	17,72	8,35	52,44	
72	GSF 40T7	160,58	15,00	9,34	51,97	
73	GSF 40T8	181,03	16,82	9,29	53,62	
74	GSF 40T9	189,36	20,24	10,69	56,63	
75	GSF 41T1	92,31	21,04	22,79	56,79	borda W do Alvo 1
76	GSF 41T2	92,80	20,27	21,84	49,80	borda W do Alvo 1
77	GSF 41T3	95,61	9,41	9,84	44,33	borda W do Alvo 1; ferricrete
78	GSF 42T1	88,42	15,46	17,48	40,94	
79	GSF 42T2	86,77	14,11	16,26	40,48	
80	GSF 42T3	86,88	14,22	16,37	39,32	
81	GSF 42T4	89,27	8,72	9,77	41,55	
82	GSF 42T5	91,72	9,05	9,87	39,77	
83	GSF 42T6	92,94	11,37	12,23	53,95	
84	GSF 42T7	92,96	8,64	9,29	44,94	
85	GSF 42T8	93,19	8,76	9,40	44,58	
86	GSF 42T9	93,03	10,67	11,47	46,28	
87	GSF 42T10	92,68	8,17	8,82	46,75	
88	GSF 43T1	153,35	26,02	16,97	40,34	

ANEXO 5
RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AREIA POR ELUTRIAÇÃO

	Amostra	Peso seco (g)	Peso areia (g)	% areia (Quartzo)	SiO ₂ * Total (%)	Observação
89	GSF 43T2	214,73	33,43	15,57	39,66	
90	GSF 43T3	216,16	32,68	15,12	40,07	
91	GSF 43T4	210,81	29,47	13,98	38,64	
92	GSF 43T5	183,80	22,75	12,38	40,08	
	Médias	169,77	28,15	16,29	41,94	
Amostra da superfícial "argila ferruginosa" da Mina 1						
93	AFE-01	93,79	29,58	31,54	62,40	
Amostra do saprolito do Granito São Francisco						
94	GSF 01SP	118,23	66,32	56,09	69,38	
Amostra do furo TA-01 (0-1m) - Cobertura sedimentar avermelhada						
95	TA-01/1	93,37	19,01	20,36	43,72	

* - Análise química

ANEXO 6 (A a D)

CURVAS E TABELAS GRANULOMÉTRICAS DA

LATERITA DO PROSPECTO 2 - SETOR DO MACIÇO GRANÍTICO SÃO FRANCISCO

ANEXOS 6A E 6B - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO FURO GSF 35T

ANEXO 6C - TABELA GRANULOMÉTRICA DA FRAÇÃO > 1 mm DO FURO GSF 42T

ANEXO 6D - CURVAS GRANULOMÉTRICAS INSTRUMENTAIS DAS AMOSTRAS
DOS FUROS GSF 25T E GSF 42T

ANEXOS 6A E 6B - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE AMOSTRAS DO FURO GSF 35T.

6A - Curva granulométrica da amostra GSF 35T2

6B - Curva granulométrica de amostra composta do furo GSF 35T

ANEXO 6C - GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS ACIMA DE 1 mm NAS AMOSTRAS DO FURO GSF 42T
(Por peneiramento)

Amostra	massa (g) D > 4 mm	massa (g) 4 mm < D < 2,38 mm	massa (g) 2,38 mm < D < 1,68 mm	massa (g) 1,68 mm < D < 1 mm	total da massa > 1 mm	massa amostra % massa amostra
GSF42T1	0,17	0,45	1,12	3,14	4,88	69,91
%	3,48%	9,22%	22,95%	64,34%	100,00%	6,98%
GSF42T2	0,31	0,69	2,01	6,48	9,49	128,24
%	3,27%	7,27%	21,18%	68,28%	100,00%	7,40%
GSF42T3	0,17	0,30	2,17	5,13	7,77	107,92
%	2,19%	3,86%	27,93%	66,02%	100,00%	7,20%
GSF42T4	0,25	0,18	1,04	5,53	7,00	86,42
%	3,57%	2,57%	14,86%	79,00%	100,00%	8,10%
GSF42T5	-	0,22	1,39	7,68	9,29	138,66
%	-	2,37	14,96	82,67	100,00	6,70%
GSF42T6	0,04	0,41	2,69	7,87	11,01	119,67
%	0,36%	3,72%	24,43%	71,48%	100,00%	9,20%
GSF42T7	0,13	0,50	1,36	3,95	5,94	62,53
%	2,19%	8,42%	22,90%	66,50%	100,00%	9,50
GSF42T8	-	0,17	0,50	3,88	4,55	42,52
%	-	3,74	10,99	85,27	100,00%	10,70%
GSF42T9	-	0,15	1,15	4,05	5,35	42,46
%	-	2,80	21,50	75,70	100,00%	12,60%
GSF42T10	-	0,15	0,74	4,97	5,86	43,41
%	-	2,56	12,63	84,81	100,00%	13,50%
Médias (g)	0,18	0,32	1,42	5,27	7,11	84,17
% médias	2,51%	4,53%	19,92%	74,05%		
% acumulada	2,51%	7,03%	26,95%	100,00%		8,45%

ANEXO 6D

CURVAS GRANULOMÉTRICAS INSTRUMENTAIS DAS AMOSTRAS DO FURO GSF 42T

(FRAÇÃO ABAIXO DE 1 mm)

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP TEL: (011) 818-5787 e 818-5551. FAX (011) 818-5787

EXPLICAÇÕES DOS PARÂMETROS FORNECIDOS PELO MALVERN

Dados do Equipamento Utilizado

Equipamento: Droplet and Particle Analyser
Marca: MALVERN série 2.600
Princípio de Funcionamento: difração de raios laser
medida por "conventional Fourier optics"
Medida: distribuição de partículas em volume
Faixa ótima de operação: 1 a 1.000 micrômetros
precisão $\pm 4\%$ relativos

High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	Span
								1.30
118	100							D[4,3]
110	99.9							5.88 mm
102	98.7							D[3,2]
95.2								4.04 mm
								D[v,0.9]
								9.72 mm
								D[v,0.1]
								1.86 mm
Source = : Sample		Beam length = 2,4mm		Model Indp				D[v,0.5]
Focal length = 63mm		Log Diff = 2.715		Volume Conc. = 0,0179%				5.66 mm
Presentation= pil		Obscuration= 0.2612		Sp. S.A. 1.4849m ² /cc.				
		Volume distribution						

High Size	= limite superior do intervalo de diâmetro das partículas (em micrômetros)
Under %	= porcentagem passante no diâmetro limite superior do intervalo
= parâmetros operacionais
Span	= $(D[v, 0.9] + D[v, 0.1]) / D[v, 0.5]$
D[4,3]	= média da distribuição do tamanho de partícula medido pelo seu volume (em micrômetros)
D[3,2]	= média da distribuição do tamanho de partículas medido pelo sua superfície (em micrômetros)
D[v, 0.9]	= diâmetro (em micrômetros) no qual 90% das partículas passam (tamanho medido por volume)
D[v, 0.5]	= diâmetro (em micrômetros) no qual 50% das partículas passam (tamanho medido por volume)
D[v, 0.1]	= diâmetro (em micrômetros) no qual 10% das partículas passam (tamanho medido por volume)
Sp. S.A	= área de superfície específica aparente em m ² /cm ³
Model Indp	= modelo estatístico da distribuição adotado
Volume Conc.	= concentração volumétrica de partículas na suspensão analisada (em porcentagem)
Volume distribution	= base da distribuição granulométrica (tipo de medida = distribuição em volume)

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
 Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
 TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.
 e-mail: lct@poli.usp.br
 FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado: 1225/99
 Sample File: 1225-99
 Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
 Amostra: AMOSTRA:GSF42T1
 CLIENTE: FABRICA DE CIMENTO VOTORAN
 Meio de Dispersão: ÁGUA Veloc. bomba: 2500
 Dispersante: Ultrassom:

Detalhes da Amostra
 Run Number: 11
 Record Number: 12

Medida:
 Análise: Ffi 7 de May de 1999 21:25
 Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema
 Range Lens: 300RF mm Beam Length: 14.30 mm Sampler: Obscuration: 17.8 %
 Presentation: 3TJD [Particle R.I. = (2.5935, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 1.878 %
 Analysis Model: Polydisperse
 Modifications: None

Resultados Estatísticos
 Tipo de Distribution: Volume Concentração = 0.0013 %Vol Densidade = 2.650 g/cm3 Área Superf. Espec. = 0.6067 m2/g
 Diâmetros Médios: D (v, 0.1) = 1.52 µm D (v, 0.5) = 20.07 µm D (v, 0.9) = 46.55 µm
 D [4, 3] = 22.28 µm D [3, 2] = 3.73 µm Span = 2.243E+00 Uniformidade = 7.130E-01

Diam.Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam.Super. (µm)	Acum.Abaixo %	Diam.Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam.Super. (µm)	Acum.Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.11	7.72	27.16
0.06	0.01	0.07	0.01	7.72	2.32	9.00	29.47
0.07	0.02	0.08	0.03	9.00	2.60	10.48	32.08
0.08	0.03	0.09	0.06	10.48	3.02	12.21	35.10
0.09	0.05	0.11	0.11	12.21	3.62	14.22	38.72
0.11	0.06	0.13	0.17	14.22	4.40	16.57	43.12
0.13	0.09	0.15	0.26	16.57	5.35	19.31	48.47
0.15	0.11	0.17	0.37	19.31	6.38	22.49	54.86
0.17	0.15	0.20	0.52	22.49	7.32	26.20	62.18
0.20	0.19	0.23	0.71	26.20	7.95	30.53	70.12
0.23	0.24	0.27	0.95	30.53	7.98	35.56	78.10
0.27	0.27	0.31	1.22	35.56	7.26	41.43	85.36
0.31	0.31	0.36	1.52	41.43	5.91	48.27	91.27
0.36	0.41	0.42	1.93	48.27	4.30	56.23	95.57
0.42	0.50	0.49	2.43	56.23	2.71	65.51	98.28
0.49	0.61	0.58	3.05	65.51	1.26	76.32	99.54
0.58	0.76	0.67	3.81	76.32	0.33	88.91	99.88
0.67	0.91	0.78	4.71	88.91	0.08	103.58	99.96
0.78	1.04	0.91	5.75	103.58	0.01	120.67	99.97
0.91	1.16	1.06	6.91	120.67	0.01	140.58	99.98
1.06	1.26	1.24	8.17	140.58	0.01	163.77	99.99
1.24	1.33	1.44	9.49	163.77	0.01	190.80	100.00
1.44	1.36	1.68	10.86	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.38	1.95	12.24	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.39	2.28	13.63	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.41	2.65	15.03	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.44	3.09	16.48	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.50	3.60	17.98	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.59	4.19	19.57	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.70	4.88	21.27	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.82	5.69	23.09	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	1.96	6.63	25.04	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.17
 Serial Number: 33544-299

14/10/99
Prof. Dr. Henrique Kahn
 Coordenador do LCT - EPUSP

p. 10
 07 May 99 21:25

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508 - 900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado: 1226/99
Sample File: 1226-99
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Amostra: AMOSTRA:GSF42T2
CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN
Meio de Dispersão: ÁGUA Veloc. bomba: 2500
Dispersante: Ultrassom:

Detalhes da Amostra
Run Number: 22
Record Number: 12

Medida: -
Análise: Fri 7 de May de 1999 20:41
Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema
Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3TJD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 14.30 mm
[Particle R.I. = (2.5935, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler:
Obscuration: 12.6 %
Residual: 3.263 %

Resultados Estatísticos
Tipo de Distribution: Volume
Diâmetros Médios:
D [4, 3] = 9.22 μ m

Concentração = 0.0006 %Vol
D (v, 0.1) = 0.84 μ m
D [3, 2] = 2.02 μ m

Densidade = 2.650 g/cm³
D (v, 0.5) = 7.38 μ m
Span = 2.701E+00

Área Superf. Espec. = 1.1192 m²/g
D (v, 0.9) = 20.79 μ m
Uniformidade = 8.994E-01

Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.65	7.72	51.14
0.06	0.01	0.07	0.02	7.72	4.37	9.00	55.51
0.07	0.03	0.08	0.05	9.00	5.24	10.48	60.74
0.08	0.06	0.09	0.11	10.48	6.12	12.21	66.86
0.09	0.09	0.11	0.20	12.21	6.80	14.22	73.67
0.11	0.13	0.13	0.33	14.22	7.01	16.57	80.68
0.13	0.18	0.15	0.50	16.57	6.54	19.31	87.22
0.15	0.23	0.17	0.74	19.31	5.36	22.49	92.58
0.17	0.30	0.20	1.03	22.49	3.76	26.20	96.34
0.20	0.38	0.23	1.41	26.20	2.33	30.53	98.67
0.23	0.46	0.27	1.87	30.53	1.10	35.56	99.77
0.27	0.51	0.31	2.38	35.56	0.23	41.43	100.00
0.31	0.57	0.36	2.95	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.74	0.42	3.69	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.92	0.49	4.61	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.13	0.58	5.74	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.45	0.67	7.20	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.78	0.78	8.98	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.12	0.91	11.10	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.44	1.06	13.53	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.71	1.24	16.24	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.90	1.44	19.14	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	3.00	1.68	22.13	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.01	1.95	25.14	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.95	2.28	28.08	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.85	2.65	30.93	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.73	3.09	33.66	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.64	3.60	36.30	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.60	4.19	38.90	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.64	4.88	41.54	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.81	5.69	44.35	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.14	6.63	47.48	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.17
Serial Number: 33544-299

H. Kaha
Prof. Dr. Henrique Kaha
Coordenador do LCT - EPUSP

p. 8
07 May 99 20:42

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado: 1226/99

Sample File: 1227-99

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Amostra: AMOSTRA:GSF42T3

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: ÁGUA Veloc. bomba: 2500

Dispersante: Ultrassom:

Detalhes da Amostra

Run Number: 11

Record Number: 24

Medida:

Análise: Fri 7 de May de 1999 21:20

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Range Lens: 300RF mm

Presentation: 3TJD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Beam Length: 14.30 mm

[Particle R.I. = (2.5935, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler:

Obscuration: 24.1 %

Residual: 1.229 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribution: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 12.57 μ m

Concentração = 0.0011 %Vol

D (v, 0.1) = 0.78 μ m

D [3, 2] = 2.23 μ m

Densidade = 2.650 g/cm³

D (v, 0.5) = 8.75 μ m

Span = 3.331E+00

Área Superf. Espec. = 1.0174 m²/g

D (v, 0.9) = 29.92 μ m

Uniformidade = 1.111E+00

Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.98	7.72	47.31
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.33	9.00	50.64
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.78	10.48	54.42
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.29	12.21	58.71
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.84	14.22	63.55
0.11	0.02	0.13	0.02	14.22	5.34	16.57	68.89
0.13	0.04	0.15	0.07	16.57	5.70	19.31	74.59
0.15	0.09	0.17	0.16	19.31	5.77	22.49	80.36
0.17	0.16	0.20	0.32	22.49	5.46	26.20	85.82
0.20	0.28	0.23	0.60	26.20	4.75	30.53	90.58
0.23	0.44	0.27	1.04	30.53	3.77	35.56	94.35
0.27	0.57	0.31	1.61	35.56	2.73	41.43	97.08
0.31	0.73	0.36	2.35	41.43	1.73	48.27	98.80
0.36	1.01	0.42	3.36	48.27	0.81	56.23	99.62
0.42	1.27	0.49	4.63	56.23	0.19	65.51	99.80
0.49	1.52	0.58	6.15	65.51	0.01	76.32	99.82
0.58	1.85	0.67	8.00	76.32	0.01	88.91	99.82
0.67	2.11	0.78	10.11	88.91	0.01	103.58	99.84
0.78	2.30	0.91	12.42	103.58	0.02	120.67	99.86
0.91	2.46	1.06	14.88	120.67	0.04	140.58	99.90
1.06	2.56	1.24	17.44	140.58	0.04	163.77	99.94
1.24	2.60	1.44	20.04	163.77	0.03	190.80	99.97
1.44	2.57	1.68	22.61	190.80	0.02	222.28	99.99
1.68	2.50	1.95	25.11	222.28	0.01	258.95	100.00
1.95	2.41	2.28	27.52	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.34	2.65	29.86	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.29	3.09	32.15	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.27	3.60	34.42	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.30	4.19	36.72	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.38	4.88	39.10	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.52	5.69	41.61	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.71	6.63	44.33	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: ++(44) (0)1684-892456 Fax: ++(44) (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.17
Serial Number: 33544-299

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador de LCT - EPUSP

p. 9
07 May 99 21:20

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1228/99

Arquivo: 1228-99

Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Notas: AMOSTRA: GSF42T4

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: água bomba: 2500rpm

Dispersante:

Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra

Run Number: 11

Record Number: 12

Medida:

Análise: Wed 5 de May de 1999 10:22

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Sampler:

Presentation: SUHD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

[Particle R.I. = (3.1255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 19.5 %

Residual: 0.393 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 63.49 µm

Concentração = 0.0129 %Vol

D (v, 0.1) = 1.64 µm

D [3, 2] = 5.14 µm

Densidade = 2.650 g/cm³

D (v, 0.5) = 27.21 µm

Span = 6.959E+00

Área Superf. Espec. = 0.4405 m²/g

D (v, 0.9) = 191.01 µm

Uniformidade = 2.002E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	1.87	6.63	25.82
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	1.94	7.72	27.76
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.02	9.00	29.78
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	2.13	10.48	31.91
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	2.26	12.21	34.17
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	2.44	14.22	36.61
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	2.67	16.57	39.28
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	2.94	19.31	42.22
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	3.26	22.49	45.48
0.20	0.00	0.23	0.00	22.49	3.58	26.20	49.06
0.23	0.00	0.27	0.00	26.20	3.88	30.53	52.94
0.27	0.06	0.31	0.06	30.53	4.11	35.56	57.05
0.31	0.15	0.36	0.21	35.56	4.23	41.43	61.28
0.36	0.26	0.42	0.47	41.43	4.20	48.27	65.48
0.42	0.41	0.49	0.88	48.27	4.02	56.23	69.51
0.49	0.55	0.58	1.42	56.23	3.71	65.51	73.22
0.58	0.72	0.67	2.14	65.51	3.31	76.32	76.53
0.67	0.94	0.78	3.08	76.32	2.88	88.91	79.41
0.78	1.13	0.91	4.21	88.91	2.49	103.58	81.90
0.91	1.30	1.06	5.51	103.58	2.19	120.67	84.10
1.06	1.47	1.24	6.98	120.67	2.01	140.58	86.11
1.24	1.59	1.44	8.57	140.58	1.94	163.77	88.05
1.44	1.66	1.68	10.23	163.77	1.94	190.80	89.99
1.68	1.70	1.95	11.93	190.80	1.95	222.28	91.94
1.95	1.70	2.28	13.63	222.28	1.93	258.95	93.87
2.28	1.69	2.65	15.32	258.95	1.83	301.68	95.70
2.65	1.68	3.09	17.00	301.68	1.61	351.46	97.31
3.09	1.68	3.60	18.69	351.46	1.31	409.45	98.62
3.60	1.71	4.19	20.40	409.45	0.94	477.01	99.56
4.19	1.75	4.88	22.15	477.01	0.44	555.71	100.00
4.88	1.81	5.69	23.95

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT-EPUSP

p. 9
05 May 99 10:22

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.
e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1229/99

Arquivo: 1229-99

Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Notas: AMOSTRA: GSF42T5

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: água bomba: 2500rpm

Dispersante: Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra

Run Number: 20

Record Number: 21

Medida:

Análise: Wed 5 de May de 1999 11:43

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Sampler:

Presentation: 5UHD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

[Particle R.I. = (3.1255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 31.3 %

Residual: 0.305 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 50.70 µm

Concentração = 0.0178 %Vol

D (v, 0.1) = 1.45 µm

D [3, 2] = 4.17 µm

Densidade = 2.650 g / cm³

D (v, 0.5) = 17.32 µm

Span = 8.493E+00

Área Superf. Espec. = 0.5428 m² / g

D (v, 0.9) = 148.55 µm

Uniformidade = 2.626E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.42	6.63	35.33
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	2.32	7.72	37.65
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.25	9.00	39.90
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	2.23	10.48	42.13
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	2.26	12.21	44.39
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	2.35	14.22	46.74
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	2.50	16.57	49.24
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	2.70	19.31	51.94
0.17	0.01	0.20	0.01	19.31	2.92	22.49	54.86
0.20	0.02	0.23	0.03	22.49	3.15	26.20	58.01
0.23	0.06	0.27	0.09	26.20	3.36	30.53	61.37
0.27	0.10	0.31	0.19	30.53	3.53	35.56	64.90
0.31	0.17	0.36	0.36	35.56	3.61	41.43	68.51
0.36	0.27	0.42	0.63	41.43	3.58	48.27	72.10
0.42	0.39	0.49	1.02	48.27	3.43	56.23	75.53
0.49	0.59	0.58	1.61	56.23	3.16	65.51	78.69
0.58	0.78	0.67	2.38	65.51	2.81	76.32	81.50
0.67	0.99	0.78	3.37	76.32	2.43	88.91	83.92
0.78	1.26	0.91	4.63	88.91	2.07	103.58	86.00
0.91	1.52	1.06	6.15	103.58	1.80	120.67	87.80
1.06	1.77	1.24	7.92	120.67	1.63	140.58	89.43
1.24	2.01	1.44	9.93	140.58	1.56	163.77	90.99
1.44	2.22	1.68	12.16	163.77	1.54	190.80	92.54
1.68	2.40	1.95	14.55	190.80	1.54	222.28	94.08
1.95	2.53	2.28	17.09	222.28	1.49	258.95	95.57
2.28	2.63	2.65	19.71	258.95	1.38	301.68	96.95
2.65	2.68	3.09	22.39	301.68	1.19	351.46	98.13
3.09	2.70	3.60	25.09	351.46	0.93	409.45	99.07
3.60	2.67	4.19	27.77	409.45	0.65	477.01	99.71
4.19	2.62	4.88	30.38	477.01	0.29	555.71	100.00
4.88	2.53	5.69	32.91

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador de LCT-EPUSP

p. 3
05 May 99 11:43

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1230/99

Arquivo: 1230-99

Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Notas: AMOSTRA: GSF42T6

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: água bomba: 2500rpm

Dispersante: Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra

Run Number: 13

Record Number: 14

Medida:

Análise: Wed 5 de May de 1999 12:50

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Sampler:

Presentation: 5UHD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

{Particle R.I. = (3.1255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300}

Measured Beam Obscuration: 24.1 %

Residual: 0.497 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 41.06 µm

Concentração = 0.0151 %Vol

D (v, 0.1) = 1.50 µm

D [3, 2] = 4.52 µm

Densidade = 2.650 g/cm³

D (v, 0.5) = 21.96 µm

Span = 4.364E+00

Área Superf. Espec. = 0.5012 m²/g

D (v, 0.9) = 97.32 µm

Uniformidade = 1.555E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.10	6.63	30.16
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	2.12	7.72	32.28
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.16	9.00	34.45
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	2.23	10.48	36.68
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	2.34	12.21	39.02
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	2.49	14.22	41.51
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	2.71	16.57	44.22
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	2.99	19.31	47.21
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	3.33	22.49	50.55
0.20	0.00	0.23	0.00	22.49	3.72	26.20	54.27
0.23	0.04	0.27	0.05	26.20	4.12	30.53	58.39
0.27	0.10	0.31	0.14	30.53	4.50	35.56	62.89
0.31	0.18	0.36	0.32	35.56	4.77	41.43	67.66
0.36	0.29	0.42	0.61	41.43	4.88	48.27	72.54
0.42	0.43	0.49	1.05	48.27	4.74	56.23	77.28
0.49	0.60	0.58	1.65	56.23	4.36	65.51	81.64
0.58	0.78	0.67	2.43	65.51	3.77	76.32	85.41
0.67	0.99	0.78	3.42	76.32	3.09	88.91	88.49
0.78	1.22	0.91	4.64	88.91	2.43	103.58	90.92
0.91	1.43	1.06	6.07	103.58	1.89	120.67	92.81
1.06	1.63	1.24	7.70	120.67	1.49	140.58	94.30
1.24	1.80	1.44	9.50	140.58	1.23	163.77	95.53
1.44	1.93	1.68	11.43	163.77	1.07	190.80	96.60
1.68	2.01	1.95	13.44	190.80	0.94	222.28	97.54
1.95	2.06	2.28	15.50	222.28	0.80	258.95	98.34
2.28	2.08	2.65	17.59	258.95	0.64	301.68	98.98
2.65	2.09	3.09	19.68	301.68	0.47	351.46	99.46
3.09	2.09	3.60	21.77	351.46	0.31	409.45	99.77
3.60	2.09	4.19	23.86	409.45	0.16	477.01	99.93
4.19	2.10	4.88	25.95	477.01	0.07	555.71	100.00
4.88	2.10	5.69	28.05

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

A/Kahn
Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT - EPUSP

p. 4
05 May 99 12:50

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado: 1231/99

Sample File: 1231-99

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Amostra: AMOSTRA:GSF42T7

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: ÁGUA Veloc. bomba: 2500

Dispersante:

Ultrassom:

Detalhes da Amostra

Run Number: 11

Record Number: 12

Medida:

Análise: Fri 7 de May de 1999 17:49

Fonte de Resultados: Média

Range Lens: 300RF mm

Presentation: 3TJD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Beam Length: 14.30 mm

[Particle R.I. = (2.5935, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler:

Obscuration: 11.1 %

Residual: 2.825 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribution: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 3.10 µm

Concentração = 0.0002 %Vol

D (v, 0.1) = 0.29 µm

D [3, 2] = 0.79 µm

Densidade = 2.650 g/cm³

D (v, 0.5) = 1.96 µm

Span = 3.730E+00

Área Superf. Espec. = 2.8623 m²/g

D (v, 0.9) = 7.59 µm

Uniformidade = 1.158E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.04	0.06	0.04	6.63	4.26	7.72	90.45
0.06	0.11	0.07	0.15	7.72	3.51	9.00	93.96
0.07	0.23	0.08	0.38	9.00	2.66	10.48	96.62
0.08	0.39	0.09	0.77	10.48	1.83	12.21	98.45
0.09	0.57	0.11	1.33	12.21	1.10	14.22	99.55
0.11	0.76	0.13	2.09	14.22	0.45	16.57	100.00
0.13	0.96	0.15	3.06	16.57	0.00	19.31	100.00
0.15	1.17	0.17	4.22	19.31	0.00	22.49	100.00
0.17	1.38	0.20	5.60	22.49	0.00	26.20	100.00
0.20	1.59	0.23	7.18	26.20	0.00	30.53	100.00
0.23	1.74	0.27	8.93	30.53	0.00	35.56	100.00
0.27	1.77	0.31	10.70	35.56	0.00	41.43	100.00
0.31	1.81	0.36	12.51	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	2.02	0.42	14.52	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	2.21	0.49	16.73	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	2.45	0.58	19.19	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	2.84	0.67	22.02	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	3.23	0.78	25.25	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	3.60	0.91	28.85	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	3.93	1.06	32.78	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	4.18	1.24	36.96	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	4.32	1.44	41.28	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	4.36	1.68	45.64	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	4.32	1.95	49.96	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	4.26	2.28	54.22	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.23	2.65	58.45	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	4.28	3.09	62.72	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.41	3.60	67.14	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.62	4.19	71.76	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.81	4.88	76.57	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.89	5.69	81.46	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.73	6.63	86.19	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.

Malvern, UK

Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.17

Serial Number: 33544-299

H. Kaha
Prof. Dr. Henrique Kaha
Coordenador do LCT - EPUSP

p.
07 May 99 17:5

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.
e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado: 1232/99
Sample File: 1232-99
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\I
Amostra: AMOSTRA:GSF42T8
CLIENTE: FABRICA DE CIMENTO VOTORAN
Meio de Dispersão: ÁGUA Veloc. bomba: 2500
Dispersante: Ultrassom:

Detalhes da Amostra
Run Number: 12
Record Number: 22

Medida: -
Análise: Fri 7 de May de 1999 17:36
Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 14.30 mm Sampler: Obscuration: 10.6 %
Presentation: 3TJD [Particle R.I. = (2.5935, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 2.657 %
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Resultados Estatísticos
Tipo de Distribution: Volume Concentração = 0.0003 %Vol Densidade = 2.650 g/cm³ Área Superf. Espec. = 1.4509 m²/g
Diâmetros Médios: D (v, 0.1) = 0.67 µm D (v, 0.5) = 6.76 µm D (v, 0.9) = 35.20 µm
D [4, 3] = 13.02 µm D [3, 2] = 1.56 µm Span = 5.105E+00 Uniformidade = 1.559E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	3.78	7.72	53.27
0.06	0.07	0.07	0.09	7.72	3.69	9.00	56.97
0.07	0.13	0.08	0.22	9.00	3.51	10.48	60.48
0.08	0.20	0.09	0.41	10.48	3.30	12.21	63.78
0.09	0.27	0.11	0.68	12.21	3.17	14.22	66.95
0.11	0.35	0.13	1.04	14.22	3.19	16.57	70.13
0.13	0.43	0.15	1.47	16.57	3.40	19.31	73.54
0.15	0.51	0.17	1.98	19.31	3.79	22.49	77.32
0.17	0.59	0.20	2.56	22.49	4.20	26.20	81.52
0.20	0.66	0.23	3.23	26.20	4.45	30.53	85.97
0.23	0.73	0.27	3.96	30.53	4.30	35.56	90.27
0.27	0.75	0.31	4.71	35.56	3.68	41.43	93.95
0.31	0.79	0.36	5.49	41.43	2.78	48.27	96.73
0.36	0.90	0.42	6.39	48.27	1.86	56.23	98.59
0.42	1.02	0.49	7.41	56.23	1.00	65.51	99.59
0.49	1.17	0.58	8.58	65.51	0.38	76.32	99.97
0.58	1.39	0.67	9.97	76.32	0.03	88.91	100.00
0.67	1.63	0.78	11.60	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.86	0.91	13.46	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.07	1.06	15.53	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.25	1.24	17.77	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.37	1.44	20.15	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.45	1.68	22.60	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.50	1.95	25.10	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.53	2.28	27.63	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.59	2.65	30.22	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.69	3.09	32.91	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.86	3.60	35.77	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.08	4.19	38.86	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.34	4.88	42.19	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.57	5.69	45.76	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.73	6.63	49.50	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.17
Serial Number: 33544-299

Prof. Dr. Henrique Kehn
Coordenador do LCT - EPUsp

p. 5
07 May 99 17:37

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1233/99
Arquivo: 1233-99
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\
Notas: AMOSTRA: GSF42T9
CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN
Meio de Dispersão: água bomba: 2500rpm
Dispersante: Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra
Run Number: 11
Record Number: 12

Medida:
Análise: Wed 5 de May de 1999 10:56
Fonte de Resultados: Média

Sampler:
Presentation: 5UHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Detalhes do Sistema
[Particle R.I. = (3.1255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 28.1 %
Residual: 0.496 %

Resultados Estatísticos
Tipo de Distribuição: Volume
Diâmetros Médios:
D [4, 3] = 36.45 µm
Concentração = 0.0155 %Vol
D (v, 0.1) = 1.43 µm
D [3, 2] = 4.16 µm
Densidade = 2.650 g / cm³
D (v, 0.5) = 16.59 µm
Span = 4.931E+00
Área Superf. Espec. = 0.5445 m² / g
D (v, 0.9) = 83.26 µm
Uniformidade = 1.872E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.48	6.63	33.93
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	2.49	7.72	36.42
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.51	9.00	38.93
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	2.57	10.48	41.50
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	2.66	12.21	44.16
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	2.81	14.22	46.96
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	3.01	16.57	49.97
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	3.27	19.31	53.24
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	3.57	22.49	56.80
0.20	0.00	0.23	0.00	22.49	3.88	26.20	60.69
0.23	0.04	0.27	0.05	26.20	4.18	30.53	64.87
0.27	0.10	0.31	0.15	30.53	4.41	35.56	69.28
0.31	0.20	0.36	0.35	35.56	4.49	41.43	73.77
0.36	0.32	0.42	0.67	41.43	4.38	48.27	78.15
0.42	0.49	0.49	1.15	48.27	4.06	56.23	82.21
0.49	0.61	0.58	1.76	56.23	3.54	65.51	85.75
0.58	0.80	0.67	2.57	65.51	2.90	76.32	88.65
0.67	1.04	0.78	3.61	76.32	2.24	88.91	90.89
0.78	1.28	0.91	4.89	88.91	1.66	103.58	92.55
0.91	1.51	1.06	6.40	103.58	1.23	120.67	93.78
1.06	1.74	1.24	8.14	120.67	0.97	140.58	94.76
1.24	1.94	1.44	10.07	140.58	0.86	163.77	95.62
1.44	2.10	1.68	12.18	163.77	0.85	190.80	96.47
1.68	2.23	1.95	14.41	190.80	0.85	222.28	97.32
1.95	2.32	2.28	16.73	222.28	0.81	258.95	98.13
2.28	2.39	2.65	19.12	258.95	0.71	301.68	98.85
2.65	2.43	3.09	21.55	301.68	0.55	351.46	99.40
3.09	2.46	3.60	24.00	351.46	0.36	409.45	99.76
3.60	2.47	4.19	26.48	409.45	0.19	477.01	99.95
4.19	2.48	4.88	28.96	477.01	0.05	555.71	100.00
4.88	2.49	5.69	31.45

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

H. Kahn
Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador de LCT - EPUSP

p. 2
05 May 99 11:19

LCT Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.
e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1234/99
Arquivo: 1234-99
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Notas: AMOSTRA: GSF42T10

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: água bomba: 2500rpm

Dispersante: Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra

Run Number: 10

Record Number: 11

Medida:

Análise: Wed 5 de May de 1999 10:46

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Sampler:

Presentation: 5UHD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

[Particle R.I. = (3.1255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 12.1 %

Residual: 0.456 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 55.55 µm

Concentração = 0.0072 %Vol

D (v, 0.1) = 1.76 µm

D [3, 2] = 5.20 µm

Densidade = 2.650 g / cm³

D (v, 0.5) = 24.25 µm

Span = 5.988E+00

Área Superf. Espec. = 0.4357 m² / g

D (v, 0.9) = 146.95 µm

Uniformidade = 1.925E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.05	6.63	24.10
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	2.23	7.72	26.33
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.41	9.00	28.74
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	2.60	10.48	31.34
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	2.81	12.21	34.15
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	3.03	14.22	37.19
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	3.29	16.57	40.47
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	3.58	19.31	44.05
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	3.90	22.49	47.95
0.20	0.00	0.23	0.00	22.49	4.23	26.20	52.19
0.23	0.03	0.27	0.03	26.20	4.53	30.53	56.71
0.27	0.10	0.31	0.14	30.53	4.74	35.56	61.46
0.31	0.19	0.36	0.33	35.56	4.81	41.43	66.27
0.36	0.30	0.42	0.63	41.43	4.71	48.27	70.98
0.42	0.43	0.49	1.05	48.27	4.40	56.23	75.37
0.49	0.59	0.58	1.64	56.23	3.89	65.51	79.26
0.58	0.74	0.67	2.38	65.51	3.25	76.32	82.51
0.67	0.91	0.78	3.29	76.32	2.57	88.91	85.08
0.78	1.05	0.91	4.34	88.91	1.95	103.58	87.03
0.91	1.18	1.06	5.52	103.58	1.47	120.67	88.50
1.06	1.29	1.24	6.80	120.67	1.18	140.58	89.68
1.24	1.36	1.44	8.16	140.58	1.08	163.77	90.76
1.44	1.40	1.68	9.56	163.77	1.12	190.80	91.89
1.68	1.41	1.95	10.97	190.80	1.23	222.28	93.12
1.95	1.42	2.28	12.39	222.28	1.34	258.95	94.46
2.28	1.43	2.65	13.82	258.95	1.39	301.68	95.86
2.65	1.46	3.09	15.28	301.68	1.35	351.46	97.21
3.09	1.52	3.60	16.80	351.46	1.21	409.45	98.42
3.60	1.61	4.19	18.41	409.45	1.02	477.01	99.44
4.19	1.74	4.88	20.15	477.01	0.56	555.71	100.00
4.88	1.89	5.69	22.04

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

H. Kahn
Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador de LCT - EPUSP

p. 1
05 May 99 10:47

ANEXO 7

RESUMO DO CÁLCULO PRELIMINAR DE RESERVA DO ALVO 1 - FAZENDA VENTANIA

ANEXO 7 - RESUMO DO CÁLCULO PRELIMINAR DE RESERVA DO ALVO 1 - FAZENDA VENTANIA
(Descontados 0,5 m superior de solo para recomposição do terreno)

Triângulo	Furos	Área (m ²)	Espessura média (m)	Volume <i>in situ</i> (m ³)	Tonelagem (p.e.=1,63)	Teor médio SiO ₂ (%)	Teor médio Al ₂ O ₃ (%)	Teor médio Fe ₂ O ₃ (%)	Teor médio MgO (%)	Teor médio K ₂ O (%)	Teor médio TiO ₂ (%)
1	12-36-37	29.213	3,20	93.482	152.375	49,44	24,19	10,72	0,06	0,18	1,04
2	36-37-38	24.750	3,50	86.625	141.199	48,65	24,11	11,95	0,07	0,21	1,18
3	12-36-41	31.250	3,20	100.000	163.000	46,88	25,56	10,64	0,07	0,15	1,21
4	36-40-41	17.500	5,50	96.250	156.888	46,61	26,48	10,19	0,07	0,22	1,42
5	35-36-40	8.050	8,00	64.400	104.972	44,55	28,56	10,22	0,06	0,28	1,57
6	35-36-39	12.600	7,30	91.980	149.927	41,44	29,89	10,59	0,06	0,22	1,64
7	36-38-39	23.100	4,80	110.880	180.734	43,65	27,48	10,96	0,07	0,15	1,44
8	38-39-43	15.125	4,50	68.063	110.942	43,48	27,40	10,88	0,05	0,16	1,44
9	40-41-42	12.400	6,80	84.320	137.442	46,94	27,16	9,96	0,06	0,31	1,46
10	35-40-42	6.000	9,30	55.800	90.954	44,70	28,89	10,12	0,05	0,33	1,58
11	35-39-42	4.675	8,70	40.673	66.296	42,47	29,44	10,34	0,05	0,30	1,64
12	39-42-43	13.500	6,80	91.800	149.634	42,32	29,52	10,13	0,07	0,20	1,59
13*	11-41-42	21.750	4,50	97.875	159.536	47,49	25,68	10,67	0,06	0,30	1,32
14	11-33-42	53.200	5,50	292.600	476.938	42,29	29,76	11,68	0,06	0,26	1,56
15	34-42-43	25.125	8,00	201.000	327.630	40,87	30,79	10,90	0,07	0,28	0,95
16	06-34-43	22.400	5,30	118.720	193.514	38,08	31,49	11,53	0,04	0,18	1,51
17	33-34-42	28.050	8,30	232.815	379.488	39,36	31,85	11,70	0,06	0,27	1,75
18	06-15-34	9.750	4,30	41.925	68.338	38,05	31,62	11,67	0,04	0,20	1,49
19	15-33-34	10.213	5,60	57.193	93.224	37,22	32,53	12,40	0,04	0,20	1,82
20	14-15-33	10.600	2,80	29.680	48.378	37,52	31,41	12,68	0,04	0,11	1,85
21	14-31-33	24.300	3,20	77.760	126.749	36,49	31,39	13,14	0,02	0,10	1,81
22	05-31-33	17.400	3,80	66.120	107.776	37,97	30,41	12,64	0,02	0,09	1,28
23	05-11-33	17.100	3,50	59.850	97.556	41,80	28,12	12,43	0,02	0,06	1,00
24	05-11-31	4.000	2,50	10.000	16.300	46,29	25,97	12,73	0,01	0,08	0,66
Total		442.051		2.269.809	3.699.789						
Médias			5,37			42,56**	29,02**	11,22**	0,06**	0,22**	1,44**

*- considerando o desconto de 29.072 m2 de área desfavorável (brejo)
**- médias ponderadas pelos volumes dos prismas de base triangular

ANEXO 8

**CURVAS GRANULOMÉTRICAS INSTRUMENTAIS DAS AMOSTRAS
DE FARINHA FN-01 (SEM O USO DA LATERITA) E FT-01 (TESTE 1)**

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1205/99
Arquivo: 1205-99
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Detalhes da Amostra
Run Number: 11
Record Number: 12

Medida: -
Análise: Fri 30 de Apr de 1999 15:43
Fonte de Resultados: Média

Notas: AMOSTRA:FN-01
CLIENTE:FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN
Meio de Dispersão:ÁGUA bomba: 2500rpm
Dispersante: Ultrasson: 30seg

Sampler:
Presentation: 50HD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Detalhes do Sistema
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 18.1 %
Residual: 0.391 %

Resultados Estatísticos
Tipo de Distribuição: Volume
Diâmetros Médios:
D [4, 3] = 27.45 μ m
Concentração = 0.0103 %Vol
D (v, 0.1) = 0.60 μ m
D [3, 2] = 1.90 μ m
Densidade = 2.650 g / cm³
D (v, 0.5) = 11.07 μ m
Span = 6.637E+00
Área Superf. Espec. = 1.1940 m² / g
D (v, 0.9) = 74.04 μ m
Uniformidade = 2.146E+00

Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (μ m)	No Intervalo %	Diam. Super. (μ m)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.84	6.63	38.93
0.06	0.00	0.07	0.01	6.63	3.06	7.72	41.98
0.07	0.01	0.08	0.02	7.72	3.27	9.00	45.25
0.08	0.02	0.09	0.04	9.00	3.47	10.48	48.72
0.09	0.05	0.11	0.09	10.48	3.65	12.21	52.37
0.11	0.10	0.13	0.19	12.21	3.80	14.22	56.17
0.13	0.19	0.15	0.38	14.22	3.89	16.57	60.07
0.15	0.33	0.17	0.71	16.57	3.92	19.31	63.99
0.17	0.53	0.20	1.25	19.31	3.86	22.49	67.84
0.20	0.79	0.23	2.04	22.49	3.71	26.20	71.55
0.23	1.06	0.27	3.10	26.20	3.49	30.53	75.03
0.27	1.27	0.31	4.37	30.53	3.22	35.56	78.26
0.31	1.36	0.36	5.74	35.56	2.94	41.43	81.20
0.36	1.36	0.42	7.09	41.43	2.67	48.27	83.86
0.42	1.33	0.49	8.42	48.27	2.41	56.23	86.27
0.49	1.30	0.58	9.72	56.23	2.16	65.51	88.43
0.58	1.24	0.67	10.96	65.51	1.93	76.32	90.37
0.67	1.24	0.78	12.20	76.32	1.72	88.91	92.09
0.78	1.30	0.91	13.51	88.91	1.53	103.58	93.62
0.91	1.39	1.06	14.89	103.58	1.37	120.67	94.99
1.06	1.48	1.24	16.37	120.67	1.24	140.58	96.22
1.24	1.58	1.44	17.96	140.58	1.10	163.77	97.32
1.44	1.65	1.68	19.61	163.77	0.93	190.80	98.26
1.68	1.69	1.95	21.30	190.80	0.74	222.28	99.00
1.95	1.75	2.28	23.06	222.28	0.54	258.95	99.53
2.28	1.82	2.65	24.87	258.95	0.34	301.68	99.87
2.65	1.91	3.09	26.78	301.68	0.13	351.46	100.00
3.09	2.04	3.60	28.83	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	2.22	4.19	31.05	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	2.42	4.88	33.46	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	2.63	5.69	36.09

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

H. Kohn
Prof. Dr. Henrique Kohn
Coordenador do LCT - EPUSP

p. 9
30 Apr 99 15:45

LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (011) 818-5151, 818-5551 e 818-5787.

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (011) 815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Histórico: Certificado 1206/99

Arquivo: 1206-99

Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Notas: AMOSTRA: FT-01

CLIENTE: FÁBRICA DE CIMENTO VOTORAN

Meio de Dispersão: ÁGUA

Dispersante:

bomba: 2500rpm

Ultrasson: 30seg

Detalhes da Amostra

Run Number: 11

Record Number: 12

Medida:

Análise: Fri 30 de Apr de 1999 15:38

Fonte de Resultados: Média

Detalhes do Sistema

Sampler:

Presentation: 50HD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Measured Beam Obscuration: 26.9 %

Residual: 0.305 %

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Diâmetros Médios:

D [4, 3] = 27.56 µm

Concentração = 0.0151 %Vol

D (v, 0.1) = 0.54 µm

D [3, 2] = 1.80 µm

Densidade = 2.650 g/cm³

D (v, 0.5) = 10.34 µm

Span = 7.054E+00

Área Superf. Espec. = 1.2549 m²/g

D (v, 0.9) = 73.46 µm

Uniformidade = 2.336E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.91	6.63	40.50
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	3.11	7.72	43.61
0.07	0.01	0.08	0.01	7.72	3.28	9.00	46.89
0.08	0.02	0.09	0.03	9.00	3.42	10.48	50.31
0.09	0.04	0.11	0.07	10.48	3.54	12.21	53.86
0.11	0.09	0.13	0.17	12.21	3.63	14.22	57.48
0.13	0.18	0.15	0.35	14.22	3.67	16.57	61.15
0.15	0.33	0.17	0.68	16.57	3.65	19.31	64.80
0.17	0.55	0.20	1.23	19.31	3.57	22.49	68.37
0.20	0.84	0.23	2.07	22.49	3.44	26.20	71.82
0.23	1.17	0.27	3.24	26.20	3.27	30.53	75.09
0.27	1.43	0.31	4.66	30.53	3.09	35.56	78.18
0.31	1.53	0.36	6.19	35.56	2.89	41.43	81.07
0.36	1.51	0.42	7.70	41.43	2.69	48.27	83.75
0.42	1.46	0.49	9.16	48.27	2.47	56.23	86.23
0.49	1.41	0.58	10.57	56.23	2.25	65.51	88.47
0.58	1.32	0.67	11.89	65.51	2.00	76.32	90.48
0.67	1.29	0.78	13.18	76.32	1.76	88.91	92.24
0.78	1.34	0.91	14.52	88.91	1.52	103.58	93.75
0.91	1.41	1.06	15.93	103.58	1.31	120.67	95.06
1.06	1.51	1.24	17.44	120.67	1.14	140.58	96.21
1.24	1.61	1.44	19.05	140.58	0.99	163.77	97.20
1.44	1.68	1.68	20.73	163.77	0.84	190.80	98.04
1.68	1.72	1.95	22.45	190.80	0.69	222.28	98.73
1.95	1.78	2.28	24.23	222.28	0.54	258.95	99.27
2.28	1.84	2.65	26.07	258.95	0.39	301.68	99.66
2.65	1.95	3.09	28.02	301.68	0.23	351.46	99.90
3.09	2.09	3.60	30.11	351.46	0.09	409.45	99.99
3.60	2.28	4.19	32.39	409.45	0.01	477.01	100.00
4.19	2.49	4.88	34.88	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	2.71	5.69	37.59

SAAL - South American Application Laboratory
A LCT-EPUSP, Malvern and Altmann co-operation

Mastersizer Microplus Ver. 2.17
Serial Number: 33850-42

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador de LCT - EPUSP.

p. 8
30 Apr 99 15:40