

**Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE**

**“ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DO REJEITO INDUSTRIAL DE MÁRMORES
E GRANITOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA E NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

por

Farah Diba da Silva

Geógrafa

Especializada em Geografia do Brasil

**Orientador: Profa. Dra. Felisbela Maria da Costa Oliveira
Engenheira Civil**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza
Engenheiro de Minas**

Recife, 2009

S586e

Silva, Farah Diba da.

Estudo da reutilização do rejeito industrial de mármore e granitos na indústria cerâmica e na construção civil / Farah Diba da Silva. - Recife: O Autor, 2009.

xiv, 171 folhas, il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2009.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Rejeito Industrial. 3. Meio Ambiente. 4. Cerâmica Vermelha. I. Título.

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2010-083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
FARAH DIBA DA SILVA

**“ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DO REJEITO
INDUSTRIAL DE MÁRMORES E GRANITOS NA
INDÚSTRIA CERÂMICA E NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do
Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira, considera a candidata.

FARAH DIBA DA SILVA, Aprovada.

Recife, 16 de outubro de 2009.

Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira (Primeiro Examinador-Interno) UFPE

Dr. Armando Hideki Shinohara (Segundo Examinador-Externo)UFPE

Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos (Terceiro Examinador interno) – UFPE

“Vós tudo perverteis! Como se o oleiro fosse igual ao barro, e a obra dissesse do seu artífice: Não me fez; e o vaso formado dissesse do seu oleiro: nada sabe¹. Ai daquele que contende com o seu criador!... Porventura dirá o barro ao que o formou: Que fazes? Ou a tua obra: Não tens mãos? ²”

Bíblia Sagrada: Isaias ¹cap.29, ver.16 e ²cap.45 ver.9.

AGRADECIMENTOS

Gratidão primeiramente a Deus, por toda a sua bondade.

A minha querida mãe Mara Lane Wenceslau da Silva, que sempre me apoiou juntamente com meu pai Benjamim Silvério da Silva e a meus irmãos e irmãs, pelo incentivo e carinho em todos os momentos de minha vida.

A Orientadora Prof^a. Dra. Engenheira Civil Felisbela Maria da Costa Oliveira, pela amizade, confiança e apoio fundamental no desenvolvimento desta dissertação. Contribuindo com seus conhecimentos indispensáveis para a minha formação profissional e pessoal.

Ao Prof. Dr. Engenheiro de Minas Júlio César de Souza por sua disponibilidade como co-orientador e pelo apoio como Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (PPGEMinas), desta Universidade, sempre cooperando para o sucesso desta por seu incentivo neste desafio. E que juntamente aos Professores Doutores José Lins Rolim Filho, Valdir Vaz Manso, Eldemar de Albuquerque Menor, pessoas especiais, que contribuíram muito para o alcance dos meus objetivos.

A Voleide Barros F. Gomes, secretária do PPGEMinas, por sua amizade e sua incansável dedicação durante todo o período do mestrado.

Aos Professores do PPGEMinas e dos departamentos de Engenharia de Minas e de Geologia: Áureo Octávio Del Vecchio Machado, Carlos Adolpho Baltar, Pedro L. Guzzo, Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros, Robson Ribeiro Lima, Evenildo Bezerra de Melo, que direta ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos que fazem os Laboratórios de Solos e Instrumentação: Severino Costa da Silva, Gutemberg Francisco da Silva, Antonio Brito, Prof. Joaquim e ao Prof. Washington de Moura Amorim Júnior. Aos Colegas do LTM – Laboratório de Tecnologia Mineral: Marcelo Gomes, Euclides Pereira, meus agradecimentos pela ajuda fundamental neste trabalho.

Agradecimentos ao Laboratório de Ensaios Não Destrutivos do Departamento de Engenharia Mecânica/CTG na pessoa do Prof^o. Dr. Armando Shinohara, pelo fornecimento das análises de difração de raio X e ensaios de ruptura a flexão de três pontos realizados nos corpos-de-prova cerâmicos.

A Thor Granitos, localizada no Distrito industrial de Suape, pelo fornecimento dos materiais usados nesta pesquisa.

Silva, Farah Diba da.

Aos que fazem a Cerâmica Sororoca, através dos Srs. Ricardo Teixeira e Carlos Teixeira, pelo apoio dado, por meio de fornecimento de material usado nesta pesquisa.

As pessoas que fazem a Biblioteca setorial CTG-UFPE, pela sincera amizade.

Aos meus amigos e companheiros de estudos: Solange, Iracema Angélica de Oliveira, Edna Araujo Santos, Achilles Dias Alves da Silva, Adelson Gomes do Prado, Adriana Mauricio Pereira da Silva, Carem Vieira Santana, Ely Brasil de A. Luna, José Carlos da Silva Oliveira, Leila Magalhães Baltar, Oberdan José de Santana, Paulo de Tarso da Fonseca, Roseane Aparecida Moreira Peixoto, Suely Andrade da Silva, Thiago Pereira da Costa, Vanildo Almeida Mendes, pela paciência e ajuda que me foi dada, direta ou indiretamente, durante todo o desenvolvimento do mestrado e deste trabalho.

À CAPES, que tornou possível esta pesquisa por meio da concessão de uma bolsa de estudos, para o desenvolvimento desta dissertação.

SUMÁRIO

REFLEXÃO	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
.	
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo Geral.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	1
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Proposta.....	3
1.5. Estrutura da Dissertação.....	4
CAPÍTULO II	
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1. Rochas Ornamentais.....	6
2.1.1. Descrição Litológica de Rochas Ornamentais.....	7
2.2. Caracterização das Rochas Ornamentais.....	11
2.2.1. Granitos Ornamentais.....	11
2.2.2. Mármore Ornamentais.....	15
2.2.3. Ardósia.....	16
2.3. Processos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais.....	17
2.3.1. Serragem.....	18
2.3.1.1. Lama Abrasiva.....	20
2.3.2. Corte e Polimento.....	23
2.3.3. Seleção e Acabamento.....	28
2.4. O Setor de Rochas Ornamentais.....	28
2.5. Impactos Ambientais.....	32
2.6. Resíduos Industriais.....	34
2.6.1. Separação Magnética.....	35
2.7. Reutilização do Pó na Indústria Cerâmica.....	36
2.7.1. Grupo dos Óxidos.....	42
2.7.2. Processamento de Massas Cerâmicas.....	43
2.7.2.1. Moagem.....	44
2.7.2.2. Granulometria da Massa.....	44
2.7.2.3. Extrusão.....	46
2.7.2.4. Secagem.....	46
2.7.2.5. Sinterização.....	46

2.8. Cerâmica Vermelha.....	47
2.8.1. Propriedades de um Produto Cerâmico.....	48
2.9. Na Construção Civil.....	48

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS.....

3.1. Os Materiais.....	50
3.2. Peneiramento e Homogeneização.....	51
3.3. Análise Granulométrica.....	52
3.4. Peso Específico dos Grãos e das Massas Cerâmicas.....	56
3.5. Análise Química.....	57
3.6. Análise Mineralógica.....	57
3.7. Análise Magnética.....	57
3.8. Preparação das Massas Cerâmicas.....	62
3.9. Ensaio Cerâmicos.....	63
3.9.1. Limites de Atterberg.....	63
3.9.1.1. Limites de Liquidez.....	64
3.9.1.2. Limites de Plasticidade.....	65
3.9.1.3. Índices de Plasticidade.....	65
3.9.2. Análises Termo Diferencial e Análise Termo Gravimétrica (ATD - ATG) da Argila e das Massas Cerâmicas.....	66
3.9.3. Confecção dos Corpos-de-Prova.....	67
3.9.4. Retração Linear de Secagem e após Queima (R.L).....	68
3.9.5. Determinação da cor de Secagem e de Queima.....	69
3.9.6. Perda ao Fogo (P.F.).....	69
3.9.7. Absorção de Água (A. A.).....	69
3.9.8. Porosidade Aparente (P. A.).....	70
3.9.9. Massa Específica aparente (M. E. A).....	70
3.9.10. Módulo de Ruptura a Flexão (M. R. F.).....	70

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....

4.1. Análise Granulométrica.....	72
4.2. Peso Específico dos Grãos e das Massas Cerâmicas.....	78
4.3. Análise Química.....	79
4.4. Análise Mineralógica.....	81
4.5. Análise Magnética.....	84
4.6. Ensaio Cerâmicos.....	91
4.6.1. Limites de Atterberg.....	91
4.6.2. Análises Termo Diferencial e Análises Termo Gravimétrica (ATD - ATG) da argila e das Massas Cerâmicas.....	97
4.6.3. Retração Linear de Secagem e após Queima (R. L.).....	100
4.6.4. Determinação da cor de Secagem e de Queima.....	102
4.6.5. Perda ao Fogo (P. F.).....	106
4.6.6. Índices Físicos da Argila e das Massas Cerâmicas.....	108
4.6.6.1. Porosidade Aparente (PA), Absorção de Água (AA) e Massa Específica Aparente (MEA).....	108

Silva, Farah Diba da.

4.6.10. Módulo de Ruptura a Flexão (M. R. F.).....	116
CAPÍTULO V	
5. CONCLUSÕES.....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS	
A - Tabela - Comparativo do comportamento granulométrico e da análise magnética do PFS	134
B - Tabela - Comparativo do comportamento granulométrico e da análise magnética do PFP.....	136
C – Difractogramas de raio-X dos materiais (argila, PFS, PFP) e dos produtos do beneficiamento magnético do PFS e do PFP.....	137
D - Tabelas de cores da classificação Internacional de Munsell.....	148
E – Gráficos de análise termogravimétrica e termo diferencial da argila e das massas cerâmicas.....	155

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

AA	Absorção de Água
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ASTM	American Society For Testing And Materials
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CETEMAG	Centro Tecnológico do Mármore e Granito
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
LTM	Laboratório de Tecnologia Mineral
MEA	Massa Específica Aparente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MRF	Módulo de Ruptura à Flexão
NBR	Norma Brasileira Registrada
PA	Porosidade Aparente
PFP	Pó Fino de Polimento
PFS	Pó Fino de Serragem
PF	Perda ao Fogo
Ph	Potencial de hidrogênio
PPGEMinas	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
RL	Retração Linear
RLS	Retração Linear de Secagem
RLQ	Retração Linear de Queima
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Aspecto do mármore Rosa Imperial (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et.al. (2003).	07
Figura 2.2	Aspecto do Bege Bahia (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	07
Figura 2.3	Aspecto de um granito grosseiro rico em feldspato potássico (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	08
Figura 2.4	Aspecto de um diorito fanerítico com textura granular (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	09
Figura 2.5	Aspecto de sienito com estrutura fluidal (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	09
Figura 2.6	Aspecto de charnoquito (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	10
Figura 2.7	Aspecto de uma foliação gnáissica do tipo facoidal ou ocelar em gnaiss (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).	10
Figura 2.8	(A) Ilustração esquemática de matacões “in situ” de rochas graníticas; (B) exploração de matacões do Granito Cinza Andorinha, Andorinha, Município de Magé, RJ; (C) exploração de afloramento Granito Inada, Município de Kasama, Província de Ibaraki, Japão. A profundidade da escavação é cerca de 150m, sendo a maior do mundo. Fonte: Motoki e Vargas (2000).	12
Figura 2.9	Diagrama explicativo de processo de formação do granito anorogênico (tipo A) durante o evento de colisão continental, segundo Motoki e Vargas (2000).	13
Figura 2.10	Superfície polida de alguns “granitos” ornamentais: (A) <i>Granito Vermelho Itu</i> ; (B) <i>Granito Rosa Capri</i> ; (C) <i>Granito Preto Tijuca</i> ; (D) <i>Granito Mesquita</i> . Fonte Motoki, et al. (1999).	13
Figura 2.11	Superfície polida de Mármore Bege Bahia. Fonte Adaptada: Motoki et al. (1999). O tamanho da fotografia em escala real é 7 x 4 cm.	16
Figura 2.12	Circulação da lama abrasiva no tear multilâminas à granalha, durante a serragem de blocos rochosos. Fonte Adaptada: Peyneau et. al. (2004).	21
Figura 2.13	Granalhas esféricas e angulares usadas na serragem de rochas ornamentais. Fonte Adaptada: CETEMAG (2000a).	22
Figura 2.14	Polimento de chapa granítica. (A) Processo final de polimento de chapa granítica. (B) Chapa polida.	27
Figura 2.15	Gráfico ilustrativo dos valores mensais das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2004-2006. Fonte: ABIROCHAS (2006).	30
Figura 2.16	Distribuição gráfica da participação estadual nas exportações brasileiras em valor. Fonte: MDIC/Secex.	31

Figura 2.17	Distribuição gráfica setorial do consumo de mármore e granitos no Brasil. Fonte: SEBRAE Minas, (2005-2007).	32
Figura 2.18	(A) Lama da serragem de rochas ornamentais; (B) Acumulação da lama no meio ambiente.	33
Figura 2.19	(A) Serragem de bloco de granito em chapas. Fonte: Silva (1998); (B) Blocos graníticos transformados em Chapas, Suape, PE.	34
Figura 2.20	Esquema ilustrativo da disposição inicial dos poros intra e intergranulares. Fonte: Arantes (2001).	45
Figura 3.1	(A) Decantação de lama PFS; (B) Coleta de lama PFP para estudo.	50
Figura 3.2	(A) Argila; (B) Pó fino da serragem de blocos e; (C) Pó do polimento de chapas.	51
Figura 3.3	(A) Almofariz de porcelana usada no destorroamento de grandes volumes de argila; (B) Gral de porcelana; (C) e (D) Quarteadores tipo Jones usados para a homogeneização de partículas de volumes maiores e volumes menores respectivamente.	52
Figura 3.4	(A) Dispensor de amostra; (B) Leitura da sedimentação; (C) Densímetro.	53
Figura 3.5	Fluxograma de caracterização granulométrica dos rejeitos industriais PFS e PFP de acordo com os métodos de peneiramentos.	54
Figura 3.6	(A) Agitador rotacional da Outokumpu Brasil; (B) pHmetro DM20.	55
Figura 3.7	(A) Peneirador vibratório a úmido; (B) Estufa; (C) Balança de precisão Standard OHAUS.	56
Figura 3.8	Picnômetros usados.	56
Figura 3.9	Separador magnético de rolo induzido; (A) Detalhe do material passando no rolo; (B) Alimentação para o rolo; (C) Coleta do pó altamente magnético.	61
Figura 3.10	Separador magnético Frantz; (A) Separador magnético Frantz; (B) Funil de entrada inicial do material no separador magnético; (C) Visão frontal dos coletores dos produtos metálicos e não metálicos.	61
Figura 3.11	Fluxograma do emprego de matérias-primas beneficiadas ou não beneficiadas a partir de rejeitos industriais de PFS e de PFP na indústria cerâmica.	63
Figura 3.12	(A) Aparelho de Casagrande; (B) Ensaio de limite de liquidez.	65
Figura 3.13	Sistema de análises térmicas Modelo RB-3000.	67
Figura 3.14	(A) Prensa de compressão; (B) Mufla Heraeus Instruments modelo M104; (C) Detalhe no interior da mufla; (D) Diferentes massas cerâmicas.	68
Figura 3.15	Corpo-de-prova prismático conformados por prensagem.	69
Figura 3.16	Esquema do corpo-de-prova para a ruptura a flexão em três pontos.	71

Figura 4.1	Curva granulométrica da argila e dos resíduos de serragem (PFS) e do polimento (PFP) de chapas rochosas.	73
Figura 4.2	(A) Pó da serragem retido na peneira nº 200; (B) Detalhe do ferro da granalha e dos cristais de quartzo.	74
Figura 4.3	(A) Pó do polimento retido na peneira nº 200; (B) Presença de ferro no pó do polimento.	74
Figura 4.4	Gráfica da caracterização granulométrica de aptidão da argila e dos resíduos PFS e PFP na indústria cerâmica.	75
Figura 4.5	Ilustração gráfica do comportamento granulométrico do PFP.	78
Figura 4.6	Ilustração gráfica do comportamento granulométrico do PFS.	78
Figura 4.7	Ilustração gráfica de densidades médias dos materiais e das massas cerâmicas.	79
Figura 4.8	Difratogramas de raios-X da argila e dos rejeitos industriais PFP e PFS.	81
Figura 4.9	Difratogramas de raios-X do PFP submetido ao separador de rolo induzido.	82
Figura 4.10	Difratogramas de raios-X do PFP e do PFS oriundos dos peneiramentos a úmidos e a seco.	83
Figura 4.11	(A) Pó fino de serragem em grânulos; (B) Pó fino do polimento em grânulos.	85
Figura 4.12	Formação de grânulos do pó fino do polimento, proveniente do peneiramento a úmido.	86
Figura 4.13	Pó fino de serragem classificado em metálico e não metálico após o beneficiamento magnético com o uso do imã comum	87
Figura 4.14	Pó fino de serragem oriundo de peneiramento a úmido e classificado magneticamente com o uso do imã comum	88
Figura 4.15	Pó fino de serragem submetido ao separador magnético imã comum.	89
Figura 4.16	Ilustração gráfica da classificação dos limites de liquidez da argila e das massas cerâmicas.	93
Figura 4.17	Ilustração gráfica da classificação do limite de plasticidade da argila e das massas cerâmicas.	94
Figura 4.18	Ilustração gráfica da classificação dos índices de plasticidade da argila e das massas cerâmicas.	94
Figura 4.19	Classificação gráfica da argila e das massas cerâmicas dentro da área de extrusão.	96
Figura 4.20	Representação gráfica da retração linear da argila e das massas cerâmicas após a secagem e a queima nas diversas temperaturas de queima.	101
Figura 4.21	Índices de perda de corpos-de-prova por fissuramentos das massas argila/PFS e das massas argila/PFP.	102
Figura 4.22	Variação de cores da argila de cor cinza escuro para a cor cinza claro das massas cerâmicas compostas de argila/PFS e argila/PFP.	104

Figura 4.23	(A) Argila e massas cerâmicas verdes; (B) Argila e massas cerâmicas queimadas a 700°C; (C) Argila e massas cerâmicas queimadas a 800°C; (D) Argila e massas cerâmicas queimadas a 850°C; (E) Argila e massas cerâmicas queimadas a 900°C; (F) Argila e massas cerâmicas queimadas a 950°C; (G) Argila e massas cerâmicas queimadas a 1.000°C.	105
Figura 4.24	Ilustração gráfica da perda ao fogo da argila e das massas cerâmicas formuladas nas diversas temperaturas de queima.	106
Figura 4.25	Ilustração gráfica dos índices de absorção de água e de porosidade aparente da argila e das massas cerâmicas.	110
Figura 4.26	Ilustração gráfica dos índices de absorção de água e de porosidade aparente da argila e das massas cerâmicas.	111
Figura 4.27	Massa específica aparente da argila e das massas cerâmicas ilustradas ao tracejado de MEA característico a cerâmica de queima em 950°C.	112
Figura 4.28	Tensão ou Módulo de Ruptura à Flexão em três pontos da argila e das massas cerâmicas argila/PFS e argila/PFP, em estado verde e queimados.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Propriedades químicas e físicas das argilas.	40
Tabela 2.2	Classificação dos óxidos segundo Seger. Fonte: Chavarraia (1997).	43
Tabela 3.1	Aplicação do tipo de separador magnético nos pós PFS e PFP.	58
Tabela 3.2	Caracterização magnética por fração granulométrica.	60
Tabela 3.3	Formulação das massas cerâmicas de argila misturadas a PFS e PFP.	62
Tabela 3.4	Características dos principais dos argilo-minerais, Conforme Azambuja (1979) e Sabbag (1980).	64
Tabela 4.1	Caracterização granulométrica do PFP e do PFS conforme o peneiramento.	77
Tabela 4.2	Análises semi-quantitativas da argila e dos resíduos industriais PFS e PFP.	80
Tabela 4.3	Classificação magnética no separador de rolo induzido das frações granulométricas do PFP resultante do peneiramento a seco.	85
Tabela 4.4	Classificação magnética no separador de rolo induzido das frações granulométricas PFP e do PFS resultantes do peneiramento a úmido.	87
Tabela 4.5	Classificação magnética no separador magnético Frantz das frações granulométricas do PFP resultante dos vários tipos de peneiramentos realizados.	90
Tabela 4.6	Análise termogravimétrica e termo diferencial da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP.	99
Tabela 4.7	Determinação da cor de queima de acordo com Munsell.	103
Tabela 4.8	Perda ao fogo da argila e das massas cerâmicas nas diversas temperaturas de queima.	107
Tabela 4.9	Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP.	114
Tabela 4.10	Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP.	115
Tabela 4.11	Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP.	115
Tabela 4.12	Módulo de ruptura à flexão da argila e das massas cerâmicas vermelhas.	119

RESUMO

O setor da construção civil tem requerido cada vez mais quantidades maiores de materiais de construção e rochas para revestimentos internos e externos, de pisos, paredes e fachadas de edifícios. A indústria de transformação de rochas ornamentais tem produzido, cada vez mais, produtos diversificados para revestimentos, móveis como mesas, bancadas e pias. O corte e polimento das rochas ornamentais são feitos a partir do uso de lama própria para esse fim: água, gralha de aço, cal hidratada e o próprio pó da rocha formam uma polpa que é descartada na natureza. Cerca de 30% do bloco de rocha é transformado em pó durante a serragem em chapas. Problemas ambientais são gerados a partir do descarte desse rejeito industrial: pilhas de rejeitos são acumuladas e podem, através de processos erosivos, atingirem cursos de água, prejudicando assim a vida animal e vegetal. Observam-se danos à vegetação local e esgotamento da capacidade de armazenamento do rejeito na área do botafora. Este trabalho aborda o desenvolvimento de aplicabilidade ecológica da lama do corte e polimento de rochas ornamentais na fabricação de novos produtos utilizados na construção civil, em cerâmica vermelha estrutural ou de vedação. A finura do rejeito é um fator determinante para a economia de energia de cominuição neste tipo de indústria. Foram formuladas duas massas cerâmicas: uma com o pó fino de serragem e outra com o pó fino do processo de polimento de placas rochosas. Cada um destes pós foi combinado a uma argila escura nos percentuais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Parâmetros físicos e geomecânicos dos corpos de prova produzidos a partir dessas massas foram determinados e sua análise procedida de acordo com aqueles valores para materiais cerâmicos. As massas assim constituídas apresentam características condizentes com aquelas de massas cerâmicas normalmente produzidas. Valores de absorção de água aparente estão situados abaixo de 20%.

Palavras-chave: Rejeito industrial, Meio ambiente, Gralha, Cerâmica vermelha.

ABSTRACT

The construction industry has required larger quantities of building and stone materials for internal and external cladding, floors, walls and facades. The industry of ornamental stones has been producing more and more products for coatings and furniture such as tables, benches and sinks. The stone cutting and polishing are made using a mud suitable for this purpose: water, steel grit, lime and rock powder itself that is being sawed from a pulp which is discarded in nature. About 30% of the stone block is turned into powder by block sawing into plates. Environmental problems are generated from the disposal of industrial waste: tailings piles are accumulated and may, by erosion, reach watercourses, thus impairing the animal and plant life. There was observed damage to local vegetation and depletion of the tailings area storage capacity. This paper discusses the development of ecological applicability of the cutting and polishing stones mud to make new products used in construction, in structural red ceramic or sealing and adhesive mortar production. The waste fineness is a determining factor for energy-saving size reduction in this type of industry. Two ceramic bodies were made: one with the sawdust fine powder and other with the grinding process fine powder. Each powder was combined with dark clay in the percentages of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Mechanical and physical parameters of the specimens produced from these masses were determined and the analysis carried out in accordance with ceramic materials values. The masses thus formed have characteristics consistent with ceramic bodies normally produced. Values of apparent absorption of water are situated below 20%.

Key-words: Industrial waste, Environment, Still grit, Red ceramic.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

A indústria de rochas ornamentais gera grandes quantidades de rejeito em forma de lama, durante o processo industrial de serragem de blocos rochosos em chapas. A serragem gera o maior volume de rejeito desta indústria, estimado em cerca de 30 a 35% da massa do bloco que é transformada em pó. A lama é composta de água, granalha de aço, cal hidratada e o próprio pó da rocha serrada. Devido à sua composição, esta lama apresenta características abrasivas. Processo gerador de rejeito, também em forma de lama, é o polimento das placas rochosas. Este contendo baixos teores de metal em sua composição. Em geral, quando secos, ambos os pós podem ser de fácil inalação, ocasionando danos à saúde humana, além de prejuízos ao meio ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O desenvolvimento deste estudo tem como objetivo principal fazer a avaliação tecnológica do aproveitamento do resíduo (lama abrasiva) na indústria cerâmica, contribuindo para a minimização de impactos ambientais gerados pelo acúmulo deste resíduo na natureza que, além de causar prejuízos ambientais, pode também trazer danos à saúde humana

1.2.2. Objetivos Específicos

- Fomentar o aproveitamento de lama abrasiva da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, em estado de resíduo, como matéria prima agregada na indústria cerâmica e da construção civil;
- Quantificar e qualificar a lama abrasiva produzida pelas indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais;
- Determinar o teor de ferro do resíduo (lama abrasiva), e seu devido emprego de aproveitamento como resíduo sólido;
- Caracterização química e mineralógica do resíduo como matéria prima da

Silva, Farah Diba da.

indústria cerâmica;

- Caracterizar e quantificar percentuais de resíduo (lama abrasiva) admissíveis para a substituição dos tradicionais matérias prima na indústria cerâmica;
- Minimizar o aumento do número de barragens de rejeito, com o uso desse resíduo como matéria prima da indústria cerâmica.

1.3 Justificativa

O rejeito industrial, já cominuído pelo processo de beneficiamento de rochas ornamentais, pode ser viabilizado como matéria-prima de carga para a produção de produtos para a construção civil que admitem teores de metal em sua composição como a cerâmica vermelha. O pó da serragem de rochas, doravante pó fino de serragem (PFS), é composto de altos teores de metal, oriundos das lâminas e das partículas abrasivas da granalha, e a sua reutilização é possível para a produção de artefatos cerâmicos vermelhos. O emprego do resíduo industrial de rochas ornamentais estará beneficiando o meio ambiente pelo não acúmulo deste rejeito na natureza. A separação magnética do metal ativo contido no pó de serragem pode ser economicamente viável para a produção de cerâmicas vermelhas de tonalidades variadas.

O tamanho granulométrico dos rejeitos configura-se em economia energética para a produção de produtos que requeiram granulometria menor do que 0,074mm. O pó fino do polimento (nomeado PFP) de superfícies de placas rochosas mostra-se como matéria-prima de carga na produção de argamassas, um produto da indústria civil requerente de matéria-prima com granulometria característica do PFP. A cominuição de agregados para a produção de argamassas é um investimento de altos custos. Estes custos podem não ser viabilizados pelos baixos preços de comercialização do produto final. Assim, o PFP pode atender a esta demanda, considerando o aspecto da granulometria e, também, ao baixo custo.

Resultados esperados da caracterização científica e tecnológica da lama abrasiva podem induzir a viabilidade como matéria prima para a fabricação de materiais cerâmicos e de argamassas usadas na construção civil, diminuindo impactos ambientais: menos barragens para acúmulo destes rejeitos; evitar riscos de erosão, deslizamentos em encostas de terrenos em declives ou com taludes,

Silva, Farah Diba da.

evitar o assoreamento de rios próximos ou de outros corpos de água; contribuir para que sejam extraídos cada vez menos volumes de argilas diretamente da natureza para a construção civil; atender ao conceito de desenvolvimento sustentável com o uso racional de resíduos da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais.

A questão ambiental é o que mais explica, com razões plausíveis, o estudo da reutilização dos rejeitos finos do beneficiamento de mármore e granitos como insumos para a fabricação de produtos cerâmicos e na construção civil, inserido-se na composição de argamassas colantes.

1.4. Proposta

Este trabalho se propõe a discutir dados que caracterizem o PFS e o PFP e seu emprego na produção de artefatos cerâmicos de acordo com o desempenho tecnológico requerido de materiais a serem utilizados na construção civil. Após a experimentação de corpos-de-prova, fabricados a partir do rejeito, propõe-se comparar esses resultados com dados obtidos de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para os materiais cerâmicos. A diminuição do volume do rejeito industrial no meio ambiente e seu conseqüente emprego na indústria de cerâmica estrutural, ou seja, a reutilização dos rejeitos industriais PFP e do PFS contribuirá também para a diminuição do volume de areias finas e de argilas retiradas diretamente da natureza pela construção civil. Na indústria de cerâmica vermelha, os PFP e PFS podem ser empregados como argila não plástica, ou argila magra ou, ainda, como controlador da plasticidade de argilas de alta plasticidade. Portanto, contribui-se assim para a utilização de matéria-prima reciclável, alternativa a não-exploração de argilas não plásticas do meio ambiente.

Este estudo requer o uso de métodos e técnicas laboratoriais para a qualificação do resíduo como matéria-prima na confecção de produtos para a indústria civil sem prejuízos tecnológicos dos produtos finais elaborados. Desta forma cumpre-se o seguinte roteiro: levantamento bibliográfico referente aos compostos do resíduo e seu devido emprego na indústria cerâmica e civil; visita técnica à indústria de beneficiamento de rochas ornamentais para quantificação da produção de resíduo; coleta de amostras da lama abrasiva para análises químicas, físicas e granulométricas; beneficiamento magnético da lama abrasiva para seu possível uso como matéria prima na indústria cerâmica e civil; realização de testes

Silva, Farah Diba da.

laboratoriais para avaliar a substituição da matéria-prima tradicional da indústria cerâmica por percentuais de resíduos da lama abrasiva; análise das características tecnológicas de acordo com as normas vigentes (ABNT); avaliação das massas cerâmicas confeccionadas a partir do resíduo não beneficiado magneticamente; e avaliação da viabilização do tratamento magnético dado aos resíduos PFP e PFS. O alcance destes objetivos resultará na diminuição das pilhas de rejeitos em encostas, pátios de empresas e serrarias beneficiadoras de rochas ornamentais.

1.5 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada por capítulos, onde, no primeiro capítulo, é apresentada uma contextualização de informações sobre a situação da atividade industrial do setor de rochas ornamentais e a conseqüente geração de rejeitos que é dispensada aleatoriamente no meio ambiente, além da justificativa e da proposta apresentada para a realização deste trabalho.

Capítulo 2 - referente ao embasamento teórico - onde são ressaltados os conceitos de rocha e de rochas ornamentais traz também abordagens sobre o processo de transformação, as definições de diversos autores sobre os temas propostos.

Capítulo 3 - apresenta a metodologia empregada para a obtenção de resultados, uns que comprovam a literatura como no caso da teoria sobre a diferença de eficiência entre o peneiramento a úmido e a seco, quando se trata de partículas finas; os vários produtos obtidos de beneficiamento magnético. O emprego do tratamento mineral e sua indicação na reutilização são etapas importantes para o sucesso nesta pesquisa a fim de alcançar os objetivos propostos;

Capítulo 4 - mostra os resultados obtidos e as discussões referentes a esses resultados. Neste capítulo consegue-se conceituar o comportamento dos resíduos como matéria-prima, seus constituintes químicos, mineralógicos e seu desempenho compondo um material (cerâmico). A principal preocupação da pesquisa está nos resultados obtidos, porque eles vão indicar a melhor composição percentual a ser empregada na confecção de determinado material.

Capítulo 5 - conclusões sobre a pesquisa, os objetivos alcançados e sugestões de melhor emprego de reutilização do resíduo, que podem contribuir para

Silva, Farah Diba da.

a diminuição de impactos ambientais causados por rejeitos sólidos. Além de contribuir com conclusões para o desenvolvimento de possíveis trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais *strito sensu* são aquelas submetidas ao polimento e utilizadas com fins decorativos na superfície de objetos. Neste sentido, o alto brilho da superfície polida é um fator de extrema importância. No *lato sensu*, são incluídas as rochas não polidas para usos decorativos, consideradas "rochas semi-ornamentais", Vargas (2000).

As rochas ornamentais não são classificadas como "commodities" minerais, pois a formação de seu valor é baseada em características e especificidades relativas a padrões estéticos e de qualidade dos materiais naturais sendo o padrão cromático seu principal atributo, além dos custos de exploração e de beneficiamento, SEBRAE (2005-2007). As rochas ornamentais são materiais que agregam valor principalmente através de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura e granulação, SEBRAE (op. cit.).

Segundo Almeida e Chaves (2002), considera-se como rocha ornamental a que é produzida pela extração em forma de blocos e que, na maioria dos casos, é serrada em placas, visando aplicações na construção civil, decorações e urbanismo. Comercialmente as rochas são classificadas em dois grupos: mármore, que são rochas carbonáticas, e granitos, rochas silicáticas ígneas, de textura granular, contendo minerais essenciais como quartzo, feldspato e mica.

Os mármore ornamentais são rochas carbonáticas, em geral como os mármore *strito sensu*, os travertinos e os calcários. Mármore são rochas calcárias ou dolomíticas, sedimentares ou metamórficas, que possam receber desdobramento, seguido de polimento, apicoamento ou flameamento, Peiter (2001).

O grupo dos granitos ornamentais engloba rochas ígneas ou metamórficas silicáticas, como por exemplo, granito *strito sensu*, charnoquito, sienito, gabro, diorito, basalto, gnaisse, entre outros. Observa-se que esta classificação não segue critério petrográfico e que a diferença principal entre os dois grupos se relaciona à "dureza" das rochas. Peiter (2001) diz que granito é qualquer rocha não calcária ou dolomítica, que apresenta boas condições de desdobramento, seguido de polimento,

Silva, Farah Diba da.

apicoamento ou flameamento.

2.1.1. Descrição litológica de rochas ornamentais

Segue-se uma sucinta descrição litológica de algumas rochas ornamentais, cujas conceituações estão de acordo com a norma NBR 15012, Frascá e Sartori (1998), Frazão (2002) e Machado et. al. (2003).

Mármorees são rochas constituídas por mais de 50% de minerais carbonáticos. Apresenta estrutura maciça e granulação variada. São rochas formadas por metamorfismo, contendo carbonato de cálcio e carbonato de magnésio. Alguns exemplos de mármorees ornamentais são o Rosa Imperial (figura 2.1), Branco Paraná, Branco Clássico e Branco Italva, Machado et. al. (2003).

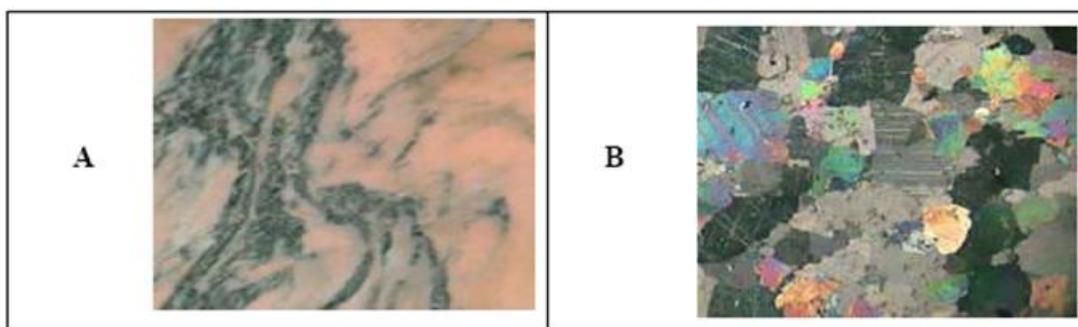


Figura 2.1 - Aspecto do mármore Rosa Imperial (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et.al. (2003).

Calcário é aquela rocha sedimentar formada por processos químicos e bioquímicos. Também originada por fragmentos ou grãos carbonáticos mecanicamente transportados e depositados. Exemplos deste tipo de rocha são o “Mont Charmot” e o Bege Samarino.

Travertino é uma variedade de rocha calcária, de cor bege e estrutura maciça, formada pela precipitação química. O principal exemplo deste tipo de rocha é o Bege Bahia, (figura 2.2 (A) e (B)), Machado et. al.(2003).

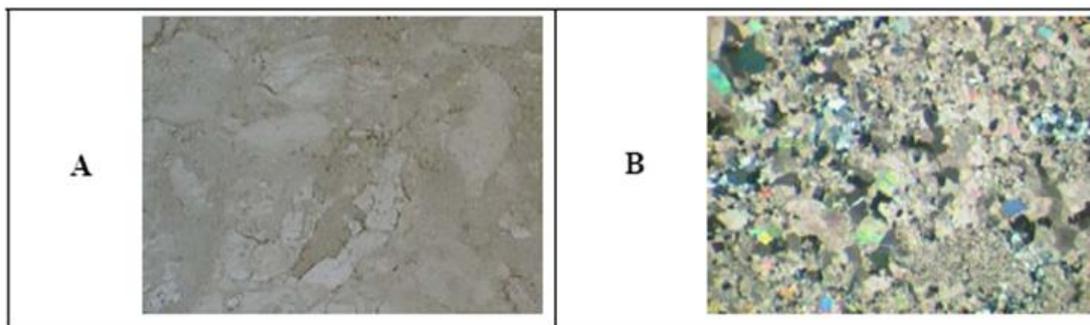


Figura 2.2 - Aspecto do Bege Bahia (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).

Silva, Farah Diba da.

Granito é rocha plutônica, composta essencialmente por quartzo, feldspato potássico (ortoclásio ou microclínio), plagioclásio, os quais, freqüentemente, associam-se com quantidades bem menores de micas, como a biotita ou a muscovita, Machado et. al., (2003). A estrutura é usualmente maciça, mas pode exibir certa orientação marcada pela isorientação de feldspatos. Segundo Cruz (2006), o granito é definido como uma rocha ígnea, de grão grosseiro (porfiróide), composta essencialmente por quartzo e feldspato potássico, tendo como minerais acessórios freqüentes biotita, muscovita, ou anfibólios.

O granito é a rocha magmática mais comum de todas, ocorrendo juntamente com os gnaisses no embasamento cristalino, que constitui o substrato da crosta sílica que forma os blocos continentais. Ocorre com diversas cores: cinza-clara a cinza bem escura, amarelada, rósea ou vermelha. A variação de cor provém, normalmente, da cor do feldspato, que é o mineral mais freqüente nos granitos, Leinz e Amaral (2003). O Vermelho Bahia, Capão Bonito, Rosa Iracema são exemplos de granitos ornamentais. Abaixo se observa granito róseo de textura grosseira (figura 2.3 (A) e (B)).

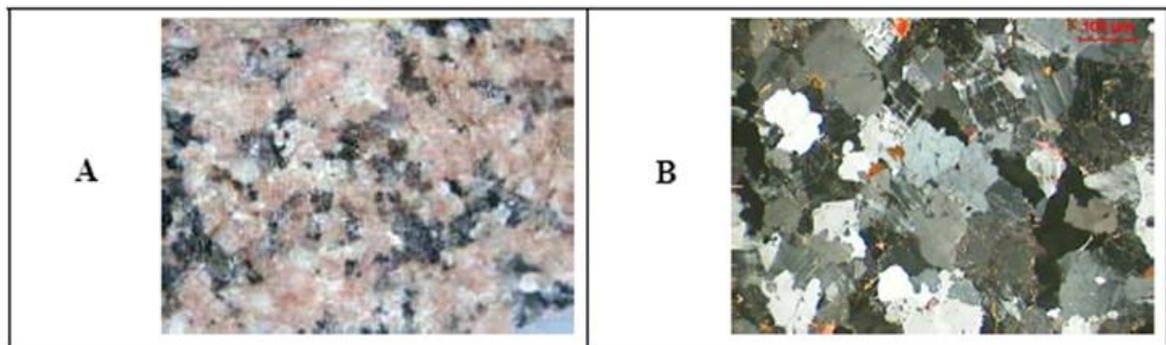


Figura 2.3 - Aspecto de um granito grosseiro rico em feldspato potássico (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).

O Diorito (figura 2.4 (A) e (B)) é uma rocha ígnea hipoabissal com quartzo ausente ou subordinado. Ocorrem como pequenos corpos associados a suítes graníticas em cinturões orogenéticos. Apresenta como componentes essenciais plagioclásio Na-Ca (oligoclásio e andesina), feldspato potássio subordinado e minerais ferromagnesianos (piroxênio, anfibólio e biotita), Machado et. al. (2003). Os dioritos mais comercializados como rochas ornamentais são o Preto São Gabriel e o Preto São Domingos.

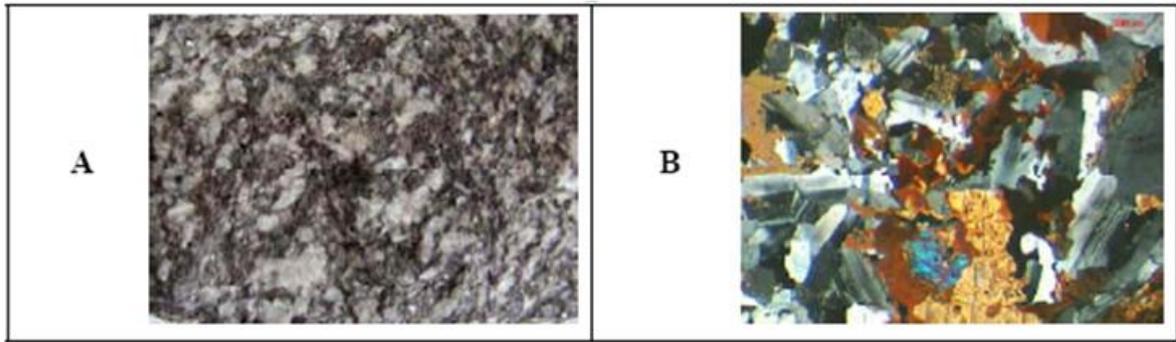


Figura 2.4 - Aspecto de um diorito fanerítico com textura granular (A) e fotomicrografia (B).
Fonte: Machado et. al. (2003).

O sienito trata-se de uma rocha ígnea plutônica também denominada por rocha alcalina, composta por feldspato potássico ou feldspatóides, com proporções variadas de minerais ferromagnesianos com ausência ou presença subordinada (< 5%) de quartzo, Machado et. al., (2003), (figura 2.5). Os sienitos são rochas que tem um alto valor no mercado de rochas ornamentais, sendo alguns exemplos: Às de Paus, Marrom Café e Azul Bahia.

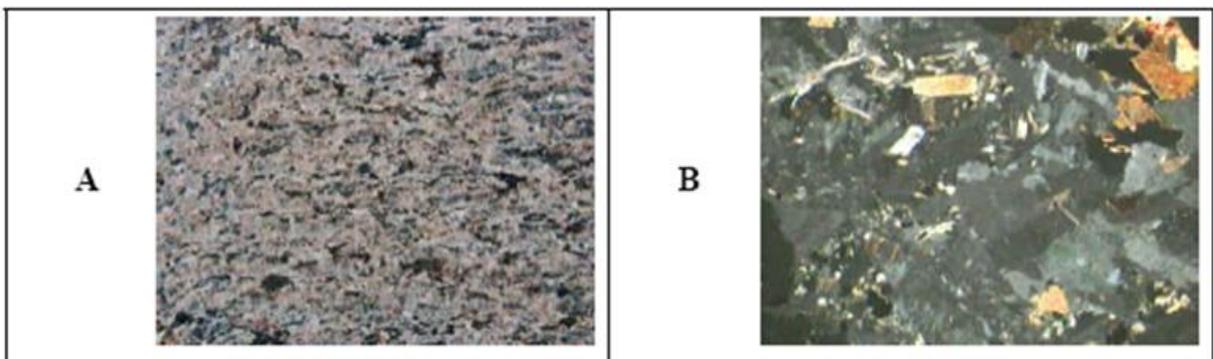


Figura 2.5 - Aspecto de sienito com estrutura fluidal (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).

Charnoquito (figura 2.6 (A) e (B)) é um grupo especial de rochas plutônicas. Tem uma textura média a grossa, geralmente de coloração esverdeada, composta basicamente por feldspato plagioclásio, piroxênio e anfibólio com pouco quartzo. Exemplos desta rocha são o Verde Pavão, Verde Ubatuba e Verde *Butterfly*, Machado et. al. (2003).

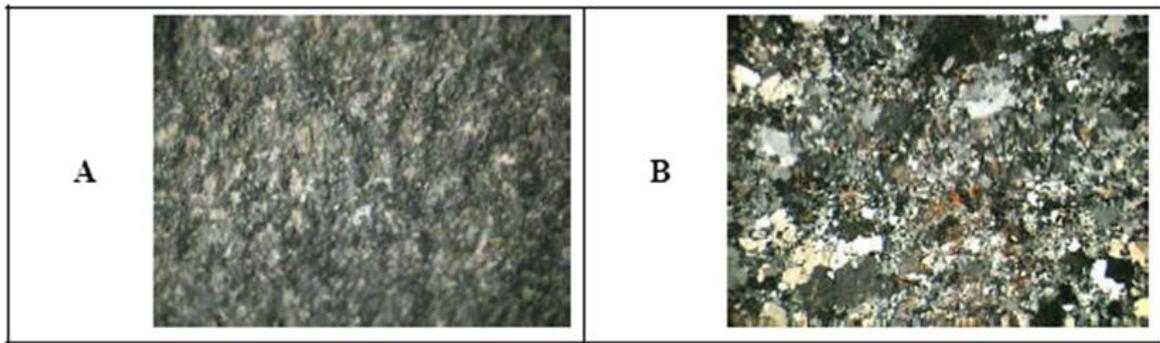


Figura 2.6 - Aspecto de charnoquito (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).

Gnaisses são rochas geradas a partir de protólitos ricos em quartzo e feldspato, através de processos metamórficos. Os minerais encontram-se todos recristalizados e dispostos segundo faixas mais ou menos paralelas, formando bandas alternadas, claras e escuras. Em regra geral, os grãos apresentam uma forma arredondada ou lenticular, Machado et. al. (2003). Alguns dos gnaisses mais comercializados como rochas ornamentais são: Pedra Madeira, Floral Pádua Prata e Pedra Paduana Prata. A figura 2.7 (A) e (B) mostra rocha do tipo gnáissico.



Figura 2.7 - Aspecto de uma foliação gnáissica do tipo facoidal ou ocelar em gnaisse (A) e fotomicrografia (B). Fonte: Machado et. al. (2003).

Quartzitos são rochas formadas quase que exclusivamente de quartzo recristalizado, em arranjos granoblásticos. Tem cor branca, com variação para vermelho ou tons amarelados, muito utilizados como rocha ornamental, como o Azul Imperial, o *Louise Blue* e o Azul Macaúbas.

Basalto é a rocha efusiva mais comum. A textura é microcristalina, vítrea ou porfírica. Pode ser às vezes altamente vesicular. Sua cor é geralmente preta, podendo, às vezes, ser cinza-escura ou castanha, sendo sempre melanocrático, Leinz, Amaral (2003).

Ardósia é de textura microcristalina. Uma das rochas de metamorfismo de baixo grau, induzido, essencialmente, por baixas temperaturas e pressões dirigidas,

Silva, Farah Diba da.

sendo de cor negra e granulado fino, em que a clivagem xistenta é bem definida, o que permite obter placas de pedras grandes, finas e perfeitas, Pinto et. al. (2006). Outras rochas merecem considerações como o serpentinito, a pedra sabão e o gabro.

2.2. Caracterização das Rochas Ornamentais

A composição química, mineralógica e arranjo dos cristais (textura), são características que definem as propriedades fundamentais de natureza física, mecânica e térmica das rochas. No setor de rochas ornamentais, a natureza principal para sua viabilidade, pressupõe que a determinação do êxito do aproveitamento econômico da jazida será alcançada, se o produto atender aos três elementos indicados: estética, cor e disponibilidade, DRM (2006).

As principais rochas consideradas como ornamentais e de revestimento incluem mármore, travertinos, granitos ardósias, quartzitos, serpentinitos, basaltos, pedra sabão e outros. Rochas ornamentais e de revestimento são classificadas, do ponto de vista comercial, principalmente em mármore e granitos, que correspondem à maior quantidade percentual da produção mundial, enquanto que, cerca de 10%, destacam-se materiais como ardósia, quartzitos, pedra sabão, entre outros, que são utilizados sem polimento de face.

A designação “Rocha de Revestimento” é normalmente utilizada para rochas que não são submetidas ao processo industrial de beneficiamento, As ardósias, quartzitos foliados e pedras de cantarias são exemplos deste grupo. Machado et. al. (2003).

Comercialmente as rochas ornamentais e de revestimento são classificadas nas seguintes categorias: “granito”; “mármore”; e a “ardósia”. O granito e o mármore são as rochas ornamentais economicamente mais importantes, Vargas et. al, (2000).

2.2.1. Granitos ornamentais

Os granitos correspondem cientificamente às rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa composta principalmente de minerais félsicos, tais como quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. Devido à alta dureza destes silicatos, torna-se difícil a exploração e o beneficiamento destes granitos, entretanto, tem alto brilho no polimento e alta durabilidade mecânica. Portanto, são tratados com rochas

Silva, Farah Diba da.

ornamentais de qualidade máxima. Fazem parte deste grupo, o álcali-feldspato granito, quartzo monzonito, granodiorito, quartzo diorito, tonalito, dolerito, gabro, álcali sienito, nefelina sienito, gnaiss facoidal, ortognaiss, paragnaiss, charnoquito, granulito, etc.

Os “granitos” são as rochas ornamentais comercialmente mais importantes. Desta forma, desde os tempos antigos os “granitos” são tratados como material de luxo na construção. Sobretudo os “granitos” coloridos são os mais procurados no mercado. As tumbas dos faraós das pirâmides do Egito foram construídas com “granitos” e o corpo principal das pirâmides, com calcários.

A maioria dos “granitos” ornamentais brasileiros são explorados a partir do corte de matacões (figura 2.8 (B)). Os “granitos” explotáveis ocorrem tanto em matacões (grandes blocos de rocha) quanto em afloramentos. Os matacões de rochas graníticas com tamanho acima de 2m estão muitas vezes “in situ”, não sendo blocos rolados. Portanto, após a retirada dos matacões, aparece o afloramento composto da mesma rocha (figura 2.8 (A)). A exploração de matacões tem menor custo, necessitando de menor capital, equipamentos e tecnologia.

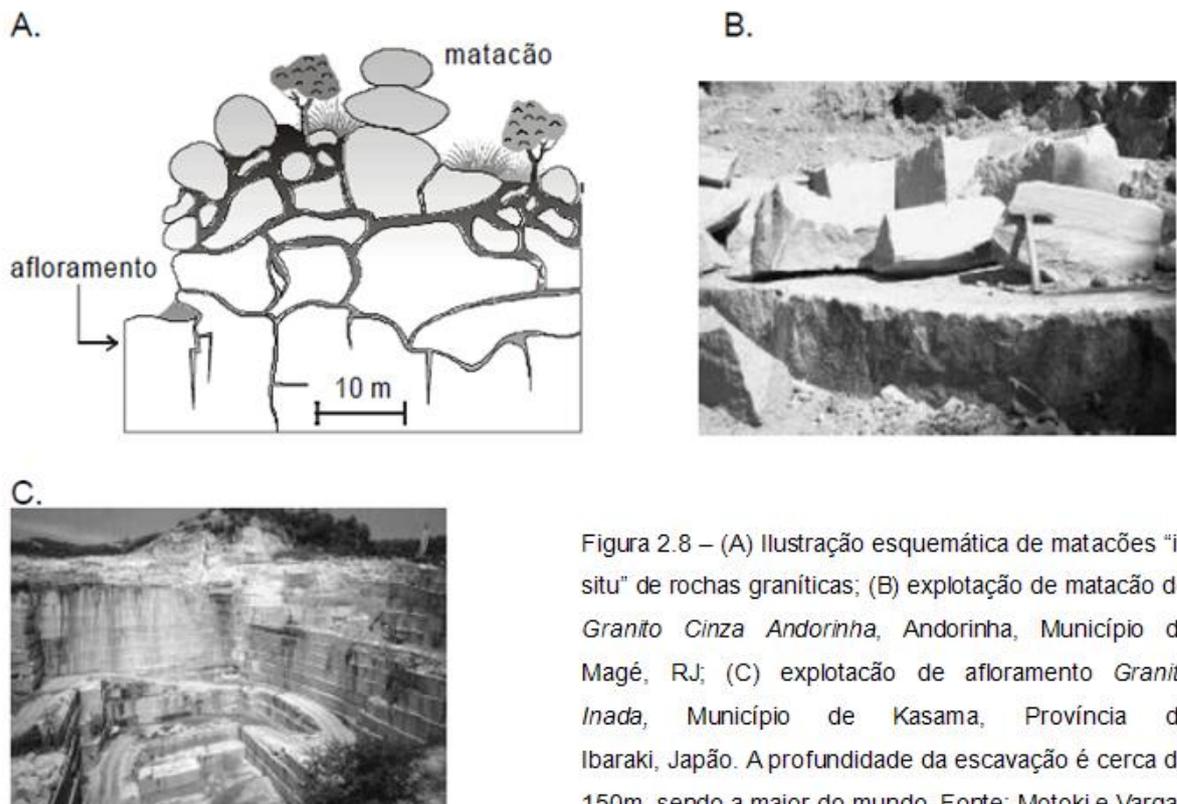


Figura 2.8 – (A) Ilustração esquemática de matacões “in situ” de rochas graníticas; (B) exploração de matacão do *Granito Cinza Andorinha*, Andorinha, Município de Magé, RJ; (C) exploração de afloramento *Granito Inada*, Município de Kasama, Província de Ibaraki, Japão. A profundidade da escavação é cerca de 150m, sendo a maior do mundo. Fonte: Motoki e Vargas (2000).

No Brasil, a maioria dos “granitos” ornamentais, sobretudo álcali feldspato, de

Silva, Farah Diba da.

cor vermelho e cor rosa, granito da classificação da IUGS (Streckeisen, 1976), ocorre nas zonas de colisão continental (figura 2.9). As zonas de colisão foram formadas no final do Pré-cambriano durante o evento do “collage” continental, ou seja, agregação de pequenos continentes, que resultou no Supercontinente West-Gondwana.

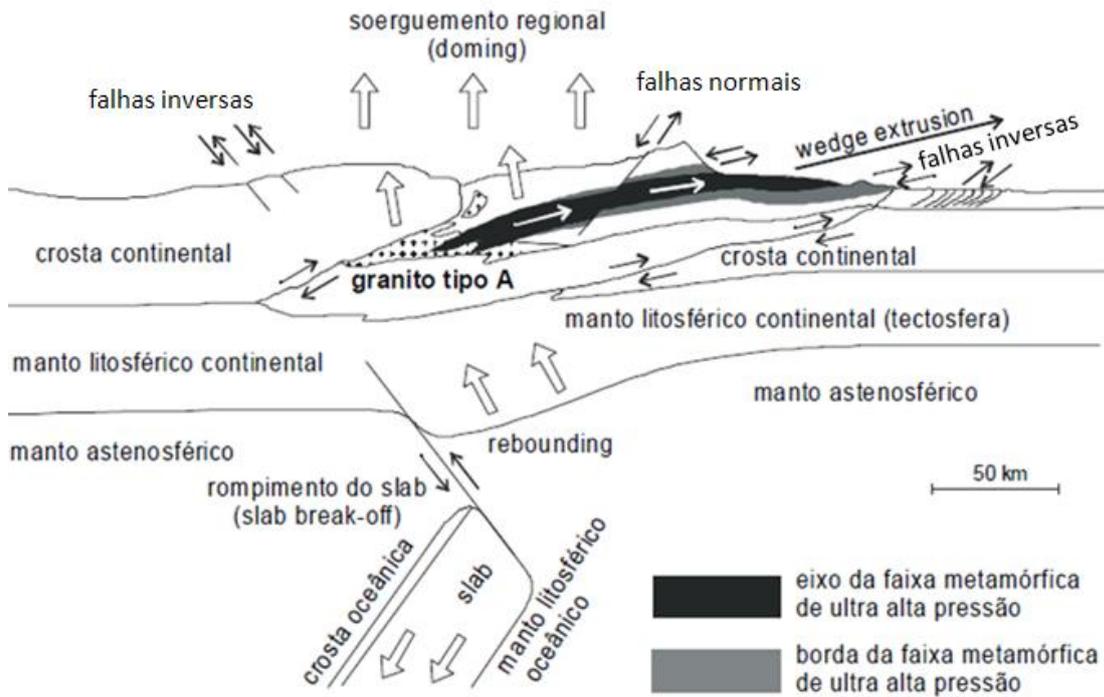


Figura 2.9 - Diagrama explicativo de processo de formação do granito anorogênico (tipo A) durante o evento de colisão continental, segundo Motoki e Vargas (2000)

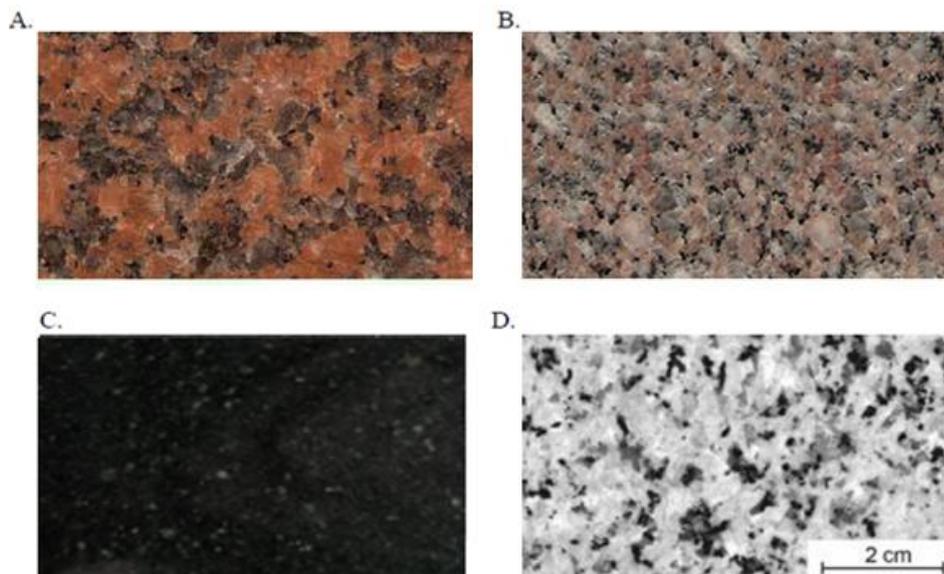


Figura 2.10 - Superfície polida de alguns “granitos” ornamentais: (A) *Granito Vermelho Itu*; (B) *Granito Rosa Capri*; (C) *Granito Preto Tijuca*; (D) *Granito Mesquita*. Fonte Motoki, et al.

Silva, Farah Diba da.

(1999).

As classificações de acordo com a coloração são vermelho, marrom, amarelo, azul, preto e cinza. A coloração é devida principalmente à cor dos minerais constituintes e da alteração intempérica. As rochas graníticas mais preferidas são as de granulometria grossa com textura equidimensional sem orientação. Entretanto, em certos casos, são preferidas as rochas com fenocristais ou porfiroblastos orientados.

Os granitos vermelhos têm esta coloração devido ao feldspato alcalino. Rocha representativa deste tipo, o Granito Vermelho Itu (álcali-feldspato granito).

Granitos amarelos se encontram na forma de pequenos corpos tabulares, como diques. Exemplo é o Granito Ouro Velho (monzogranito, Rio de Janeiro, RJ). A parte não alterada desta rocha é de cor cinza. A cor amarela é devido ao hidróxido de ferro da biotita intemperizada. A intemperização é semelhante àquela do Granito Juparaná, que é um gnaisse de origem granítica.

O Granito Verde Ubatuba (charnockito, Ubatuba, SP), é caracterizado pelos porfiroblastos orientados de feldspato alcalino de até 10 cm de comprimento, de composição mineralógica félsica, sendo que, o quartzo e o feldspato possuem a cor verde. O Granito Verde Tunas (álcali-feldspato sienito, Tuna, PR) ocorre na borda de corpo intrusivo sienítico do Cretáceo, caracterizado pelo feldspato alcalino de cor verde.

O Granito Azul Bahia (sodalita sienito, Itajú do Colônia, Itapetinga, Santa Cruz da Vitória, Itarantina, BA), domina o mercado de granitos azuis. Sua rocha mãe é uma nefelina sienito ganisse de cor cinza. A sodalita, que atribui a cor azul, é formada pela transformação da nefelina através do metassomatismo por fluido com cloro no final do Precambriano. Os corpos nefelina sieníticos tem forma lenticular de cerca de 500 m de comprimento e 50 m de largura, encaixados por paragneisses com contato tectônico. Na área da rocha encaixante paragnáissica, estes se encontram espalhados em uma extensão de 100Km com configuração paralela. O aspecto visual desta rocha é muito heterogêneo, desde a fase de baixo teor de sodalita com textura similar a granito, de valor de US\$ 600 por metro cúbico em preço na pedreira, até a fase de alto teor de sodalita com textura gnáissica de valor superior a US\$ 2500. A exploração é realizada tanto nos matacões quanto nos afloramentos.

Os granitos pretos são representados pelo Granito Preto Tijuca (quartzo diorito, Rio de Janeiro, RJ). Esta rocha ocorre em um pequeno corpo de 2 km. É uma rocha relativamente félsica, e o mineral constituinte principal, plagioclásio que possui a cor escura (figura 2.10 (C)). A lavra era apenas de blocos e o preço era em torno de US\$ 1000,00 nas pedreiras. Sua exploração foi interdita há anos. Apareceram então outras rochas ornamentais que substituem o Granito Preto Tijuca: o Granito Preto Itaoca (quartzo diorito, Itaoca, ES) e o Granito Negro Absoluto no Uruguai. Esta é uma rocha máfica verdadeira, sendo dolerito ou microgabro, que ocorrem na forma de diques de intrusão no início do Cretáceo.

Os granitos de cor cinza são caracterizados pelo feldspato alcalino de cor cinza clara, o anfibólio e o piroxênio de cor preta e a nefelina de cor cinza escura (figura 2.10 (D)). O Granito Ás de Paus (nefelina sienito, Nova Iguaçu, RJ) é referência como exemplo. O efeito do polimento e a durabilidade não alcançam, neste material, os do granito e do granodiorito, porém, é muito superior aos do mármore. O Granito Cinza Andorinha (monzogranito, Magé, RJ) pertence ao mesmo corpo granítico do Granito Ouro Velho. A fase granulométrica é ligeiramente fina e de textura porfirítica; é muito procurado no mercado.

2.2.2. Mármore ornamentais

Os mármore ornamentais são rochas de composição carbonática, com minerais de calcita (CaCO_3) e dolomita ($(\text{CaMg})\text{CO}_3$). São rochas metamorfoseadas e recristalizadas de granulometria grossa de compostos carbonáticos. Sob o ponto de vista comercial, são incluídas também as rochas carbonáticas sedimentares, tais como o calcário. A exploração brasileira é totalmente de afloramento, porém, a profundidade de escavação ainda é baixa, diferente da exploração dos “granitos”. Os mármore de ótima qualidade que estão em maior profundidade são importados.

Os minerais carbonáticos são de dureza baixa, portanto, são relativamente fáceis de serem cortados e polidos. Entretanto, se comparado com os “granitos” possuem vulnerabilidade para o desgaste físico e químico diante de substâncias de limpeza doméstica. O mármore composto puramente de carbonato de cálcio e de magnésio é de cor branca, entretanto, apresentam-se coloridos por causa da inclusão de outros minerais como a tremolita e diopsídio para cor verde, flogopita, muscovita e siderita para cor marrom, magnesita e óxidos de manganês para cor de

Silva, Farah Diba da.

rosa, e grafite para a cor preta.

No Estado de Minas Gerais, a terra onde a produção nacional de mármore teve início, encontram-se várias cores de mármore: Mármore Chita Variado (cor de rosa, Sete Lagoas), Mármore Aurora Vermelho (marrom avermelhado, Ouro Preto), Mármore Verde Jaspe (listras verdes na base branca, Campos Altos), Mármore Marfim Esverdeado (listras verdes e rosas na base branca, Sete Lagoas), Mármore Aurora Prateado (branco, Sete Lagoas), etc.

No entorno da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, há pedreiras de vários tipos de mármore, petrograficamente mármore, ou seja, calcário recristalizado durante o metamorfismo como o mármore Chocolate Brasil, Mármore Rosa Itaoca, Mármore Rosa Champagne, Mármore Rosa Cachoeira, Mármore Branco Espírito Santo, mármore Branco Santo Antonio (cor branca). No Estado da Bahia, são produzidos e comercializados no mercado interno calcários com textura “brechada” como “mármore”, como o Mármore Arabescato da Bahia (Curaçá), Mármore Bege Bahia (Juazeiro), etc. O Mármore Bege Bahia (figura 2.11), é um dos calcários não metamórficos mais utilizados no Brasil.

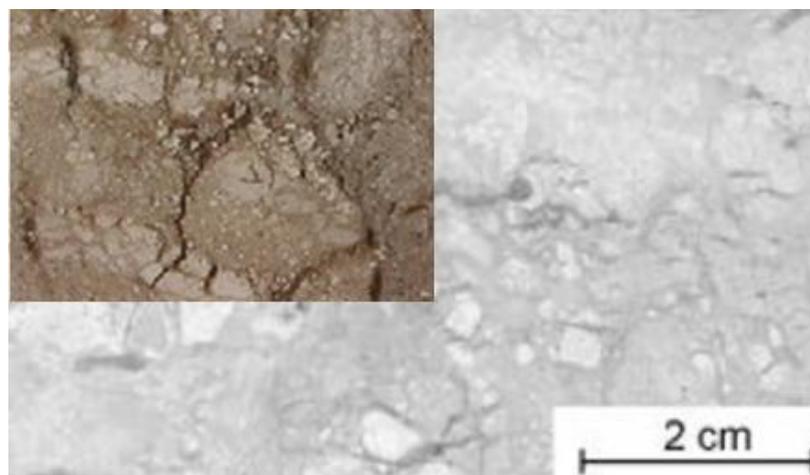


Figura 2.11 - Superfície polida de Mármore Bege Bahia. Fonte Adaptada: Motoki et al. (1999). O tamanho da fotografia em escala real é 7 x 4cm.

2.2.3. Ardósia

As ardósias são rochas semi-ornamentais utilizadas principalmente como decoração interna de pisos, juntamente com pintura de verniz para dar brilho artificial. As principais pedreiras de ardósias estão nos estados de São Paulo e Paraná, explotando-se afloramentos de folhelho e ardósia de sedimentação

Silva, Farah Diba da.

permiana não metamorfoseados.

Utiliza-se para revestimento de pisos e pavimentos, a ardósia considerada “especial”, a Pedra de São Tomé (quartzito, São Tomé de Letras, MG). Esta rocha é um quartzito de metamorfismo do final do Precambriano com camadas de muscovita de espessura em torno de 2mm, com intervalos aproximados de 10cm. Através destas camadas, as rochas se rompem paralelamente, como se fossem ardósia. A exploração é realizada apenas em afloramentos.

As rochas deformadas nas zonas de cisalhamento, denominadas milonito, também são explotadas como um tipo especial de “ardósia”. A Pedra Madeira (milonito de composição granítica, Santo Antonio de Pádua, RJ) e a Pedra Miracema (milonito de composição biotita gnáissica, Santo Antonio de Pádua, RJ) são representativas desta categoria.

2.3. Processos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais

Estima-se que existam no País, aproximadamente, 1.600 teares em atividade, os quais possuem capacidade de desdobramento variável de acordo com o modelo de cada equipamento. Tais capacidades têm evoluído bastante nos últimos anos, existindo aqueles de menor porte, com capacidade de desdobramento equivalente a 35 m³/mês, até os de maior porte, de 120m³/mês (jumbo), todos utilizando sistemas de corte baseado no atrito a úmido de barras de ferro e granalha com o bloco. Nos últimos dois anos surgiram no mercado, teares tecnologicamente mais avançados, utilizando fios diamantados para o corte de chapas, usando o mesmo princípio de corte realizado nas frentes de lavra, Balanço Mineral Brasileiro (2001).

As indústrias de beneficiamento no Brasil possuem condições técnica e instrumental para a produção de bens semi-faturados tais como chapas polidas, ladrilhos padronizados, colunas, mosaicos, objetos de adorno em quantidade e qualidade competitiva no cenário internacional, ou ainda, para a produção de bens manufaturados de acabamento final, na forma de pias, bancadas e soleiras. O beneficiamento de rochas ornamentais é o desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras na forma de blocos, e pode ser subdividido em processo de beneficiamento primário e secundário, Sabadini (1998), Moraes (2006); Balanço Mineral Brasileiro (2001).

2.3.1. Serragem

A serragem compreende uma fase inicial de esquadreamento dos blocos com monolâminas de modo a conferir-lhes a forma de paralelepípedos e retirando-lhes defeitos estruturais. Segue-se a transformação do bloco em chapas serradas com espessura variável de acordo com o pretendido. No caso das rochas calcárias, a tecnologia utilizada nos anos 50/60 sofreu a substituição da areia silicosa por segmentos preparados com diamante industrial. No caso de calcários com algumas inclusões silicosas podem ainda encontrar-se em operação engenhos de serragem com areia silicosa.

Conforme o CETEMAG (2000a) é na década de 60 que adoção de uma nova técnica de serragem do bloco surgiu baseada no uso de abrasivo metálico e com aplicação de granalha de ferro fundido. O aço substitui a areia como abrasivo, e ocorre uma rápida evolução tecnológica das ferramentas especiais para o corte de rochas, como a lâmina com segmentos diamantados. Os engenhos de corte diamantado constituídos por multilâminas, que permite cortar o bloco em várias chapas de diferentes espessuras predefinidas e ao mesmo tempo, possui um sistema de refrigeração por injeção de água.

Na serragem de blocos de granito, a evolução se deu com a introdução da granalha de aço e das lâminas estriadas em substituição à areia silicosa e às lâminas lisas o que conduziu a uma redução de tempo de serragem, melhorando a qualidade. O controle da mistura abrasiva, constituída por granalha de aço, cal, água e os estéreis produzidos durante o processo de serragem, é um fator importante para a capacidade de serragem dos engenhos, permitindo um aumento da velocidade de corte e melhoria da qualidade do produto serrado. O inconveniente deste processo reside no desgaste da mistura abrasiva. A aplicação de lâminas diamantadas na serragem dos granitos tem deparado com algumas dificuldades técnicas e também com o problema do elevado custo unitário.

Na fase de desdobramento de granitos, a influência da serrabilidade varia diretamente no consumo dos principais insumos (granalha, lâmina) no processo de serragem, ou seja, quanto mais duro o granito maior o consumo de insumos, Sousa & Rodrigues (2002).

O tear é um equipamento constituído de uma estrutura de sustentação formada por quatro colunas que suportam o quadro porta lâminas. As lâminas

Silva, Farah Diba da.

encontram-se dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco do material a ser beneficiado e tensionadas para manter perfeito nivelamento, alinhamento e paralelismo entre si, durante todo o processo de corte. Este processo se dá pela ação de um elemento abrasivo conduzido pelo conjunto de lâminas movimentado pelo tear. O quadro porta lâmina é acionado por motor elétrico, com auxílio de um volante, através de um mecanismo biela-manivela, imprimindo-lhe um movimento alternado, responsável pelo atrito entre as lâminas, o elemento abrasivo e o bloco a ser cortado. Simultaneamente, o conjunto quadro lâminas é pressionado contra o bloco em um movimento de descida, provocando o avanço do corte do material, Alencar, et. al. (1996). A velocidade do corte da rocha, a depender do material a ser serrado, no início do corte é de 120 a 130 mm/h (cala), com a estabilidade do corte a velocidade vai aumentando, chegando até cerca de 400 a 450 mm/h, no final da serragem.

A velocidade de descida, ou seja, o avanço do corte depende da dureza do material que está sendo cortado, do tipo e número de lâminas utilizadas, da tensão das mesmas e da polpa abrasiva (lama) empregada. Em mármore, de dureza média, o avanço é de 360 a 720 cm/dia, com jornadas de 24 horas diárias. Como estas máquinas trabalham continuamente, isso representa um avanço de corte de 15 a 30 cm/h e uma produção mensal de 7000 a 9000 m² de chapas. Nos granitos a velocidade de serragem está em torno de 4 cm/h, tem-se, assim, uma produção mensal de cerca de 1900 m² de chapas, Stellin Junior, (1998).

De acordo com Stellin Junior, (1998), o tipo de material e sua serrabilidade são uns dos parâmetros mais importantes da serragem e por isso é mais correto referenciar a serrabilidade e não a dureza dos diversos materiais a serrar. A serrabilidade dos granitos não depende da sua composição química, mas da compactidade, sendo mais fácil serrar os mais porosos, os alterados física ou quimicamente, e os que apresentam microfissuras no interior dos cristais (que debilitam a estrutura da rocha). Assim, são mais difíceis de serrar os materiais compactos, ou aqueles em que os poros estejam preenchidos por outros minerais, tornando a rocha mais homogênea com a união dos cristais.

Em materiais porosos, a destruição da estrutura se dá por desagregação devido a pressões e depressões hidrodinâmicas da polpa abrasiva nos espaços intercrystalinos. Com a ajuda da dissolução dos silicatos pela água, esses esforços

Silva, Farah Diba da.

levam à destruição da estrutura cristalina. Por isso, recomenda-se a serragem de materiais com as mesmas características de composição, pois, em muitas situações, ocorre a serragem de blocos despadronizados de diferentes materiais num mesmo tear, Stellin Junior, (1998). Durante o processo de corte, é necessário controlar quanto de rocha já foi cortada, por hora, por meio de leitura em uma régua de 200 cm, fixada ao lado do pilar de sustentação do tear.

A quantidade de partículas do bloco cortado presente na polpa, conforme Stellin Junior, (1998), é um índice de bom corte. Se os valores representados são inferiores aos usuais 33% a 45%, as serragens são consideradas defeituosas, enquanto que valores superiores revelam que os materiais apresentam pouca tendência a dar polpas viscosas. Outro índice que indica um bom corte é o tamanho dessas partículas, não somente porque elas têm poder de abrasão como as granalhas, mas porque a falta de partículas grossas indica excesso de granalha na polpa.

2.3.1.1. Lama abrasiva

Um dos parâmetros controlados durante o processo de corte é a viscosidade da lama. A viscosidade, *sensu stritu*, é uma medida da resistência de movimento do fluido. A avaliação é feita através da coleta da lama abrasiva utilizada em teares; é mensurada apenas com a utilização de uma régua desenhada para este fim. Nesta medição não são considerados vários fatores inerentes à definição clássica de viscosidade, pois não são avaliadas a área, a temperatura, e a velocidade do fluxo em determinado ponto, sendo adotada a terminologia “viscosidade” como parâmetro para análise da lama abrasiva. O processo da análise viscosimétrica inicia-se com a coleta da lama abrasiva no cano do chuveiro que a distribui sobre o bloco, num recipiente com capacidade de 1 litro. A régua é composta por duas hastes paralelas; uma contém um sulco e a outra uma escala graduada de 0 a 12, que cresce da parte inferior para a superior e é adimensional. Para medir a viscosidade, a haste com sulco é introduzida no recipiente de amostragem contendo lama até tocar em seu fundo e, em seguida, retirada. A altura em que a lama permanece no sulco é medida na haste graduada e corresponde a “viscosidade” da lama abrasiva.

A granalha ativa é verificada com o peneiramento, em malha #40, da lama contida no recipiente de amostragem. A granalha retida é pesada: esta é a granalha

Silva, Farah Diba da.

ativa que é contida na lama abrasiva que, efetivamente, executa a serragem, embora com granulometria inferior a granalha nova por ter sofrido desgaste por abrasão.

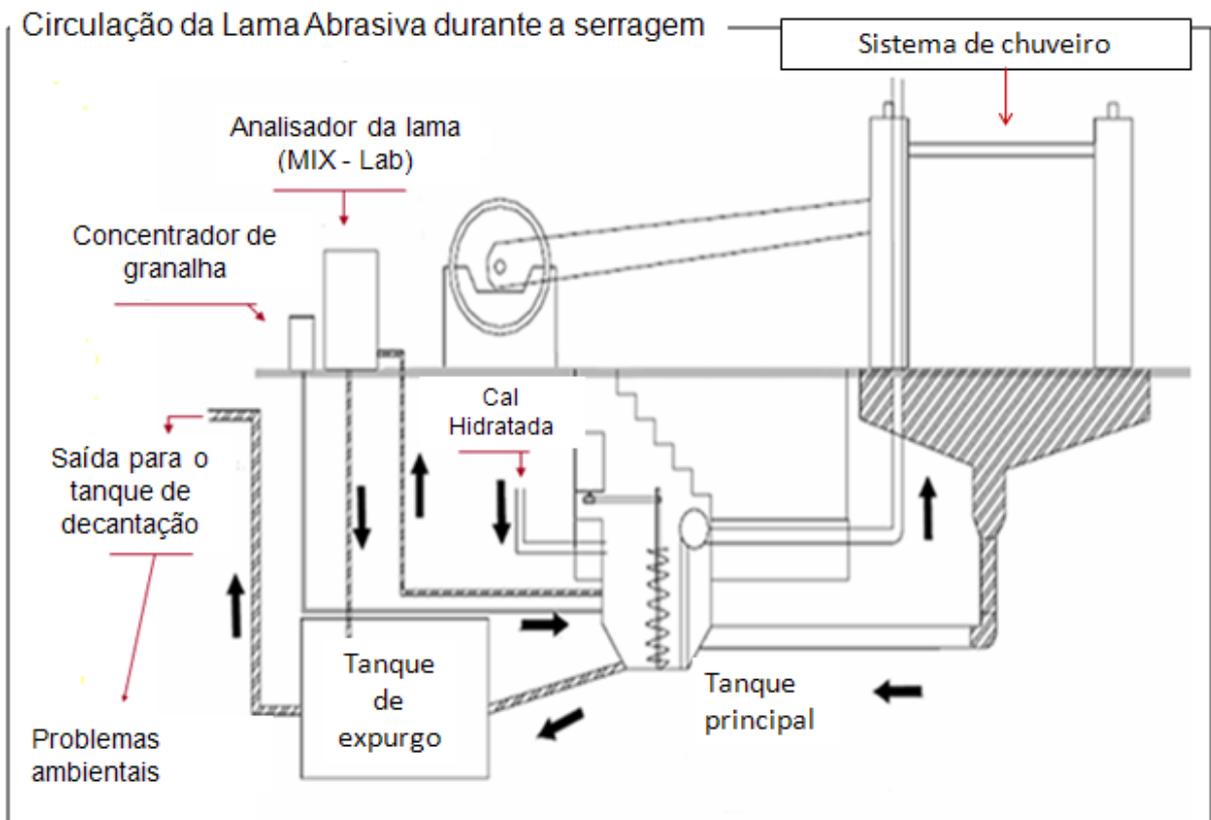


Figura 2.12 - Circulação da lama abrasiva no tear multilâminas à granalha, durante a serragem de blocos rochosos. Fonte Adaptada: Peyneau et. al. (2004).

A granalha abrasiva constitui um elemento de corte, enquanto as lâminas têm a função de conduzi-la durante o processo de serragem (figura 2.13). É um dos principais itens que entram na composição do preço dos granitos; quando usada de forma eficiente, reduz custos e tempo do processo de serragem. É encontrada comercialmente nos formatos esférico e angular, composta de ferro fundido ou de aço. As esféricas abrem espaço na rocha e têm o papel de rolagem para a lâmina, enquanto as angulares rompem os cristais da rocha, De Camilles, (2004).

As granalhas de aço têm como vantagem velocidade de corte superior às de ferro, são mais tenazes, têm uma maior durabilidade e, por isso, permanecem mais tempo no processo, reduzindo custos. São fatores preponderantes para a melhor escolha da granalha, a maior ou menor granulometria, o tipo de rocha e seu grau de

Silva, Farah Diba da.

dureza (serrabilidade). As mais utilizadas para o corte de granito são as granalhas de aço, numa mistura de angulares com esféricas.

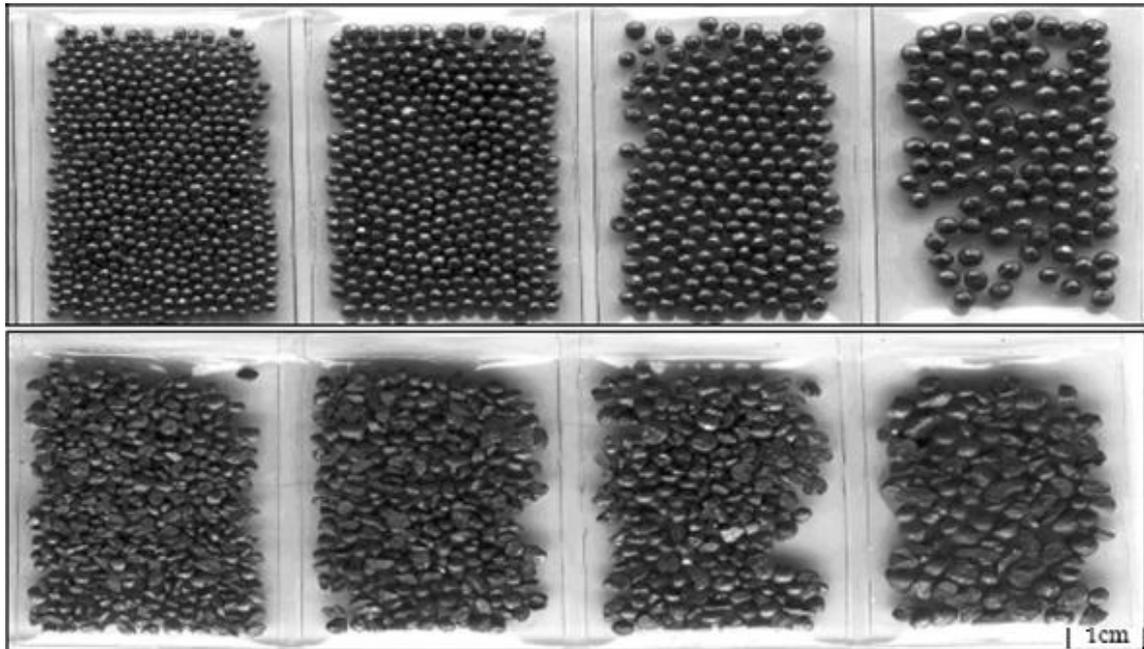


Figura 2.13 - Granalhas esféricas e angulares usadas na serragem de rochas ornamentais. Fonte Adaptada: CETEMAG (2000a).

De acordo com Alencar et. al. (1996), a pesquisa e a investigação destinadas ao maior conhecimento sobre o processo de corte possibilitaram algumas conclusões: o corte se dá pela ação abrasiva da granalha; a composição e a viscosidade da polpa abrasiva (lama) são variáveis de grande importância no processo; em geral, uma boa mistura abrasiva deve apresentar a seguinte composição: água 66,3%, granalha ativa 3,1%, cal 1,2% e minerais 29,4%; a função das lâminas é conduzir o movimento de arraste e pressionar a polpa sobre o bloco; por isso, devem ser mantidas perfeitamente alinhadas e niveladas ao longo do processo de serragem. A regularidade da polpa abrasiva durante o corte permite apresentar superfícies de chapas cortadas com melhor uniformidade de acabamento e com baixa rugosidade. Como os diferentes materiais processados possuem diferentes composições e características de resistência ao corte ou à abrasão, a definição do nível adequado deve ser fruto de pesquisas e registro de desempenho e qualidade das serragens por parte de cada empresa, para cada material.

2.3.2. Corte e Polimento

Nestas fases os processos podem ser manuais, mecânicos ou automatizados e incluem a utilização de água em circuito fechado. Na fase de corte as chapas são cortadas em pequenas peças tais como ladrilhos, mosaicos ou cantarias.

A tecnologia de corte baseia-se na utilização de discos com cortantes de concreção diamantada, existindo máquinas monodiscos (cortadora de braços, cortadora de ponte e máquinas de rodear) e multidisco. As máquinas multidiscos têm elevada capacidade produtiva e, por vezes, inserem-se em linha de produção contínua. Este tipo de equipamento tem sofrido um grande desenvolvimento com recurso à eletrônica, principalmente em relação ao posicionamento do disco e memorização do corte.

Os processos de tratamento de superfícies sofreram grande desenvolvimento permitindo um aumento da produção e da qualidade na uniformidade do produto. Na fase de polimento recorre-se às polidoras de tapete de dimensões variáveis onde se coloca o produto a ser trabalhado. Uma ponte suporta as cabeças retificadas e polidoras de número variável. No processo de polimento usam-se diferentes abrasivos, de grãos progressivamente decrescentes. A dimensão do grão com que se inicia o processo de polimento depende do tipo de material e características da sua superfície. Os abrasivos são constituídos por uma resina de poliéster insaturada, partículas de carbonato de silicone de várias dimensões, carbonato de cálcio, cloreto de sódio e óxidos corantes. Nas linhas de polimento de granitos o número de cabeças é maior. A polidora manual é mais utilizada em trabalhos especiais. Nas linhas de polimento foram introduzidos sistemas automáticos de carga e descarga eliminando, deste modo, o manuseamento de peças frágeis e pesadas.

De acordo com o produto final existem linhas de polimento de chapas e linhas integradas de produção de ladrilhos desde o bloco do polimento. A linha de polimento de chapa está equipada com um sistema de polimento contínuo e um sistema de descarga de chapa. Após o polimento, as chapas podem ser expedidas tal qual, ou enviadas para o corte longitudinal e transversal com as medidas pretendidas. Após o corte de precisão, seguem-se a biselagem e polimento dos topos.

A linha de ladrilhos ou mosaicos, de acordo com a dimensão, inicia-se com a produção de tiras que é realizada com equipamentos de corte de discos

Silva, Farah Diba da.

diamantados. As extremidades irregulares das tiras são cortadas de modo a dar-lhes um formato retangular e comprimentos fixos. Nos blocos de menor qualidade procede-se à produção de comprimentos livres que são peças onde o comprimento e largura são variáveis e a espessura fixa. As tiras podem ir diretamente para a linha de polimento ou para uma rufiadora que divide uma tira em duas de espessura igual. Em seguida, vão para o polimento e, finalmente já transformadas em ladrilhos, seguem para um equipamento com nós diamantados para retificar as arestas da peça.

Outro tratamento comum de superfície é o flamejamento, indicado em peças finais de pavimentos exteriores, pisos antiescorregadios e revestimento de grandes trabalhos arquitetônicos devido ao seu efeito decorativo. Têm-se realizado, recentemente, trabalhos com revestimentos associando pedra polida e flamejada. O equipamento consiste numa bancada com rolos onde se desloca a chapa. Este movimento está ligado à deslocação da chama que percorre a superfície da peça. Este método cria um choque térmico na superfície conferindo-lhe certa textura. Este tratamento aplica-se ao granito e rochas similares.

O bujardamento é um tratamento usado para dar à superfície um aspecto “esculpido”. É realizado com martelos pneumáticos equipados com cabeças de carbonetos de tungstênio, com bicos tetraédricos para proceder a incisões ou cinzelar a superfície.

De acordo com Artur et al. (2002), na fase de polimento, fatores como a composição mineral, o teor e as dimensões dos grãos de quartzo, a estrutura da rocha e sua cor, controlam a manutenção ou a perda do lustro, além, é claro, de um excelente corte ser primordial para minimizar os custos.

Na etapa de polimento, a evolução apresentada entre a década de 30 e o final dos anos 60 do século XX, foi pequena. Basicamente utilizava-se areia no polimento e lustro de rochas ornamentais e, posteriormente, passou-se a usar o carborundo. A forma de acionamento e o funcionamento das politrizes manuais apresentavam um resultado satisfatório, mas com baixa produtividade (2 m²/h) e ainda não garantiam a uniformidade na qualidade do polimento das diversas peças do mesmo material, CETEMAG (2000b).

No final da década de 70 surgiram as politrizes de esteira para mármore, com uma produtividade média entre 15 até 20 m²/h e uso de abrasivos de granulometria

Silva, Farah Diba da.

diferentes, em seqüência, desde os mais grossos, para o levigamento, até os mais finos, para o lustre final, CETEMAG (op cit).

A tecnologia aplicada para polir granitos era a mesma aplicada no polimento de mármore, com baixa produtividade, talvez em função da pouca pressão que se podia empregar apenas com o peso do equipamento e com a força do operador, por serem politrizes manuais, Kaschner (1996). Durante os anos 70, surgiram as politrizes de ponte que, embora tenha sido um avanço no processo do polimento do granito, apresentava algumas restrições em relação à produtividade, à qualidade e à uniformidade no acabamento superficial das peças. Além disso, havia necessidade de troca constante dos abrasivos do cabeçote, o grande tempo morto para carga e descarga das chapas de bancada, a grande dependência da sensibilidade do operador para saber o momento ideal de trocar um abrasivo mais grosso por um mais fino até a maior possibilidade de um polimento não uniforme entre chapas de um mesmo material, CETEMAG (2000b).

Conforme observa, Kaschner (1996), após a adoção de vários equipamentos, a mudança de uma única politriz para uma série de 5 a 6 delas, de máquinas com grandes pratos de polimento e até politrizes que se deslocavam sobre trilhos de trinta metros de extensão, a inovação aparece no final de década de 70 com o modelo da politriz de multicabeça de esteira para granito, baseada no modelo usado para mármore. Hoje estes equipamentos chegam a produzir mais de 40m²/h de chapas polidas, dependendo das características do material e da qualidade superficial deixada na chapa no processo de corte.

Na etapa de polimento, os processos de acabamentos superficiais são fundamentais na exploração das características de coloração, beleza, textura e aplicação do material como rocha ornamental. O corte lhes confere a dimensões, formas e desenhos, Alencar et. al. (1996). De acordo com Machado & Carvalho (1992), são fundamentais no controle de polimento: pressão de trabalho, velocidade de rotação/translação (tempo de polimento), vazão de água e qualidade dos insumos (água, equipamento e abrasivos).

O fechamento dos poros entre os diferentes minerais ou cristais que formam a rocha é conseguido através da eliminação das rugosidades, com o uso de elementos abrasivos de granulometria decrescente. Os abrasivos, conduzidos em movimentos de fricção sobre o material, vão desbastando-os até atingir o grau de

Silva, Farah Diba da.

polimento desejado. Todo o processo é realizado em meio úmido, sendo a água o elemento de refrigeração e de expurgo dos resíduos gerados, Alencar et. al. (1996).

A vazão de água menor do que a recomendada ocasiona aumento do consumo de abrasivo e perda de qualidade no polimento. O abrasivo mais utilizado para esses processos é o carbetto de silício, em diferentes granulometrias e formas cristalográficas, aglomerados em rebolos de formas distintas, de acordo com a sua aplicação e com os desenhos exclusivos de cada fabricante. Recentemente foram desenvolvidos rebolos para polimento que utilizam grãos de diamante como elemento abrasivo, Alencar et. al. (1996).

O processo de polimento é usualmente subdividido em etapas de levigamento e de polimento propriamente dito, de acordo com Alencar et. al. (op. Cit):

- O levigamento é a parte do processo que objetiva a eliminação das rugosidades mais acentuadas, geradas na superfície das chapas pelo processo de corte, seja em teares ou em talha-blocos, com a obtenção de uma perfeita planicidade da superfície e uma espessura mais regular e uniforme da peça. A chapa levigada apresenta melhor definição da cor do material e dos grãos e cristais dos minerais que o constituem mantendo, entretanto, uma tonalidade clara e opaca.
- O polimento é a etapa onde se faz o fechamento dos poros da superfície da rocha, buscando-se, assim, obter o máximo brilho que o material pode atingir. Nesta etapa, acentuam-se as diferenças de tonalidade entre os diversos minerais presentes no material, destacando-se as cores escuras, e consegue-se uma superfície espelhada.

Tanto o levigamento quanto o polimento são executados por equipamentos denominados politrizes (polideiras) disponíveis em diversas configurações e modelos. Há desde máquinas manuais, que exigem a operação direta do operador, até linhas totalmente automatizadas, que empregam o que existe de mais moderno no campo de automação e do controle. Todos estes modelos e variações podem ser agrupados em três tipos: politrizes manuais de bancada fixa, politrizes de ponte móvel com bancada fixa e politrizes multicabeças com esteira transportadora, Kaschner (1996).

São ressaltados alguns fatores que devem ser evitados para uma melhor eficiência no processo de polimento, de acordo com Machado e Carvalho (1992):

Silva, Farah Diba da.

alta rugosidade do material a ser polido, que faz aumentar o tempo de desgaste e consumo de abrasivos; uso de areia no primeiro passo pode deixar grãos que nas etapas seguintes poderão riscar a superfície; impurezas na água devido à deficiência no processo de reaproveitamento; demora na troca de rebolos; abastecimento/d Descarregamento moroso das chapas; baixa qualificação de mão-de-obra.

Conforme o CETEMAG (2000), as principais funções da água no processo de polimento são: refrigeração, diminuição da temperatura de atrito entre rebolo e rocha; retirada de material, fragmentos de rocha e abrasivos, ao longo do polimento pois, por centrifugação, a água auxilia na remoção dos detritos; limpeza entre as trocas de abrasivos, pois no final de cada granulometria de abrasivo, deve-se limpar com água corrente possíveis fragmentos que se alojaram nos interstícios da placa, Rabinowicz (1966).

A baixa vazão de água pode provocar aquecimento da chapa que está sendo polida, com a queima da mesma, percebida quando o material da chapa muda de coloração. A vazão mínima de água recomendada é de 30l/min, pressões de 4 bar por satélite, CETEMAG (2000), figura 2.14.

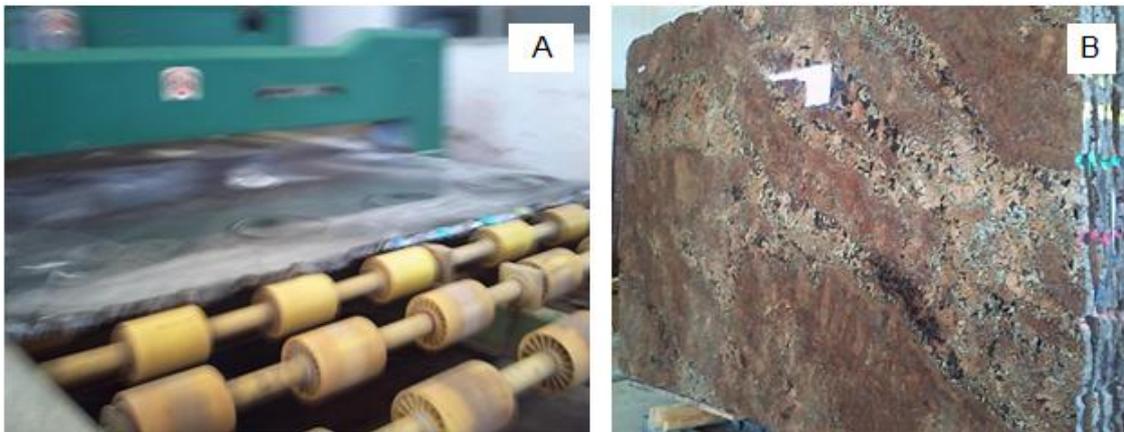


Figura 2.14 – Polimento de chapa granítica. (A) Processo final de polimento de chapa granítica. (B) Chapa polida.

As mesas, os abrasivos e os cabeçotes devem ser cuidadosamente lavados antes de iniciar cada operação de polimento. Durante o processo, é recomendável que o satélite superponha aproximadamente 10cm entre uma passada e outra. Quando o operador notar que as chapas estão apresentando riscos, deve imediatamente determinar a causa dos mesmos. A primeira providência é examinar a qualidade e quantidade de água; a seguir, verifica-se se há rebolos lascados ou

Silva, Farah Diba da.

quebrados para substituí-los, CETEMAG (2000b).

2.3.2. Seleção e acabamento

A fase final do processo produtivo é o acabamento que vai depender do tipo de rocha e do produto final pretendido. Esta fase consiste na chanfragem das arestas e obturação de poros sendo realizada por canteiros e operários especializados. Muitas empresas realizam trabalhos especiais em peças sob encomenda utilizando nesses casos equipamentos essencialmente manuais.

2.4. Setor de Rochas Ornamentais

O setor de rochas ornamentais se sustenta em função das características peculiares que o compõem em suas especificidades de ornamentais. Considerando a abundância em qualidade e variedade, as rochas ornamentais do Brasil, sobretudo os “granitos coloridos”, possuem grande potencialidade para serem importantes materiais de exportações.

Normalmente, no setor de rochas ornamentais, as rochas ornamentais, sejam os mármore ou os granitos, são classificadas nos tipos de “primeira”, “segunda” e até “terceira” categorias, compreendendo cerca de 500 tipos distintos em termos de variedade em todo o mundo. Historicamente, a totalidade da produção de material classificado como de primeira vinha sendo destinada para a exportação. No entanto, a partir do final do século XX, a construção civil vem requerendo este produto, particularmente em obras de prédios comerciais modernos, edificadas nos grandes centros urbanos, especialmente no eixo Rio-São Paulo-Minas, bem como para atender a padrões estéticos de fachadas, quanto para decoração de ambientes interiores, Balanço Mineral Brasileiro (2001).

Os recursos de mármore e granitos são, em geral, abundantes em boa parte do mundo, em especial aqueles de cores cinza, bege e branco. Alguns tipos fogem a essa regra (Balanço Mineral Brasileiro (2001)), e apresentam ocorrência mais localizada e jazimentos com menores volumes. Granitos azuis apresentam ocorrência mais localizada e jazimentos com menores volumes: são restritos, por exemplo, ao Brasil, Noruega e Zâmbia. Mármore pretos são encontrados apenas na Espanha, Itália e México. Granitos amarelos se encontram no Brasil e Namíbia. Mármore de coloração específica também são encontrados em localização restrita.

Silva, Farah Diba da.

No Brasil, são produzidos inúmeros tipos de mármore e granitos. Dos mais comuns e clássicos aos excepcionais, de texturas homogêneas às movimentadas, e de cores variadas, tais como cinzas, amarelos, vermelhos, beges, brancos, pretos, verdes, azuis, rosas e violetas.

O quadro setorial brasileiro pode ser ilustrado pela produção de 500 tipos de rochas comerciais, distribuídos entre granitos, mármore, ardósias, quartzitos, travertinos, pedra sabão, basaltos, serpentinitos, conglomerados, pedra talco e materiais do tipo pedra Miracema, pedra Cariri e pedra Mourisca, derivadas de quase 1.500 frentes de lavra. Os granitos lideram com cerca de 60% da produção brasileira, seguido de cerca de 20% relativos a mármore e travertinos e quase 8% a ardósias, conforme a Abirochas (2002).

O setor brasileiro de rochas ornamentais movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo-se a comercialização nos mercados internos e externos e as transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e serviços gerando cerca de 114 mil empregos diretos em aproximadamente 11.100 empresas, Abirochas (2000). O mercado interno é responsável por quase 90% das ações comerciais e as marmorarias representam 65% do universo das empresas do setor.

O desdobramento dos blocos de rochas ornamentais no Brasil é realizado através da utilização de teares e o parque de beneficiamento opera com quase 1.600 teares, e tem capacidade de serragem estimada em 40 milhões de m³/ano, Abirochas (2000). O setor de rochas ornamentais no Brasil cresce a cada ano e em 2005 teve um aumento nas exportações de 31,45%, em relação ao ano de 2004, com a comercialização de 2.157.455,36 toneladas de rochas brutas e processadas, Abirochas (2006), (figura 2.15). O Brasil produziu em 2005, 6,4 milhões de toneladas de rochas ornamentais, PEDRAS DO BRASIL (2006).

Tradicional produtores, fornecedores e detentores da melhor tecnologia, como a Itália, Grécia e Espanha, vêm assistindo, recentemente, à escalada da produção com custos mais atrativos e com participação crescente na composição da oferta mundial, dos países emergentes como China, Índia e Brasil. A China tem produzido em alta escala com qualificação e preços inferiores aos dos produtores tradicionais, SEBRAE (2005-2007).

No Brasil o Estado do Espírito Santo beneficia-se de sua posição geográfica

Silva, Farah Diba da.

privilegiada e infra-estrutura de ferrovias e portos disponíveis em seu território, fazendo-o figurar como principal pólo industrial brasileiro de rochas ornamentais, contribuindo para o crescimento do intercâmbio comercial entre o Brasil e outros países, Silva (1998).

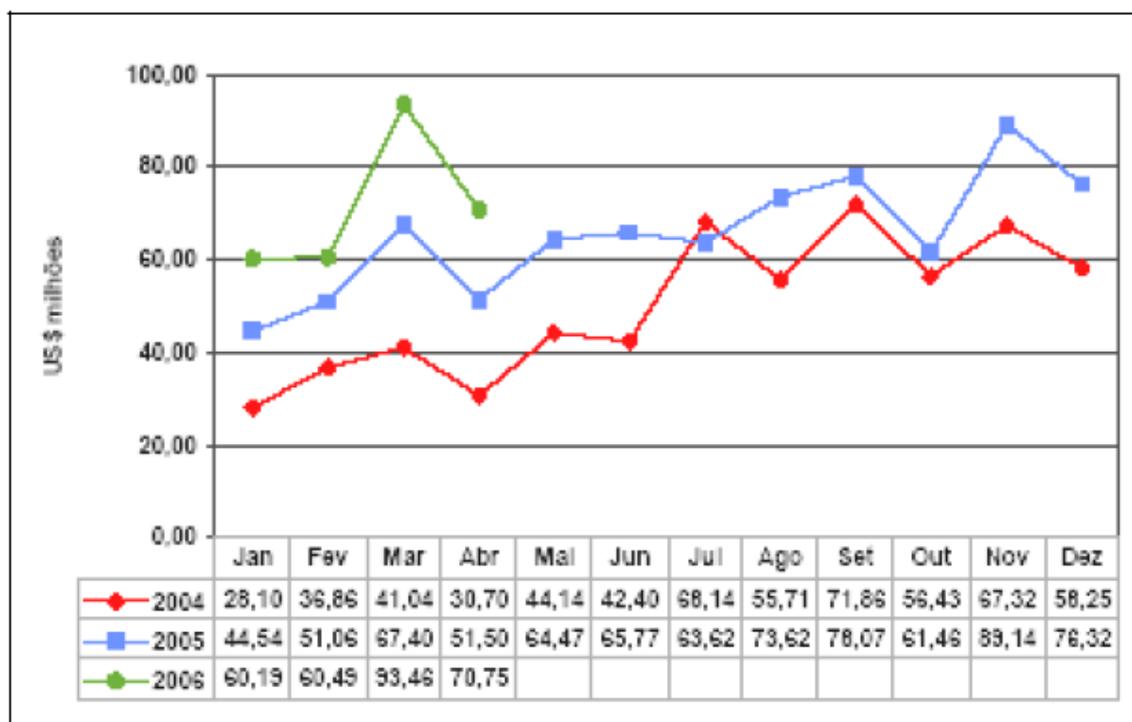


Figura 2.15 - Gráfico ilustrativo dos valores mensais das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2004-2006. Fonte: ABIROCHAS (2006).

O Brasil possui uma das maiores reservas mundial de mármore e granitos, de excelente qualidade pela grande diversidade de cores e texturas das rochas. Os principais estados produtores de rochas ornamentais são o Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia. O Espírito Santo responde por 56% da extração de granitos e 75% da produção de mármore, enquanto Minas Gerais responde pela maior diversidade de rochas extraídas (granitos, ardósias, quartzitos foliados, mármore, serpentinitos, basaltos, pedra sabão, pedra talco, etc) e a Bahia pela extração exclusiva de quartzitos maciços e travertinos. Juntos, esses três estados respondem por 80% da produção nacional de rochas, (figura 2.16).

Considerando-se as exportações nacionais por estados produtores, o Espírito Santo lidera as estatísticas, tendo alcançado uma participação de 44% em valor e 47% em volume, em 2001, seguido de Minas Gerais, com 28% e 34%, respectivamente.

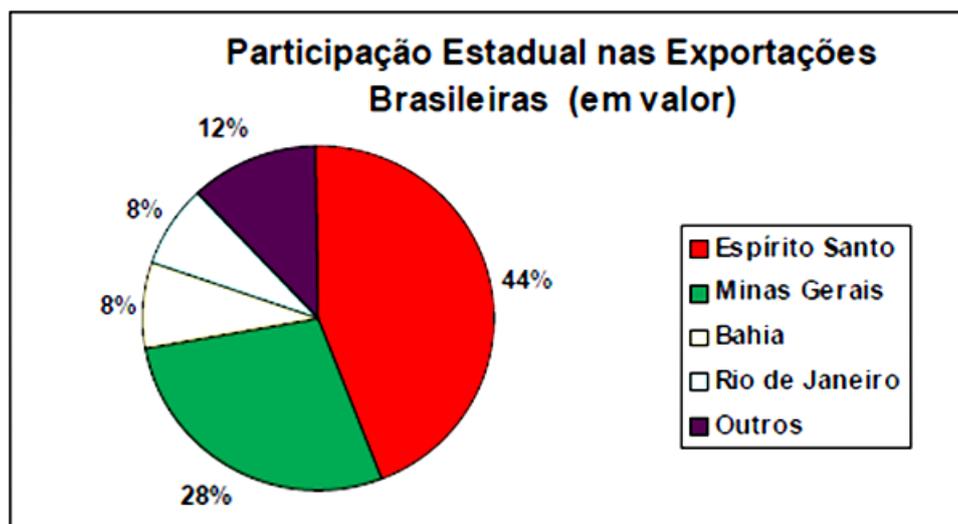


Figura 2.16 - Distribuição gráfica da participação estadual nas exportações brasileiras em valor. Fonte: MDIC/Secex.

As rochas ornamentos podem ser aproveitadas nos mais diversos ambientes, em virtude de sua infinita utilização, explorando a combinação de suas qualidades estruturais e estéticas, sendo o seu campo de aplicação dividido em quatro grupos principais, conforme Alencar et al. (1996):

- Arquitetura e construção - é o grupo mais representativo, pois mobilizam os maiores volumes de produtos e de dinheiro no mercado mundial, abrangendo as edificações, sejam elas públicas ou privadas;
- Construção e revestimento de elementos urbanos - pavimentação de vias para veículos e pedestres, de praças e parques, construção de jardins, fontes, bancos ou assentos, calçadas, meios-fios, etc;
- Arte funerária – construção e ornamentação de túmulos e mausoléus;
- Arte e decoração – estátuas, esculturas, objetos e acessórios arquitetônicos e de decoração com balcões, bancadas de pia, móveis e outros pequenos objetos decorativos.

De acordo com SEBRAE Minas (2005-2007), cerca de 70% da produção mundial de mármore e granitos são transformados em chapas processadas para revestimento em edificações e produtos beneficiados, com ladrilhos para pisos, escadas e *halls*. O seu uso em edificações, principalmente na forma de chapas, ladrilhos e colunas, decorre de propriedades como resistência, durabilidade, baixo custo de manutenção, beleza e facilidade de aplicação, 15% é desdobrada em

Silva, Farah Diba da.

peças para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% para outros campos de aplicações. O consumo de rochas é estimado em 600 milhões de m²/ano, sendo os produtos cerâmicos, com um consumo de 3,8 bilhões de m²/ano, seus principais concorrentes na construção. A demanda por esses materiais é determinada em função da cor, homogeneidade, movimentação e beleza, entre outras características. A figura 2.17, apresenta as distribuições de consumo setorial das rochas ornamentais no mundo e no Brasil.

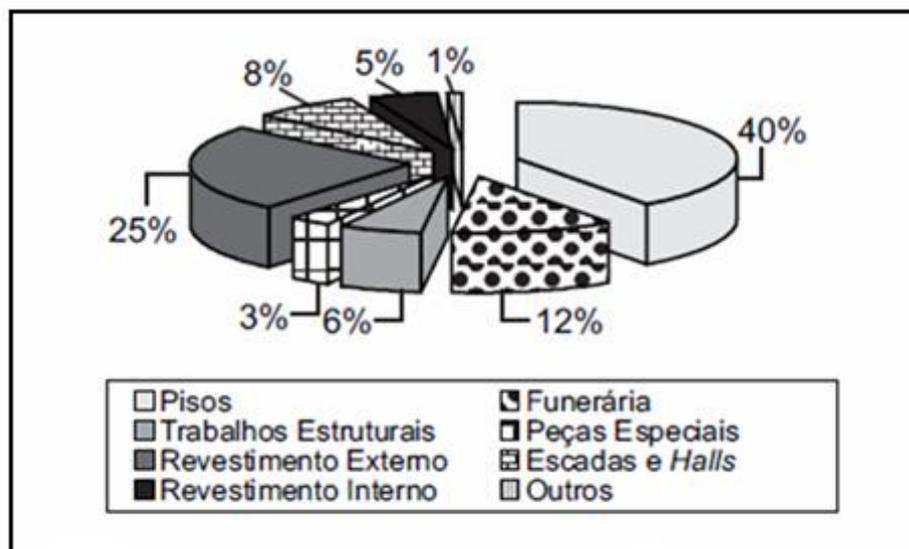


Figura 2.17 - Distribuição gráfica setorial do consumo de mármore e granito no Brasil. Fonte: SEBRAE Minas (2005-2007).

2.5. Impactos Ambientais

A atividade transformadora de rochas ornamentais, atividade industrial humana caracterizada pela produção de elevadas quantidades de resíduos, embora seja muito importante a nível econômico e social, ao longo dos anos tem acumulado graves problemas relacionados com inexistência de um sistema de gestão de resíduos do setor, entre os quais, com marcada incidência, as lamas resultantes da fase de transformação. Estes resíduos podem ser designados por lamas, lodos ou natas, Oliveira (2005).

A ausência de uma política de deposição adequada do resíduo permite a geração de áreas conhecidas com “bota fora” e aterros clandestinos que podem provocar o assoreamento de córregos, entupimentos de bueiros e galerias, degradação das áreas urbanas, Pinto (1999), Gavilan e Bernold (1994), Zordan

Silva, Farah Diba da.

(1997) e a proliferação de animais peçonhentos e roedores, que trazem prejuízos à saúde pública da população circunvizinha.

A agenda 21 ressalta, para a construção sustentável, a fabricação de materiais e sua relação com a redução das quantidades de material e energia contidas nos produtos. Existe a preocupação crescente com o desperdício, o esgotamento das reservas naturais e a necessidade de recursos financeiros para a gestão dos resíduos que justificam a prática da sustentabilidade

Os produtos resultantes desta indústria são produtos “aparentemente sem toxicidade”, constituídos principalmente por pó de pedra e água. São, muitas vezes, denominados de subprodutos pela sua possível reutilização, Oliveira, (2005). Ao longo dos anos, estes resíduos têm sido acumulados em aterros superficiais a céu aberto, não controlado, e sem qualquer tipo de planejamento, causando impacto visual na paisagem ambiental, (figura 2.18 (A) (B)).

Os resíduos, quando secos, constituem-se em um pó fino que pode ser prejudicial à saúde humana. A lama abrasiva residual é um composto de substâncias químicas contendo óxidos de ferro e de alumínio, com um pH elevado. Danos ao meio ambiente causados por alterações químicas do resíduo não são significativas, visto que a granalha de aço é um material que contém baixos teores de enxofre e de fósforo, e o pó moído da rocha não sofre alterações significativas em suas características químicas. Esta lama, de granulação muito fina quando tratada de forma adequada, pode substituir os agregados finos utilizados em argamassas e na produção de materiais cerâmicos, impactando de maneira positiva, o meio ambiente.



Figura 2.18 – (A) Lama da serragem de rochas ornamentais; (B) Acumulação da lama no meio ambiente.

Silva, Farah Diba da.

A deposição dos resíduos, de forma ecologicamente incorreta, afeta esteticamente a paisagem além de acarretar despesas de armazenamento e poluição ambiental, (figura 2.18 (B)). Em caso de lançamento da lama abrasiva como rejeito diretamente nos rios, o assoreamento destes pode acontecer, poluindo suas águas e gerando impactos, como o comprometimento da sobrevivência animal e vegetal no ambiente. Os rejeitos em sua grande maioria são descartados em lagoas de decantação e aterros, Filho et. al. (2005). Os impactos estão na origem de problemas como o da inutilização do solo, contaminação ou degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, destruição da vegetação, Oliveira (2005).

2.6. Resíduos Industriais

Os geradores de resíduos podem ser definidos como pessoas físicas ou jurídicas, as quais são responsáveis por empreendimentos ou atividades geradoras de resíduos. No ano de dois mil e quatro (2004), foram publicadas várias normas de resíduos sólidos, como a finalidade de orientar o manuseio e seu destino adequado, devido aos prováveis riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública sendo a NBR 10004, uma destas normas.

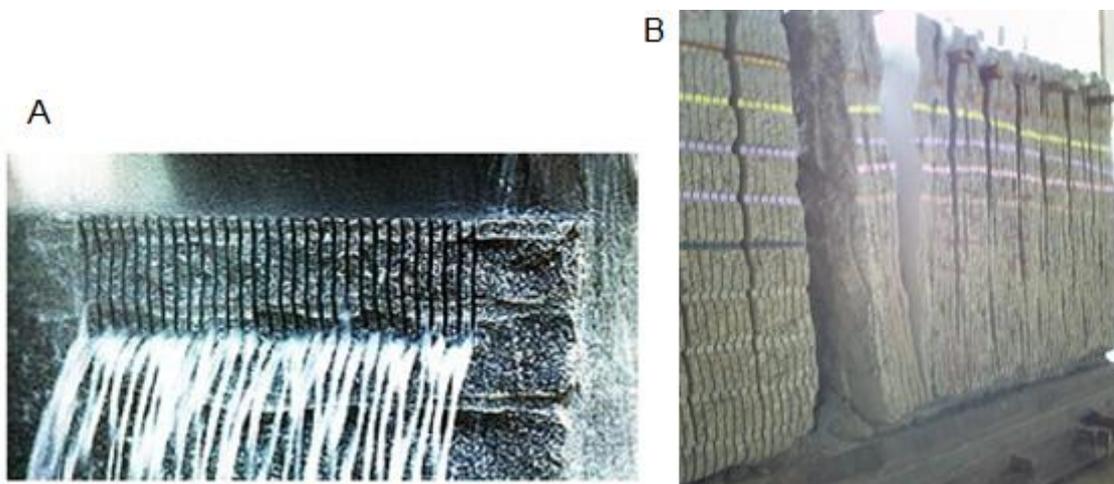


Figura 2.19 – (A) Serragem de bloco de granito em chapas. Fonte: Silva (1998); (B) Blocos graníticos transformados em chapas – Suape, PE.

A maior parte dos resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais acontece principalmente no primeiro processo, que é a transformação de chapas durante a serragem de blocos oriundos da jazida (figura 2.19 (A) (B)). O processo de transformação de blocos em chapas resulta na perda de rocha da ordem de 30 a

Silva, Farah Diba da.

40% da massa do bloco, conforme Peyneau (2004). Durante o polimento, e em todas as outras etapas do beneficiamento, até chegar ao estágio final do produto especificado, a produção de rejeitos finos é menor que aquela quando da serragem do bloco em chapas, Junior et al (2001), Silva et al. (2005), Souza, (2005).

A indústria das rochas ornamentais gera uma enorme quantidade de efluentes de resíduos sólidos por ano. Equacionar o contínuo desenvolvimento do setor, sem que haja um impacto sobre o meio ambiente, é uma prioridade. Dessa forma a reciclagem do rejeito é uma alternativa que possibilita agregar-lhe valor, gerar novos empregos e ajudar a minimizar o problema ambiental, Filho et al. (2005).

2.6.1. Separação Magnética

A separação magnética é o processo mineral capaz de classificar qualitativamente os materiais metálicos e não metálicos a partir de misturas de que contenham estes minerais. A separação magnética pode ser classificada em quatro categorias, dependendo do meio utilizado e da intensidade de campo: a seco, de baixa intensidade; a seco, de alta intensidade; a úmida, de alta intensidade; e úmida de baixa intensidade.

A classificação magnética realizada com o uso do separador magnético de Rolo Induzido origina três tipos de produtos denominados de acordo sua intensidade magnética: rejeito, quando não possui propriedades metálicas; mistos, por possuir baixa atração magnética e o altamente magnético, este último conseguindo ser atraído pelo rolo induzido e ser conduzido para o recipiente de tal classificação, podendo ser atraído minerais de composição metálica ou grãos em forma de grânulos. A caracterização magnética obtida com o uso dos separadores magnético Frantzi e o ímã comum produzem produtos considerados metálicos e não-metálicos.

De acordo com Sampaio et. al (2004), a aplicação desse método no processo mineral estende-se desde a remoção de sucatas metálicas, aos separadores criogênicos ou supercondutores. A tecnologia dos materiais e do magnetismo permite a criação de gradientes e campos mais elevados. Surgiram separadores com campos da ordem de 6T (60.000 G), que empregam a tecnologia de supercondutores. Registram-se também separadores com ímãs permanentes com base em elementos de terras raras.

A suscetibilidade magnética de um material a um campo magnético divide-se em duas categorias classificatórias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por esse campo. Destacam-se detalhes desses materiais, conforme Sampaio et. al. (2004).

- i. Minerais ferromagnéticos compreendem aqueles que são fortemente atraídos pelo imã comum. Exemplo: magnetita (Fe_3O_4);
- ii. Os minerais paramagnéticos são fracamente atraídos pelo imã comum como a hematita (Fe_2O_3). São minerais com permeabilidade magnética mais elevada que a do meio circundante, usualmente água ou ar. Além disso, concentram um elevado número de linhas de indução proveniente do campo externo.
- iii. Minerais diamagnéticos possuem susceptibilidade magnética negativa e, portanto, são repelidos quando submetidos a um campo magnético. São exemplos, além do quartzo, a cerusita, magnesita, calcita, barita, fluorita, esfalerita, dentre outros. Esses minerais possuem permeabilidade magnética mais baixa que a do meio circundante (água, ar). Esse efeito diamagnético é em geral menor que o correspondente efeito de atração dos minerais paramagnéticos.

2.7 Reutilização do Pó na Indústria Cerâmica

Na indústria cerâmica, resíduos de mármore e granitos são compatíveis com as composições químicas e físicas pré-requisitadas para uma massa cerâmica. A lama apresenta-se de compatível potencial granulométrico a ser incorporado em massas argilosas usadas para a fabricação de produtos cerâmicos. A aplicação na indústria cerâmica se deve também a seu comportamento não plástico, característico de material cerâmico. Teores de ferro, contidos no resíduo, são aceitáveis na composição química da cerâmica vermelha tradicional utilizada para fabricação de telhas, tijolos maciços, blocos estruturais, blocos de vedação, lajotas, elementos vazados, agregados leves, etc. A cerâmica vermelha inclui utensílios de uso doméstico como panelas, travessas e talhas, incluem objetos de adornos como vasos, floreiras e etc. A indústria cerâmica faz parte do conjunto de cadeias produtivas do complexo da construção civil.

Estudos arqueológicos datam a origem da cerâmica do início do período Neolítico (entre 10000 e 6000 a.C.), fase do desenvolvimento técnico das sociedades humanas, decorrentes da descoberta de meios de controlar e desenvolver os recursos para a sua sedentarização, Padilha (1997). Durante o período Neolítico, o homem pré-histórico já fabricava cestas de vime com barro, e posteriormente, verificou-se que poderia usar somente o barro endurecido com o calor do fogo, surgindo assim a cerâmica.

A palavra “cerâmica” deriva do termo grego *keramike*, derivação de *keramos*, que significa “feito da terra” ou “terroso”. As cerâmicas são definidas como sendo os materiais inorgânicos não-metálicos geralmente submetidos à temperatura elevada durante a produção ou uso, McLaren (1987).

Material cerâmico é um termo que se estende aos produtos obtidos a partir de substâncias minerais não-metálicas que primeiramente são moldados e em seguida, através de um tratamento térmico em temperaturas elevadas, tornam-se mecanicamente resistentes, Grandi e Renó (1989). Segundo Gonsalves e Vanderline (2003), assim, cerâmica é o material obtido por moldagem, secagem e queima do composto de matérias-primas inorgânicas (minerais ou sintéticas), que através da queima o transforma em um objeto sólido de estrutura parcialmente cristalina e vítrea.

Conforme Rabelo et. al (2002), a obtenção de corpos cerâmicos com microestruturas densas e constituídas de grãos uniformes e finos tem sido a meta de muitos estudos de processos cerâmicos. O produto cerâmico apresenta vantagens de uso e qualidade, como: constituição de unidades de pequenas dimensões; detalhamento estético; estrutura leve; resultando menor custo para fundações, acabamento com uso aparente; abundância de matéria prima na maioria das regiões do país; bom isolamento térmico e acústico; resistência ao fogo, Norton (1973), Marino e Boschi (1998).

As matérias-primas naturais utilizadas na produção de um material cerâmico constituem-se de matérias-primas argilosas plásticas e não plásticas. As matérias-primas argilosas de propriedade plástica são oriundas de rochas argilosas puras. A plasticidade é uma propriedade física que permite a moldagem da massa dando forma de um objeto cerâmico. As matérias-primas não plásticas apresentam-se com propriedades físicas não moldáveis, independente de ser argilosa ou não.

Argila é um material formado de minerais que são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, com certa percentagem de álcalis e de alcalinos terrosos. São encontrados ainda outros elementos que possuem a capacidade de formarem com a água, uma pasta que pode ser moldada e endurecida sob a ação do calor como a sílica, a alumina, a mica, o cálcio, a matéria orgânica dentre outros elementos resultantes da desagregação intempérica do feldspato.

As argilas são classificadas de acordo com o transporte e sedimentação dos fragmentos das rochas e suas aplicações industriais estão relacionadas com as propriedades físicas e químicas. São os principais minerais que compõem a fração fina, ou argilosa dos solos. Estes apresentam capacidade de troca catiônica e plasticidade, suas dimensões são inferiores a 2µm e podem ser subdivididos em três grupos principais: caulinitas, ilitas e esmectitas.

As caulinitas são utilizadas na fabricação de cerâmica refratária, cerâmica sanitária e para porcelanas. É considerada uma argila fusível a temperaturas altas e após sua queima adquire a cor branca translúcida; esmectita é usada misturada às caulinitas para corrigir a plasticidade, e é uma argila considerada muito absorvente; micáceas são as argilas utilizadas principalmente na fabricação de tijolos.

As caulinitas, devido a sua estrutura iônica, são menos susceptíveis a variações de volume por absorção de água e possuem menor capacidade de permuta catiônica que as ilitas e as esmectitas que são as mais instáveis. Sabbag (1980) afirma que as forças de interação entre as partículas são alteradas e a natureza da água adsorvida pode também ser modificada. A capacidade de troca catiônica (CTC) é observada como a capacidade dos argilominerais, devido à carga negativa dos íons adsorvidos em sua superfície, de atrair e trocar cátions com o meio aquoso, influenciando as propriedades físico-químicas e tecnológicas do material no qual provoca, ainda, uma alteração no sistema argila-água do solo.

A ordem de substituição dos cátions, dependendo de sua concentração na água do solo é a seguinte: Na, K, H, Mg e Ca. Na tabela 2.1, são mostradas outras propriedades dos argilominerais e a comparação com a partícula de quartzo da areia, Bell (1996).

As matérias-primas empregadas em geral na indústria cerâmica podem ser de origem natural como as argilas vermelhas, argilitos, siltitos, filitos, agalmatólitos,

Silva, Farah Diba da.

caulins, feldspatos, quartzos, calcários; e dentre as matérias-primas denominadas sintéticas cita-se a alumina, óxidos e corantes, de acordo com Bustamante e Bressiani (2000).

Argilas Plásticas

São as argilas de queima clara, compostas de caulinita e argilominerais subordinados como a illita e esmectita, com variável conteúdo de quartzo, feldspato, micas e matéria orgânica. Na composição da massa fornecem plasticidade, trabalhabilidade, resistência mecânica e refratariedade, Motta et.al. (1998).

Atribui-se à presença de matéria orgânica contida na argila a promoção do aumento de plasticidade.

A plasticidade das argilas está associada à formação de um filme de água, de uma certa espessura, à volta das partículas argilosas, que atua como um filme lubrificante; se contiver mais água do que a necessária para a formação, esta água livre permite a fluidez e implica a redução ou mesmo eliminação da plasticidade, conforme Obstler (The American Ceramic Society) e Jouenne (1990). Se o teor de água for muito reduzido, as partículas tocam-se e a plasticidade acabará por desaparecer. Portanto, o teor de água influencia a plasticidade dependendo o ponto de plasticidade máxima da área superficial capaz de ser umedecida. Estes filmes de água adsorvida parecem ter uma estrutura induzida pela superfície com a qual estão em contato, gerando-se uma continuidade estrutural entre todas as partículas, que conferem ao sistema, simultaneamente, um certo grau de rigidez e uma certa facilidade de deformação. A plasticidade das argilas pode ser afetada também por: temperatura da água; dimensão das partículas sólidas, área superficial das partículas e sua atração molecular; forma das partículas e sua estrutura interna; distribuição de tamanho das partículas sólidas; composição mineralógica das partículas sólidas; agregação das partículas; origem das argilas e tratamentos prévios, de acordo com Gomes (Fundação Calouste Gulbenkian) e Santos (Ciência e Tecnologia das Argilas).

Tabela 2.1: Propriedades químicas e físicas das argilas.

	Caulinita	Montmorillonita	Quartzo
1. Composição Química			
SiO ₂	47,0%	60,4%	99,19%
Al ₂ O ₃	38,3%	19,2%	0,2%
Álcalis (K ² O, Na ² O}	0,8%	1,1%	
Fe ₂ O ₃	0,5%	1,7%	0,01%
TiO ₂			0,04%
CaO		1,9%	0,07%
MgO		5,6%	
Perda de ignescência	13,3%	8,4%	0,35%
PH a 10% de sólidos	5,0±0,5	8,6±0,5	5,8±0,3
C.T.C. (meq/100g)	2 - 16	80 - 120	
2. Propriedades Físicas			
Distribuição granulométrica			
0,06mm - 0,002mm	6%	24%	32%
Menor que 0,002mm	94%	76%	68%
Massa específica (g/cm ³)	2,57	2,63	2,65
Limite de liquidez	75	114	52
Limite de plasticidade	42	67	38
Índice de plasticidade	33	47	14
Atividade	0,35	0,47	0,27
Tensão de compressão (Kpa)*	350	127	318
Módulo de elasticidade	35	26	24
Teor de umidade ótima (%)	29,5	200,0	28,5
Densidade máxima seca (Mg/m ³)	1,40	1,29	1,41
CBR	1	9	1

*No teor de umidade ótima.

GUIMARÃES (1998), Kubo (1986), e VIOLANI (1987) explicam melhor o fenômeno da floculação com maior ênfase nas estabilizações de solos argilosos com a cal.

Caulim

O caulim é um produto da alteração mais ou menos acentuada de decomposição dos feldspatos pelos agentes da natureza, pela ação da água carregada de CO₂. Os feldspatos são silicatos duplos de Al e de um metal alcalino ou alcalino-terroso (K, Na ou Ca), Caputo (1973). Sua queima é branca e é mais abundante que as argilas plásticas. Material composto essencialmente pelo argilomineral caulinita, pode entrar em adição ou substituição as argilas plásticas; apresenta plasticidade e resistência mecânica a seco inferiores a estas argilas, mas comportamento na queima semelhante ou superior, além do menor conteúdo de

Silva, Farah Diba da.

matéria orgânica, que deve ser controlada na queima rápida, Motta et.al. (1998).

Argilas Fundentes

As argilas fundentes são compostas por uma mistura de argilominerais, que incluem a illita, caulinita e esmectita, com proporção variada de quartzo e outros minerais não-plásticos, com presença de óxidos fundentes. Trata-se de rochas sedimentares antigas, tais como siltitos e argilitos, Motta et.al. (1998).

Há também o uso de fundentes como os feldspatos que são os mais utilizados na indústria cerâmica. Os álcalis (potássico e sódico) do feldspato na massa propicia a formação de materiais vítreos pela reação com a sílica. Atuam como fonte de fundência para a sinterização das massas, onde suas partículas sólidas se aglutinam pelo efeito do aquecimento a uma temperatura inferior à de fusão, formando a amálgama, diminuindo a porosidade do material e aumentando sua resistência, Ravaglioli (1989).

Filito

O filito cerâmico, também denominado de leucofilito, é uma rocha metassedimentar muito fina constituída basicamente de sericita, caulinita e quartzo, que apresenta um conteúdo de álcalis da ordem de 7%, dando-lhe características fundentes. Devido à sua composição química e mineralógica, o filito apresenta propriedade dos materiais não-plástico e plástico, podendo compor até 50% de muitas massas cerâmicas do processo via úmida, Motta et.al. (1998).

Talco

É um mineral filossilicático contendo magnésio e é utilizado na massa cerâmica via úmida, na proporção de 5% (grés), sendo que outrora era empregado em porcentagem bem maiores, Motta et.al. (1998).

Carbonatos

As matérias-primas carbonáticas (calcário, calcita e dolomito) são de fundamental importância na produção de biscoitos de revestimentos porosos, podendo atingir proporções superiores a 20% na composição da massa. A sua utilização, no entanto, requer cuidados de granulometria grossa e determinadas impurezas, Motta (op. cit.). As argilas carbonáticas ainda são de uso pouco comum no Brasil, a adição de argila carbonática em monoporosa, em substituição ao

Silva, Farah Diba da.

calcário, apresenta vantagens técnicas.

A plasticidade é importante para obter uma forma definida e pode ser adquirida em materiais argilosos constituídos por alumínio, silício e traços de cálcio, ferro e titânio. Algumas funções dos óxidos encontrados na composição da matéria-prima argilosa:

Al_2O_3 : plasticidade, refratariedade, ajuste da fusibilidade evitando deformações;

SiO_2 : para a obtenção de uma estrutura vítrea, um esqueleto resistente;

Fe_2O_3 e TiO_2 : para a obtenção de cor e, por vezes, propriedades de ajuste de pontos de fusão;

CaO e MgO : para controle de retração, tensão superficial e dilatação térmica, através da formação de silicatos de cálcio e de magnésio;

K_2O e Na_2O : como fundentes, formam fases vítreas entrelaçadas à estrutura do silício que ajustam os demais componentes para se obter um produto de características técnicas desejadas;

Algumas propriedades físicas e químicas da matéria-prima da indústria cerâmica são adquiridas com a estocagem periódica da matéria-prima ao ser explotada da jazida. A estocagem das argilas devem por um período de 6 meses a dois anos. A exposição do material extraído às intempéries provoca a lavagem de sais solúveis, melhoram a plasticidade e homogeneiam a distribuição da umidade, Zandonadi e Loshimoto (1991).

2.7.1. Grupo dos óxidos

O químico alemão Herman Seger, no final do século passado classificou os óxidos em três grupos: óxidos fundentes (básicos ou alcalinos), óxidos neutros e óxidos ácidos, com mostra a tabela 2.2, conforme Chavarraia (1997).

Conforme esta classificação de acordo com Seger, os metais dos óxidos do grupo básico são monovalentes ou bivalentes, e a fórmula é representada por $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$ (onde a letra R representa o metal). No grupo neutro, a fórmula é composta por óxidos trivalentes representada por R_2O_3 , e no grupo ácido, metais tetravalentes, representados por RO_2 . Observa-se que os agentes considerados fundentes se

Silva, Farah Diba da.

encontram no grupo RO, os elementos refratários no R_2O_3 e os vitrificadores no RO_2 , Chavarraia (op. cit.).

Tabela 2.2: Classificação dos óxidos segundo Seger. Fonte: Chavarraia (1997).

Grupo Básico	Grupo Neutro	Grupo Ácido
Na_2O	Al_2O_3	SiO_2
K_2O	B_2O_3	TiO_2
CaO		ZrO_2
Li_2O		SnO_2
MgO		
BaO		
ZnO		
SrO		
PbO		

Os óxidos não se expressam por peso, mas por número de mols, onde mol é a soma das massas atômicas relativas dos elementos que constituem uma substância (por exemplo: 1mol PbO tem massa 223g, Vogel (1981)). Quando a soma das frações molares que acompanham os óxidos da coluna RO somam 1, diz-se que a fórmula é unitária, tendo-se em conta o seguinte:

- Os óxidos fundentes (básicos ou alcalinos), do tipo RO/R_2O , são escritos ao lado esquerdo da fórmula, expressos em frações moleculares, e é condição essencial para que a soma seja igual a 1(um).

- Os óxidos neutros ocupam a zona central, onde o óxido de alumínio está quase sempre sozinho. A proporção deste óxido pode variar entre 0,1 e 1,5 moléculas. Sendo a proporção ideal, a décima parte da quantidade de moléculas da sílica.

- Os óxidos ácidos, à direita na fórmula, pode variar de 1,5 a 15 moléculas de sílica.

2.7.2. Processamento de massas cerâmicas

As matérias-primas devem ser misturadas úmidas ou secas, outras matérias-primas devem ser moídas a seco com a adição de aditivos ou de ligantes, combinando-se métodos de processamento das matérias-primas por via úmida e por via seca. A mistura de duas ou mais argilas ocorre quando uma ou mais argila não é

Silva, Farah Diba da.

própria para a fabricação de produtos cerâmicos, devido à sua granulometria e propriedades físico-químicas.

Esta mistura pode ser feita com maquinário específico, como a exemplo das bateadeiras industriais, ou no método de granulação em peneiras quando não se tem uma quantidade expressiva, Smith (1998).

2.7.2.1. Moagem

É uma etapa necessária para o controle sobre a granulometria, porque a variação granulométrica pode significar a variação na tonalidade do produto acabado. A moagem mais efetuada para a cerâmica vermelha, considerada massa simples ou tradicional, é através do processo de via seca, Emiliani e Corbara (1999).

A moagem via úmida pode refletir-se em uma maior homogeneização da massa, redução de defeitos no produto acabado, melhor controle microestrutural e das propriedades cerâmicas, assim como redução dos custos envolvidos na produção, conforme Oliveira et. al (2000). Para tanto, as suspensões devem apresentar elevada estabilidade à formação de aglomerados, traduzindo-se em baixas viscosidades a elevadas concentrações de sólidos, Dinger (2002).

Em virtude das elevadas energias superficiais que apresentam os pós cerâmicos quando em meio líquido, as forças de Van Der Waals atuam no sentido da desestabilização das suspensões, pela formação de aglomerados Staneva et. al. (1995). Este conceito é importante na explicação da formação de grânulos, um comportamento comum entre partículas finas.

A moagem via seca pode ser requerida desde que seja necessário a cominuição dos grãos antes da mistura das matérias-primas.

2.7.2.2. Granulometria da massa

A distribuição de tamanho granulométrico das partículas e sua morfologia resulta em grande parte na porosidade final do produto. O volume total dos poros intragranulares depende, principalmente, da forma e da distribuição das partículas que compõe o aglomerado. Uma distribuição de tamanho de partículas adequada promove um empacotamento de partículas de elevada densidade relativa,

Silva, Farah Diba da.

minimizando o volume destes poros no compacto, Albero (2000).

De acordo com Arantes (2001), a estrutura de poros de um compacto cerâmico começa a ser definida, no caso de uma massa cerâmica para prensagem, a partir das características dos grânulos que compõe a massa. Como os grânulos são, na verdade, aglomerados de partículas primárias unidas entre si por ligações secundárias, apresentam certa quantidade de poros em seu volume. É a chamada *porosidade intragranular*.

Por mais eficaz que seja o empacotamento, ocorre a formação de vazios entre os poros. A este segundo conjunto de interstícios formado durante o empacotamento dos grânulos, dá-se o nome de *porosidade intergranular*. O conjunto formado pelos poros intra e intergranulares, durante o preenchimento das cavidades do molde, define a disposição inicial de poros no compacto cerâmico. Tal situação é apresentada na figura 2.20.

Formação dos Poros

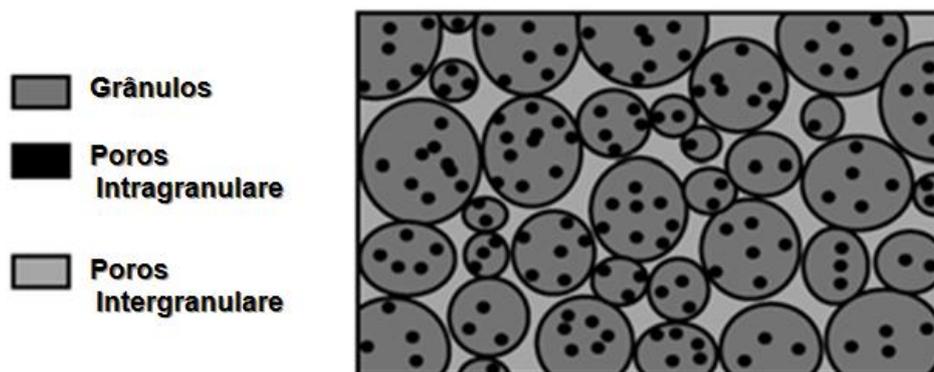


Figura 2.20 - Esquema ilustrativo da disposição inicial dos poros intra e intergranulares. Fonte: Arantes (2001).

A condição de máximo empacotamento é obtida com grânulos de formato esférico, isentos de crateras ou ocos, de superfícies lisas e com uma distribuição de tamanho adequada. Neste caso, *Reed (2000)* fala em distribuição trimodal de tamanhos de poro, e *Albero (2000)* os inclui, para efeitos de compactação, como parte da porosidade intergranular, devido à semelhança de comportamento entre estes poros e aqueles durante a etapa de compactação.

2.7.2.3. Extrusão

É o processo através do qual a massa cerâmica é forçada a passar através de uma boquilha de metal com a forma desejada. Basicamente a transformação de artefatos da indústria cerâmicos ocorre por extrusão.

2.7.2.4. Secagem

O objetivo da secagem é realizar a retirada da água da peça “crua”, oriunda do processo anterior que deu a forma de objeto cerâmico denominado de extrusão das peças cerâmicas. Esta umidade, necessária à moldagem da peça, deve ser retirada para obter-se ganho de resistência mecânica, devido a uma densificação decorrente do empacotamento e atração de partículas que aumentam as forças de ligação entre as mesmas. A secagem pode ser efetuada em temperatura ambiente (ao ar livre) ou secadores, sejam verticais ou horizontais, constituídos por um túnel com a circulação de ar quente em seu interior.

A remoção da água é realizada sob uma temperatura maior ou igual a 100°C e pode durar 24 horas para um componente cerâmico de grandes dimensões, ou a depender da metodologia utilizada para o processo de secagem.

2.7.2.5. Sinterização

A sinterização pode ser definida como o processo através do qual as pequenas partículas de um material ligam-se por difusão no estado sólido a altas temperaturas, resultando na transformação de um compacto poroso em um produto resistente e denso. É um processo técnico que atende as exigências técnicas necessárias na produção de cerâmica vermelha, requerido principalmente para a fabricação de blocos estruturais e telhas

Os produtos cerâmicos têm o esqueleto dos grãos minerais formados durante a queima. É o responsável pelas propriedades mecânicas, resultando em um material leve, resistente e poroso, Van Vlack (1973). O tijolo de barro cozido no processo de queima tem a área específica das partículas reduzidas, conseqüentemente acontece a redução do volume aparente e aumento da resistência mecânica. Diversos resultados obtidos após a sinterização do produto cerâmico é conseqüência da aproximação das partículas, que elimina os espaços vazios entre os grãos, proporcionando menos porosidade à peça cerâmica final e,

Silva, Farah Diba da.

por conseguinte uma maior resistência mecânica.

A queima pode ser por biqueima ou por monoqueima. A biqueima é realizada em fornos tipo túnel em temperaturas em torno de 960 a 1020°C. Os materiais argilosos sofrem reações físico-químicas que conferem ao material consistência definitiva. A monoqueima é efetuada em temperaturas entre 1150 e 1230°C em ciclos rápidos de 50 a 90 min, em fornos contínuos com rolos refratários, Grandi e Renó (1989). A substituição dos tradicionais fornos de túnel por modernos fornos a rolo que permitiu a fabricação de produtos com grandes formatos desde 20 x 20cm até 120 x 60cm, deu início a uma grande revolução no setor.

Os processos de queima utilizados para produção cerâmica ao longos dos anos têm sido baseada principalmente em fornos de lenha. O não avanço tecnológico tem levado a certas restrições como oscilações no poder calorífico, resultando muitas vezes na fabricação de produtos com pouca uniformidade das peças, geometria irregular e baixa resistência. A maioria das cerâmicas queimam em torno de 650°C, Ramos (2006).

A grande concentração no Brasil de indústrias cerâmicas está localizada nas regiões sudeste e sul, devido ao maior desenvolvimento associado as facilidades de matérias-primas, energia e centros de pesquisa. Outras regiões têm apresentado desenvolvimento, principalmente a região nordeste, onde o crescimento do turismo e a instalação de fabricas aumentaram a demanda por materiais cerâmicos, ABC (2002).

2.8. Cerâmica vermelha

A indústria de cerâmica vermelha está entre as indústrias de materiais de construção mais tradicionais do mundo, Tavares (2002). Este segmento caracteriza-se pela cor vermelha de seus produtos que são tijolos, blocos, telhas, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros. O setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é tipo monocomponente (só argila), e pode ser denominada de simples ou natural, na concepção de Emiliani e Corbara (1999).

A formulação de massa busca, em geral de forma empírica, uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade. A preparação da massa é feita geralmente através da mistura de uma argila “gorda”, que é caracterizada pela alta plasticidade,

Silva, Farah Diba da.

granulometria fina, e composição essencialmente de argilominerais com uma argila “magra”, esta rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada também como material redutor de plasticidade.

Dentro da chamada cerâmica tradicional ou cerâmica silicática de base argilosa, a cerâmica vermelha requer em sua massa matérias-primas plásticas e matérias-primas não-plásticas. As matérias-primas plásticas (ou gordas) são argila comum, argila plástica e caulim, e as não plásticas são feldspato, filito, talco (ocasionalmente adicionado), calcário, quartzo, e outros que podem ser ocasionalmente adicionados.

Os sedimentos argilosos em geral apresentam variações significativas de suas características no depósito. No segmento de cerâmica vermelha a argila é a matéria-prima composicional principal da massa, e a variação de suas características pode ocasionar problemas de processamento e de inconstância das propriedades finais requeridas. A variação das características das argilas pode ser minimizada pelo conhecimento da jazida e elaboração de uma exploração racional com o de técnicas de homogeneização, geralmente por pilhas, Whittmore (1994); Facincani (1997).

2.8.1. Propriedades de um produto cerâmico

As normas editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnica são o meio que qualificam o material cerâmico mas, para que as recomendações sejam cumpridas, é necessário a aplicação de testes que comprovam sua qualidade. Assim são necessários ensaios funcionais como módulo de elasticidade, limites de resistência, coeficiente de dilatação térmica, tenacidade, difusão térmica, retração linear e etc., para a verificação da desempenho do produto cerâmico e certeza nos valores das variáveis.

2.9. Na Construção Civil

O resíduo em forma de lama pode ser empregado nas indústrias do setor da construção civil, por ser um dos setores que mais consome matéria prima, e na indústria da cerâmica vermelha, pois nesses artefatos, sua composição pode conter teores de ferro sem o comprometimento mecânico da peça como produto final.

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, consumindo entre 20 a 50% dos recursos naturais, conforme o Sumário Mineral (2004). A produção brasileira de agregados, em 2003, foi de 320 milhões de toneladas, sendo 190 milhões de toneladas de areia, conforme registra o Anuário Mineral Brasileiro (2003/2004).

A denominação “agregado para construção civil” é utilizada no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil, tais como argilas, areias e rochas britadas. A ABNT 7211 define como agregado graúdo a fração de brita proveniente de rochas estáveis cujos grãos sejam passantes em peneiras de abertura nominal 15,2 mm e retidos em 4,8 mm; agregados miúdos, por sua vez, estão enquadrados na faixa entre 4,8 e 0,074 mm.

O rejeito fino obtido no momento do corte dos blocos de rochas em teares, ou nas serragens de pisos, mesas, bloquinhos, dentre outros produtos é uma fonte geradora de resíduo fino a ser empregado como agregado para a fabricação de argamassas. O pó fino de pedra, oriundo da serragem pode ser utilizado em fins nobres (*filler*), na constituição da argamassa industrial, no cimento de pavimentação (asfalto). A propriedade de finura do material proporciona características no produto final de menos porosidade, devido ao fato do material agregado fino preencher todos os espaços entre os grãos conferindo como resultado uma maior resistência mecânica do produto final.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Os Materiais

Os materiais de rejeitos industriais estudados são resíduos sólidos contendo certa umidade conferindo-lhes a forma de lama e que estão dispostos em áreas de várzeas de empresa beneficiadora de rochas ornamentais. Antes do resíduo ser lançado nas áreas baixas do pátio da empresa, a lama passa para os tanques de decantação, figura 3.1(A). Após a decantação dos resíduos sólidos, a água é enviada para o seu reaproveitamento no processo industrial, formando um ciclo fechado de base conceitual em sustentabilidade. Os rejeitos sólidos são lançados aleatoriamente no meio ambiente, como mostrado na figura 3.1 (A) e (B).



Figura 3.1 - (A) Decantação de lama PFS; (B) Coleta de lama PFP para estudo.

Os rejeitos finos são provenientes da serragem de blocos rochosos em teares, onde os blocos de rocha são transformados chapas após a serragem e do polimento da superfície de placas de rochas para fins ornamentais, denominados respectivamente, a partir de agora, Pó Fino de Serragem (PFS) (figura 3.2 (B)), e de Pó Fino do Polimento (PFP) (figura 3.2 (C)).

Os constituintes principais do pó fino de serragem são granalha de aço, cal hidratada e pó fino (moído) da rocha serrada; os constituintes do pó fino de polimento são também cal hidratada, pó fino moído da própria rocha e partículas metálicas oriundas do rebolo de polimento e de resquícios da granalha incrustadas na superfície da placa rochosa durante a serragem do bloco.



Figura 3.2 - (A) Argila; (B) Pó fino da serragem de blocos e; (C) Pó do polimento de chapas.

Com o objetivo de introduzir os rejeitos em massas cerâmicas, foi necessária a caracterização das propriedades físicas e químicas de uma argila escura (figura 3.2 (A)). Esta argila foi coletada em uma indústria de cerâmica vermelha no Município de Paudalho a 30 Km de Recife. As análises foram possíveis de serem realizadas para determinação granulométrica e propriedades tecnológicas de massa cerâmica no Laboratório de Solos e Instrumentação do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, e no Laboratório de Tratamento Mineral (LTM), do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE. Neste último laboratório foi possível fazer a avaliação do comportamento granulométrico, a análise magnética do PFP e do PFS, e as queimadas de corpos-de-prova cerâmicos.

3.2. Homogeneização e peneiramento

Os materiais foram submetidos à estufa para a secagem e, em seguida, destorroados em gral de porcelana para quantidades menores (figura 3.3 (B)) e destorroamento no almofariz (figura 3.3 (A)) para porções maiores, objetivando a homogeneização entre tamanhos de partículas. Para garantir a uniformidade granulométrica, o PFS e o PFP foram para o peneiramento em peneiras da série Tyler, de malha igual a #20 (850 μm).

Para o processo de homogeneização de amostras foram utilizados quarteadores Jones (Figura 3.3 (C) e (D)). O equipamento é constituído por uma série de calhas, em número par, de mesma largura com, no mínimo, três vezes o tamanho da maior partícula em quarteamento. As calhas são inclinadas a 45° e montadas alternadamente para lados opostos; abaixo das canalhetas, as caixas recolhem o material quarteado, tanto do lado esquerdo, quanto do lado direito.

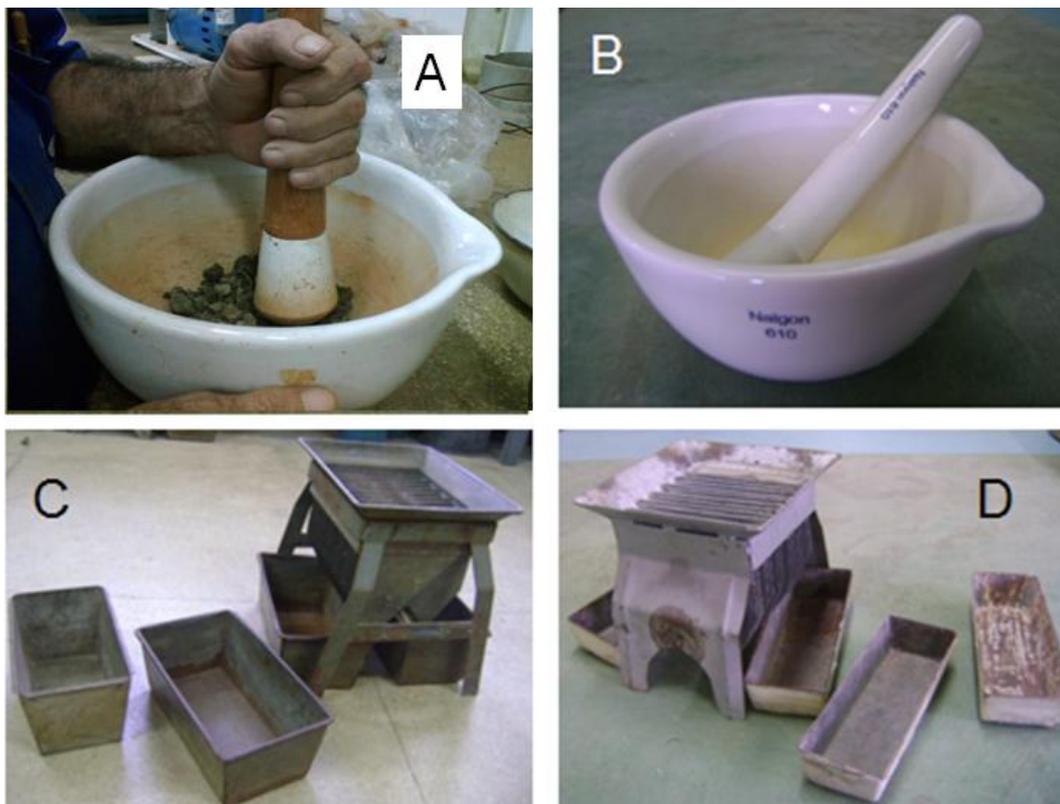


Figura 3.3 – (A) Almofariz de porcelana usada no destorroamento de grandes volumes de argila; (B) Gral de porcelana; (C) e (D) Quarteadores tipo Jones usados para a homogeneização de partículas de volumes maiores e volumes menores respectivamente.

A homogeneização do lote foi efetuada com a distribuição do minério na posição central da grade de maneira lenta e contínua para evitar a obstrução das calhas e garantir uma eficiente distribuição amostral homogênea do material em quarteamento.

3.3. Análise granulométrica

A análise granulométrica dos materiais estudados foi executada em duas etapas: a primeira realizada na argila e nos pós, conforme a NBR 7181 (1984), ABNT, e a segunda efetuada unicamente sobre os pós, considerando os aspectos de tratamento de minérios.

Na primeira etapa, realizada conforme a NBR 7181 (1984), a análise de dimensão de partículas maiores do que 0,074mm (peneira nº 200 da ASTM), foi realizada pelo processo de peneiramento. As partículas passantes na malha da peneira nº 200, foram submetidas ao método de sedimentação contínua em meio

Silva, Farah Diba da.

líquido (figura 3.4 (A)). Foi utilizado um dispersor de amostra para sedimentação Viatest GmbH-Germany Serial-no 2003/864. A análise granulométrica por sedimentação foi desenvolvida por Casagrande com base na Lei de Stokes (1950), que estabeleceu uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos, Caputo (1973). São feitas leituras densimétricas, em tempos determinados; em função do peso específico das partículas e da temperatura, são estabelecidos os “diâmetros equivalentes” da partícula que é o diâmetro de uma esfera de mesmo peso específico e que sedimenta com a mesma velocidade. (Figura 3.4 (B)).

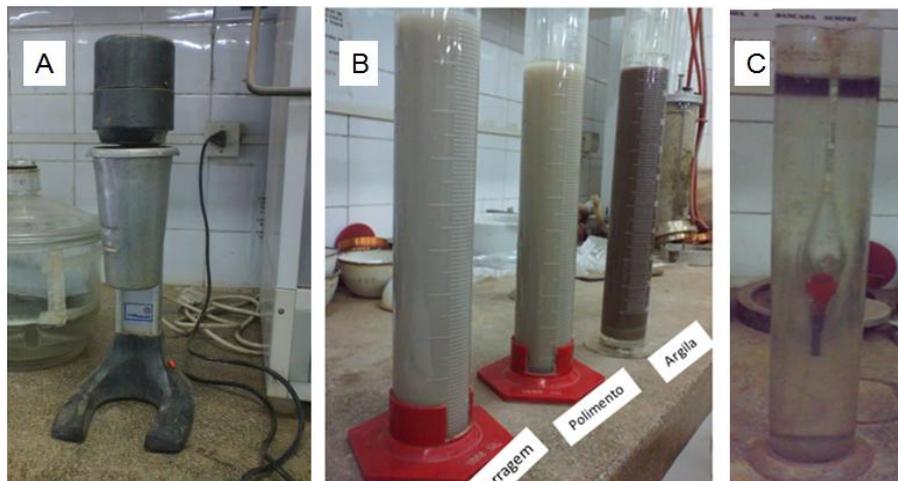


Figura 3.4 - (A) Dispersor de amostra; (B) Leitura da sedimentação; (C) Densímetro.

Na sedimentação, as partículas sólidas apresentam diferentes diâmetros; quando submersas apresentam uma suspensão, Cytryn (1957). As partículas sólidas de diferentes diâmetros apresentam comportamentos heterogêneos na velocidade de sedimentação na suspensão. Estudos de Stokes, em 1845, comprovam diferenças de velocidade de sedimentação e diâmetros de partículas, mas essa Lei era aplicável apenas para partículas com diâmetro inferior a 0,2mm. Estudos posteriores mencionam que “... a superfície de cada partícula possui cargas, em geral, eletricamente negativas e, assim, se a água é pura, duas partículas não ficam em contato porque têm cargas iguais que se repelem mutuamente. Diz-se que a amostra está no estado de *dispersão completa*. Com o tempo, as partículas maiores sedimentam e formam um depósito em que as forças de repulsão e gravidade estão em equilíbrio. As partículas mais finas permanecem em suspensão. Se uma gota da suspensão é examinada ao microscópio, vê-se que as partículas se locomovem com um movimento desordenado chamado *movimento Browniano*. Cada partícula segue

Silva, Farah Diba da.

um caminho em ziguezague, mas não colidem com as demais”, Terzaghi & Peck, (1961).

Os solos finos podem ser representados pelos grãos com diâmetro compreendidos entre 0,002mm e 0,075mm, do grupo denominado siltes, com propriedades físicas de pouca ou nenhuma plasticidade. Argila é outro grupo de solo fino composto de partículas microscópicas menores que 0,002 mm, com sílica em forma coloidal e óxidos de fórmula geral R_2O_3 , (Tabela 2.2).

Na segunda etapa, apenas PFS e PFP foram analisados do ponto de vista granulométrico. As dimensões das frações componentes do material granular foram determinadas através de peneiramentos por via seca e úmida. Os materiais, como dito anteriormente, foram submetidos à homogeneização e ao quarteamento. As faixas granulométricas consideradas foram aquelas retidas nas peneiras de #20, #40, #65, #100, #150, #200, #325 e aquela passante na peneira de #325, conforme se observa no fluxograma (figura 3.5).

Etapas de Análise Granulométrica

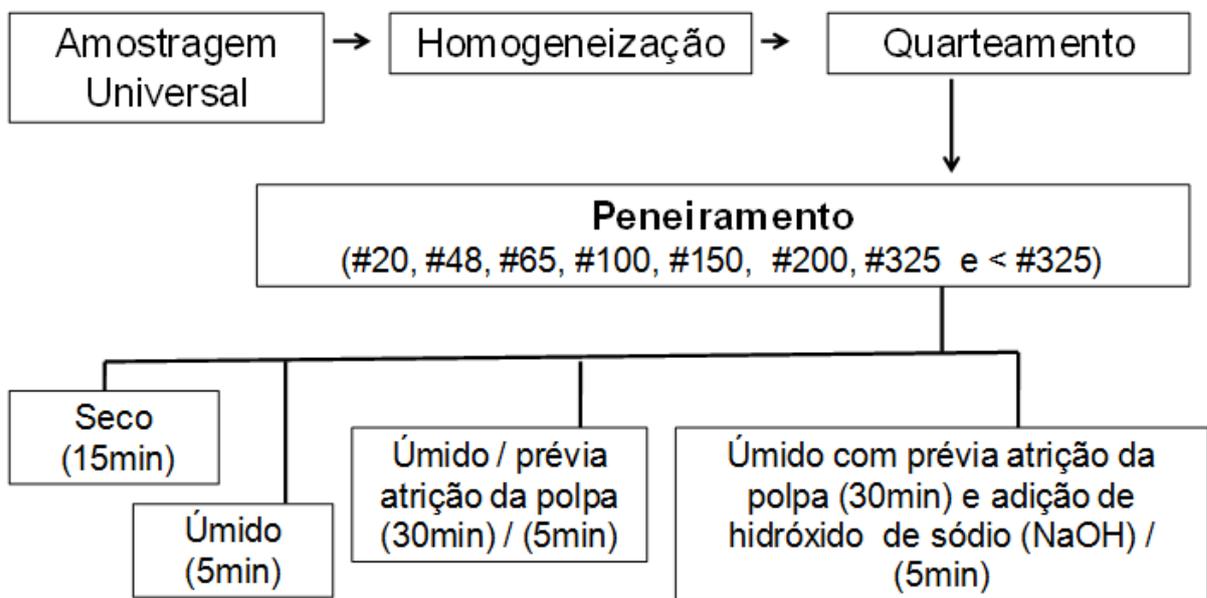


Figura 3.5 - Fluxograma de caracterização granulométrica dos rejeitos industriais PFS e PFP de acordo com os métodos de peneiramentos.

Para uma melhor eficiência na avaliação granulométrica de minerais metálicos e não metálicos presentes no PFS e PFP, os métodos de peneiramento a seco e o

Silva, Farah Diba da.

peneiramento a úmido, comumente realizados, foram combinados a outras técnicas de desagregação de grânulos (atrito). Foram realizadas análises granulométricas a úmido, sem e com prévia atrição das misturas em forma de polpa (2l água + 250 g de PFS ou PFP). O processo de atrição da polpa foi realizado em reatores controlados a 1920 rpm, (figura 3.6 (A)), por um período de 30 min, com e sem a adição de dispersante (NaOH). O pH natural de cada mistura foi de 8,3 para a do PFP e de 8,6 para aquela do PFS. A adição de 2g de hidróxido de sódio elevou o pH de ambos os resíduos em polpa: a do pó fino de serragem apresentou pH de 11,9 e a polpa do pó fino do polimento, pH de 11,6. (figura 3.6(B)).

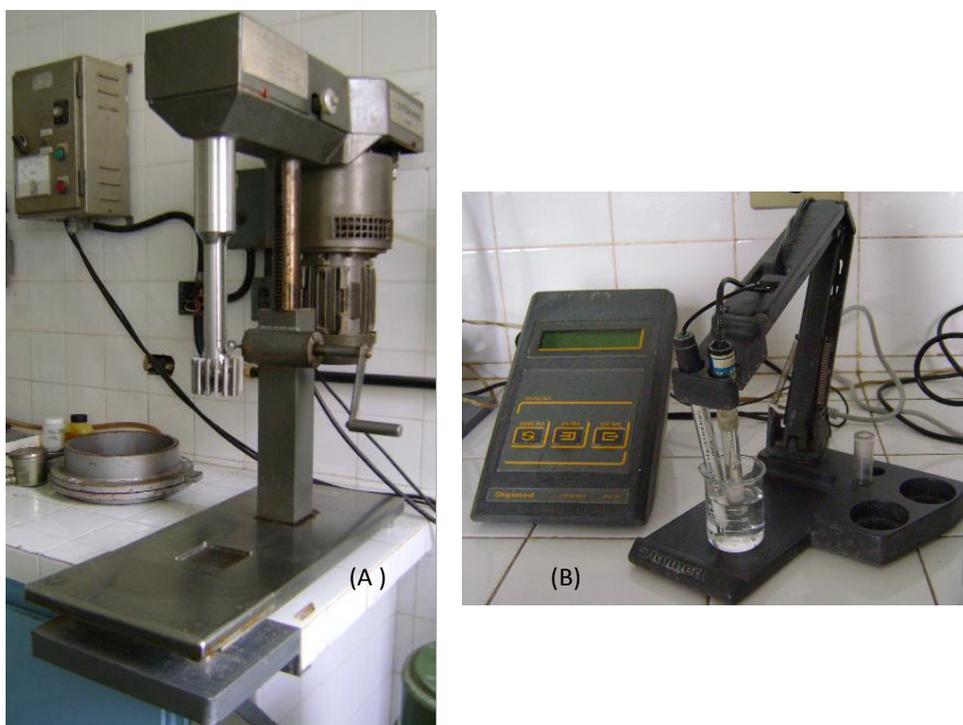


Figura 3.6 - (A) Agitador rotacional da Outokumpu Brasil; (B) pHmetro DM20.

As frações de material retidas nas várias peneiras e as partículas passantes na peneira #325, no processo a seco, foram pesadas (figura 3.7 (C)) e, em seguida, encaminhadas para a caracterização magnética, por faixa granulométrica. Aquelas frações referentes ao peneiramento por via úmida no peneirador vibratório (figura 3.7 (A)) foram submetidas à secagem em estufa (figura 3.6 (B)) em temperatura de 65° C, por período de 24 horas para, posteriormente, serem também caracterizadas magneticamente



Figura 3.7 - (A) Peneirador vibratório a umido; (B) Estufa; (C) Balança de precisão Standard OHAUS.

3.4. Peso específico dos grãos

A densidade das partículas da argila usada, dos pós (PFS e PFP) e das massas cerâmicas formuladas foi determinada pelo método do picnômetro, adotado pela ABNT em seu MB – 28 (figura 3.8). Utilizou-se um aspirador de ar Dial-Pump Modelo A S/N 9244BE com limite mínimo de 500 C.C. e máximo de 2.000 C.C, (Fanen Ltda, São Paulo) para a retirada do ar do solo dentro do picnômetro e na balança Modelo AS 1.000 e caga máxima 1.000g e mínima de 0,25g da Moriel Comercial e Industrial Ltda.



Figura 3.8 – (A) Picnômetros; (B) pesagem do solo; (C) Aspirador de ar em uso.

3.5. Análise química

As amostras foram analisadas semi-quantitativamente para os elementos listados na tabela 3, usando-se espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku, modelo RIX 3000, equipado com tubo de Rh.

A caracterização química semi-quantitativa foi determinada através da análise em peso (%). As amostras em forma de grãos foram finamente pulverizadas. Uma alíquota de cada amostra foi colocada em estufa para secar a 110° C e, em seguida encaminhadas a uma mufla, a 1000°C, por período de 2 horas, para a determinação de perda ao fogo. Foi feita uma pérola fundida usando tetraborato de lítio como fundente na proporção de 1:5. As análises de fluorescência de raios x foram utilizadas para a classificação quantitativa de óxidos metálicos e não metálicos presentes nas diversas faixas granulométricas oriundas dos processos de caracterização magnética.

3.6. Análise Mineralógica

A análise qualitativa mineralógica dos vários materiais foi realizada pela difração de raios x, através do método do pó. Foram determinadas as fases mineralógicas da argila, do pó fino da serragem (PFS), do pó fino do polimento (PFP) submetidos aos e dos minerais abundantes e presentes nas diversas frações granulométricas provenientes da separação magnética. A faixa angular de operação foi de 5 a 15° para a argila e de 5° a 45° 2 tetras para os PFS, PFP e para os produtos oriundos dos diversos peneiramentos e beneficiamentos magnéticos adotados.

3.7. Análise magnética

A caracterização magnética do PFS e do PFP foi realizada a partir das frações granulométricas retidas nas peneiras #20, #48, # 65, #100, #150, #200, #325 da série Tyler, e das partículas passantes na malha #325. Os materiais provenientes dos peneiramentos a úmido foram secos em estufa a 60°C durante 24 horas.

Foram usados três tipos de separadores magnéticos: o separador magnético de rolo induzido, o separador Frantz e o ímã comum. De acordo com os métodos de peneiramentos executados, indicou-se o beneficiamento magnético mais adequado, como mostrado na tabela 3. A indicação de uso de cada equipamento foi baseada

Silva, Farah Diba da.

na sua eficiência na separação das partículas metálicas e não metálicas provenientes dos vários métodos de peneiramento, oriundas do PFS e do PFP.

Tabela 3.1 - Aplicação do tipo de separador magnético nos pós PFS e PFP.

Separadores Magnéticos	Método de Peneiramento							
	seco (15 min)		Úmido (5min)		Úmido com prévia atrição de partículas (30 min)		Úmido com prévia atrição de partículas (30 min) / Na OH	
	PFS	PFP	PFS	PFP	PFS	PFP	PFS	PFP
Rolo induzido (R)*	x	x	x	x	x	x	-	x
Imã Comum (I)*	-	-	x	-	x	-	x	-
Frantz (F)*	-	x	-	x	-	x	-	x

PFS* Pó Fino de Serragem: PFP* Pó Fino do Polimento.

A separação magnética com o separador de rolo induzido tem a capacidade de alimentação expressa em Kg/h. m. de largura do rotor. Sua aplicação é indicada na remoção de impurezas contidas no concentrado do processamento mineral. As impurezas podem ser paramagnéticas ou magnéticas. A alimentação é realizada através de um alimentador vibratório, e as partículas magnéticas são atraídas e separadas. A separação magnética com o uso do Frantz foi possível de ser executado apenas no PFP, a amperagem magnética foi de 0,03Ω e a rampa esteve projetada a 45° e a vibração da rampa condutora do material (PFP) variou entre 5 durante a descida e separação magnética e o aumento de vibração pode ser feito para 7 ou 8 em momentos finais do processo com o objetivo de ajudar na condução do pouco material na rampa de alimentação do separador Frantz, (figura 26). O pó fino de serragem por se mostrar um resíduo com partículas metálicas ativas foi submetido ao processo de separação magnético com o uso do imã comum esteve envolvido por uma fina película plástica e foi utilizado na diretamente sobre a amostra do material retido nas diversas peneiras adotadas

A separação granulométrica do PFS e do PFP mostra-se ineficiente quando do peneiramento a seco: a presença de grãos de tamanhos diversos, em malhas de aberturas maiores em todas as faixas granulométricas, corrobora essa afirmação. Devido ao comportamento exposto, indicou-se o beneficiamento magnético de rolo induzido, por considerar que essa é uma pratica comum de selecção e

Silva, Farah Diba da.

beneficiamento de baixo custo. O PFP foi também submetido ao beneficiamento magnético no Separador Frantz pela verificação com o uso do imã comum de que este pó seja pobre em grãos metálicos.

O peneiramento a úmido é mais eficiente em ambos os resíduos, PFP e PFS, apresentaram nas peneiras grãos de diversos diâmetros formando grânulos nas diversas faixas granulométricas. Devido à formação de grânulos, significando a não exposição de grãos metálicos indicou-se a separação magnética através do rolo induzido e o uso do separador magnético Frantz para o PFP. A indicação do PFS ao beneficiamento com o uso do imã comum foi por considerar uma não expressiva formação de grânulos e a presença de grãos metálicos á vista nas diversas peneiras.

O processo de atrição de partículas prévio ao peneiramento a úmido desagregou ao máximo as partículas metálicas das partículas não metálicas, mostrando nas partículas metálicas a cor vermelho característico do ferro no PFS. Do peneiramento a úmido com a previa atrição de partículas em uma polpa durante 30min, possibilitou a admissão do beneficiamento magnético com o separador magnético de rolo induzido e com o separador Frantz para o PFS. O PFP foi submetido ao separador magnético de rolo induzido e ao separador Frantz. O PFP não foi possível ser caracterizado magneticamente com o imã comum por ser um resíduo pobre de grãos metálicos aparentes.

O uso de hidróxido de sódio como dispersante de partículas na polpa de PFS gerou um produto capaz apenas de ser caracterizado magneticamente através do uso do imã comum, devido à significativa desagregação entre partículas metálicas e não metálicas deste resíduo. Este processo não foi significativo para o PFP, comparado ao método anterior (úmido com a atrição de partículas), por não superar em percentuais diâmetros menores do que a #325.

Através dos métodos de peneiramentos utilizados, foi possível a caracterização magnética do PFS e do PFP nos percentuais fracionários resultantes dos diversos tipos de peneiramento nas várias peneiras. O tratamento magnético por fração granulométrica torna possível, principalmente no PFS, a identificação de percentuais magnéticos representantes da granalha utilizada no processo de serragem dos blocos rochosos.

Tabela 3.2 - Caracterização magnética por fração granulométrica

Peneiras		Aplicações do separador magnético nas frações granulométricas							
		SECO		ÚMIDO		ÚMIDO/ATRIÇÃO		ÚMIDO/(NaOH)	
(#)	(μm)	PFS	PF _P	PFS	PF _P	PFS	PF _P	PFS	PF _P
20	850	i	-	-	-	-	-	-	-
48	300	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
65	212	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
100	150	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
150	106	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
200	75	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
325	45	R	R/F	R/I	R/F	I	R/F	I	R/F
-325	-45	R	R/F	R	R	R	R	R/I	R

F* Frantz; R* Rolo Induzido; I* Imã Comum.

Apenas os percentuais granulométricos do PFS maiores que a abertura da peneira #325 foram possíveis de serem beneficiados com o uso do imã comum. Os grãos passantes na peneira #325 foram caracterizados magneticamente através do rolo induzido. Frações granulométricas retidas na peneira de #325 do PF_P, oriundas de todos os métodos de peneiramentos, foram beneficiadas magneticamente através dos separadores magnéticos de rolo induzido e Frantz. Frações granulométricas, retidas na peneira #200, do PFS, oriundas do peneiramento a seco, foram submetidas ao imã comum por apresentar pedaços de lâminas de aço envolvidos por minerais não metálicos formando concreções, (PFS) e as frações granulométricas passantes da peneira #20 até a peneira de #325 foram submetidas a análise magnética com o uso do separador magnético de rolo induzido, (figura 3.9), um separador magnético de uso industrial foi utilizado para possibilitar a verificação do comportamento magnético do PFS e do PF_P, quando submetidos ao beneficiamento magnético como matéria-prima industrial.



Figura 3.9 - Separador magnético de rolo induzido; (A) Detalhe do material passando no rolo; (B) Alimentação para o rolo; (C) Coleta do pó altamente magnético.



Figura 3.10 - Separador magnético Frantz; (A) Separador magnético Frantz; (B) Funil de entrada inicial do material no separador magnético; (C) Visão frontal dos coletores dos produtos metálicos e não metálicos.

As frações granulométricas do PFS obtidas a partir do peneiramento a úmido foi caracterizada com o uso dos separadores magnéticos de rolo induzido e do imã natural, enquanto que o PFS obtido a partir da atrição de partículas pode ser

Silva, Farah Diba da.

caracterizado magneticamente apenas através do uso do imã natural. Porém para os grãos menores do que 45µm (-#325), apenas foi possível a caracterização magnética com a utilização do separador magnético de rolo induzido, por apresentarem aparência homogênea.

3.8. Preparação das massas cerâmicas

As composições das massas cerâmicas foram elaboradas a partir da caracterização física da argila adotada. Foram formulados dois tipos de massas cerâmicas, em peso: um com o pó fino de serragem e outro com o pó fino do polimento. Cada um dos pós foi adicionado à argila em percentuais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em peso. Os tipos de massas cerâmicas formuladas estão indicadas na tabela 3.3. As matérias-primas adotadas foram misturados a seco, sem etapa de moagem e sem o uso de aditivos ou de ligantes.

Tabela 3.3 - Formulação das massas cerâmicas de argila misturadas a PFS e PFP.

Tipos de massas (peso(%))	Pó Fino da Serragem (PFS)		Pó Fino do Polimento (PFP)	
	Argila (%)	PFS (%)	Argila (%)	PFP (%)
Massa 1	90	10	90	10
Massa 2	80	20	80	20
Massa 3	70	30	70	30
Massa 4	60	40	60	40
Massa 5	50	50	50	50

PFS* Pó Fino da Serragem; PFP* Pó Fino do Polimento.

Com base nas características granulométricas e composicionais do PFS e do PFP foi desenvolvido um fluxograma que orienta as diversas etapas que devem ser seguidas na utilização desses rejeitos na composição das massas cerâmicas, figura 3.11.

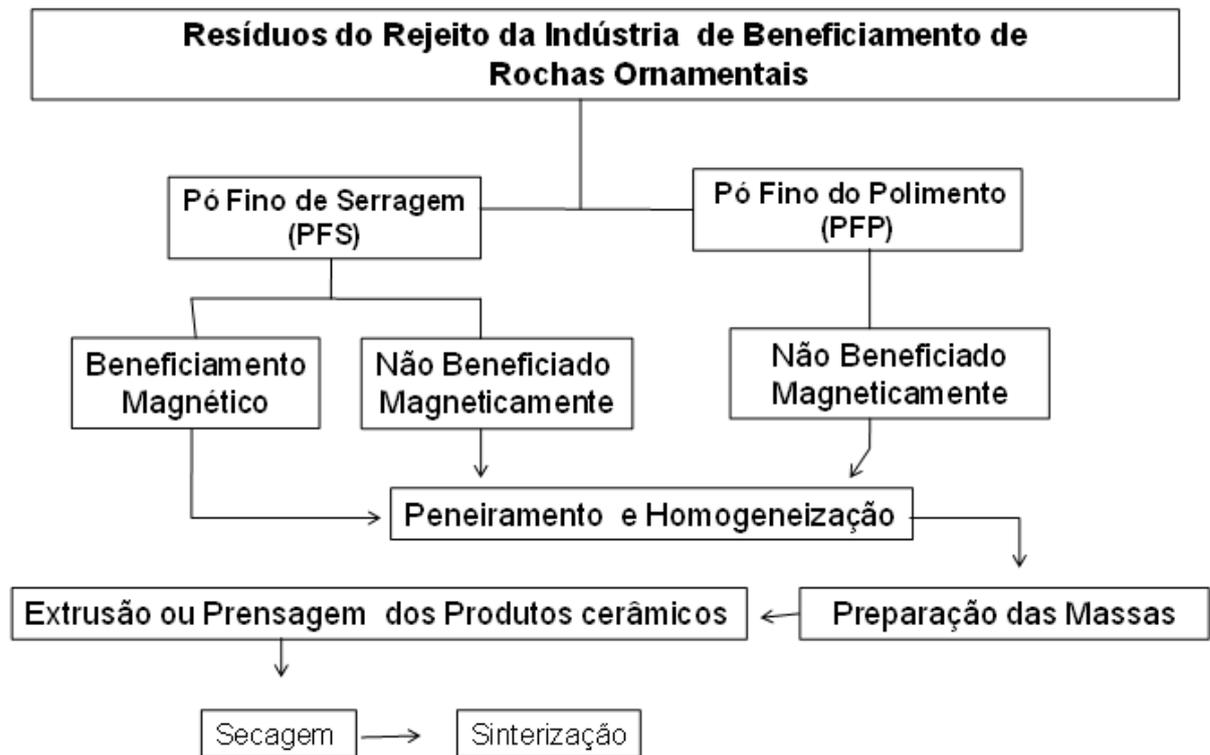


Figura 3.11 - Fluxograma do emprego de matérias-primas beneficiadas ou não beneficiadas a partir de rejeitos industriais de PFS e de PFP na indústria cerâmica.

3.9. Ensaio cerâmicos

Os ensaios cerâmicos visam verificar e definir a aplicação industrial de acordo com o desempenho tecnológico das propriedades físicas da matéria prima. Por exemplo, a capacidade de o material ser moldado e não se deformar após a moldagem, por extrusão ou manual, do objeto cerâmico, tais como telhas, vasos, tijolos dentre outros; a cor de queima; limites de retração linear de queima e de secagem; propriedade de absorção de água e porosidade; resistência à ruptura por flexão após a secagem e após a queima em dadas temperaturas.

3.9.1. Limites de Atterberg

As variações de volume por absorção de água estão diretamente ligadas aos Limites de Consistência (Limites de Atterberg) do solo. Estes limites são empregados para se descrever os estados físicos do solo: o limite de liquidez (LL) é caracterizado pela quantidade de água que, adicionada ao solo, é capaz de causar a perda de coesão de suas partículas; o limite de plasticidade (LP) é caracterizado pela retirada gradativa da umidade do solo, este passa do estado plástico (moldável)

Silva, Farah Diba da.

para o estado semi-sólido (não-moldável); O intervalo de umidade que torna o solo plástico, obtido pela diferença entre LL e LP, denomina-se o Índice de Plasticidade, Silva (1991).

Tabela 3.4 - Características dos principais dos argilo-minerais, conforme Azambuja (1979) e Sabbag (1980).

argilo-mineral	C.T.C. (meq/100g)*	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
Caulinita	3 a 15	65%	36%	29%
Ilita	10 a 40	-	-	-
Montmorillonita	80 a 150	170% a 475%	47% a 50%	428%

*A capacidade de troca de cátion (C.T.C.) é expressa em miliequivalente por 100g de solo, obtido pelo consumo por titulação de azul de metileno em solução.

3.9.1.1. Limite de liquidez

A determinação do limite de liquidez (LL), teor de umidade que separa o estado de consistência líquido do estado plástico e no qual o solo apresenta pequena resistência ao cisalhamento, foi idealizada por Arthur Casagrande. O método consiste em uma concha de latão sobre um suporte de ebonite, o aparelho de Casagrande (figura 3.12 (A)); por meio de um excêntrico imprime-se ao prato, repetidamente, quedas de altura de 1 cm e intensidades constantes. O LL é definido como o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes, Caputo (1973). O limite de liquidez (LL) de todas as massas cerâmicas formuladas foi obtido com o uso do aparelho de Casagrande, através da NBR 6459 (1984) da ABNT.

Com os valores obtidos (número de golpes para fechar o sulco e as umidades correspondentes), traça-se a linha de escoamento do material, a qual no intervalo compreendido entre 6 e 35 golpes, pode considerar-se como uma reta, Caputo (op. cit).

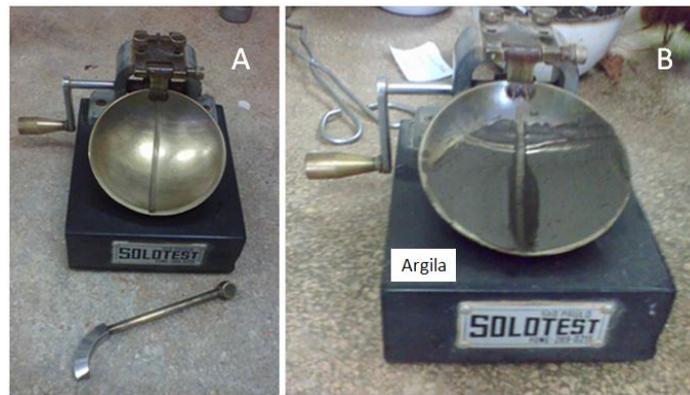


Figura 3.12 - (A) Aparelho de Casagrande; (B) Ensaio de limite de liquidez

3.9.1.2. Limite de Plasticidade

A plasticidade é definida como a propriedade dos solos que consiste na maior ou menor capacidade de serem eles moldados, sob certas condições de umidade, sem variação de volume, Caputo (1973). As propriedades plásticas dos solos dependem do teor de umidade, da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica.

O limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro a cerca de 10 cm de comprimento. A determinação dos Limites de Plasticidade baseou-se na norma NBR 7180 (1984) da ABNT.

3.9.1.3. Índice de Plasticidade

O índice de Plasticidade (IP) é a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade dos materiais:

$$IP = LL - LP \quad (a)$$

O Índice de plasticidade define a zona em que o solo se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo, ou melhor, nulo para as areias, fornece um critério para se ajuizar do caráter argiloso do material; assim, quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. Sabe-se que uma pequena porcentagem de matéria orgânica eleva o valor do LP, sem elevar simultaneamente o LL; tais solos apresentam baixos valores para IP, conforme Caputo (1973). Conforme Jenkins, os solos são classificados em: fracamente plásticos ($1 < IP < 7$); medianamente plásticos ($7 < IP < 15$); altamente plásticos ($IP > 15$), e quando o

Silva, Farah Diba da.

material não tem plasticidade considera-se o índice de plasticidade nulo e escreve-se $IP = NP$ (não plástico).

3.9.2. Análise termo diferencial e análise termo gravimétrica (ATD - ATG) das massas cerâmicas.

As análises térmicas e gravimétricas da argila e das massas cerâmicas foram realizadas no Laboratório de Tratamento Mineral (LTM), Departamento de Engenharia de Minas da UFPE. O método de análise térmica diferencial consiste no aquecimento, em velocidade de constante, de uma argila, juntamente com uma substância termicamente inerte (em geral o óxido de alumínio-alfa ou corídon), registrando as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a argila em estudo. Em função da temperatura ocorrem transformações endo ou exotérmicas, que aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termo diferencial ou termograma das misturas, naturais ou artificiais.

Observando a posição, a forma e a intensidade dos picos endo e exotérmicos dos termogramas é possível a identificação de argilominerais puros. A análise termodiferencial é um instrumento de pesquisa cerâmica, por permitir acompanhar as transformações durante as queimas, acompanhada da análise mineralógica a partir da difratometria de raios-X.

A análise termo gravimétrica consiste no aquecimento da argila em velocidade constante em ligação com uma balança, o que permite o registro automático das variações de massa em função da temperatura. Pode ser executada em paralelo com a análise térmica diferencial. Os picos térmicos obtidos foram analisados levando em consideração as contribuições referenciais de Mackenzie (1975) e de Souza Santos (1963).

Nesta pesquisa foi utilizado o sistema de análises térmicas Modelo RB-3000 (figura 3.13) partindo da temperatura de 25°C, com uma velocidade constante de aquecimento de 10°C/min até chegar à temperatura máxima de 1.000°C. As amostras analisadas foram: argila, pó fino de serragem, pó fino do polimento, e as algumas massas cerâmicas constituídas da mistura da argila e dos diferentes percentuais dos pós finos de serragem e de polimento, quais sejam, 90%argila/10%PFS, 70%argila/30%PFS, 50%argila/50%PFS, 90%argila/10%PFP, 70%argila/30%PFP, e 50%argila/50%PFP. Para a análise termo diferencial cerca de

Silva, Farah Diba da.

1 grama de cada um dos materiais estudados é levemente compactado no cadinho metálico junto a outras duas amostras inertes (alumina calcinada) e de comportamento térmico conhecido. Para a análise termo gravimétrica foram analisados 5 gramas de cada substância, em cadinho metálico.



Figura 3.13 - Sistema de análises térmicas Modelo RB-3000.

3.9.3. Confeção dos corpos-de-prova

Após as etapas de peneiramento e homogeneização foram confeccionados, sob pressão de 20MPa, corpos de prova dos diversos tipos de massas cerâmicas com dimensão padrão de 6,0cm x 2,0cm x 0,5cm (figura 3.14 (D)). A prensa utilizada foi hidráulica de marca Testop Ronald-topcom capacidade de 10 toneladas (figura 3.14 (A)). Os corpos de prova ficaram em temperatura ambiente por 24 horas para secar e, em seguida, para a retirada do excesso da umidade, permaneceram em estufa a 110°C durante 24h. As temperaturas de queima adotadas foram de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C, em forno elétrico Tipo Mufla, da Heraeus Instruments, modelo M104, 1000°C, (figura 3.14 (B) e (C)), com taxa de aquecimento de 5°C/min e patamar de queima de 3 horas.



Figura 3.14 - (A) Prensa de compressão; (B) Mufla Heraeus Instruments modelo M104; (C) Detalhe no interior da mufla; (D) Diferentes massas cerâmicas.

3.9.4. Retração linear de secagem e de queima (RL)

A retração linear consiste em determinar o percentual de redução de comprimento linear do corpo de prova após secagem e queima. Neste ensaio são realizadas três medidas do corpo-de-prova: logo após o destacamento da forma (L_u), após a secagem em estufa (L_s) e após a queima em dada temperatura (L_q). Os valores de retração linear foram determinados com paquímetro com precisão de 0,01mm.

Após o destacamento (retirada da forma), os corpos-de-prova (peças cruas) permanecem à temperatura ambiente por um período de 24 horas, quando são medidos. Verifica-se ganho de resistência por parte dessas peças cruas. Depois, levados à estufa à 100°C, por um período de 24 horas, têm em seguida seus comprimentos medidos.

A retração linear de queima (RL) é observada após a sinterização, que é o processo responsável pela transformação de um compacto cerâmico poroso em um produto resistente e denso. As temperaturas de queima adotadas em estudo são aquelas indicadas para os materiais cerâmicos vermelhos.

As equações para determinação da retração linear de secagem (RLS) (b) e

Silva, Farah Diba da.

da retração linear de queima (RLQ) (c) são mostradas a seguir:

$$\text{RLS (\%)} = [(L_u - L_s)/L_u] \times 100 \quad (\text{b})$$

$$\text{RLQ (\%)} = [(L_s - L_q)/L_s] \times 100 \quad (\text{c})$$

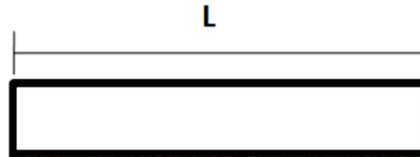


Figura 3.15 - Corpo-de-prova prismático conformados por prensagem.

3.9.5. Determinação da cor de secagem e de queima

Para uma eficiente determinação de cor de queima dos corpos de prova às várias temperaturas, apenas a visão não é eficiente: foi utilizado, então, o catálogo internacional de cores de Munsell. Foram avaliadas as cores dos diferentes tipos de massas cerâmicas depois da queima às temperaturas de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C. A cor vermelha característica de cerâmicas se intensifica cada vez mais com o aumento de temperatura e, em cada temperatura, observam-se tonalidades mais claras de vermelho à medida que se aumenta o percentual de adição dos pós à massa cerâmica.

3.9.6. Perda ao fogo (PF)

A avaliação da perda ao fogo objetiva a determinação do percentual de material volátil como a água e matéria orgânica, perdida durante a queima de material cerâmico. É feita com o uso de balança analítica, através da pesagem, em gramas, dos corpos-de-prova secos em estufa, a 100°C (M_s) e após a queima (M_q), nas várias temperaturas. Os resultados são obtidos aplicando-se a equação:

$$\text{PF} = [(M_s - M_q)/ M_q] \times 100 \quad (\text{d})$$

3.9.7. Absorção de água (AA)

Este parâmetro foi determinado conforme as NBR 13818 (1997). Os corpos de prova, de massa M_1 , são imersos em um recipiente com água destilada, sem

Silva, Farah Diba da.

entrarem em contato entre si, de maneira que o nível da água esteja 5cm acima das placas. A água é aquecida até fervura e mantida em ebulição durante 2 horas; o nível de água deve ser mantido constante durante todo o ensaio. Os corpos-de-prova são colocados sob circulação de água à temperatura ambiente para que entrem em equilíbrio. São suavemente enxutos com uma flanela ligeiramente úmida e, imediatamente após esse processo, são pesados, sendo obtido a massa úmida (M_2) do material. A absorção de água (AA) é obtida pela equação abaixo:

$$AA (\%) = [(M_2 - M_1)/M_1] \times 100 \quad (e)$$

3.9.8. Porosidade aparente (PA)

A determinação da porosidade aparente dos corpos de prova após a queima às várias temperaturas é obtida a partir de diferentes pesagens: ao ar, do corpo de prova seco (M_s) e saturado (M_u); e M_i , do corpo de prova submerso. O valor da porosidade aparente é obtido por meio da equação (C):

$$PA (\%) = [(M_u - M_s)/(M_u - M_i)] \times 100 \quad (f)$$

3.9.9. Massa específica aparente dos corpos-de-prova (MEA)

A massa específica aparente (MEA) é obtida a partir da razão entre a massa do corpo-de-prova seco e seu volume ou ainda a razão entre a massa seca (M_q) e a diferença entre a massa saturada (M_u) e a massa do corpo-de-prova imerso em água (M_i) de acordo com a equação:

$$MEA = M_q/(M_u - M_i) \quad (g)$$

As massas são expressas em gramas e os valores de MEA são obtidos em g/cm^3 .

3.9.10. Módulo de Ruptura a Flexão (MRF)

Para a determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão (MRF), é necessário a remoção de quaisquer partículas soltas aderidas ao corpo-de-prova. As amostras são secas em estufa a temperatura de $110^\circ C (+/-5^\circ C)$ até atingir massa constante, deixando esfriar dentro da estufa ou no dessecador até a

Silva, Farah Diba da.

temperatura ambiente.

Os corpos-de-prova devem ser ensaiados até 26 horas depois do início do aquecimento, desde que estejam com a massa constante o que foi feito conforme a NBR 13818 (1997) ABNT, anexo C, com o uso de um deflectômetro. A ruptura à flexão foi realizada na velocidade de 0,5mm/min em uma máquina de ensaio Emic DL munida de uma célula de medida de carga com capacidade de 1.000KN. e com 2,00cmm de distância entre os pontos de apoio (L). O cálculo da tensão de ruptura(σ_R) foi calculada a partir da equação:

$$\sigma_R = (3F_f.L) / (2b.d^2) \quad (h)$$

Onde:

F_f - é a carga no momento da ruptura;

L - é a distância entre os pontos de suporte;

b - base do corpo-de-prova e

d - é a altura do corpo-de-prova.

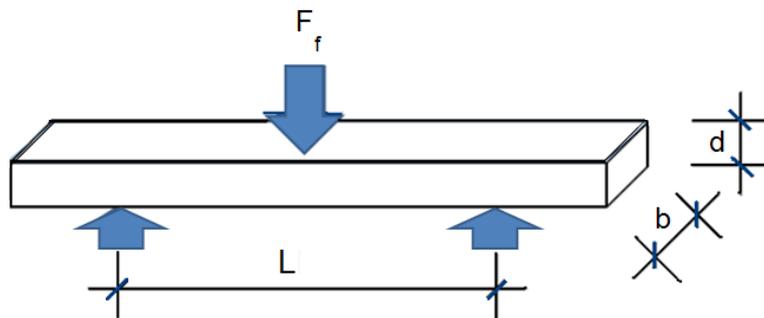


Figura 3.16 - Esquema do corpo-de-prova para a ruptura a flexão em três pontos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise Granulométrica

Este tipo de análise foi realizado no sentido de conhecer as frações granulométricas constituintes dos dois tipos de materiais (PFS e PFP) para se avaliar se a distribuição dos tamanhos dos grãos desses pós se adapta às propriedades requeridas para o bom desempenho de uma massa cerâmica vermelha. Avaliou-se também, através de curvas granulométricas, a quantidade de granalha presente nestes pós, notadamente no PFS, visando a possibilidade de recuperação deste abrasivo através de beneficiamento magnético.

As curvas granulométricas, executadas conforme a NBR 7181 (peneiramento e sedimentação), dos PFS e PFP, representativas dos resíduos de corte e polimento de rochas ornamentais, respectivamente, apresentam perfis semelhantes, figura 4.1. Observando as curvas do ensaio granulométrico apresentado, observa-se que, nas frações areia fina e silte, o PFS e o PFP são mais finos que a argila. O silte é a fração granulométrica mais representativa destes pós. No que concerne à fração granulométrica argila, os pós finos são mais grossos que o material argílico. A determinação do diâmetro efetivo d_{ef} é por isso importante. O diâmetro efetivo é o diâmetro correspondente a 10% em peso total das partículas menores que ele, Caputo (1973). Ele denota o grau de finura do material. Os d_{ef} do PFS e do PFP são iguais e seu valor é 0,0012 mm (1,2 μ m), que indica que são materiais muito finos. Para a argila, entretanto, a determinação deste parâmetro foi prejudicada por problemas operacionais: sendo este um material muito fino, 30% de suas partículas apresentando diâmetro equivalente menor que 1,2 μ m. Portanto, considerando a tendência da curva da argila, acredita-se que o d_{ef} seria menor que o μ m (mícron). Isto mostra a extrema finura desta argila. Registra-se também o valor de 8,92, para o coeficiente de não uniformidade (CNU, d_{60}/d_{10}) do PFS e do PFP, que indica uniformidade média para os grãos, ou seja, existem grãos de vários diâmetros distribuídos nas diferentes frações granulométricas dos pós. O CNU das argilas não foi definido por conta da indeterminação do d_{ef} .

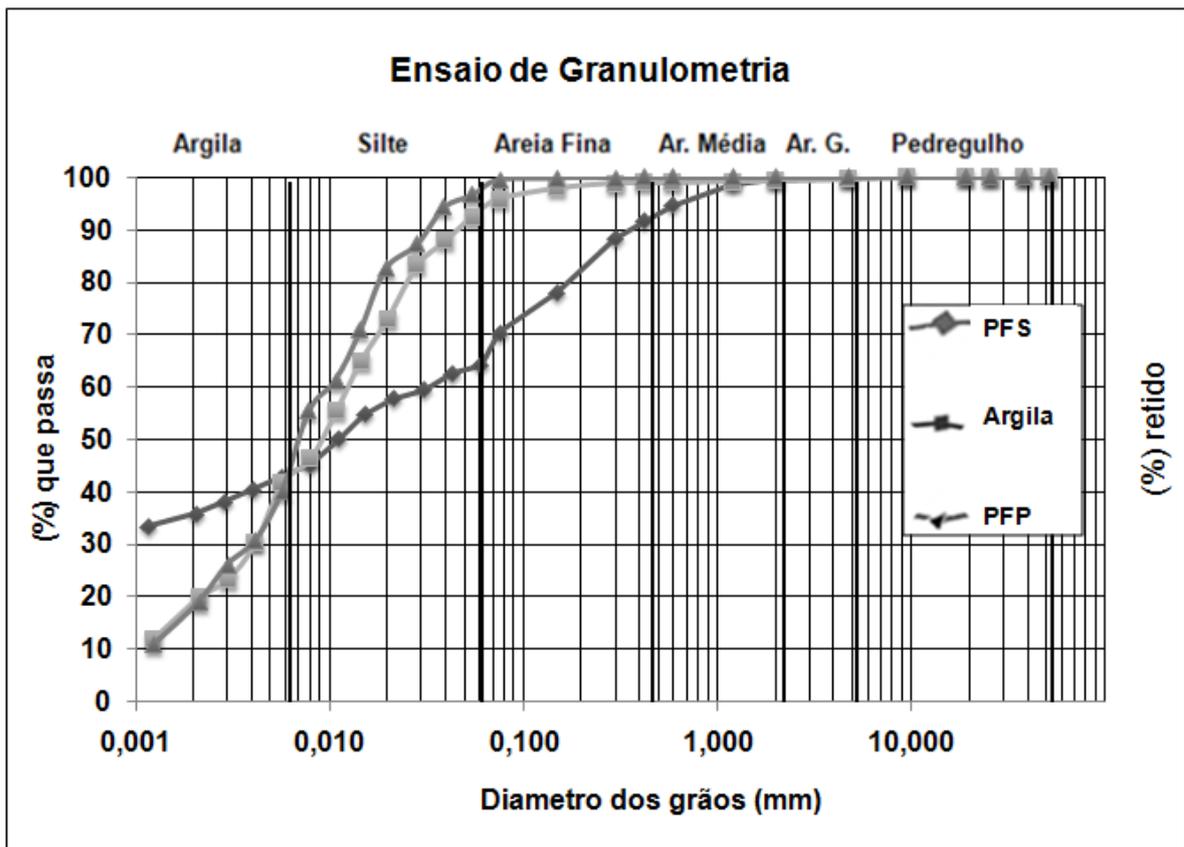


Figura 4.1 - Curva granulométrica da argila e dos resíduos de serragem (PFS) e do polimento (PFP) de chapas rochosas.

A porosidade final do produto cerâmico é em grande parte resultado da distribuição granulométrica das partículas e sua morfologia. Uma distribuição de tamanho de partículas adequada promove um empacotamento de partículas de elevada densidade relativa, minimizando o volume destes poros no compacto. Alberio (2000). A observação das curvas granulométricas dos PFS e do PFP indica que esses materiais apresentam granulometria compatível com aquela da argila. Podem ser misturados para compor massas cerâmicas de baixa porosidade com garantia de boas características de resistência, porosidade e absorção d'água. Daí a importância da análise granulométrica das matérias primas da massa cerâmica.

Através do exame táctil-visual das porções retidas nas peneiras #100, #50, #40, #30, #16, observa-se que grãos remanescentes de granalha fazem parte das frações granulométricas dos PFS e PFP, pois eles (grãos de granalha) resistem ao processo de serragem. A presença destas partículas (figuras 4.2; figura 4.3) não representa empecilho para o emprego destes materiais em cerâmica vermelha pois imprime ao produto a cor avermelhada após a queima, característica requerida pelo

Silva, Farah Diba da.
mercado consumidor.

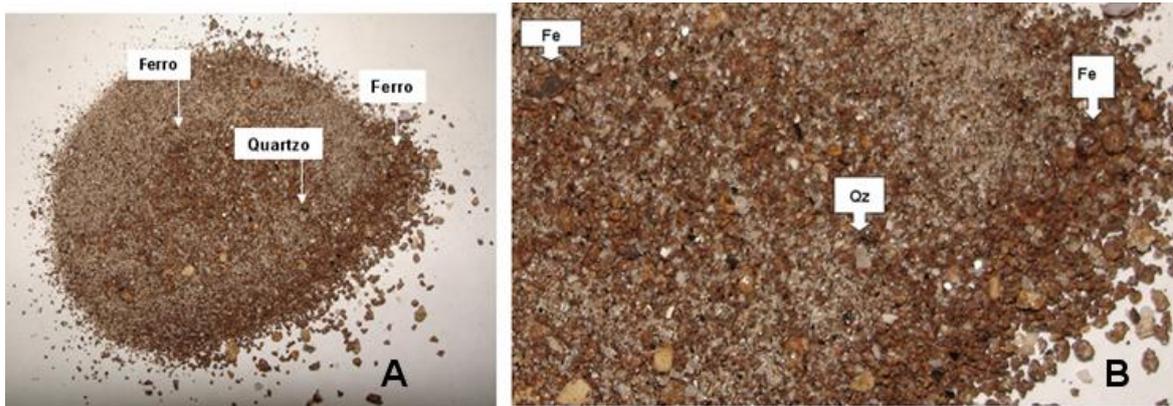


Figura 4.2 - (A) Pó da serragem retido na peneira nº 200; (B) Detalhe do ferro da granalha e dos cristais de quartzo.

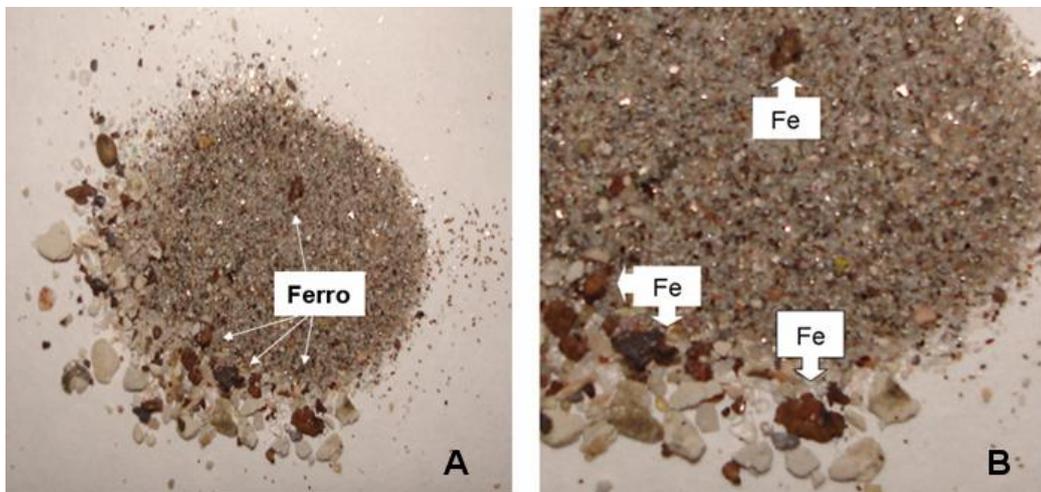
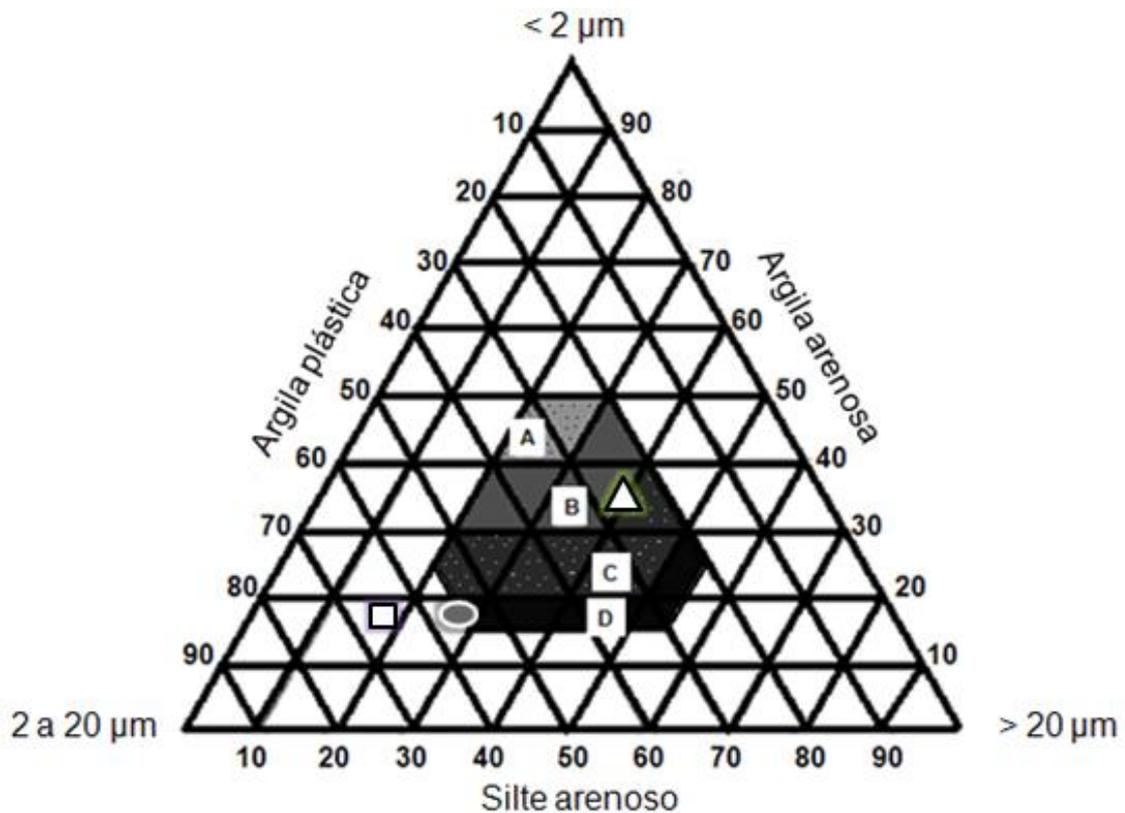


Figura 4.3 - (A) Pó do polimento retido na peneira nº 200; (B) Presença de ferro no pó do polimento.

De acordo com o diagrama de Winkler, os resíduos de serragem e de polimento são localizados nas áreas, conforme a curva granulométrica apresentada de acordo com a metodologia recomendada pela NBR 7181 (1984), figura 4.4.

A argila localiza-se na área com aptidão para a fabricação de telhas e tijolos furados. A granulometria do PFS aplica-se na fabricação de tijolos maciços, enquanto que o PFP registra-se fora da grande área subdividida conforme a granulometria de aplicação na indústria cerâmica vermelha. O PFS só pode ser utilizado na indústria cerâmica vermelha quando associado a um maior percentual de argila plástica. O PFS e o PFP podem ser empregados como matéria-prima controladora de plasticidade das argilas altamente plásticas, e contribuem para o controle da retração linear de queima.



Legenda:

- A - Material de qualidade, com dificuldade de produção
- B - Telhas, capas
- C - Tijolos furados
- D - Tijolos maciços

- △ Argila
- PFS
- PFP

Figura 4.4 - Gráfico da caracterização granulométrica de aptidão da argila e dos resíduos PFS e PFP na indústria cerâmica.

A análise granulométrica por peneiramento a seco reproduz, em laboratório, processo industrial usado com frequência na produção de argamassas e material cerâmico. Este procedimento é de baixo custo embora a eficiência na separação granulométrica não seja satisfatória, devido à formação de grânulos. Os grânulos constituídos por partículas metálicas e não metálicas, leves, e, portanto, não há exposição desses materiais (PFS e PFP) à abertura das peneiras. Conseqüentemente, grãos de diâmetro menor ficam retidos em peneiras cuja abertura de malha é maior. Além do citado, os grânulos encerram material metálico.

A não exposição destas partículas metálicas inibe a ação de campo magnético prejudicando assim a separação dos constituintes metálicos daqueles não metálicos. Objetivando uma maior eficiência na desagregação de grânulos,

Silva, Farah Diba da.

foram executados peneiramentos a úmido, a úmido com atrição de partículas em polpa e, finalmente, a úmido com atrição de partículas em polpa com adição de dispersante, hidróxido de sódio (NaOH).

Os pós finos, PFS e PFP, apresentaram curvas granulométricas diversificadas de acordo com o método de peneiramento utilizado, e com a densidade das partículas no processo, (tabela 4.1).

As curvas granulométricas, obtidas cada uma em função do método de peneiramento realizado, apontam para dois tipos de esboços de gráficos: aquele correspondente ao peneiramento a seco e aquele correspondente aos peneiramentos a úmido. O material peneirado a seco apresenta dificuldade para atravessar a abertura da malha, pois, observam-se visualmente grânulos, formados pela agregação dos minerais moídos da rocha com a granalha inativa. Também, neste método, partículas muito leves não conseguem passar através de malhas de abertura superior ao seu diâmetro. Este comportamento é mostrado na curva em vermelho nas figuras 4.5 e 4.6, abaixo. Em virtude das elevadas energias superficiais que apresentam os pós cerâmicos, quando em meio líquido, as forças de Van Der Waals atuam no sentido da desestabilização das suspensões, pela formação de aglomerados, Staneva et. al. (1995).

Os peneiramentos a úmido foram realizados na tentativa de melhorar a classificação granulométrica do PFS e do PFP. As curvas representativas destes procedimentos são semelhantes para ambos os pós e indicam que a maior parte do material apresenta granulometria muito fina, passante na peneira #325: peneiramento a úmido, 80,63%; peneiramento a úmido com atrição, 89,47% e no peneiramento a úmido com atrição e adição de dispersante, 88,28%. Diferentemente do método a seco, que concentra percentuais maiores de partículas em malhas mais grossas, #200 (28,06%) e #325 (40,29%), o peneiramento a úmido contribuiu para melhorar a desagregação dos grânulos; sobretudo se associado à atrição em polpa, porém a adição de soda (NaOH) não trouxe benefícios consideráveis como se pode observar nos figuras 4.5 e 4.6.

A observação das curvas das figuras 4.5 e 4.6, mostram que a classificação granulométrica do pó em estudo é otimizada pelo peneiramento realizado por via úmida; o peneiramento com a prévia atrição da polpa constituída de água e PFS é mais eficiente na desagregação de partículas, e o peneiramento à úmido com a

Silva, Farah Diba da.

prévia atrição de partículas e adição de NaOH na proporção de 1:8, em peso, não registra significativas desagregações, comparado ao peneiramento à úmido combinado a apenas a atrição de partículas, que desagrega ainda mais as partículas. Entretanto a adição de dispersante não causa grande impacto. O peneiramento a seco é aquele mais ineficiente para este tipo de pó embora seja aquele processo mais utilizado nas indústrias da construção civil, por ser o mais barato.

Portanto, na obtenção de eficiente classificação granulométrica para a indústria que necessita de matéria-prima fina com as características do pó fino de serragem, o método de peneiramento a úmido combinado com a prévia atrição das partículas é o mais eficiente.

Tabela 4.1 - Caracterização granulométrica do PFP e do PFS conforme o peneiramento.

Peneiras (#)	Tipos de Peneiramentos – Peso (%)							
	Seco		Úmido		Úmido/atrito		Úmido/atrito/NaOH	
	PFP	PFS	PFP	PFS	PFP	PFS	PFP	PFS
# 20	-	-	4,66	1,33	-	-	-	-
#48	20,27	4,93	11,00	2,51	0,12	0,22	3,56	0,54
#65	5,92	7,49	3,92	1,45	0,37	0,63	1,70	0,48
#100	7,07	9,87	2,49	1,58	0,56	0,84	1,10	0,73
#150	3,25	1,97	2,33	2,11	0,58	1,26	1,06	1,38
#200	14,83	28,06	1,68	2,21	1,07	1,74	0,40	2,13
#325	31,84	40,29	4,94	8,13	4,16	5,81	4,46	6,42
# -325	16,78	7,37	68,95	80,63	93,1	89,47	87,68	88,28

PFP pó fino de serragem de blocos rochosos; PFS pó fino do polimento de superfície de placas serradas.

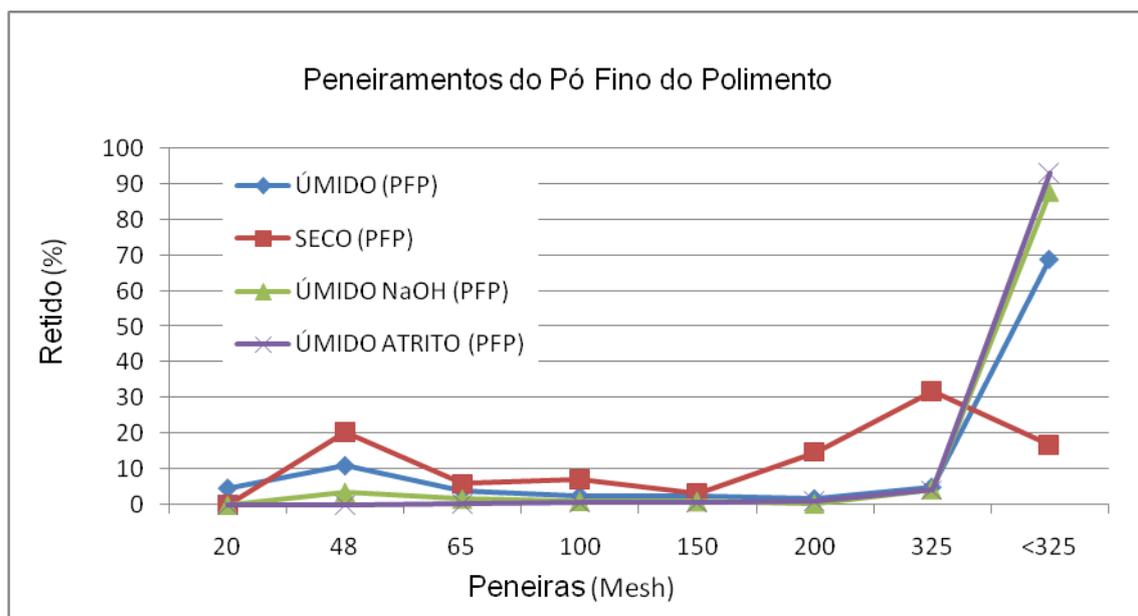


Figura 4.5 - Ilustração gráfica do comportamento granulométrico do PFP.

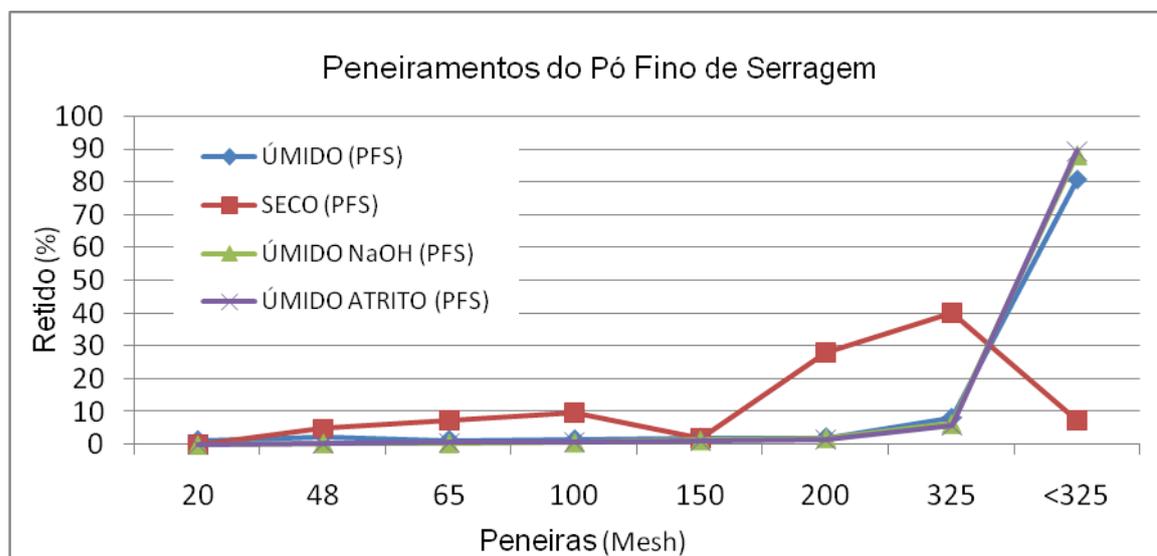


Figura 4.6 - Ilustração gráfica do comportamento granulométrico do PFS.

4.2. Peso Específico dos Grãos e das Massas Cerâmicas

A densidade das massas foi determinada com o auxílio de um picnômetro, (figura 3.8). Observa-se que, a partir do incremento dos percentuais do PFS ou do PFP, adicionados à argila, para a formulação das massas, os valores de densidade aumentam. As massas cerâmicas formuladas a partir do PFS apresentam densidades maiores que aquelas elaboradas com o PFP. Isto ocorre pela maior quantidade de resíduo de granalha remanescente no PFS. A densidade da granalha eleva aquela do PFS que contribui para o incremento da densidade da massa

Silva, Farah Diba da.

cerâmica que o contém. A menor quantidade de material metálico presente no PFP explica os valores menores de densidade registrados para as massas cerâmicas constituídas por esse pó.

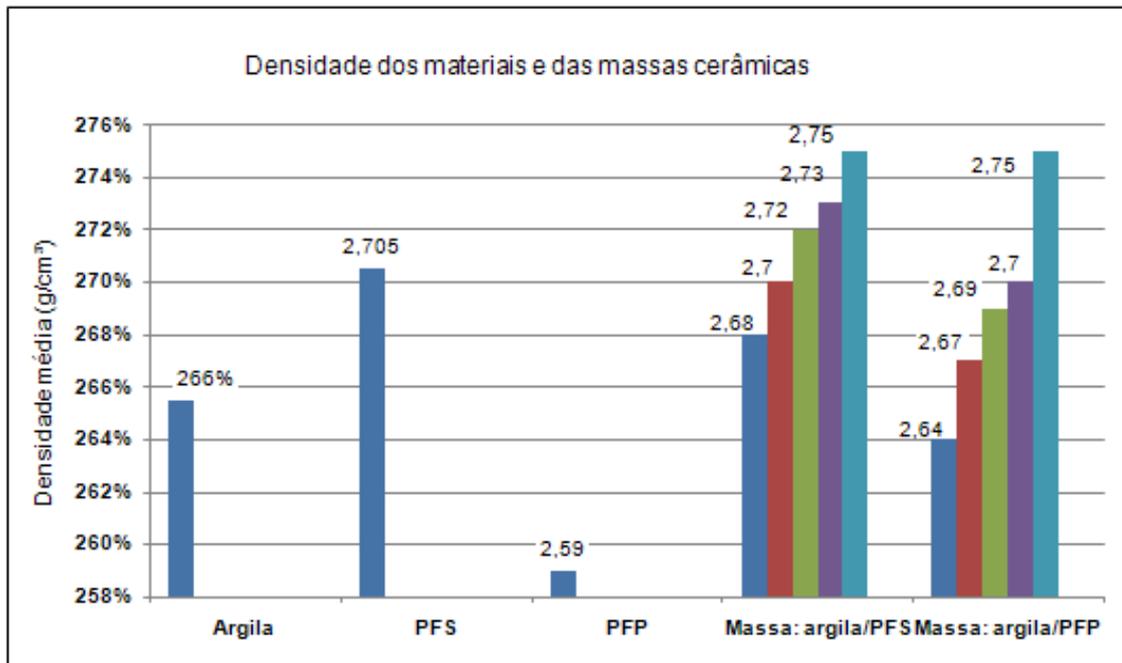


Figura 4.7 - Ilustração gráfica de densidades médias dos materiais e das massas cerâmicas

4.3. Análise Química

As análises químicas indicam que a composição dos pós apresentam teores elevados de SiO_2 apontando que estes materiais são originários de rochas silicáticas. Observa-se também que os valores percentuais dos óxidos do PFS e PFP são muito próximos daqueles da argila. Portanto tais materiais podem substituir a argila na composição das massas cerâmicas. O óxido de alumínio é o segundo composto mais abundante; apresenta propriedades refratárias e ajuda na não deformação de peças cerâmicas moldadas. Outro óxido abundante é o de potássio, oriundo de rochas ricas em k-feldspato. Trata-se de um elemento químico metálico básico de propriedades fundentes igual ao MgO e ao CaO . Teores de silicato de Ca e de Mg presentes na massa cerâmica contribuem com o controle de retração do produto cerâmico, uma das grandes preocupações da produção cerâmica. Outros metais fundentes são registrados em menores teores nas amostras como BaO e SrO . Óxido de ferro contido no pó fino da serragem – PFS - apresenta-se como o terceiro composto químico mais abundante das amostras Sua presença torna a

Silva, Farah Diba da.

cerâmica vermelha depois da queima. O TiO, registrado em pequenas quantidades, além de conferir a cor vermelha à massa depois da queima, apresenta propriedades vitrificantes. O PFS apresenta o maior percentual de óxido de ferro por conter maior teor de granalha que o PFP.

Tabela 4.2 - Análises semi-quantitativas da argila e dos resíduos industriais PFS e PFP.

óxidos	PFP Total	PFP >#200	PFP <#200	PFS Total	PFS >#200	PFS <#200	Argila Total	Argila >#200	Argila <#200
SiO ₂	65,30	64,90	68,00	64,10	67,00	63,10	69,00	88,30	66,70
Al ₂ O ₃	16,00	14,40	14,60	14,00	13,80	13,80	15,60	5,74	16,90
K ₂ O	5,60	5,17	5,47	5,20	5,36	5,13	2,21	0,03	3,34
Fe ₂ O ₃ T	4,38	5,72	3,83	9,16	6,67	9,96	5,56	1,33	4,67
Na ₂ O	2,79	2,62	2,78	2,43	2,50	2,89	3,89	1,69	3,45
MgO	2,53	3,32	2,13	1,17	0,94	1,94	0,85	1,19	0,72
CaO	2,26	2,57	2,04	3,23	2,87	1,96	1,45	0,99	2,16
TiO ₂	0,67	0,69	0,56	0,31	0,26	0,54	1,02	0,33	1,49
P ₂ O ₅	0,15	0,12	0,27	0,05	0,31	0,28	0,04	1,27	0,16
MnO	0,08	0,11	0,08	0,11	0,08	0,12	1,13	0,07	0,16
Rb ₂ O	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,01	tr	0,01
SrO	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,07
BaO	0,15	0,21	0,17	0,10	0,13	0,14	0,11	tr	0,18
p.f.	0,28	0,02	0,05	0,14	0,02	0,02	0,09	tr	0,04
TOTAL	100,30	99,95	100,06	100,07	100,03	99,96	101,01	100,98	100,06

4.4. Análise Mineralógica

A mineralogia da argila registra picos cristalográficos característicos da caulinita, figura 4.8, concordantes com o alto teor de Al_2O_3 verificado na análise de química através da fluorescência de raios-X (tabela 4.2) e da difração de raio-X, pode-se concluir que a sílica dos pós PFS e do PFP é o composto químico que representa os minerais de quartzo e nos minerais de combinação da sílica com o sódio e potássio como a exemplo da muscovita sódica e do feldspato potássio (KF), representantes dos minerais mais abundantes nas rochas de fins ornamentais graníticas ou silicáticas.

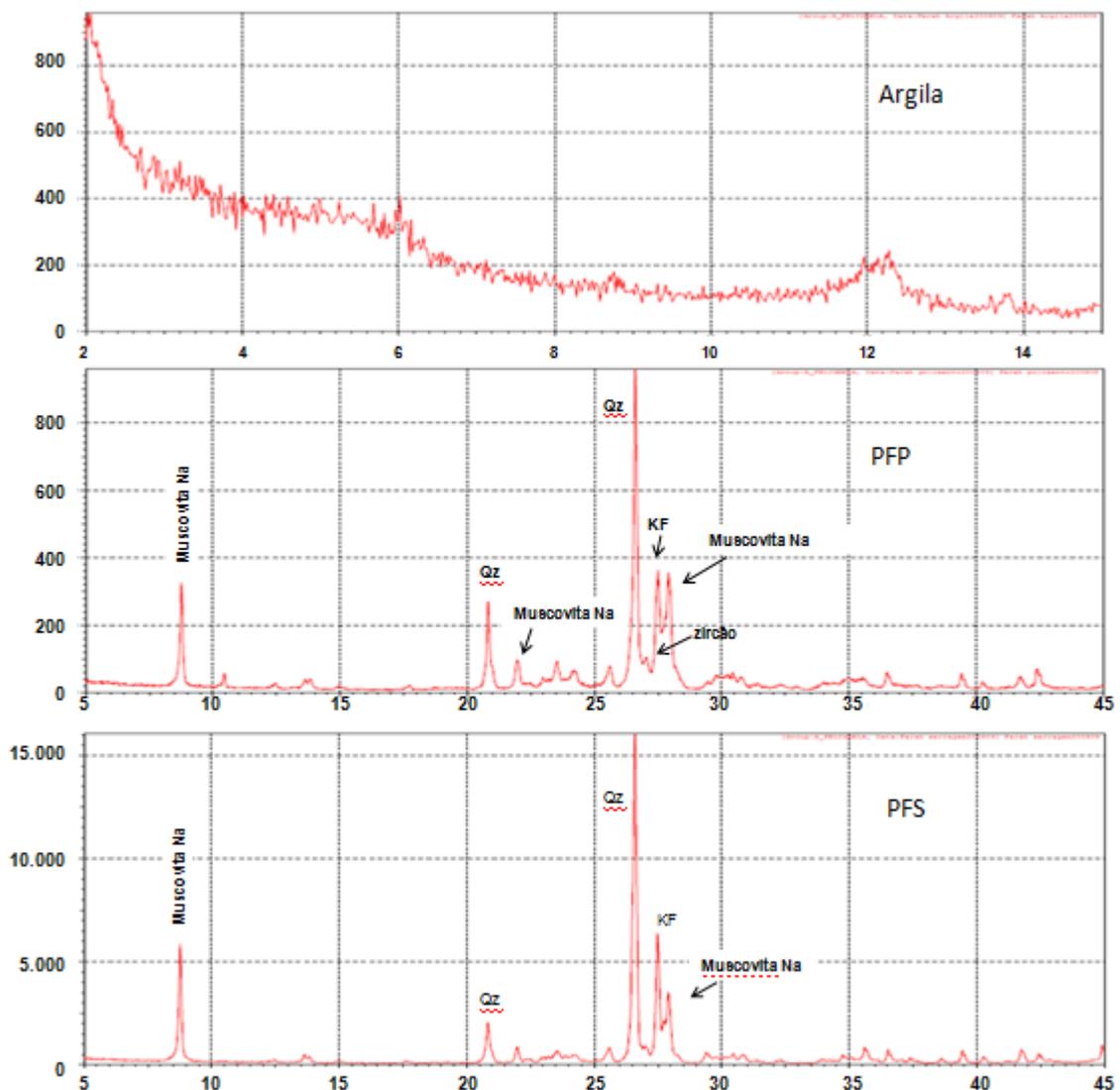


Figura 4.8 – Difratoformas de raio X da argila e dos rejeitos industriais PFP e PFS

Os difratogramas dos produtos do beneficiamento magnético dos pós (PFS

Silva, Farah Diba da.

e PFP) amostrais oriundos do beneficiamento magnéticos dos diversos peneiramentos registraram a presença de minerais não metálicos dentre os minerais metálicos. Portanto, a intensidade do campo magnético e o tamanho das partículas e a formação de grânulos contribuem para o beneficiamento magnético. O PFP quando submetido ao beneficiamento com o uso do rolo induzido registra menos fases cristalográficas no produto magnético considerado metálico, conforme a figura 4.9.

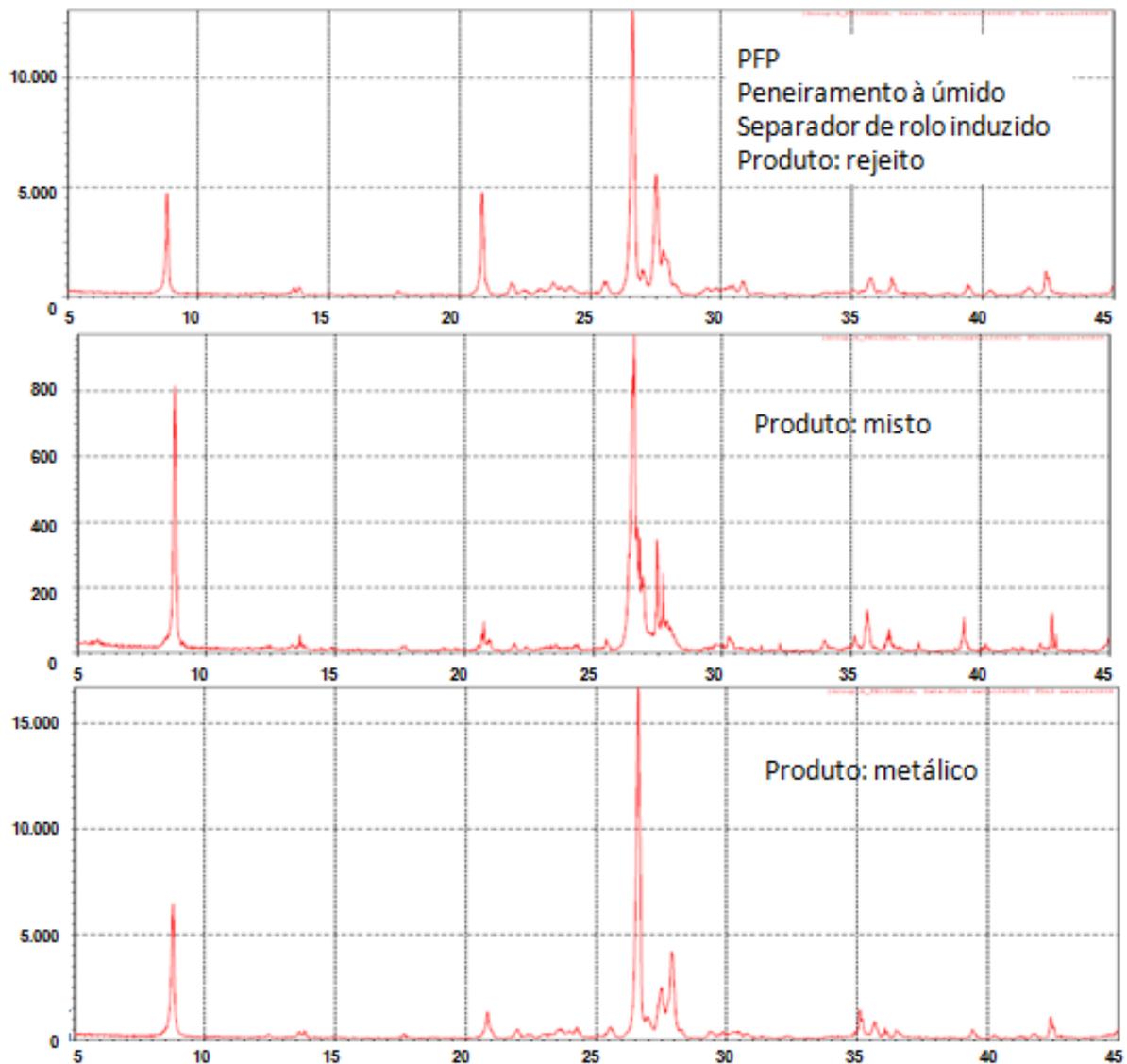


Figura 4.9 – Difratomogramas de raios-X do PFP submetido ao separador de rolo induzido.

O beneficiamento magnético como separadores Frantz no PFP oriundo do peneiramento à úmido combinado a atrição de partículas e o uso do hidróxido de sódio (NaOH) registrou no produto metálico registrou a inibida presença de minerais não metálicos, figura 4.10. O uso do rolo induzido e do imã comum originam os

Silva, Farah Diba da.

produtos metálico do PFS com registro de minerais não metálicos. A presença de mineais não metálicos é registrado no PFS oriundos do peneiramento a seco e submetido ao imã comum e do peneiramento a úmido submetido ao separador magnético de rolo induzido, conforme a figura 4.10.

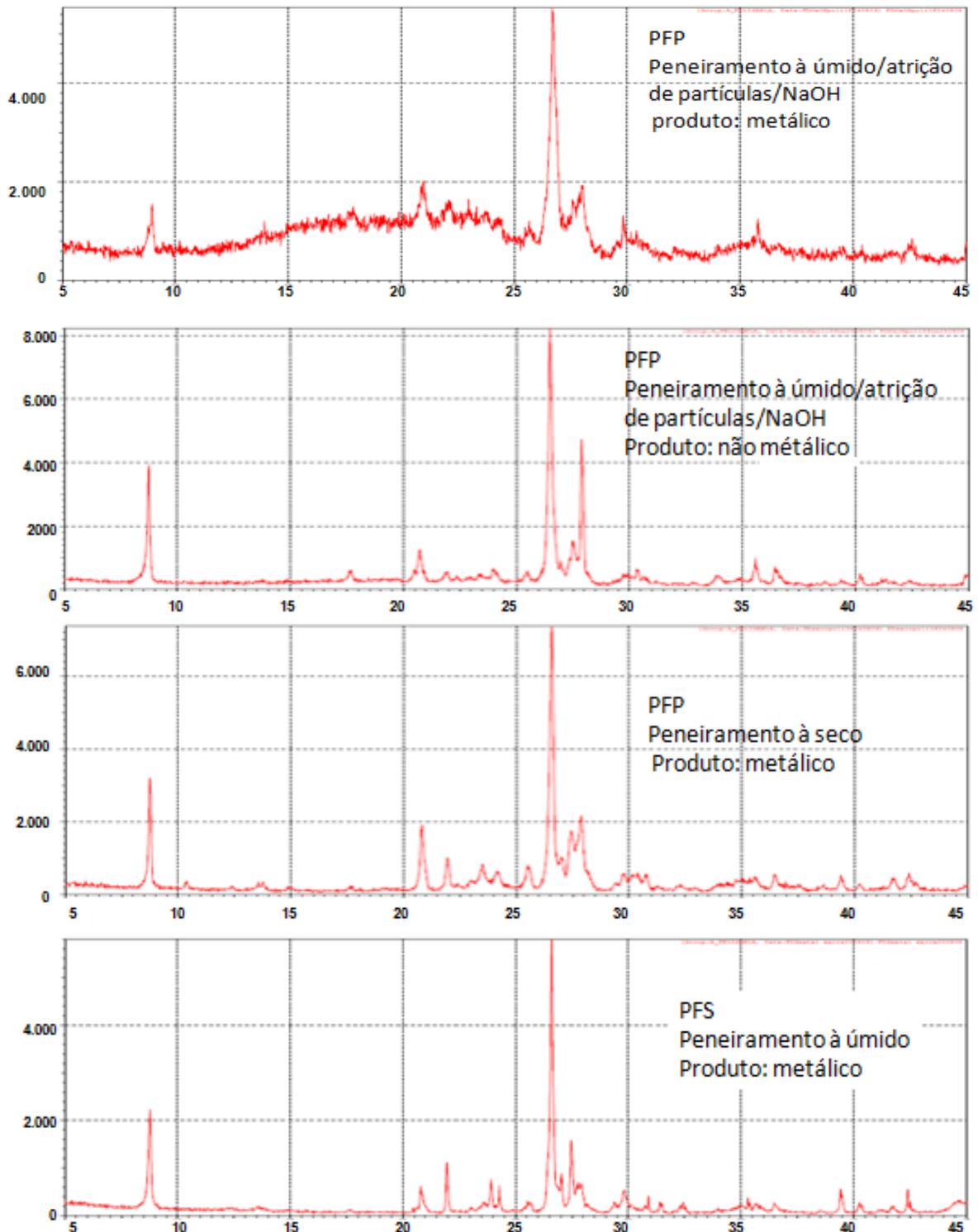


Figura 4.10 - Difratogramas de raios-X do PFP e do PFS oriundo dos peneiramentos a úmido e a seco.

4.5. Análise Magnética

As caracterizações magnéticas dos pós PFS e PFP visaram a identificação quantitativa do material metálico remanescente, oriundo da granalha, abrasivo usado no processo de serragem dos blocos em teares. Esta análise foi realizada sobre os resíduos dos pós que ficaram nas várias peneiras utilizadas nos processos de análise granulométrica.

Este tipo de beneficiamento mineral possibilita identificar quantitativamente teores de partículas metálicas e não metálicas. No Brasil existem cerca de 1600 teares de rochas ornamentais. Estudos indicam que, presentes nos resíduos da lama abrasiva, tem cerca de 1,11 tonelada de ferro/aço (granalha/lâminas) na lama abrasiva produzida em uma serrada conforme Junior et. al (2001). Sua recuperação, além de diminuir o impacto ambiental, resultaria em economia na produção de aço. Também, a partir da eficiência dos processos de separação, o material fino não metálico, em dada granulometria, poderia ser usado como “filler” na produção de argamassas o que representaria economia energética nos processos de cominuição para empresas que necessitem de matéria-prima e menor retirada de materiais da natureza.

Análise magnética após o peneiramento a seco

A classificação magnética do PFP e do PFS resultantes do peneiramento a seco foi possível através do separador magnético de rolo induzido, de uso industrial. Utilizou-se também para o PFP foi usado o separador Frantz, figura 4.5. O uso do imã comum mostrou-se ineficaz na classificação do pó fino de serragem (PFS). As frações granulométricas do PFS não foram submetidas à análise magnética com o imã comum devido à formação de grânulos agregadores das partículas metálicas e não metálicas, figura 4.11 (A). Os teores de partículas metálicas identificadas após o peneiramento são insignificantes, devido à má distribuição granulométrica do material após o peneiramento a seco e à forte atração de partículas metálicas que, envolvidas às não metálicas, são simultaneamente atraídas para o imã comum, dificultando o beneficiamento magnético. O uso do imã comum mostrou-se também ineficaz na classificação do pó fino do polimento (PFP).

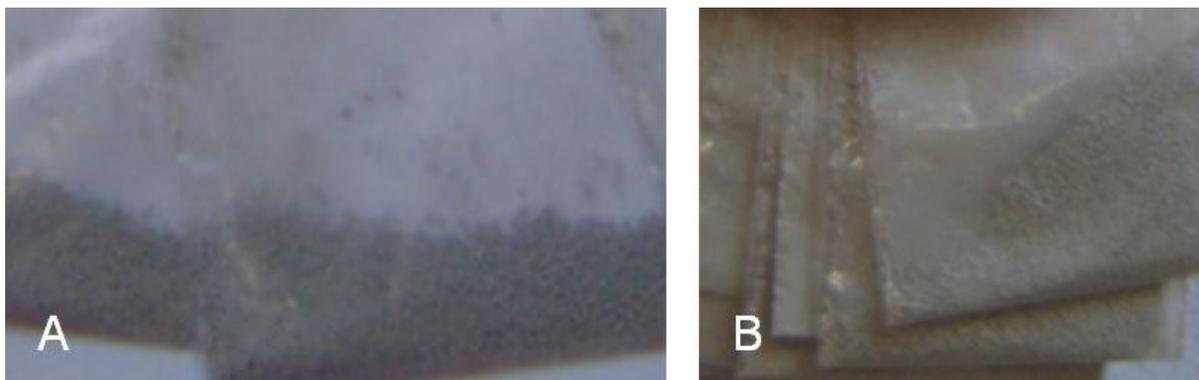


Figura 4.11 - (A) Pó fino de serragem em grânulos; (B) Pó fino do polimento em grânulos.

Durante o peneiramento a seco, as partículas, por estarem agregadas em grânulos, não ficaram expostas à tela da peneira para passar à diâmetros menores possibilitando a efetiva classificação granulométrica; portanto, neste tipo de peneiramento mais de 80% do material apresenta granulometria maior que aquela da peneira #325 (45 μ m).

Tabela 4.3 - Classificação magnética no separador de rolo induzido das frações granulométricas do PFP resultante do peneiramento a seco.

Classificação Magnética do PFP e do PFS						
Peneiramento seco – Separador Magnético de Rolo Induzido						
Peneiras (#)	Pó fino do polimento (PFP)			Pó fino de serragem (PFS)		
	Rejeito (%)	Misto (%)	Magnético (%)	Rejeito (%)	Misto (%)	Magnético (%)
20	-	--	-	-	-	-
48	1,53	98,14	0,31	37,88	21,75	40,36
65	4,61	87,93	7,44	9,23	21,61	69,15
100	35,73	50,5	13,76	2,17	4,19	93,62
150	56,68	14,97	28,34	-	3,93	96,06
200	71,45	18,37	10,16	16,05	7,17	76,76
325	74,94	11,60	13,45	17,08	7,19	75,71
< 325	18,59	1,32	80,08	6,24	5,19	88,54

Análise magnética após o peneiramento a úmido

Os resíduos PFS e PFP foram caracterizados magneticamente com o uso do separador magnético de rolo induzido. O PFS, por apresentar forte atração ao imã comum, pode ser classificado magneticamente também por esse recurso. O PFP foi caracterizado a partir da utilização do separador Frantz.

A utilização de água durante o peneiramento de materiais possibilita a desagregação dos grânulos e isto aumenta a eficiência deste processo. Verifica-se que qualquer que seja o material, PFS ou PFP, no peneiramento a úmido, mais de 68% das partículas apresentam granulometria menor que 325 mesh. O pó fino do polimento caracteriza-se por uma granulometria que não corresponde ao tamanho real do resíduo, devido à formação de grânulos, característicos da presença de água do peneiramento à úmido, (figura 4.12).



Figura 4.12 - Formação de grânulos do pó fino do polimento, proveniente do peneiramento a úmido.

O pó fino da serragem, oriundo do peneiramento a úmido, apresenta formação de grânulos, mas seu teor partículas magnéticas é elevado, portanto, o imã comum, utilizado como separador magnético, foi capaz de determinar o teor de partículas metálicas e não metálicas. O pó fino do polimento, pelo fato de apresentar grânulos e devido à presença de maior quantidade de minerais não metálicos, resultante do peneiramento a úmido, não pode ser classificado magneticamente através do uso do imã comum como separador magnético, (figura 4.13).

O pó fino da serragem, oriundo do peneiramento a úmido, apresenta formação de grânulos, mas seu teor partículas magnéticas é elevado, portanto, o imã comum,

Silva, Farah Diba da.

utilizado como separador magnético, foi capaz de determinar o teor de partículas

O pó fino de serragem passante na peneira #325 não foi possível ser classificado devido ao imã conseguir atrair simultaneamente partículas metálicas e partículas não metálicas.

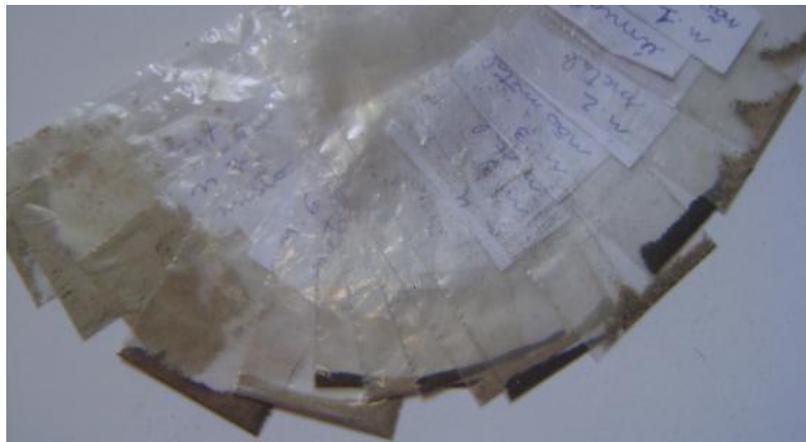


Figura 4.13 - Pó fino de serragem classificado em metálico e não metálico após o beneficiamento magnético com o uso do imã comum.

Tabela 4.4 - Classificação magnética no separador de rolo induzido das frações granulométricas PFP e do PFS resultantes do peneiramento a úmido.

Classificação Magnética do PFP e do PFS						
Peneiramento úmido – Separador Magnético de Rolo Induzido						
Peneira (#)	Pó fino do Polimento – PFP			Pó Fino de Serragem - PFS		
	Rejeito	Misto	Magnético	Rejeito	Misto	Magnético
20	-	-	-	-	-	-
48	25,18	74,49	0,32	26,55	31,35	42,09
65	17,57	76,22	6,20	11,86	24,29	63,84
100	15,66	68,27	16,05	5,74	25,28	68,96
150	24,08	24,45	51,45	7,17	31,1	61,72
200	2,29	32,44	65,26	7,14	35,23	57,61
325	0,22	5,40	94,37	-	11,21	88,78
< 325	0,64	5,06	94,28	0,59	0,61	98,79

Classificação magnética após o peneiramento a úmido/atrição de partículas/NaOH

O pó fino da serragem após o peneiramento à úmido com a atrição de partículas com o uso de dispersante, (figura 4.12), não pode ser submetido à classificação magnética com o uso do separador de rolo induzido devido às partículas não se apresentar em forma grânulos. Portanto, por menor que fosse a amperagem magnética do equipamento, as partículas metálicas ficaram grudadas no equipamento e não apenas no rolo como é a base de operação do separador magnético de rolo induzido. Assim, a determinação dos teores de minerais magnéticos e não magnéticos do PFS, resultante do peneiramento úmido com prévia atrição de partículas e dispersante, foi apenas submetido a classificação magnética através do uso do imã comum (figura 4.14), resultando em cores definidas entre minerais metálicos e minerais não metálicos.



Figura 4.14 - Pó fino de serragem oriundo de peneiramento à úmido e classificado magneticamente com o uso do imã comum.

Os efeitos da desagregação das partículas constituintes do pó fino de serragem são evidenciados na definição de cores entre partículas metálicas e não metálicas separadas com o uso do imã comum, (figura 4.15). Observa-se que à medida que a granulometria do pó diminui, o percentual de material magnético retido em cada peneira decresce. Isto acontece até o material retido na peneira 325 mesh. Para partículas de diâmetros inferiores à malha #325, a recuperação do material metálico é muito maior. Verifica-se, visualmente, que é nesta granulometria onde se encontra a maior quantidade de partículas metálicas.



Figura 4.15 - Pó fino de serragem submetido ao separador magnético imã comum.

O pó fino do polimento, oriundo do peneiramento a úmido com atrição de partículas em polpa contendo dispersante químico, apresenta uma boa desagregação de partículas. Este pó caracteriza-se por conter partículas metálicas e não metálicas classificadas no separador magnético de rolo induzido. O conjunto das partículas metálicas e não metálicas são classificadas em rejeito, misto e magnético. À medida que o diâmetro médio dos grãos diminui, aumenta o percentual de material retido nas peneiras. Entretanto, para frações inferiores a 45 µm, o percentual é maior perfazendo mais de 80%, como no caso do PFS.

Classificação magnética do pó fino do polimento (PFP) com o uso do separador magnético Frantz

A utilização deste separador magnético foi possível apenas no resíduo fino do polimento por este um pó composto de baixos teores de partículas metálicas se comparado ao pó fino da serragem. A classificação magnética com o uso do Frantz foi realizada nas frações granulométricas oriundas dos vários tipos de peneiramento.

Observando-se a tabela abaixo e comparando-a com a tabela 4.5, verifica-se que a separação magnética através do uso do separador Frantz se mostrou menos eficiente do que aquela realizada através da utilização do separador magnético de rolo induzido quando o PFP é remanescente do peneiramento seco.

Classificação magnética com a utilização do separador magnético Frantz do PFP identificou teores magnético baixo de 21,23%, 38,58%, 16,26%, 15,47%, 20,50%, 12,16% e teores altos de partículas não magnéticas com 78,76%, 61,41%, 83,73%, 84,52%, 79,49% e 87,83% nas respectivas peneiras de #48, #65, #100, #200 e #325, conforme tabela 4.5.

O pó fino do polimento após a etapa de peneiramento a úmido combinado com um a previa atrição de partículas durante 30min em polpa contendo solução de hidróxido de sódio, como método executado no objetivo de desagregação de partículas, todos as técnicas utilizadas gerou percentuais fracionários nas diversas peneiras adotadas com uma certa desagregação de partículas.

A classificação magnética no Frantz em minerais metálicos e minerais não metálicos caracterizou o pó fino do polimento como um resíduo de baixos teores magnético. Valores magnéticos e não magnéticos são iguais apenas nas partículas retidas na peneira de #48 com 50%, nas peneiras de diâmetros menores são registrados em ordem significativamente decrescente valores de 41,50%, 20,87%, 16,66%, 12,99% e 9,12%, enquanto que os valores de minerais não metálicos nas peneiras de #65, #100, #200, e #325 são classificados em ordem crescente em 58,49%, 79,49%, 83,33%, 87,00% e 90,89%, conforme mostra o gráfico 4.5.

Tabela 4.5 - Classificação magnética no separador magnético Frantz das frações granulométricas do PFP resultante dos vários tipos de peneiramentos realizados.

Peneiras (#)	Caracterização magnética do PFP de acordo com os tipos de peneiramentos – separador magnético Frantz							
	Seco		Úmido		Úmido/atrito		Úmido/atrito/NaOH	
	M	NM	M	NM	M	NM	M	NM
20	-	-	-	-	-	-	-	-
48	21,04	78,95	21,23	78,76	24,32	75,67	50,00	50,00
65	20,76	79,23	38,58	61,41	17,3	82,69	41,5	58,49
100	25,21	74,78	16,26	83,73	12,22	87,77	20,87	79,12
150	23,45	76,54	15,47	84,52	7,31	92,68	16,66	83,33
200	21,64	78,35	20,5	79,49	2,23	97,76	12,99	87,00
325	23,97	76,02	12,16	87,83	1,25	98,74	9,12	90,87
< 325	49,57	50,42	-	-	-	-	-	-

M* Magnético ; NM* Não Magnético.

O pó fino do polimento oriundo da separação a úmido combinado apenas com a atrição de partículas em polpa durante 30min, ao ser submetido à classificação magnética mostrou-se como um resíduo de baixo teor magnético, fato verificado com o registro de mineral magnético na ordem decrescente inversamente a ordem de peneiras. Os teores de minerais considerados não metálicos são considerados significativos quando comparados aos valores magnéticos de mesma peneira como pode-se verificar na peneira de 48# 75,67% e de magnético 24,32%, na peneira de #65 com 82,69%, e de magnético 17,30%, na peneira de #100 87,77% e de magnético 12,22%, na peneira de #150 92,68% e de magnético 7,31%, na peneira de 200# 97,76% e de magnético 2,23%, e na peneira de #325 98,74% e de magnético na respectiva peneira classifica-se apenas 1,25%.

4.6. Ensaio Cerâmicos

4.6.1. Limites de Atterberg

Limites de Liquidez e de Plasticidade

Quando as argilas são umedecidas, adquirem certa plasticidade, que é a capacidade de um dado material ser moldado quando umedecido. A plasticidade das argilas tem papel preponderante quando se trata do processo denominado extrusão. A extrusão é o método mais aplicado pelas indústrias de cerâmica na obtenção de telhas, tijolos, blocos dentre outros produtos cerâmicos. Este procedimento consiste na passagem forçada da massa por uma boquilha com aberturas que origina a forma do objeto requerido.

O limite de liquidez reflete a propriedade da massa ou do solo adsorver mais ou menos umidade, em função principalmente das propriedades químicas e mineralógicas do material. Portanto, esta propriedade pode apresentar os mais variados comportamentos a depender dos fatores que podem interferir ou estimular a adsorção de liquidez.

Os limites de liquidez e de plasticidade da argila estudada, usualmente usada para confecção de peças cerâmicas, foram alterados pela adição dos pós PFS e PFP. Através dos gráficos abaixo, observa-se que há diminuição do limite de liquidez da argila quando a ela são adicionados 10% dos pós, PFS ou PFP, em peso. Esta queda continua com o aumento dos percentuais do pó fino de serragem adicionado à massa cerâmica. Entretanto quando há incremento da quantidade de PFP, o limite

Silva, Farah Diba da.

de liquidez da massa cerâmica assim constituída volta a crescer e, para misturas metade argila, metade PFP, o valor de LL atinge 41,22%, quase o mesmo da argila pura (42,01%). Quanto ao limite de plasticidade, a adição dos pós praticamente não altera o valor original do LP, entretanto, conforme é adicionado percentuais de pó fino do polimento nas formulações das massas verifica-se um aumento do LP, chegando a 24,36%, para massas 50%argila/50%PFP, 36,20% maior que o LP da argila. O incremento da quantidade de PFS à formulação da massa pouco altera o LP, mesmo para percentuais de 50% de PFS, cujo LP (19,11%) é apenas 8,45% maior que o da argila (17,62%).

As composições das massas foram elaboradas em peso, o pó fino de serragem (PFS), resíduo que contém granalha inativa, é, portanto mais pesado (densidade $2,xx \text{ g/cm}^3$) que o pó fino de polimento (PFP) (densidade $2,590 \text{ g/cm}^3$). Assim, é requerido menos volume daquele material (PFS) do que do PFP. Por conseguinte, no mesmo peso, há mais grãos de PFP do que PFS. Considerando ainda a finura destes materiais, o que indica superfície específica elevada, há, portanto, no caso do PFP maior área total a interagir com a água, o que se traduz por aumento de plasticidade quando este pó é misturado à argila; o mesmo não acontece ao PFS, pois como há menos grãos, há também uma menor área e, conseqüentemente, menos água para recobrir e lubrificar as partículas e, portanto, menor limite de plasticidade.

Conforme Jenkins, as argilas podem ser classificadas, de acordo com o Índice de Plasticidade, em fracamente plásticas ($1 < IP < 7$), medianamente plásticas ($7 < IP < 15$) e altamente plásticas ($IP > 15$). Segundo esta classificação, a argila adotada apresenta alta plasticidade: valor do IP (24,39%), maior do que 15; também as massas cerâmicas compostas de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de pó fino de polimento, combinadas à argila altamente plástica, registraram altos valores de plasticidade, todas com IP maior que 15. Em relação ao PFS, o IP diminui com o aumento do percentual deste pó na formulação da massa cerâmica. Adições de PFS, maiores ou iguais, em peso, a 40%, produzem massas de plasticidade mediana. Os pós finos do polimento (PFP) e da serragem (PFS), puros, não têm capacidade para reter água; portanto não apresentaram limites de liquidez e plasticidade. Por conseguinte, não manifestam plasticidade, propriedade essencial para ser moldado. Entretanto a introdução destes pós na composição das massas é fundamental para a diminuição da retração linear de queima e de secagem das

Silva, Farah Diba da.

peças conformadas, e para o controle da plasticidade da argila. Portanto, a plasticidade requerida da massa cerâmica poderá ser adquirida da argila. Certa plasticidade garante menos prejuízo durante a extrusão de produtos cerâmicos, passíveis de deformações, e é responsável pela maior resistência mecânica da peça cerâmica.

Os limites de liquidez das massas cerâmicas se comparados com o limite de liquidez apresentado pela argila pura apresentaram comportamento diferente a depender da massa combinada com o pó fino da serragem que é denso e com altos teores de partículas metálicas ou da combinação de argila com o pó fino do polimento, um resíduo composto de minerais não metálicos.

A causa de, na massa argila/serragem, ocorrer o rebaixamento do índice de plasticidade se deve ao fato do pó fino de serragem ser um resíduo composto de partículas metálicas em maior proporção, ou seja, o aumento de porcentagem necessária à composição de cada massa cerâmica não corresponde a um significativo aumento de partículas e, conseqüentemente, a um aumento de superfícies a interagir com as partículas da argila resultando em altos índices de plasticidade.

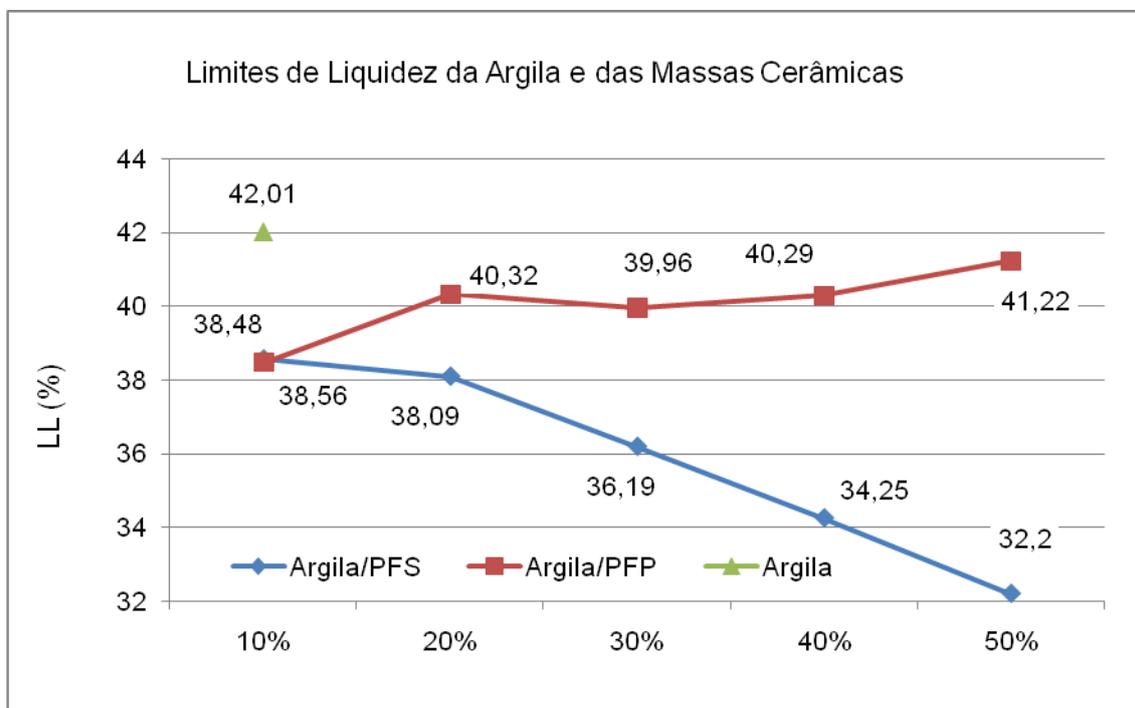


Figura 4.16 - Ilustração gráfica da classificação dos limites de liquidez da argila e das massas cerâmicas.

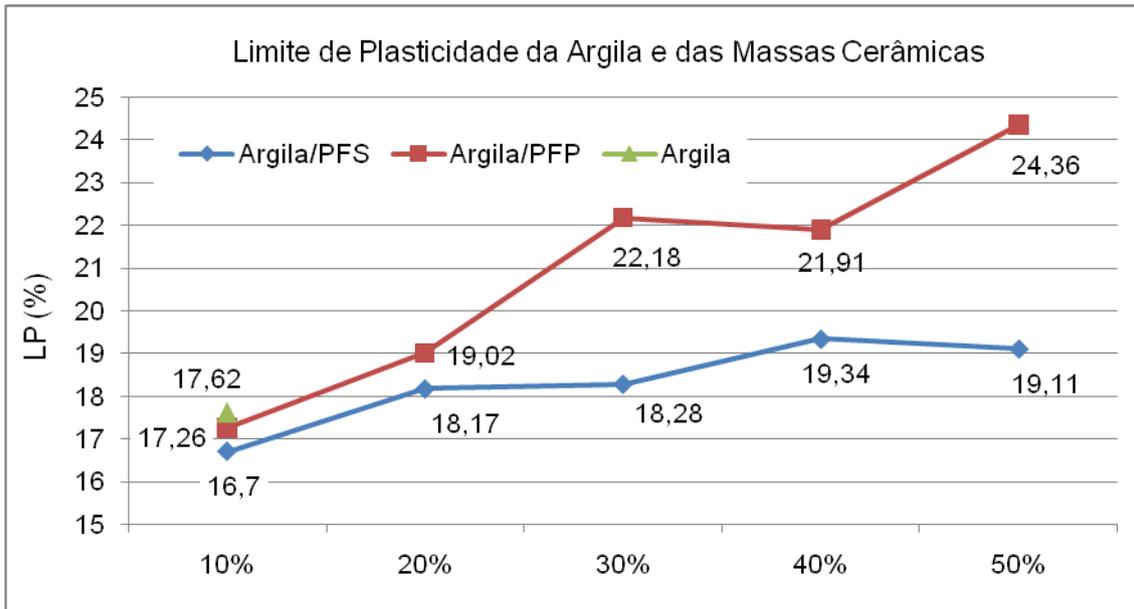


Figura 4.17 - Ilustração gráfica da classificação de limite de plasticidade da argila e das massas cerâmicas.

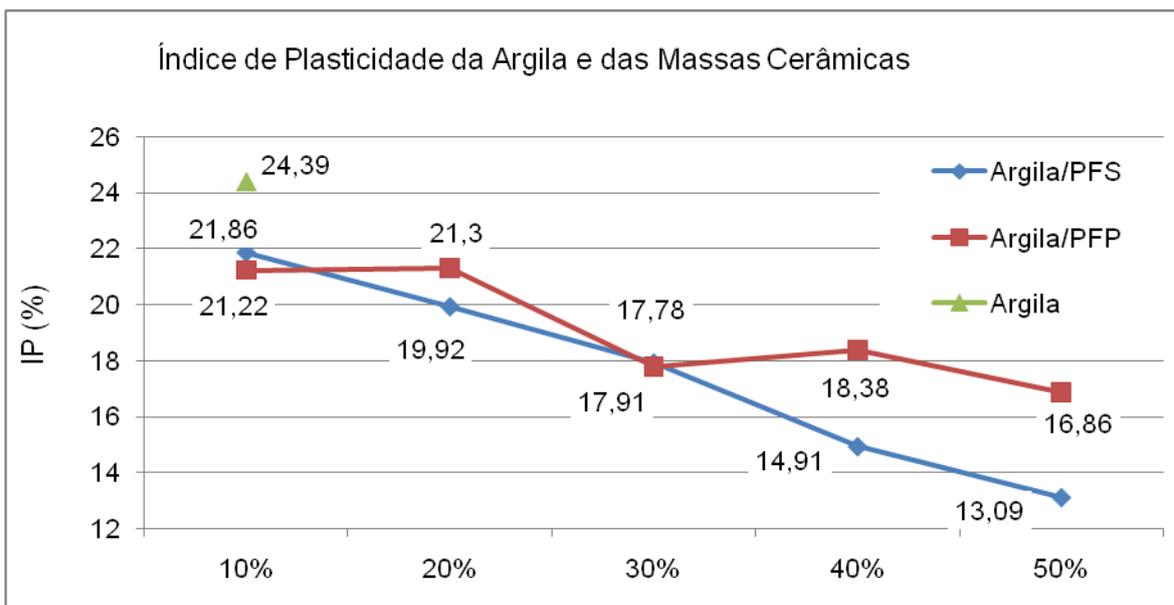


Figura 4.18 - Ilustração gráfica da classificação dos índices de plasticidade da argila e das massas cerâmicas

O pó fino do polimento é composto de baixos teores de partículas metálicas, resultado em um pó leve e conseqüentemente volumoso ao se requerer sua utilização em peso. Em comparação à argila altamente plástica utilizada na elaboração das massas cerâmicas, observa-se que nas combinações de massas argila/polimento, conforme se eleva a porcentagem de pó fino do polimento ocorre a

Silva, Farah Diba da.

diminuição do índice de plasticidade. Adições cada vez maiores de PFP, em porcentagem (peso), elevam o limite de plasticidade, mas apresentam comportamento de limite de liquidez decrescente, prejudicando o desempenho do índice de plasticidade nas massas cerâmico argila/polimento.

O aumento de pó fino do polimento um resíduo rico em minerais silicáticos resulta no comportamento decrescente do índice de plasticidade. Massas cerâmicas com índices de plasticidade baixos indicam uma massa cerâmica que apresentará, em etapas posteriores da produção cerâmica, perdas através de fissuramentos durante a secagem, quebra de peças cerâmicas devido ao índice de plasticidade baixo.

Dentro da análise de índice de plasticidade de massas cerâmicas é importante ressaltar a importância da consistência da massa, uma propriedade que resultará na conformação do produto cerâmico úmido e no processo de extrusão para o caso de produção de artefatos cerâmicos com o uso de uma extrusora, para a produção em escala industrial. Considerando conforme a figura 4.16, onde são delimitadas as áreas de extrusão ótima (a) e a área de extrusão aceitável para a extrusão de produtos cerâmicos a partir de uma massa de baixa plasticidade, mas admissível quanto à conformação de peças cerâmicas.

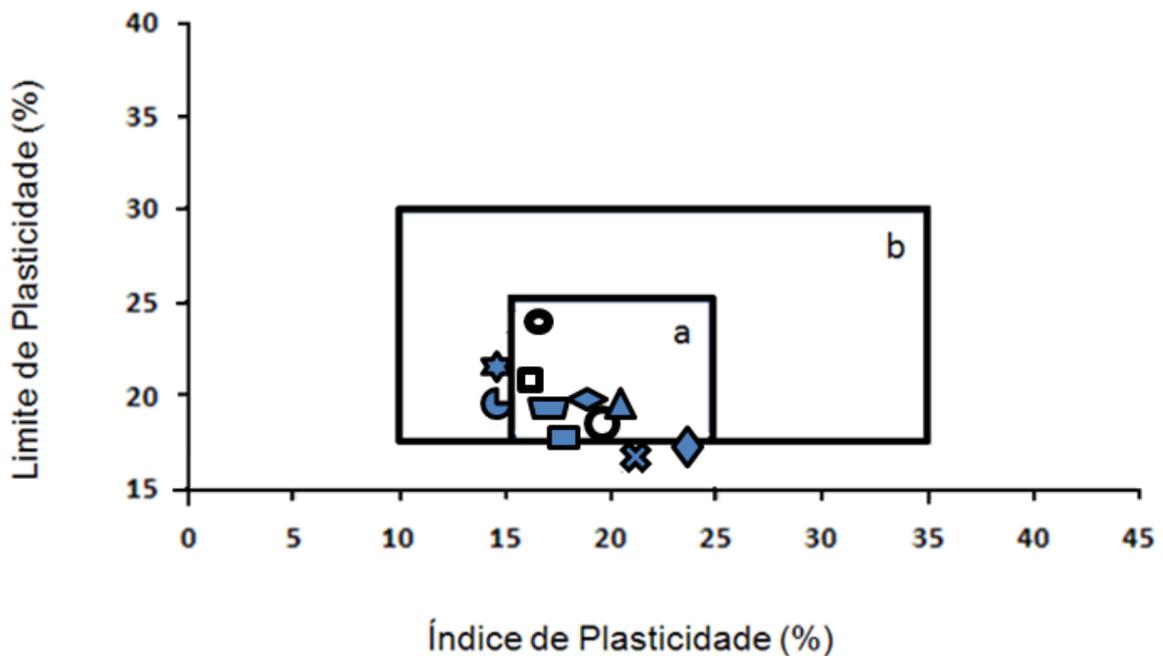
A argila mostrou o LP de 17,62, e um IP de 24,39%, uma argila de valores considerados alto, conforme a classificação de Jenkins para limites de plasticidade. A combinação da argila aos resíduos resultou em massas de bom desempenho quando submetidos à extrusão. Através da extrusão é admissível a conformação de tijolos de alvenaria, tijolos furados e telhas queimados a 950°C, conforme Souza Santos (1975).

A plasticidade da argila não apresentou prejuízos ao ser combinada com os percentuais diferentes dos pós (PFP ou PFS). O IP das massas foi registrado com valores na ordem decrescente de acordo com o aumento adicional de PFP e do PFS. A adição do PFS registrou valores de IP mais baixos que aqueles do PFP, por apresentarem valores de LL e LP menores quando comparados aos de LL e LP das massas compostas de PFP. As massas compostas de argila/50%PFS e argila/30%PFP se caracterizaram dentro da área de extrusão aceitável, próximos ao limite inferior da área de extrusão considerada ótima.

A argila localizou-se no limite inferior da área de extrusão ótima e a

Silva, Farah Diba da.

combinação da argila com os percentuais de 10%PFS, 20%PFS, 40%PFS, 20%PFP, 40%PFP e 50%PFP formulando as massas cerâmicas, caracterizam-se por estarem dentro da área de extrusão aceitável. A combinação 90%argila/10%PFP caracteriza-se com um LP semelhante ao da argila sem adição, mas o IP da massa 10%PFP é baixo ao ser comparado com o IP da argila. A massa cerâmica com a adição de 30%PFS apresenta um LP superior ao da argila, consegue, portanto, se localizar mais dentro da área de extrusão ótima do que a argila que apresenta um IP mais alto do que aquele da massa de 30%PFS/70%argila.



Legenda:

◆ Argila

massas:

✕ argila/polimento 10%

▲ argila/polimento 20%

★ argila/polimento 30%

◻ argila/polimento 40%

● argila/polimento 50%

◇ argila/serragem 10%

○ argila/serragem 20%

■ argila/serragem 30%

▒ argila/serragem 40%

☾ argila/serragem 50%

a - área de extrusão ótima

b - área de extrusão aceitável

Figura 4.19 - Classificação gráfica da argila e das massas cerâmicas dentro da área de extrusão.

4.6.2. Análises Termo Diferencial e Análise Termo Gravimétrica (ATD - ATG) da argila e das Massas Cerâmicas

As análises termo-diferenciais e termogravimétricas foram analisadas com a finalidade de verificar o comportamento térmico da argila e das massas cerâmicas, identificando as temperaturas onde ocorrem perda de água da constituição. Foi verificado na análise termo diferencial da argila, conforme o gráfico.. acidente endotérmico de média intensidade em temperatura de 129°C, justificado pela perda de massa.

As análises termo diferenciais e termogravimétricas foram analisadas com a finalidade de verificar o comportamento térmico da argila e das massas cerâmicas, identificando as temperatura onde ocorrem nestes materiais em análise térmico acidentes térmicos de perda de massa do entorno dos grãos, conforme o aumento de temperatura.

O comportamento térmico da argila influenciou no registro de perda de massa das massas cerâmicas quando combinado nas adições de 10%, 30% e 50% dos pós PFS ou PFP. O registro de três temperaturas de perdas de massa verificado nas massas cerâmicas compostas de 10%, 30% e 50% dos pós (PFS e PFP) é um fato é característico da argila. A argila registra perda de massa nas temperaturas de 103°C, uma perda característica da perda de água de adsorção de entre as partículas; a segunda temperatura de perda de massa da argila é registrada em 313°C, uma temperatura característica da decomposição de hidróxido de alumínio e a terceira temperatura de perda registrada em 529°C, uma temperatura que provoca a perda de água , ou desidroxila característico dos argilominerais (caulinita).

O PFP registra apenas duas temperaturas de perda de massa: uma em temperatura característica da argila em 78°C dentro dos limites considerados da argila de 36°C a 234°C e a segunda temperatura de perda de massa registrada pelo PFP foi em 471°C situadas entre os limites considerados de 206° e 821°C, limites estes que situam-se entre os limites considerados da segunda e da terceira temperatura de perda de massa da argila e das massas cerâmicas contendo PFP que estão registradas entre as temperaturas limites consideradas de 234 a 660°C. e o PFS registra apenas uma temperatura de perda de massa em temperatura de 62°C, uma perda de massa correspondente a perda de água de umidade.

As massas cerâmicas compostas de 10%,30% e 50% PFS registraram três temperaturas de perda de massa termogravimétricas e nas primeiras temperaturas de perdas situadas entre 36°C da argila e 234°C nas massas cerâmicas foram limites menores de 216°C na massas composta de 50%PFS, 227°C na composta de 30%PFS e maior de limite superior da primeira perda em massa 10%PFS igual ao da argila se caracterizam por apresentarem perdas maiores de massa. Na segunda temperatura de perdas de massa foram registradas em 234°C e 389°C da argila e da massa 10%PFS e temperatura menores entre 216°C e 390°C nas massas de 30% e 50%PFS as perdas foram menores de massa. Na terceira perda de massa registrada na argila e nas massas compostas de PFS entre os limites de temperatura inferiores e superiores de 383°C e 674°C registraram perdas de massa mais significantes do que as perdas de massa registradas na segunda temperatura de perda de massa. A 529°C na argila com perda de 4.06%, a 532°C a massa com 10%PFS perdeu 3.59%, a massa com 30%PFS perdeu 3.02% em temperatura de 528°C e a perda de 2.22% foi registrado na massa composta de 50%PFS na temperatura de 519°C. O PFS tem sua perda única de massa correspondente a água de umidade a 62°C, uma temperatura entre os limites considerados de 26°C a 181°C limites de temperaturas compatíveis com os limites considerados da argila entre 36°C e 234°C.

As análises termo diferenciais das massas caracterizou a argila com um pico endotérmico de média intensidade (-139.3Cal) com menos um grau de temperatura (128°C) as massas compostas de argila/10%PFP, argila/10% PFS e de argila/30% PFS apresentaram picos endotérmicos de média intensidades (-91.7, -88.9 e -77.3 Cal) e com o rebaixamento de temperatura a 127°C as massas compostas de argila/50%PFS, argila/50%PFP e argila/30%PFP registraram picos endotérmicos de média intensidade (-54.8, -60.9 e -77.3 Cal). Observa-se que os picos são menores (Cal) conforme a massa é composta de mais percentual de pó, seja, PFP ou PFS.

O PFP registrou em temperatura menor de 124°C um pico endotérmico de pequena intensidade e que a baixa temperatura em que foi registrado o pico do PFP quando combinado a argila que registra seu pico endotérmico em temperatura de 128°C tem este pico registrado em temperatura mais baixa devido a influência do PFP.

Tabela 4.6 - Análise termogravimétrica e termo diferencial da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP.

Amostras/ massas cerâmicas	Análises Térmicas				
	Termogravimétrica				Termo diferencial
	Perda total (%)	Temp* de perda (°C)	Limites de temperaturas (°C)	Perdas (%)	Temp* /Cal
Argila	10.09	103	36 - 234	4.73	129°C (-139.3Cal) AEMI*
		313	234 - 389	1.01	
		529	389 - 672	4.06	
PFP*	5.21	78	28 - 206	2.08	124°C AEPI*
		471	206 - 821	3.21	569°C AEPI*
Argila/10%PFP	10.22	102	36 - 236	5.24	128°C AEMI* (-91.7Cal)
		317	236 - 391	1.06	
		527	391 - 667	3.62	
Argila/30%PFP	8.99	98	35 - 228	4.46	127°C AEMI* (-77.3 Cal)
		316	228 - 389	1.03	
		523	389 - 665	3.31	
Argila/50%PFP	7.96	92	31 - 225	3.78	127°C AEMI* (-60.9 Cal)
		318	225 - 377	0.96	
		516	377 - 660	2.92	
PFS*	0.77	62	26 - 181	0.77	568°C AEPI*
Argila/10%PFS	10.17	100	36 - 234	5.34	128°C AEMI* (-88.9 Cal)
		315	234 - 394	0.94	
		532	394 - 674	3.59	
Argila/30%PFS	8.38	93	33 - 227	4.37	128°C AEMI* (-77.3Cal)
		308	227 - 390	0.73	
		390	390 - 667	3.02	
Argila/50%PFS	6.53	87	30 - 216	3.19	128°C AEMI* (-54.8Cal)
		301	216 - 383	0.68	
		519	383 - 645	2.22	

PFP* Pó fino do polimento; PFS* Pó fino de serragem; Temp* Temperatura; AEPI* Acidente Endotérmico de Pequena Intensidade; AEMI* Acidente Endotérmico de Média Intensidade.

4.6.3. Retração Linear de Secagem e após Queima (R. L.)

A retração linear de secagem e após queima foi realizada para avaliação da diminuição dos comprimentos das peças. A medida padrão Caracteriza-se por apresentar uma menor retração as massas cerâmicas de percentuais altos de resíduos PFP e PFS, conforme a figura 4.20 de retração Linear.

As massas cerâmicas compostas de argila/PFS registraram retrações lineares inferiores as retrações lineares registradas nas composições da argila/PFP e se caracterizam pela tendência de resistirem a retração de queima de acordo com o aumento de resíduo (PFS, PFP) em sua composição. A retração linear requerida como uma das característica cerâmica dos corpos-de-prova (6,0 x 2,0 x 0,5 cm) queimados em temperatura de 950°C é de 4,3%, conforme análise de Sousa Santos e tecnologia das argilas (p.396). A retração linear da argila foi de 5,5% representando uma retração menor do que a retração que as massas cerâmicas na ordem de percentuais menores para os percentuais de PFS ou PFP.

A retração linear de secagem caracteriza-se por apresentar uma menor retração as massas cerâmicas de percentuais altos de resíduos PFP e PFS em estado verde (seco). As massas compostas de 10%PFS, 30%PFS, 40%PFS, 10%PFP e 40%PFP registraram 0,33% de retração linear iguais a retração linear da argila. Quando submete a argila a queima de 700°C a argila registra uma retração de queima que não só evolui com o aumento de temperatura de queima a 1.000°C. A argila e as massas cerâmicas em geral registraram um aumento significativo de retração linear do estado verde para o estado de queima a 700°C, trata-se de um intervalo onde ocorre a estruturação mineral do corpo cerâmico através da temperatura, mas a retração linear em temperaturas de 700°C e de 850°C nas massas argila/PFS e argila/PFP caracterizam por serem registradas na ordem decrescente conforme a diminuição dos percentuais de Pó (PFS ou PFP) combinado ao maior percentual de argila na composição das massas cerâmicas.

Em temperatura de cerâmica vermelha 800°C e 900°C a argila não registrou diferença de retração linear o mesmo ocorreu com as massas compostas de 30%PFP, 40%PFP, 50%PFP, 30%PFS. As retrações mais significativas foram observas pela retração linear de 1.66% nas composições de 10%PFP, 40%PFS, 50%PFS. O aumento de temperatura a 950°C não alteram a retração linear das massas compostas de 20%PFS e 30%PFS. A temperatura de 950°C caracteriza as

Silva, Farah Diba da.

massas de composição 20%PFP, 30%PFP, 40%PFP, 50%PFP, 50%PFS como sendo o registro máximo de resistência a retração das massas quando comparadas a retração linear das respectivas composições dentre todas as temperaturas de queima realizadas acima de 800°C.

O aumento de temperatura a 1.000°C aumenta a retração linear da argila e das massas argila/PFP que retraem bruscamente de forma crescente conforme o aumento de PFP na massa cerâmica e das massas argila/PFS que retraem gradativamente considerando a diminuição de temperatura de 950°C para 1.000°C, conforme a figura 4.20.

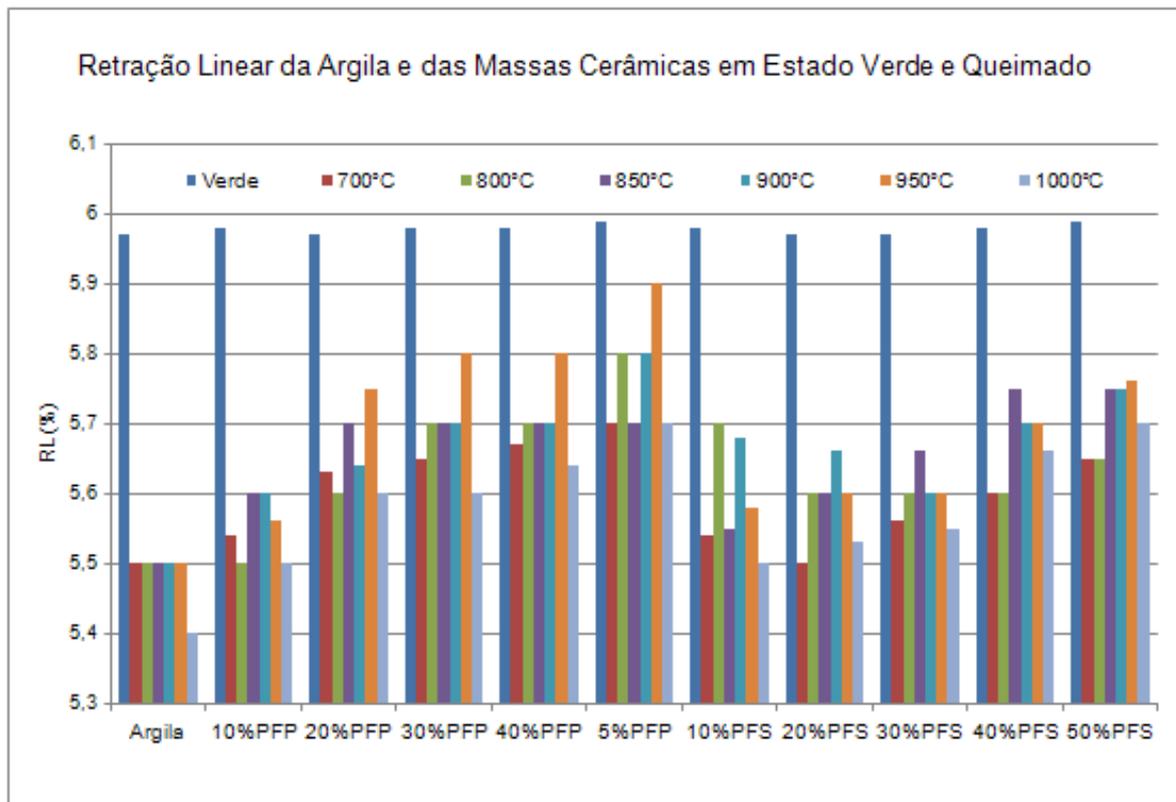


Figura 4.20 - Representação gráfica da retração linear da argila e das massas cerâmicas após a secagem e a queima nas diversas temperaturas de queima.

Perdas de corpos-de-prova na secagem

Foi avaliada a perda de corpos de prova por fissuramento ou quebra, após a secagem, em temperatura ambiente, após um período de 24 horas. A partir da figura 4.21, observa-se que os percentuais de perda ocorridos são semelhantes para cada percentual de ambos os tipos de massas e que são menores que 5% para teores de até 40% de pó, sejam PFS ou PFP. Para percentuais de 50% de pó adicionado à argila, os índices de perda ultrapassam 10%, sendo mais importante no

Silva, Farah Diba da.

caso do PFP. Sendo a composição da massa elaborada em peso e, sendo o PFP mais volumoso com relação ao volume da argila, há mais superfície de partículas do PFP a recobrir do que no caso do PFS que é mais denso e, portanto, seu volume na massa é menor. Por conseguinte, considerando o PFP, há menos partículas de argila para envolvimento do PFP, o que se traduz em menor consistência da massa assim constituída, ocasionando mais fissuras e quebras dos corpos de prova elaborados com esta massa.

Na relação volume/peso o pó fino de polimento tem a superfície específica aumentada devido ao menor diâmetro das partículas e pelo fato das partículas da argila não conseguirem envolver todos os grãos deste pó. O não envolvimento de partículas não plásticas por partículas plásticas em uma massa cerâmica resulta em perdas de peças cerâmicas durante as etapas de secagem e queima dos artefatos cerâmicos.

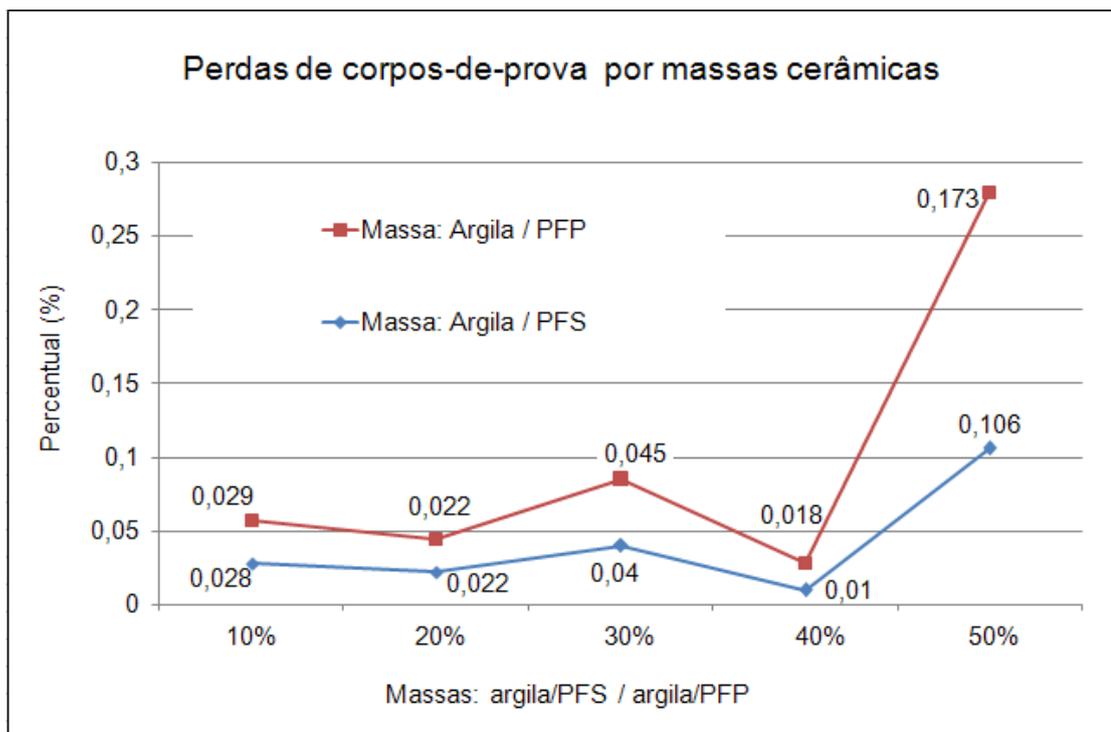


Figura 4.21 - Índices de perda de corpos-de-prova por fissuramentos das massas argila/PFS e das massas argila/PFP.

4.6.4. Determinação da cor de Secagem e de Queima

As cores das massas cerâmicas formuladas, a partir do PFS e do PFP, mostram uma variação de cores em função da composição da massa cerâmica. A variação de cores é verificada nos corpos-de-prova da argila verde (aquela que é

Silva, Farah Diba da.

seca à temperatura ambiente), naqueles das massas cerâmicas formuladas, secos também à temperatura ambiente, e nos corpos de prova queimados às temperaturas de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C. O catálogo de cores de Munsell foi usado na determinação de cores a verde e nas várias temperaturas de queimas da argila e das massas cerâmicas, conforme se observa na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Determinação da cor de queima de acordo com Munsell.

MASSAS	COR DE QUEIMA						
	Verde	700°C	800°C	850°C	900°C	950°C	1.000°C
Argila pura	5 Y 4/1	5 YR 4/4	5 YR 4/4	5 YR 5/6	10 R 4/6	10 R 4/6	10 R 6/6
10% PFS	5 Y 6/1	5 YR 5/6	5 YR 4/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
20%PFS	10 YR 4/2	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
30%PFS	10 YR 6/2	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
40%PFS	5 Y 6/1	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6
50%PFS	5 YR 8/1	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 6/4	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6
10%PFP	10 YR 4/2	5 YR 4/4	5 YR 4/4	5 YR 5/6	10 R 4/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
20%PFP	10 YR 4/2	10 YR 5/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
30%PFP	10 YR 4/2	10 YR 5/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 4/6
40%PFP	5 Y 6/1	10 YR 5/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 5/4
50%PFP	10 YR 4/2	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 6/4	5 YR 5/6	5 YR 5/6	10 R 5/4

Legenda: Pale Yellowish Brown 10YR 6/2; Dark Yellowish Brown 10YR 4/2; Moderate Yellowish Brown 10YR 5/4; Moderate Reddish Orange 10R 6/6; Moderate Reddish Brown 10R 4/6; Pale Reddish Brown 10R 5/4; Light Brown 5YR 6/4; Light Brown 5YR 5/6; Yellowish Gray 5YR 8/1; Moderate Brown 5YR 4/4; Light Olive Gray 5Y 6/1; Olive Gray 5Y 4/1.

Visualmente, a cor da argila pura é cinza escura, mas conforme a classificação do catálogo internacional The Rock-color Chart Committee, a cor da argila é Olive Gray.

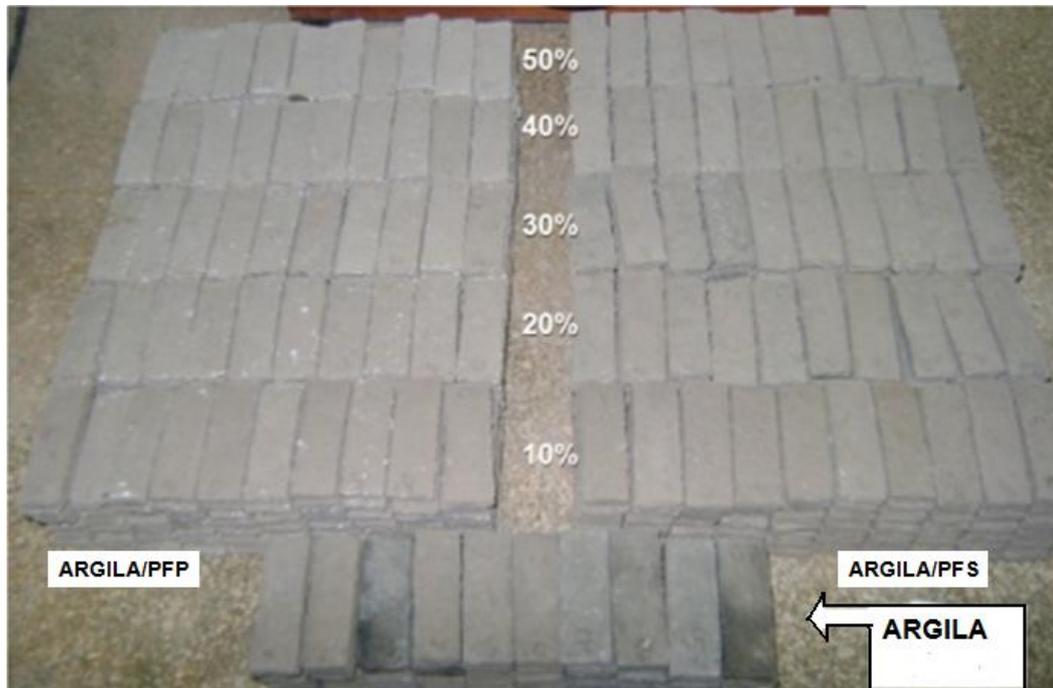


Figura. 4.22 - Variação de cores da argila de cor cinza escuro para a cor cinza claro das massas cerâmicas compostas de argila/PFS e argila/PFP.

Conforme o aumento do percentual de PFS ou de PFP combinado à argila na composição das massas cerâmicas, as cores dos corpos-de-prova vão se mostrando menos intensas: da cor cinza escuro da argila crua para tons de cinza cada vez mais claros conforme o aumento do teor dos pós às massas cerâmicas, também cruas (figura 4.22).

A cor vermelha que caracteriza a cor de queima da argila pura é intensificada com o aumento de temperatura de queima. Em todos os patamares de temperaturas, observa-se que, quando do incremento dos percentuais dos pós, PFS ou PFP, há diminuição dos tons de vermelho original, característico da queima da argila, para vermelhos mais claros. As massas cerâmicas argila/pó de serragem apresentam gradientes de vermelho claro, mais intenso que aqueles gradientes das massas argila/polimento. Menores teores de ferro no resíduo fino do polimento que aqueles registrados no resíduo fino de serragem explicam este comportamento (figura 4.23).



Figura 4.23 - (A) Argila e massas cerâmicas verdes; (B) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 700°C; (C) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 800°C; (D) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 850°C; (E) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 900°C; (F) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 950°C; (G) Argila pura e massas cerâmicas queimadas a 1.000°C.

3.6.5. Perda ao Fogo (P. F.)

A perda ao fogo representa o teor de material volátil contido na argila pura e nas massas cerâmicas que é liberado da massa na qual está contida através do processo de queima. A queima é uma das etapas pelo qual passa a massa cerâmica já moldada para o ganho de resistência mecânica.

A determinação da perda ao fogo foi feita nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C. Para avaliar a tendência de comportamento apresentada foi feita a queima no patamar de 1000°C.

Atribui-se aos elevados teores de matéria orgânica a propriedade plástica da argila de uso cerâmico, considerando avaliar o índice de perda ao fogo que podem ser registradas em análise de queima da argila e das massas cerâmicas em temperatura de 700°C, temperatura próxima à de queima da cerâmica.

Na tabela 4.8 registram-se os valores da perda ao fogo das massas cerâmicas constituídas seja unicamente de argila, ou sejam compostas de PFS e de PFP. Estes dados estão representados na figura 4.21, onde se observa que para a massa cerâmica de argila, à medida que a temperatura aumenta, até alcançar 900°C, aumenta também a perda ao fogo. No patamar de 1000°C, essa perda sofre diminuição.

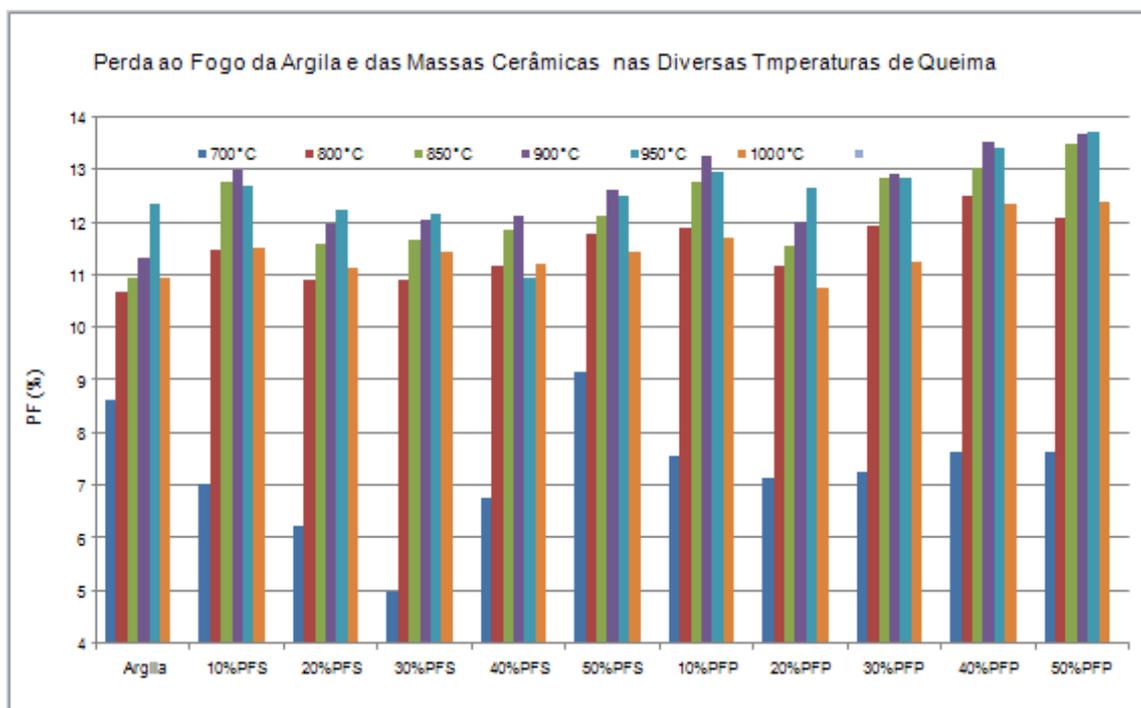


Figura 4.24 - Ilustração gráfica da perda ao fogo da argila e das massas cerâmicas formuladas nas diversas temperaturas de queima

Tabela 4.8 - Perda ao fogo da argila e das massas cerâmicas nas diversas temperaturas de queima.

Perda ao Fogo da Argila e das Massas Cerâmicas PFS e PFP (%)						
Materiais	Temperaturas de Queima (°C)					
	700°C	800°C	850°C	900°C	950/C	1.000°C
Argila	8,62	10,7	10,94	11,35	12,35	10,97
DP	0,12	0,49	0,44	0,29	0,3	0,39
10%PFS	7,04	11,5	12,76	13	12,69	11,54
DP	0,16	0,11	0,15	0,21	0,14	0,11
20%PFS	6,23	10,9	11,59	11,97	12,26	11,14
DP	0,09	0,19	0,26	0,16	0,13	0,09
30%PFS	4,99	10,9	11,67	12,07	12,16	11,45
DP	0,62	0,13	0,21	0,21	0,21	0,17
40%PFS	6,79	11,2	11,88	12,14	10,96	11,21
DP	0,13	0,13	0,19	0,15	0,12	0,15
50%PFS	9,17	11,8	12,14	12,61	12,51	11,45
DP	0,1	0,26	0,22	0,19	0,15	0,26
10%PFP	7,57	11,9	12,78	13,26	12,98	11,72
DP	0,11	0,14	0,24	0,29	0,23	0,15
20%PFP	7,16	11,2	11,56	12,01	12,65	10,75
DP	0,13	0,48	0,37	0,31	0,26	0,29
30%PFP	7,28	11,95	12,86	12,94	12,86	11,27
DP	0,08	0,4	0,4	0,35	0,33	0,4
40%PFP	7,65	12,51	13,04	13,55	13,43	12,37
DP	0,11	0,14	0,2	0,18	0,21	0,15
50%PFP	7,65	12,08	13,5	13,7	13,72	12,38
DP	0,11	0,33	0,24	0,27	0,32	0,2

PFS Pó fino de serragem; PFP Pó fino de polimento; DP* Desvio Padrão.

Para as massas compostas de argila e pós, verifica-se que para os percentuais de 10%, o comportamento das massas às várias temperaturas é muito semelhante. Nos percentuais mais elevados de pó, no caso do PFS, os diagramas apresentam distribuição análogas mas com valores inferiores àqueles registrados para o percentual de 10%. No caso do PFP, os índices de perda ao fogo apresentam tendência ao aumento à medida que aumentam os percentuais de pó na massa. De qualquer forma, os gráficos indicam que a perda ao fogo para o patamar de queima de 900°C é maior que para aquele de 850°C. Assim, é mais indicada a queima à 850°C, pois haverá menos perda ao fogo e, conseqüentemente, menor gasto de energia.

4.6.6. Índices Físicos da Argila e das Massas Cerâmicas

4.6.6.1. Porosidade Aparente (PA), Absorção de Água (A. A.) e a Massa Específica Aparente (MEA)

A determinação do ganho de massa do corpo-de-prova pelo preenchimento dos poros pela água denominada taxa de absorção de água foi estudada levando-se em consideração o comportamento de absorção de água da argila pura, uma argila já de emprego comum na indústria de cerâmica vermelha. A absorção de umidade de um material cerâmico deve ser um dos requisitos tecnológicos importantes por fornecer informações intrínsecas do arranjo dos grãos que compõem a massa, e indicações da resistência mecânica da cerâmica devido à alta ou baixa capacidade de absorção de água dos corpos-de-prova que refletirá em porosidade baixa ou elevada.

A absorção de água é uma das propriedades importantes na indicação de produto cerâmico. Isto é devido a algumas restrições quanto à maior ou menor capacidade de absorção de umidade principalmente para aqueles materiais cerâmicos que estarão expostos à umidade como telhas, material cerâmico aplicado na construção civil que tem o objetivo de proteger ambientes da umidade (chuvas). Assim tal material cerâmico deverá apresentar uma baixa capacidade de absorção de umidade. O valor limite estabelecido para absorção de água de 20,2% para material cerâmico queimado em temperatura de 950°C, Souza Santos (1975, p.396).

Desta forma, observando-se a tabela 4.9 e nas figuras 4.23 e 4.24 as massas cerâmicas formuladas com percentuais de PFS e PFP misturados à argila, caracterizam-se em geral por apresentarem absorção de umidade variável entre 17,03 % e 18,71%, menor, portanto, que o valor limite de 20,2%, quando queimados em temperatura de 950°C, como característico de corpo de prova cerâmico após queima. O valor de 20,0% de absorção de água da massa após queima é requerido para a fabricação de telhas, Souza Santos (1975). A telha tipo romana recomenda o valor de 18% de absorção de água, conforme a NBR 13582.

A determinação da massa específica aparente foi verificada através da razão entre a massa seca e a diferença entre a massa saturada e a massa imersa dos corpos-de-prova de argila pura e das massas cerâmicas compostas.

O índice de porosidade aparente dos corpos-de-prova da argila e das massas

Silva, Farah Diba da.

cerâmicas foi determinado em função da massa apresentada pelos corpos-de-prova após cada patamar de queima (700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e de 1.000°C) e da massa seca (queimada) imersa e saturada. A porosidade tem influência na resistência mecânica final do material; daí surge a importância dessa análise.

Os valores obtidos de absorção de água (AA) são compatíveis com os valores de porosidade aparente (PA) da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e as massas compostas de PFP. Os valores altos de AA em baixas temperaturas de 700°C e de 800°C são altos, quando comparadas com as taxas registradas de AA de temperaturas mais altas. Os registros de massa específica aparente (MEA) da argila e das massas cerâmicas são maiores do que os valores de massa específica aparente de temperaturas mais altas. As massas cerâmicas compostas de PFS se caracterizam pelo registro de MEA altos nas composições de 20%PFS, 30%PFS e 40%PFS, são valores que correspondem a altos valores de AA e de alta PA nas respectivas composições de PFS. Enquanto que a composição de argila/50%PFS registra um valor de MEA que supera todas as massas cerâmica compostas de PFS inferiores a 50%PFS e supera o valor de MEA da massa cerâmica argila/50%PFP. A massa composta de 50%PFP é o valor que decresce o valor de MEA dentre as massas de composição argila/PFP de menor composição percentual a 50% de PFP.

Os valores de MEA diminuem com o aumento de temperatura devido a elevada aceleração de transformação química proporcionado com a queima que ocasiona a retirada de composições voláteis existentes na massa cerâmica. A liberação de compostos voláteis pode ocasionar a porosidade do corpo cerâmico e refletir na maior capacidade deste corpo cerâmico de absorver água do meio. Materiais com registros de altas porosidades podem ser indicados para funções que não sejam estruturais, ou seja, que dele se requeira capacidade de resistência mecânica. A queima proporciona o aumento de reações químicas na transformação de compostos químicos que configuram e estabilidade química do material cerâmico.

Registros de AA da argila e das massas cerâmicas se caracterizaram em temperaturas acima de 800°C de queima abaixo de 20%. As massas argila/PFP queimadas em temperatura de 700°C apresentaram-se com capacidade de AA abaixo de 20%, enquanto que as massas contendo argila/PFS queimados em temperatura de 700°C mostraram uma capacidade de AA superior a 20% nas composições de 20%PFS, 30%PFS e 40%PFS.

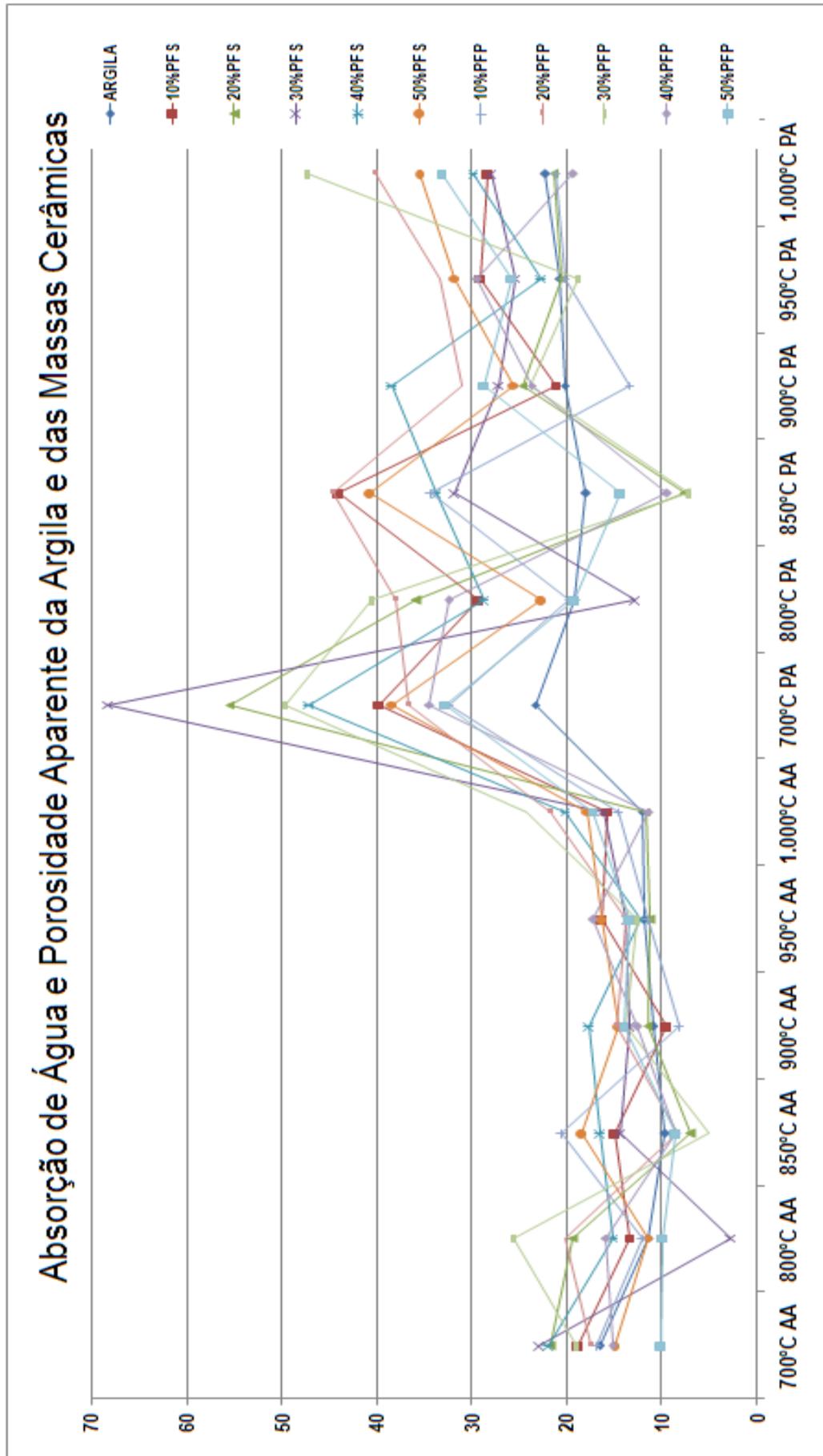
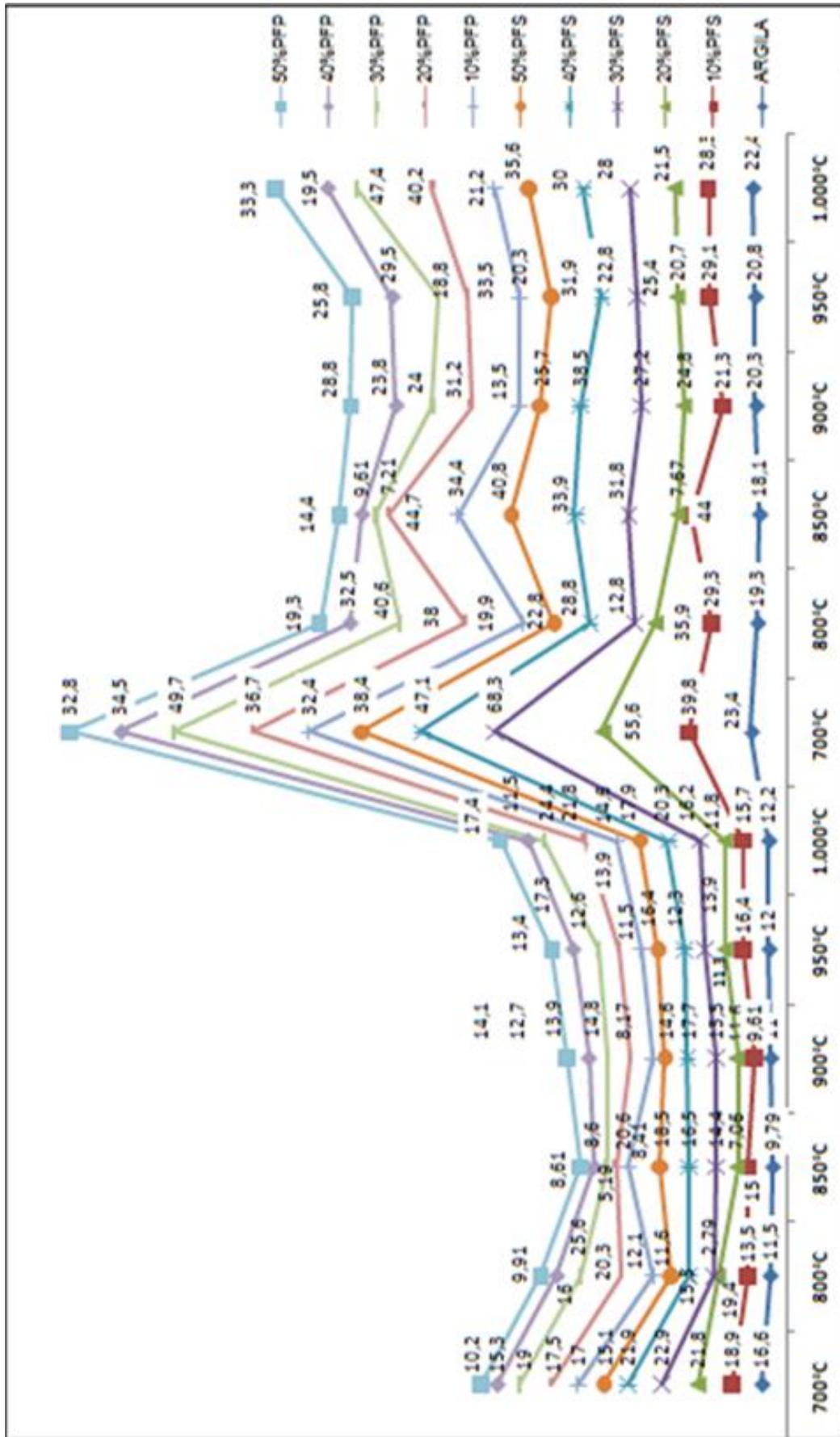


Figura 4.25 - Ilustração gráfica dos índices de absorção de água e porosidade aparente da argila e das massas cerâmicas.



Absorção de água (%) Porosidade específica aparente (%)

Figura 4.26 - Ilustração gráfica dos índices de absorção de água e de porosidade aparente da argila e das massas cerâmicas.

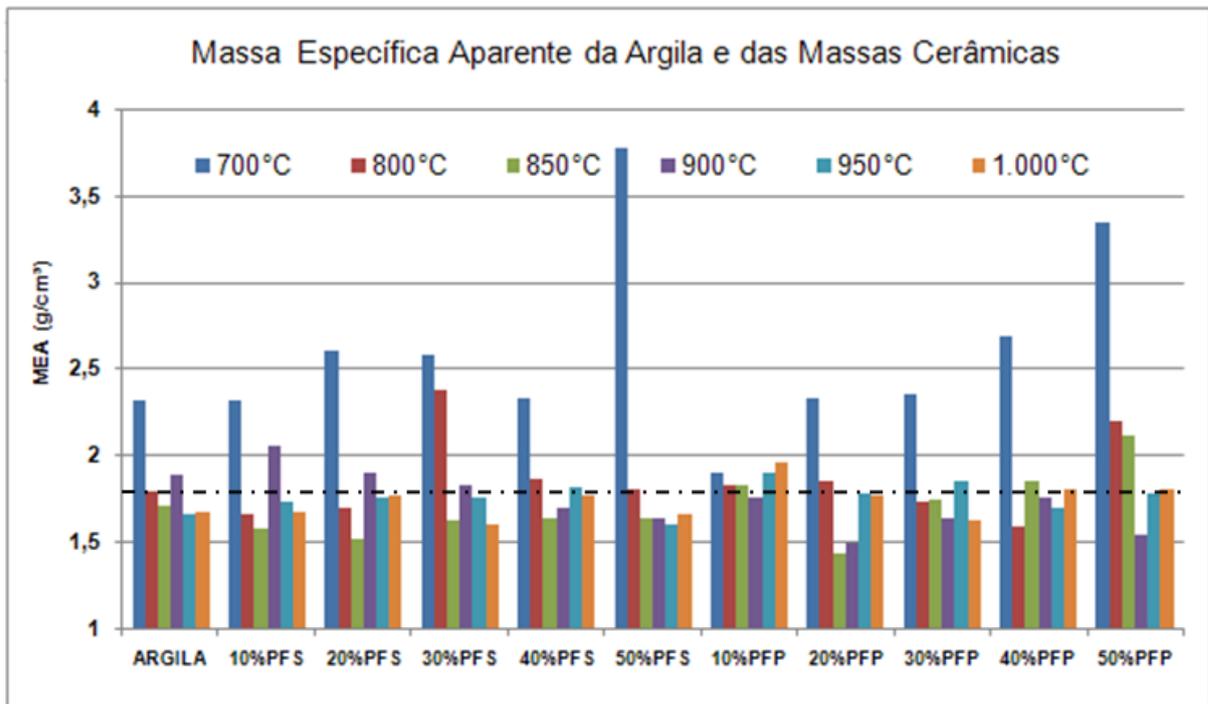


Figura 4.27 - Massa específica aparente da argila e das massas cerâmicas ilustradas ao tracejado de MEA característico a cerâmica de queima em 950°C.

A massa 10%PFP em temperatura de 850°C superou as taxas de AA da referida composição quando submetida em temperaturas inferiores e superiores. Embora, quando se compara a taxa diferenciais das maiores PA encontradas nas massas compostas de 10%PFP de PA 32,4% em temperatura de 700°C e a PA de 34,4% em temperatura de 850°C a diferença é de apenas 1,6%. Entre as temperaturas de 700°C e de 850°C pode-se obter 1,6% de menor PA da peça cerâmica composta de 10%PFP.

A massa composta de 40%PFS em temperatura de 1.000°C registrou 20% de AA, superando em 2,4% a taxa de AA da massa composta de 50%PFS. A PA da massa argila/50%PFS superou em 5,6% a massa argila/40%PFS quando queimados em temperatura de 1.000°C.

A argila quando submetida às várias temperaturas de queima registrou baixos diferenciais entre as taxas de AA e PA de 6,8%, 7,8%, 8,31%, 9,3%, 9,3%, 8,8% e de 10,2% conforme o aumento de temperatura. Vale ressaltar que as taxas de AA e PA da argila registram um aumento diferencial de 1% entre 700°C e 800°C; 0,51% entre 800°C e 850°C; 0,99% entre 850°C e 900°C; 0,5% entre as queimas de temperaturas entre 900°C e 950°C; e de 1,40% entre as queimadas de 950°C e 1.000°C. com uma PA entre os limites de 10,08% e 10,79% g/cm³ distribuído entre as temperaturas de 700°C e 900°C e de 12,53% g/cm³ em material

Silva, Farah Diba da.

cerâmico queimado a 950°C e de 13,41% g/cm³ em queima de 1.000°C.

As massas cerâmicas compostas de argila/10%PFS se caracterizam por apresentar valores diferenciais entre AA e PA e um MEA de 20,9% em queima de 700°C e este valor diferencial diminui com o aumento de temperatura registrando 15,8% a 800°C, 11,69% em 900°C, 12,7% em 950°C e 12,6% em 1.000°C. O maior valor diferencial entre AA e PA da massa composta de 10%PFS, o valor diferencial entre AA e PA verificado é justificado por registrar um valor de 39,8% de PA e 18,9% de capacidade de AA em uma MEA de 2,32g/cm³.

As massas cerâmicas de composição 20%PFS, 30%PFS, 10%PFP, 40%PFP, e de 50%PFP registraram valores diferenciais entre AA e PA em ordem decrescente conforme o aumento de temperatura. O comportamento de decréscimo de valores de AA e PA são verificados na argila. Na temperatura de 850°C a massa cerâmica composta de 20%PFS registrou o menor valor diferencial entre AA e PA em uma MEA registrada de 1,52g/cm³. A composição de 30%PFP registra em ordem decrescente os valores diferenciais entre AA e PA conforme o aumento temperatura até 950°C, o decréscimo é um comportamento verificado na argila. Valores diferenciais entre AA e PA não decrescente da massa cerâmica de composição 30%PFP foram verificados em temperatura de 1.000°C com o registro 23% entre AA e PA, este valor conferi devido ao valor de 47,4% de PA, o MEA desta composição foi de 1,62g/cm³.

A composição de 30%PFS em temperatura de 700°C registrou um valor diferencial de 45,4% entre AA e PA, destacando-se em 68,3% de PA e uma AA de 22,9% em uma MEA de 2,58g/cm³. O menor valor diferencial entre PA e AA na composição de 30%PFP foi registrado em 2,02% na temperatura de 850°C, dispondo de um MEA de 1,74g/cm³ e PA de 7,21% e de AA em 5,19%.

A massa composta de 20%PFP caracterizou-se com o MEA de 2,33g/cm³ em temperatura de 700°C, com um valor de AA em 17,1,5% e PA distribuído em 36,7%. Os valores de MEA da massa composta de 20%PFP de temperaturas acima de 700°C de MEA estão registrados entre os valores limites de 1,43 g/cm³ e 1,96g/cm³. O valor diferencial entre AA e PA na temperatura de 850°C foi de 36,29em da composição 20%PFP correspondendo a um PA de 44,7%.

OS valores diferenciais de AA e PA registrados na massa composta de 40% PFS mostraram-se elevados nas temperaturas de queima, apenas as temperaturas mais elevadas de 950°C e de 1.000°C configurou valores decrescentes conforme o

Silva, Farah Diba da.

aumento de temperatura. Os valores de MEA acima da temperatura de 700°C foram registrados entre os limites de 1,64g/cm³ a 1,87g/cm³. A menor temperatura de queima em 700°C registrou um MEA de 2,33g/cm³ e valor de PA de 47,1% um registro maior do que AA, registrado em 21,9%, caracterizando a massa composta de 40%PFS queimada em temperatura de 700°C como sendo uma massa de baixa absorção de água.

Tabela 4.9 - Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP

Matéria-Prima e Massas Cerâmicas Compostas de PFS /PFP (%)											
T (°C) Queima	Análise de Absorção de Água - AA (%)										
	Argila	10% PFS	20% PFS	30% PFS	40% PFS	50% PFS	10% PFP	20% PFP	30% PFP	40% PFP	50% PFP
700°C	16,56	18,92	21,82	22,95	21,88	15,11	17,03	17,49	19,04	15,28	10,21
DP	1,70	1,04	0,60	1,24	1,99	0,22	0,60	1,15	0,71	1,04	0,93
800°C	11,52	13,49	19,36	2,789	15,32	11,62	12,08	20,28	25,61	15,96	9,913
DP	0,32	1,11	1,39	0,61	0,84	1,17	1,08	2,37	0,88	1,06	1,54
850°C	9,794	14,99	7,05	14,42	16,51	18,53	20,62	8,413	5,19	8,602	8,606
DP	0,53	2,77	1,93	1,28	0,92	1,64	0,6	1,89	1,35	0,19	1,27
900°C	11,01	9,613	11,56	13,48	17,7	14,62	8,17	14,85	13,92	12,69	14,09
DP	0,37	0,88	0,96	1,03	1,57	1,30	2,23	0,69	0,52	0,91	0,48
950°C	11,98	16,35	11,33	13,87	12,28	16,37	11,49	13,93	12,63	17,25	13,4
DP	0,259	0,95	0,89	0,72	0,63	1,33	1,51	1,53	0,70	0,62	0,43
1.000°C	12,16	15,69	11,78	16,17	20,27	17,85	14,64	21,8	24,42	11,52	17,41
DP	0,10	0,83	0,82	0,50	1,48	1,34	1,73	0,53	0,55	0,36	0,96

PFS Pó fino da serragem; PFP Pó fino de polimento; DP* Desvio Padrão.

Tabela 4.10 - Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP

Matéria-Prima e Massas Cerâmicas Compostas de PFS /PFP (%)											
T (°C) Queima	Análise de Porosidade Aparente da Argila e das Massas Cerâmicas – PA (%)										
	Argila	10% PFS	20% PFS	30% PFS	40% PFS	50% PFS	10% PFP	20% PFP	30% PFP	40% PFP	50% PFP
700°C	23,39	39,83	55,56	68,34	47,12	38,37	32,41	36,74	49,68	34,49	32,82
DP	19,31	29,26	35,95	11,38	28,85	22,77	19,95	37,95	40,59	32,48	19,33
800°C	19,31	29,26	35,95	11,38	28,85	22,77	19,95	37,95	40,59	32,48	19,33
DP	0,85	2,48	2,21	1,16	1,00	2,87	1,47	3,92	1,13	1,12	1,56
850°C	18,08	44	7,67	31,8	33,94	40,8	34,43	44,7	7,207	9,614	14,4
DP	0,73	1,98	1,73	2,17	2,65	1,78	1,29	0,92	1,27	1,35	1,56
900°C	20,26	21,25	24,8	27,23	38,52	25,69	13,51	31,15	24,05	23,81	28,76
DP	0,56	1,31	0,85	1,73	1,72	1,83	2,74	2,84	1,19	1,82	1,22
950°C	20,76	29,13	20,7	25,35	22,85	31,88	20,29	33,47	18,8	29,52	25,78
DP	0,58	0,55	1,10	0,59	1,73	1,96	1,79	1,78	0,80	1,20	1,34
1.000°C	22,36	28,34	21,51	27,98	30,03	35,63	21,22	40,22	47,39	19,49	33,29
DP	0,76	1,29	0,96	0,97	2,76	0,85	0,62	0,88	1,31	0,98	0,81

PFS* Pó Fino da Serragem; PFP* Pó Fino do Polimento; DP* Desvio Padrão.

Tabela 4.11 - Índices físicos da argila e das massas cerâmicas compostas de PFS e PFP

Matéria-Prima e Massas Cerâmicas Compostas de PFS /PFP (%)											
T (°C) Queima	Análise de Massa Específica Aparente – MEA (%)										
	Argila	10% PFS	20% PFS	30% PFS	40% PFS	50% PFS	10% PFP	20% PFP	30% PFP	40% PFP	50% PFP
700°C	2,31	2,32	2,61	2,58	2,32	3,77	1,9	2,32	2,35	2,69	3,34
DP	0,14	0,06	0,10	0,10	0,09	0,12	0,02	0,07	0,05	0,08	0,07
800°C	1,79	1,66	1,70	2,37	1,87	1,80	1,82	1,84	1,73	1,58	2,20
DP	0,09	0,03	0,05	0,07	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,03	0,04
850°C	1,71	1,57	1,51	1,62	1,63	1,63	1,83	1,43	1,74	1,84	2,11
DP	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,07
900°C	1,88	2,06	1,89	1,83	1,69	1,63	1,76	1,49	1,64	1,75	1,53
DP	0,07	0,05	0,02	0,06	0,03	0,04	0,08	0,08	0,05	0,05	0,07
950°C	1,66	1,73	1,75	1,76	1,82	1,60	1,89	1,78	1,85	1,69	1,78
DP	0,19	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,07	0,09	0,09	0,04	0,05
1.000°C	1,67	1,67	1,77	1,6	1,77	1,66	1,96	1,76	1,62	1,80	1,80
DP	0,04	0,03	0,06	0,02	0,05	0,02	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04

PFS* Pó Fino da Serragem; PFP* Pó Fino do Polimento; DP* Desvio Padrão.

4.6.7. Módulo de Ruptura a Flexão (M. R. F)

Esta verificação consiste em se determinar às tensões de ruptura à flexão de corpos prova após a secagem a 110°C, os valores limites de: mínimo de 15,0 kgf/cm² para tijolos de alvenaria; 25,0 kgf/cm² para tijolos furados e 30,0 kgf/cm² para telhas. Estes valores são utilizados para avaliar a adequação para a confecção destas peças segundo Santos (1975). Porque o módulo de ruptura à flexão a seco é importante principalmente para as telhas, uma vez que, todas as argilas envolvidas neste processo produtivo devem ter seu módulo de ruptura à flexão elevada quando secas. As caulinitas devem ter os limites valores de tensão de ruptura entre 0.7 – 50 kgf/cm² após secos a 110°C, Santos (op.cit.). A resistência indica a estrutura interna e o grau de coesão entre as partículas dentro do corpo cerâmico. A argila e as massas cerâmicas compostas de PFS e as massas cerâmicas compostas de PFP registraram resistência a ruptura superiores ao valor mínimo de 0.7 kgf/cm² para cruas (verdes), tabela 4.12.

A resistência à ruptura à flexão suscita preocupações a serem observadas referentes à resistência intrínseca do material quando submetido a algum esforço do material, denominada módulo de carga à flexão. As resistências de ruptura a flexão foram medidas nos corpos-de-prova a verde (secos) seco em temperatura de 110°C, e nos corpos-de-prova queimados nas temperaturas de 700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1.000°C nos materiais argila e das diversas composições de massas cerâmicas e o número de corpos-de-prova adotados foram 10 objetivando a eliminação de erros devido à insuficiência de corpos-de-prova.

As temperaturas de queima de cerâmica vermelha são as temperaturas de 800°C e de 900°C. Quando conforma-se materiais cerâmicos através da prensagem não é indicado 'conforme Souza Santos (1975), a queima em temperatura de 950°C, sendo considerado portanto, inadequado para a fabricação de tijolos de alvenaria, telhas, ladrilhos de piso, e tijolos furados, por este último ser considerado de processo inadequado de argilas aplicada a fabricação de as argilas brasileiras a queima de material cerâmico prensado acima de 900°C. As temperaturas superiores foram efetivadas com o objetivo de observar se há ou não o ganho de resistência nas temperaturas de 950°C e de 1.000°C e as queimas da argila e das massas cerâmicas em temperatura de 700°C foram realizadas com o objetivo de verificar a eficiência ou não do emprego desta baixa temperatura quando comparadas com as

Silva, Farah Diba da.

resistências obtidas em temperatura de 800°C e de 900°C.

Tal avaliação entre as resistências registradas entre as temperaturas de 700°C e 800°C é o que possibilitara a economia em energia de queima pela indústria cerâmica. A resistência a verde da argila e das massas cerâmicas foram registradas com valores significantes baixos, quando comparados aos valores obtidos em temperatura de 700°C. A resistência a flexão aumenta significativamente para a argila e para as diversas massas cerâmica compostas de PFS e PFP entre as queimas de 700°C e 800°C. Apenas a massa cerâmica composta de 50% PFP não registra significativo ganho de resistência a flexão em as temperaturas de 700°C e 800°C.

De acordo o valor requerido de 28kgf/cm² requerido para cerâmica dos corpos-de-prova após queima de 950°C Souza Santos (1975), a argila e as massas cerâmicas compostas de PFS e de PFP registraram valores superiores.

A massa composta de 50% de PFP registrou um valor inferior a 15kgf/cm², valor mínimo requerido Souza Santos (1975) para massa seca a 110°C empregado na fabricação de tijolos de alvenaria. A argila e todas as massas cerâmicas compostas de PFS e de PFP superaram o valor mínimo (20kgf/cm²) de tensão de ruptura requerido para massa cerâmica empregada na produção de tijolos de alvenaria pós a queima.

Para a fabricação tijolos furados após a queima conforme Souza Santos (1975) é requerido o valor mínimo de 55kgf/cm² para a tensão a ruptura. O valor mínimo requerido de 55kgf/cm² não foi superado pelas massas cerâmicas compostas de argila/40%PFP e argila/50%PFP. E considerando o valor mínimo de tensão de ruptura (65kgf/cm²) da massa após a queima a ser empregada na fabricação de telhas foi superada com valores registrados a 1.000°C pela argila, massa argila/10PFS, argila/40PFS, argila/20PFP, outras temperaturas de queima registraram valor superiores como a 850°C as massas argila/30%PFP e argila/20%PFS; em queima de 950°C e 950°C as massas compostas de argila/10%PFP, e de argila/20PFS.

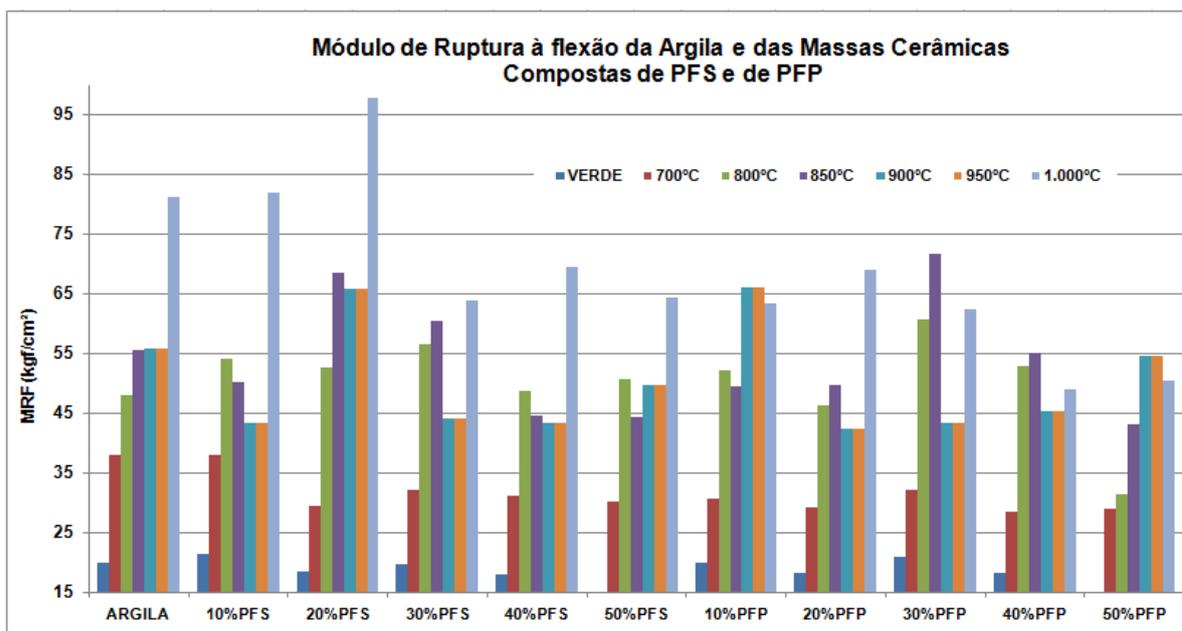


Figura 4.28 – Tensão ou Módulo de ruptura à flexão em três pontos da argila e das massas cerâmicas argila/PFS e argila/PFP em estado verde e queimados.

A queima em temperatura de 1.000°C resulta em ganho expressivo de resistência da argila e este ganho de resistência é observado nas massas cerâmicas compostas de argila/PFS e nas massas argila/PFP. A decrescente perda de ganho de resistência em temperatura de 1.000°C nas massas compostas de argila/PFP compostas de percentuais maiores de PFP deve-se a presença do carbetto de silício utilizado do rebolo de polimento. O carbetto de silício tende a expandir quando submetido a altas temperaturas originando porosidade no corpo cerâmico. Conforme o aumento percentual de PFP nas massas cerâmicas a resistência mecânica diminui conforme a figura 4.28.

Em queima de 700°C a argila e as massas cerâmicas compostas de PFS e PFP ganham resistência maior do que a resistência de ruptura de massa seca a 110°C. A resistência em temperatura de 800°C supera a resistência de queima em temperatura de 700°C. A resistência em temperatura de 850°C da argila mostra-se em resistência semelhante a resistência de temperaturas de 900°C e de temperatura maior a 950C. a resistência apresentada pela composição de 10%PFS, 20%PFS, 30%PFS, 40%PFS e 20%PFP, 30%PFP e 40%PFP. Registra-se como desperdício de energia a queima realizada com o emprego de temperatura a 900°C e 950°C para as todas as composições de massas compostas de PFS e PFP. Em temperatura de

Silva, Farah Diba da.

850°C o aumento percentual de PFP a 30%PFP, 40%PFP, e 50%PFP tem a resistência decrescente em queima de 850°C e mantêm resistência constante nas composições de 10%PFP e 20%PFP.

Tabela 4.12 - Módulo de ruptura a flexão da argila e das massas cerâmicas vermelhas.

Temperatura (°C)	Módulo de Ruptura a Flexão Argila e das Massas Cerâmicas Compostas de PFS e de PFP (kgf/cm ²)										
	Argila	10% PFS	20% PFS	30% PFS	40% PFS	50% PFS	10% PFP	20% PFP	30% PFP	40%P FP	50%P FP
VERDE (110°C)	19,79	21,37	18,51	19,61	18,03	15,09	19,89	18,22	20,89	18,28	14,08
DP	0,10	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11	0,07	0,06	0,10	0,07	0,06
700°C	37,97	38,08	29,33	32,14	31,2	30,06	30,64	29,22	32,04	28,56	29,05
DP	0,18	0,19	0,13	0,19	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	0,17	0,17
800°C	48,04	54,04	52,76	56,54	48,71	50,62	52,13	46,20	60,81	52,83	31,32
DP	0,27	0,27	0,17	0,27	0,29	0,26	0,28	0,29	0,26	0,28	0,17
850°C	55,46	50,26	68,41	60,46	44,57	44,22	49,58	49,66	71,78	54,99	43,19
DP	0,12	0,09	0,30	0,26	0,20	0,15	0,22	0,18	0,29	0,29	0,20
900°C	55,88	43,40	65,77	44,10	43,31	49,59	66,12	42,33	43,27	45,24	54,52
DP	0,25	0,20	0,25	0,18	0,19	0,19	0,24	0,23	0,20	0,194	0,22
950°C	55,88	43,40	65,77	44,10	43,31	49,59	66,12	42,33	43,27	45,24	54,52
DP	0,38	0,32	0,36	0,25	0,304	0,29	0,22	0,38	0,27	0,21	0,153
1.000°C	81,27	82,02	97,88	63,84	69,46	64,48	63,35	68,93	62,43	49,06	50,38
DP	0,38	0,32	0,36	0,25	0,30	0,29	0,22	0,382	0,27	0,21	0,15

PFS* Pó Fino da Serragem; PFP* Pó Fino do Polimento; DP* Desvio Padrão.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

A viabilidade dos resíduos PFS e PFP trará benefícios à comunidade onde a empresa de beneficiamento de rochas ornamentais está instalada, pelo não acúmulo de rejeito industrial no pátio da empresa. A deposição dos resíduos na natureza pode alcançar cursos de água devido aos fatores e eventos externos naturais com as chuvas e as enchentes, que podem carregar este passivo para longas distâncias. Mesmo se tratando de minerais de difícil lixiviação natural seu acúmulo na natureza dificulta o desenvolvimento vegetal em seu entorno.

A finura dos pós PFS e PFP os transformará em matéria-prima com sinônimo de economia de cominuição. O PFS é rico em partículas metálicas ativas, uma característica aceitável para a matéria-prima de aplicação na indústria cerâmica vermelha. Para a fabricação de material cerâmico de cor vermelha menos intensa pode ser empregado o tratamento mineral de separação magnética, uma técnica aplicada com sucesso no PFS, quando adotado uma prévia atrição de partículas antes do peneiramento a úmido.

Emprego de compostos químicos como dispersantes de partículas é desnecessário. NaOH utilizado como dispersante de partículas durante atrição de partículas em condição de polpa eleva o pH e não é mais eficiente na desagregação de partículas metálicas e partículas não metálicas dos rejeitos industriais sólidos PFS e PFP.

Adições percentuais de PFS e de PFP compondo as respectivas massas cerâmicas contribuem para a lineação da tendência dos resultados obtidos de LL, LP e IP. O aumento percentual em peso de PFP eleva o LP. A plasticidade requerida para a conformação de peças cerâmicas através da extrusão foi alcançada dentro principalmente da área de extrusão ótima e em seu limite inferior com exceção das massas cerâmicas compostas de argila/30%PFP e argila/50%PFS, que se situaram dentro da área de extrusão ótima.

O PFP se caracteriza por conter menos partículas metálicas do que o PFS, suas partículas metálicas são resquícios do processo anterior “serragem”. A produção de material cerâmico a partir de percentuais diferentes de PFP (10%, 20%, 30%, 40% e 50%), obtém-se um material de cor vermelha. A retração linear das massas cerâmicas mostrou-se menor em ordem crescente conforme o aumento

Silva, Farah Diba da.

percentual de PFS ou de PFP superando a propriedade de retração linear da argila. As absorções de água das massas cerâmicas mostraram-se dentro do limite de 20,2%, principalmente as queimadas em temperatura de cerâmica vermelha. A composição de 30%PFP ultrapassou o limite de AA (20,2%). A PA das massas em temperatura de 900°C e de 950°C mostra-se controlada compatível com o comportamento de AA. A perda de massa em geral da argila e das massas cerâmicas são significativamente grande entre seca a 110°C, 700°C e 800°C. Os registros de resistência a ruptura são aceitáveis nas várias composições de compostas de PFS e de PFP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC – Cerâmica no Brasil – Anuário brasileiro de cerâmica, São Paulo 2002, 70p

ALBERO, J.L.A. A operação de pesagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte1: o preenchimento das cavidades do molde cerâmico industrial v.5(5), pg. 23-28(2000).

ALENCAR, C R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologias de lavra e beneficiamento. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v.3)

ALMEIDA, S.L.M.; CHAVES, A.P., Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ, CETEM – MCT, 2002.

ALMEIDA, S.L.M.; SAMPAIO, J. A. Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreira. Revista Areia & Brita, Out./Dez, 2002.

ARANTES, F.J.S. et al. O Manchamento e a Porosidade Fechada de Grês Porcelanato. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 3, p. 18-25, 2001.

ARTUR, A.C.; WERNICK E.; RODRIGUES, E. DE P.; ANDRIGHETTI, R.M.; SOUZA, P.H.G.; Perda de lustro em rochas ornamentais durante abrasão progressiva: principais fatores condicionantes. Anais III Simpósio de rochas Ornamentais do Nordeste, Recife-PE, 2002, p. 24-37

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. Rochas Ornamentais no século XXI – Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Coordenador: Peiter et. Al. Rio de Janeiro/ABIROCHAS. 2001, 160p.

_____ - O setor de rochas ornamentais brasileiro em 2002. In: Ferreira, Gilson Ezequiel, CETEM/MCT, IBEROEKA em Mármoles y Granitos. disponível em:<<http://www.abirochas.com.br>> Acesso em: 06/15/06.

_____ - Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2006 a, disponível em:<<http://www.abirochas.com.br>> Acesso em: 08/08/06.

Silva, Farah Diba da.

_____ - Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no 1º quadrimestre de 2006 b. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>> Acesso em 08/08/06.

_____ - Os Quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais: Principais Demandas para o Desenvolvimento Sustentável da Atividade Produtiva. Bela Vista - São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC – Cerâmica no Brasil – Anuário brasileiro de cerâmica, São Paulo 2002, 70p. . Site: <http://www.abceram.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e Métodos de Ensaio – Determinação de absorção de água – (Anexo B). ABNT. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e Métodos de Ensaio – Módulo de Resistência à Flexão – (Anexo C). ABNT. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 6459. Solos – Determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro, 6p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7180. Solos - Determinação do limite da plasticidade, Rio de Janeiro 3p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7181. Solos – Análise granulométrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT): Resíduos Sólidos, classificação: NBR ISO 10004. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para concreto – especificação – NBR 7211. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13582. Telha cerâmica tipo romana- especificações, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012. Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

Silva, Farah Diba da.

AZAMBUJA, M.A. Geologia aplicada a solo-cimento. Publicações ABCP, São Paulo, 1979.

BELL, F.G. *Lime stabilization of clay minerals soil. In: Engineering Geology 42p . Elsevier Science*, 1996.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta e Bressiani, José Carlos. A indústria cerâmica brasileira, *Cerâmica Industrial*, 5(3) maio/junho, 2000.

CAPUTO, H.C.; *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*, 3ªed. , Revista e Ampliada, MEC v 1p 243, Rio de Janeiro, 1973.

CETEMAG, Curso de encarregado de serraria. CETEMAG – Centro Tecnológico do Mármore e Granito. Cachoeiro de Itapemirim, ES, p. 67. 2000a.

CETEMAG, Curso de polidor. CETEMAG – Centro Tecnológico do Mármore e Granito. Cachoeiro de Itapemirim, ES, p. 22. 2000b

CIB-Agenda 21 para a construção sustentável. Trad. I.Gonçalves; T. Whitaker; ed. G. Weinstock; D.M. Weinstock. São Paulo: PCC-USP, 2000. 131p. Tradução de: *Agenda 21 on sustainable construction*.

CYNTRY, S. *Soil construction: its pinciples and aplication for housing. State of Israel-ministry of labor – house division. The Weizmann Science press of Israel*. Jerusalém, 1957.

CHAVARRIA . J.A. *Cerâmica* .1ª. ed. , 1997.

DeCAMILLES, E. Insumo indispensável. *Pedras do Brasil*, nº30 p. 65-66. 2004.

DINGER, D. R. *Rheology for Ceramists*, Morris, Kearney, NE, 2002, p. 104.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISAS MINERAIS. ANUARIO MINERAL BRASILEIRO. DNPM (2001). Disponível em <[HTTP://www.dnpm.gov.br/](http://www.dnpm.gov.br/)>. Acesso em 20/05/2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISAS MINERAIS. ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. DNPM/MM (2003/2004) Brasília. Disponível em <[HTTP://www.dnpm.gov.br/](http://www.dnpm.gov.br/)>. Acesso em 20/05/2007.

Silva, Farah Diba da.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISAS MINERAIS. ANUARIO MINERAL BRASILEIRO. DNPM/MM (2004) Brasília.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - DRM. Informativo. 2006.

EMILIANI, G.P.; CORBARA, F. Tecnologia cerâmica, Faenza: Editoriale Faenza Editrice, vol. 1. 1999.

FACINCANI, E. Tecnologia cerâmica - los ladrilhos. 3. Ed. Barcelona: Faenza Editrice Ibérica, 1997, p.31. FILHO, H.F.M.; POLYANOY, H.; MOTHÉS, C.G. O Rejeito da Indústria de Mármore e Granito: Problemas e Soluções. Rev. Un. Rural, Sér. Ci. Exatas e da Terra. Seropédica, RJ, EDUR, v. 24, n. 1-2, jan. - dez., 2005 p.12-27.

FRASCÁ, M. H.B.O.; SARTORI, P.L.P. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, M.A.S.; BRITO, S. N. A. eds. Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 2, p. 15-38, 1998.

GAVILAN, R.M.; BERNOLD, L.E. Source evaluation of Solid Waste in Building Construction. Journal of Construction Engineering and Management t. n. 120, p.536-552, Dec., 1994.

GONÇALVES P.S.; VANDERLINDE. F.V.F.; GAVA. M.; NUNES J.J. Produtos cerâmicos: seu mercado e suas aplicações. Apostila SENAI Mário Amato núcleo cerâmica. Julho 2002.

GONÇALVES. P.S.; VANDERLINE. F.V.F. Tecnologia cerâmica. Apostila SENAI Mário Amato- Núcleo Cerâmica. 2003.

GOMES, C.F.; Classificação e tipos de argilas. In: Argilas o que são e para que servem, 1986, 342-344p.

GRANDI. A.; RENÓ. R. Revestimento de Cerâmica. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Cerâmica. Maio, 1989. Serra Negra.

GUIMARÃES, J.E.P. A cal – fundamentos e aplicações na construção civil. São Paulo, Pini, 1998.

Silva, Farah Diba da.

JOUENNE, C.A. *Traité de Céramique et Matériaux Minéraux*, Editions Septima, Paris, 1990.

JUNIOR, H.T.V.; TUBINO, L.C.B., SOUZA, J.C. de; SAMPAIO, C.H., Proposta de recuperação de ferro dos rejeitos do desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâmninas. In: VISHMMT/ XVIII ENTMME, 2001, Rio de Janeiro/ Brasil.

KASCHNER, D. Tecnologias para beneficiamento. In: II Encontro do Centro-Oeste sobre granitos, mármore e pedras ornamentais. Goiânia 16 a 18 de outubro de 1996.

KASCHNER, D. Modernização e falta de crédito. Pedras do Brasil, nº 29, p.92-98.

KUBO, S.L. O solo-cal: suas aplicações em tijolos sem queima – uma pesquisa que se abre. Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado) 1986.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E. Geologia Geral. 1ª reimpr. 14. ed. – São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.

MACHADO, M. Aumento da produtividade nas serrarias de mármore e granitos. Rochas de Qualidade, Ano X, nº106. P.38-40, 1992.

MACHADO, M.; CARVALHO, D. Técnicas para polimento e lustro de mármore e granitos. Revista Brasil Mineral. Ano X, nº 102, p. 38-40, 1992.

MACHADO F.B.; MOREIRA, C. A.; ZANARDO, A.; ANDRE, A.C.; GODOY, A.M.; FERREIRA, J.A.; GALEMBECK, NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.; Enciclpédia multimídia de minerais e atlas de rochas. 2003.

MACKENZIE, R.C. *The differential thermal investigation of clays*. London: Mineralogical society, 1975. p. 456.

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A.; ANDRÉ, A.C.; GODOY, A.M.; FERREIRA, J.A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.; Enciclopédia multimídia de minerais e atlas de rochas. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/museudpm>.> Acesso em 10/05/2007

Silva, Farah Diba da.

McLAREN , M.G., WACHTMAN , J.B., *The oportunit in advanced ceramics and the potential marke*, Anais do 31º congresso brasileiro de cerâmica , Brasília , DF , 1987.

MORAES, I.V.M., Marmore e granito: lavra beneficiamento e tratamento de resíduos. (Dossiê Técnico) Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT- Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006, p.1-20.

MOTTA J.F.M.; MARSIS, C.J.; TANNO, L.C. Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimento cerâmico: desafios ao setor produtivo. *Cerâmica industrial*, 3(4-6) julho /dez, 1998.

MOTTA J.F.M., ZANARDO, A., JUNIOR, M.C., As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. In: *Ceramica Industrial*, 6 n°2, Marco/Abril, 2001.

MOTOKI, A.; Vargas, T.; Peixoto, J.L.N. Análise Quantitativa das cores de feldspato alcalino, nefelina e sodalita em Rochas Ornamentais. *Mineração Metalurgia*, 554-64, 5-11, 2000.

MOTOKI, A.; Vargas, T. Origem de Magmas. DMPI-UERJ, 32p, 2000.

MOTOKI, A.; Vargas, T.; ZUCCO, L.L.; PEIXOTO, J.L.N.; CARIO F.D.; MOTOKI, K.F. 1999. Captura direta de imagens macroscópicas de rochas de scanner. *Mineração Metalurgia*, 552-63, 25-30. i,

NORTON, F.H. Introdução a tecnologia cerâmica. 1. ed. São Paulo: *Edgar blücher*, ed. Universidade de São Paulo, 1973. 324p.

OBSTLER, M. *Out of the fire, the American Ceramic Society*.

OLIVEIRA, I.R. et al., Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazenda Arte Editorial, 195p. 2000.

OLIVEIRA, G.E.; HOLANDA, J.N.F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, Jun 2004, vol.50, n. 314, p.75-80. ISSN 0366-6913

Silva, Farah Diba da.

OLIVEIRA G.E.; HOLANDA, J.N.F. de Análise do impacto ambiental causado pela utilização de resíduo sólido do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, Set 2004, vol.50, n. 315, p.185-189. ISSN 0366-6913.

OLIVEIRA, E.M.S.; MACHADO, S.Q.; e HOLANDA, J.N.F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. *Cerâmica* 50 (2004) 324-330.

PADILHA A.F.; *Materiais e Engenharia - Microestrutura e Propriedades*. Editora Hemus, 1nd. Ed São Paulo, 1997, pp.16-18, 23, 259, e 260.

PEYNEAU, Glauco Ogioni Rodrigues, PEREIRA, Gesiane Silveira. Tratamento dos Resíduos Provenientes das Serragens de Granito Através da Implantação do Filtro-Prensa. In: XXIV ENEGEP Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de Nov., 2004.

PEDRAS DO BRASIL, A força do Espírito Santo. *Revista Pedras do Brasil*, n°. 45, p.62-63, 2006.

PINTO, T.P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

PRACIDELLI, S., MELCHIADES, F.G. Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 1/2, p. 31-35, 1997.

RABÊLO. A.A.; SERRA. JR. H.L.; TOMASI. R.UFSCar. Efeito de Processamento antes da queima de pós sub-micrométricos na microestrutura final de cerâmicas de alumina e alumina – SiC. <tomasi @power.ufscar.br.>. Disponível em: <<http://athena.nit.ufcar.br/cbecimat/resumos/>>. Acesso em: 02/02/2006.

RABINOWICZ, E. *Friction and Wear of minerals*. Cambridge, Massachussets, John Wiley, 1966, 243p.

RAMOS, I.S., ALVES, M.G., ALEXANDRE, J. “Diagnóstico do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes-RJ”, *Cerâmica Industrial*, v.11, n.1, pp.28-32, Jan./Fev. 2006.

RAMOS, I.S.; JOAQUIM, J. . ALVES, M.G. ALVES VOGEL, v.; SANTOS, M. A indústria cerâmica vermelha de Campos dos Goitacazes e a inclusão social das

Silva, Farah Diba da.

artesãs da baixada campista através do projeto Caminhos de barro. In: revista Cerâmica, 54 (2008) 280-286.

RAVAGLIOLI , A. FIORI, C. FABRI, B. *Materie Prime Ceramiche , Argile , Materiali non Argilosi e Sottoprodotti* , Grupo Editoriale Faenza Editrice S.P.A. , 1989.

REED, J.S. "Desde la carga hasta la baldosa prensada:mecánica y câmbios microestructurales del sistema "Anais de Qualicer 2000, vil 1, pg. Com-23-41(2000).

SABBAG, P.Y. Solo-cimento: o estudo da retração e suas implicações. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Escola Politécnica, 1980.

SABADINI, M.S. Os distritos industriais como modelo de crescimento endógeno: o caso do segmento de rochas ornamentais (mármore e granito) no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). (Dissertação de Mestrado em Economia). Vitória-ES. UFES.

SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A.; LUZ, A.B., Separação magnética e eletrostática. In SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B., ALMEIDA, S.L.M. Tratamento de minérios, 4º edição, CETEM/MCT, 2004 p. 303-335.

SEBRAE MINAS SETORES ESTRATÉGICOS. Cerâmica, 2005 – 2007

SEBRAE MINAS SETORES ESTRATÉGICOS. Rochas Ornamentais, 2005 – 2007

SINGER, F.; SINGER, S.S., Cerâmica industrial v. 1, Ediciones URMO.

SILVA S.A.M. Estudo da compressão simples em corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento-serragem. Dissertação de Mestrado, São Carlos, EESC-USP, 1991.

SILVA, S.A.C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998, p. 159.

SILVA. J.B, HOTZA, D.; SEGADÃES, A.M.; ACCHAR, W. , Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. Cerâmica, oct./dec. Vol. 51, no.320, p.325 – 330. ISSN 0366- 6913, 2005.

Silva, Farah Diba da.

SCHMITZ , R.M. SCHROEDER , C. CHARLIER, R. Chemo – *Mechanical interaction in clay: a correlation between clay mineralog and atterberg limits. Applied clay science*, v. 26, n.1-4, p. 351-358, 2004.

SOUZA, Júlio César de. Cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais. In: Anais Vº Simpósio de Rochas Ornamentais no Nordeste. 13 a 15 de novembro. Recife, 2005 p. 193-203.

SANTOS, P.S.; SANTINI, P. Análises térmicas diferenciais de bauxitos, argilas aluminosas e lateritos. *Cerâmica*, v.9, n.323, p. 3-32, 1963.

SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1989. v. 1, p. 3-4, 157-67.

SANTOS, P.S., Tecnologia de argilas, v. 2. Aplicações cap.17. p. 393-405 Edgard Blücher. 1975

SOUSA, A.A.P.; RODRIGUES, R. Consumo dos principais insumos no desdobramento de granitos do nordeste, de diferentes graus de dureza. In: II SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. Recife, 2002. p. 171-178.

SMITH. W. F. Princípios de Ciência e Engenharia de materiais. 3ª ed. 1998.

SPÍNOLA, Vera. *Potencial Exportador e Política Pública para uma Evolução Virtuosa: a Indústria de Rochas Ornamentais da Bahia*. Dissertação. (Mestrado em Economia). Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 179 p. 2002.

SPÍNOLA, Vera. *Rochas Ornamentais em Arranjo Produtivo – Salvador*: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. (Série estudos e pesquisas), 2003.

STANEVA, N.N.; KASABOV, I.H.; LONCHEV, H.A. *Cerâmica* . Int. 21, 1995, p.119.

STELLIN JUNOR, A., serragem de granitos para fins ornamentais. São Paul, Dep.Engº de Minas, Universidade de São Paulo 1998. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085).

Silva, Farah Diba da.

STRECKEISEN, A.L.; Classification and nomenclature of igneous rocks. News jahrb. Mineral Ablannd. 1976, 107p.

TAVARES, S.F.; GRIMME, F.W. Análise de processos produtivos de cerâmica vermelha estudo de casos comparativos entre Brasil e Alemanha. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 9 Foz de Iguaçu ,PR . Anais. ENTAC, p. 723-732,2002

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Mecânica dos solos na prática da engenharia .Rio de Janeiro, Sedegra , 1961.

VARGAS, T.; MOTOKI A.; NEVES, J.L.P., Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção. Revista de Geociências, 2-2, 119-132. Instituto de Geociências – UFF, 2000.

VAN VLACK, L.H. Propriedades dos minerais cerâmicos. São Paulo. EDUSP/Edgar Blucher, 1973.

VIOLANI, M.A.F. Estabilização do latossolo roxo para a produção de tijolos – a experiência de Londrina. Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado), 1987.

VOGEL, A.I. Química Analítica Qualitativa. 1ª. ed. São Paulo: Editora Mestre Jou . 1981.

ZANDONADI, A.R.; IOSHIMOTO, E. Cerâmica vermelha . Curso internacional de treinamento em grupo em tecnologia cerâmica. São Paulo, SP / IPT/JICA,p.20,1991.

ZORDAN, S.E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Campinas. 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Campinas: Universidade de Campinas, 1997.

WITTMORE, W., *Raw Material Stockpiling Techniques. American Ceramic Society Bullentin* v. 73, n. 6, p 60-62, 1994.

ANEXOS

ANEXO A - Tabela

Comparativo do comportamento granulométrico e da análise magnética do PFS.

Tipos de peneiramentos – Separação magnética (%) PFS																		
Peneiras (#)	Peneiramento seco/separação magnética						Úmido						Úmido/atrito			Úmido/atrito/NaOH		
	Total	Rolo			Total	Rolo			Total	Imã comum		Total	Imã comum	Mag	NMag	Imã comum	Mag	NMag
		Rejeito (%)	Misto (%)	Mag (%)		Rejeito (%)	Misto (%)	Mag (%)		Mag	NMag							
# 20	-	-	-	-	1,33	-	-	-	97,64	2,35	-	-	-	-	-	-	-	-
#48	4,93	37,88	21,75	40,36	2,51	26,55	31,35	42,09	94	6	0,22	83,57	16,42	0,54	89,13	10,87		
#65	7,49	9,23	21,61	69,15	1,45	11,86	24,29	63,84	91,81	8,18	0,63	86,36	13,63	0,48	82,92	17,07		
#100	9,87	2,17	4,19	93,62	1,58	5,74	25,28	68,96	88,09	11,9	0,84	95,48	4,51	0,73	70,1	29,89		
#150	1,97	-	3,93	96,06	2,11	7,17	31,1	61,72	74,4	25,59	1,26	44,57	55,42	1,38	44,12	55,87		
#200	28,06	16,05	7,17	76,76	2,21	7,14	35,23	57,61	68,18	31,81	1,74	35,69	64,30	2,13	34,75	65,87		
#325	40,29	17,08	7,19	75,71	8,13	-	11,21	88,78	64,29	35,7	5,81	36,06	63,93	6,42	27,31	72,68		
# -325	7,37	6,24	5,19	88,54	80,63	0,59	0,61	98,79	-	-	89,47	96,69	3,30	88,28	88,83	11,16		

ANEXO B - Tabela

Comparativo do comportamento granulométrico e da análise magnética do PFP.

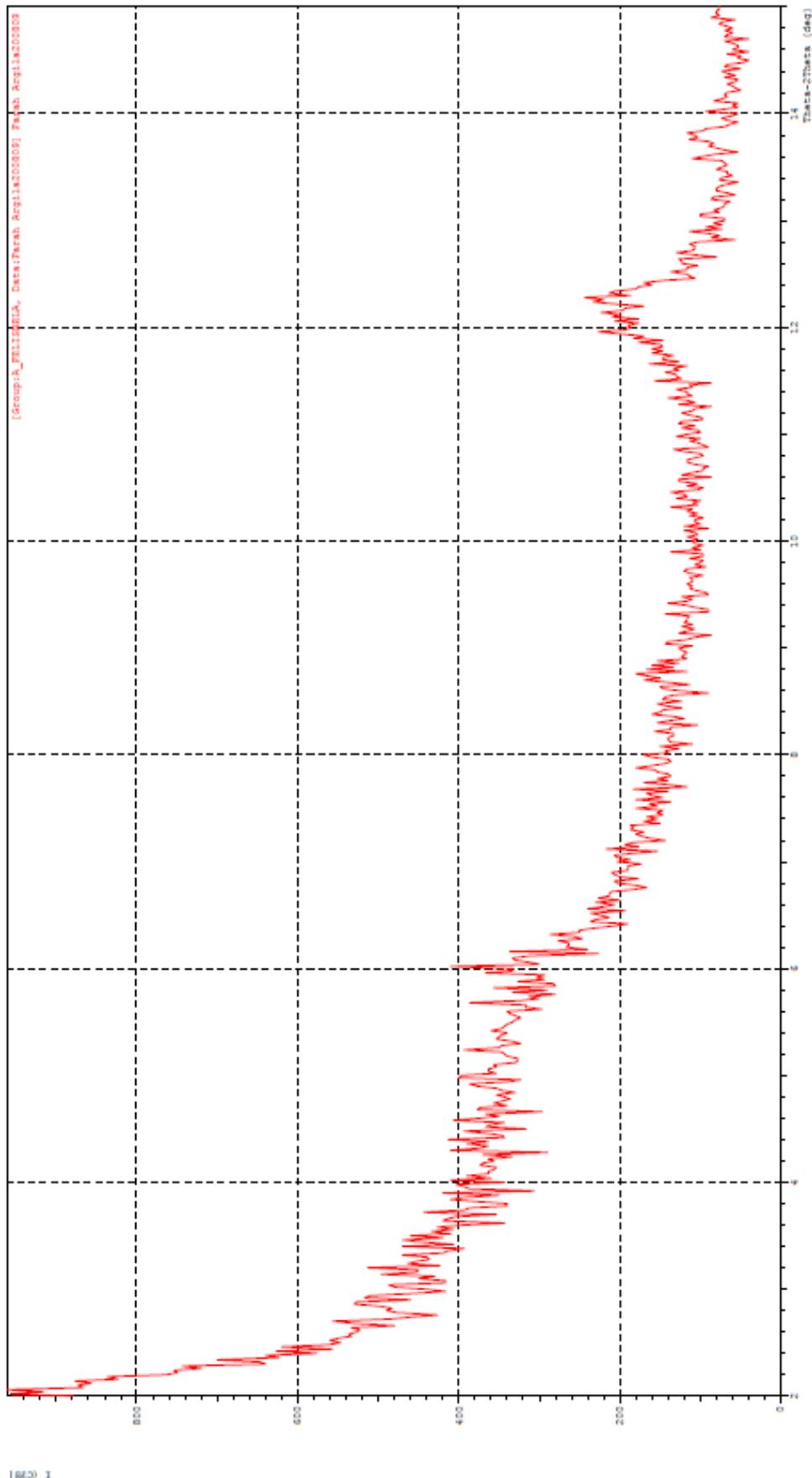
Peneiras (#)	Tipos de peneiramentos – Separação magnética (%) PFP																				
	Peneiramento seco/separação magnética				Úmido				Úmido/atrito				Úmido/atrito/NaOH								
	Total	Rolo			Total	Rolo			Total	Frantz			Total	Rolo			Total	Frantz			
Rejeito (%)		Misto (%)	Mag (%)	Rejeito (%)		Misto (%)	Mag (%)	Rejeito (%)		Misto (%)	Mag (%)	Rejeito (%)		Misto (%)	Mag (%)	Rejeito (%)		Misto (%)	Mag (%)	Rejeito (%)	Misto (%)
# 20	-	-	-	-	4,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#48	20,27	1,53	98,14	0,31	21,04	78,95	78,95	0,32	21,23	78,76	0,12	24,32	75,67	3,56	50	37,5	12,5	50,00	50,00	50,00	50,00
#65	5,92	4,61	87,93	7,44	20,76	79,23	79,23	6,20	38,58	61,41	0,37	17,3	82,69	1,70	62,93	23,07	13,98	41,5	58,49	58,49	58,49
#100	7,07	35,73	50,5	13,76	25,21	74,78	74,78	16,05	16,26	83,73	0,56	12,22	87,77	1,10	21,05	60,52	18,42	20,87	79,12	79,12	79,12
#150	3,25	56,68	14,97	28,34	23,45	76,54	76,54	51,45	15,47	84,52	0,58	7,31	92,68	1,06	0	73,27	26,72	16,66	83,33	83,33	83,33
#200	14,83	71,45	18,37	10,16	21,64	78,35	78,35	65,26	20,5	79,49	1,07	2,23	97,76	0,40	24,08	26,05	49,85	12,99	87,00	87,00	87,00
#325	31,84	74,94	11,60	13,45	23,97	76,02	76,02	94,37	12,16	87,83	4,16	1,25	98,74	4,46	0,67	19,7	79,61	9,12	90,87	90,87	90,87
# - 325	16,78	18,59	1,32	80,08	49,57	50,42	50,42	94,28	-	-	93,1	-	-	87,68	4,41	14,28	81,29	-	-	-	-

ANEXOS C – Gráficos

Difratogramas de raio X dos materiais (argila, PFS, PFP) e dos produtos do beneficiamento magnético do PFS e do PFP.

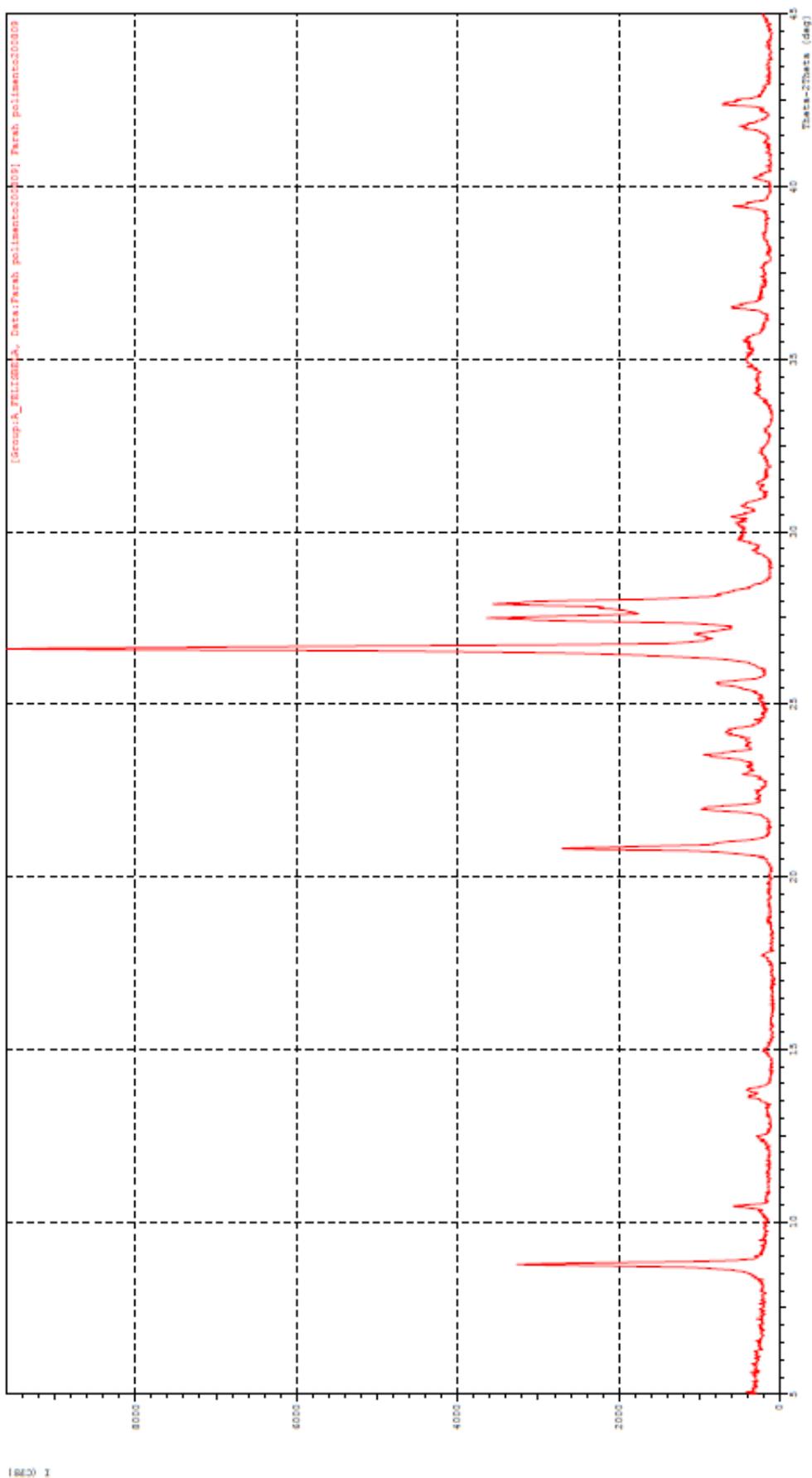
*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\Farah Argila200809
Sample Name : Farah Argila200809 Comment : Farah Argila200809
Date & Time : 08-20-09 12:14:00
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 30.0 kV Current : 25.0 mA
Scan Range : 2.0000 <-> 15.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.60 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



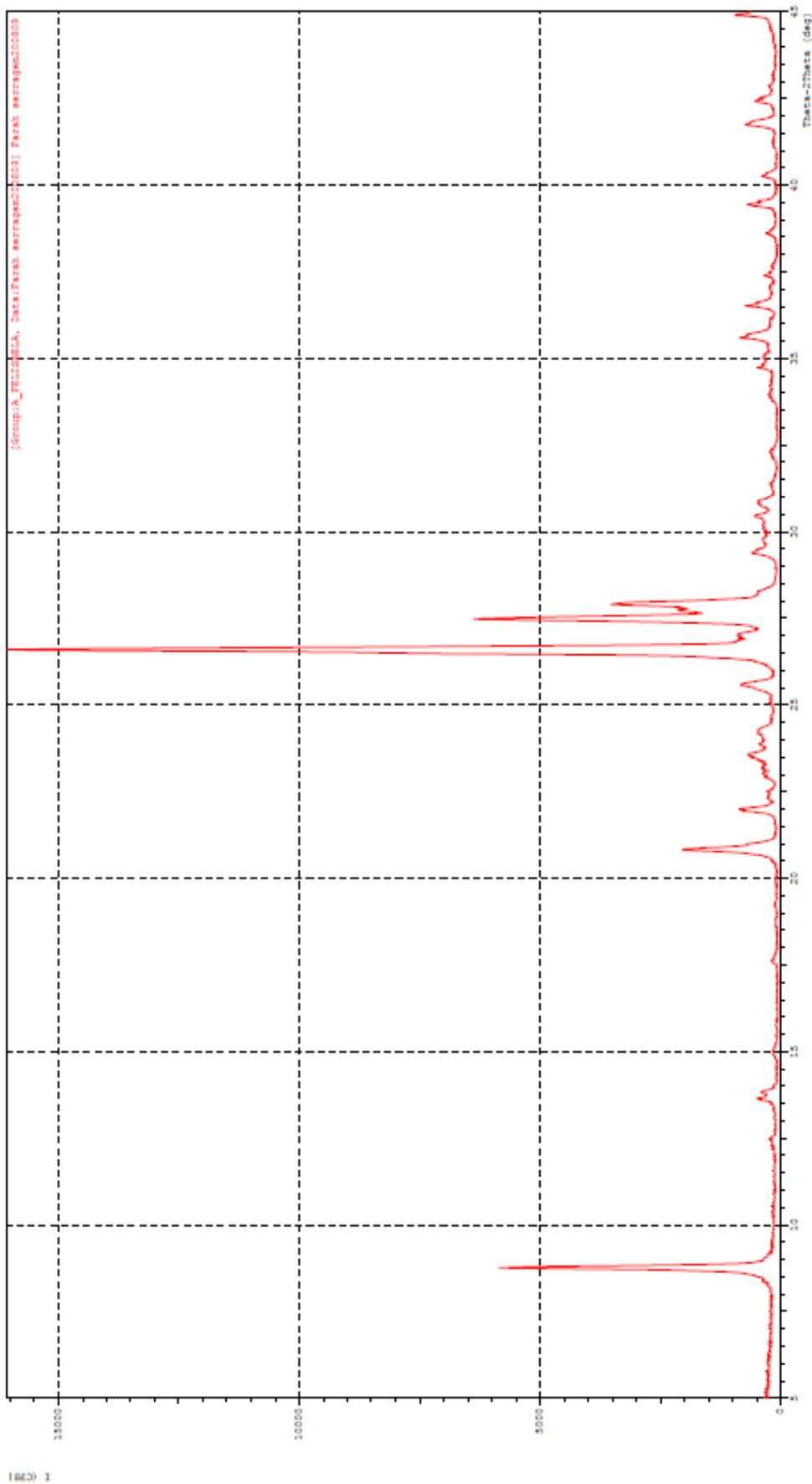
*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\Farah polimento200809
Sample Name : Farah polimento200809 Comment : Farah polimento200809
Date & Time : 08-20-09 12:21:52
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 A) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.60 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



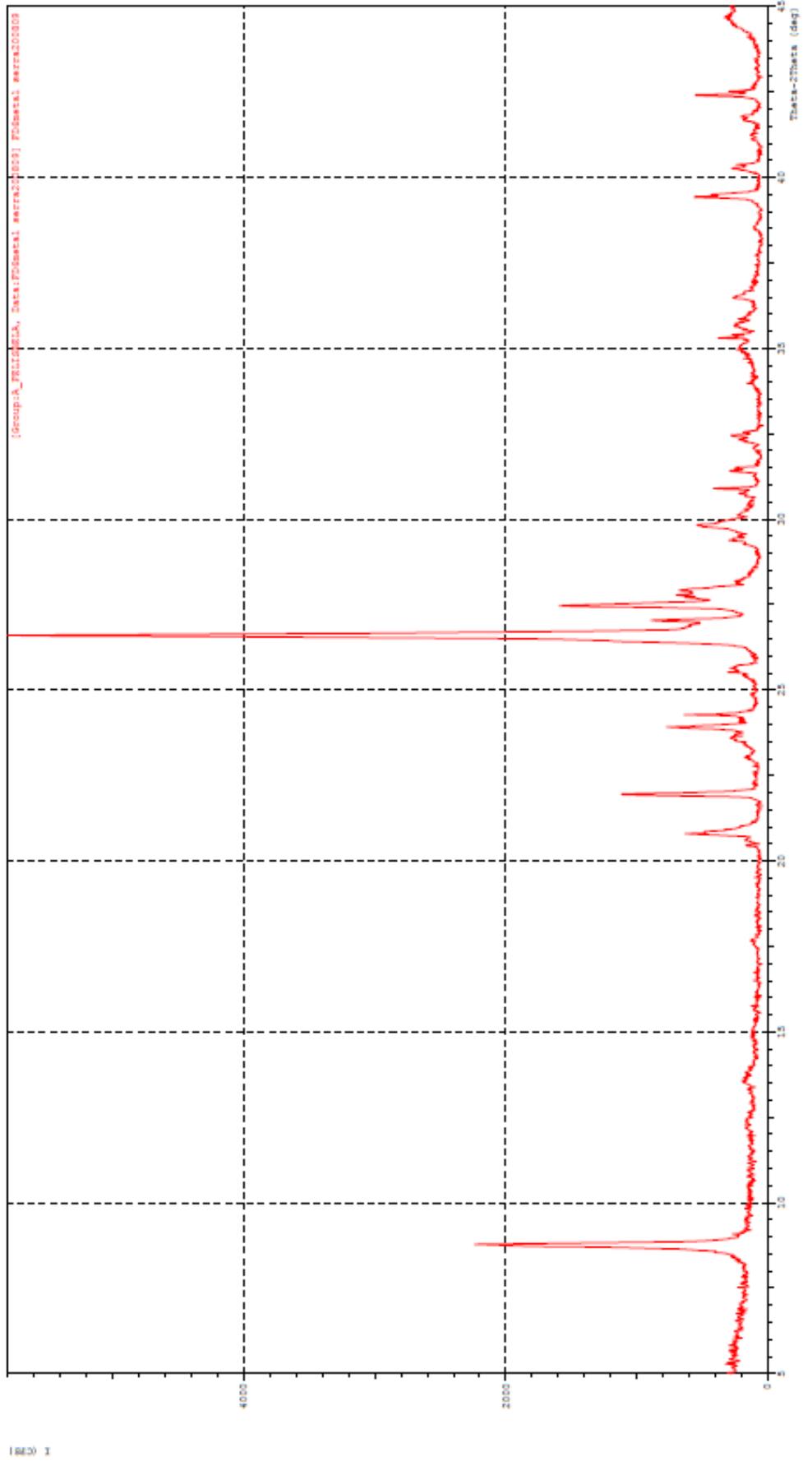
*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\Farah serragem200809
Sample Name : Farah serragem200809 Comment : Farah serragem200809
Date & Time : 08-20-09 13:29:52
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.60 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



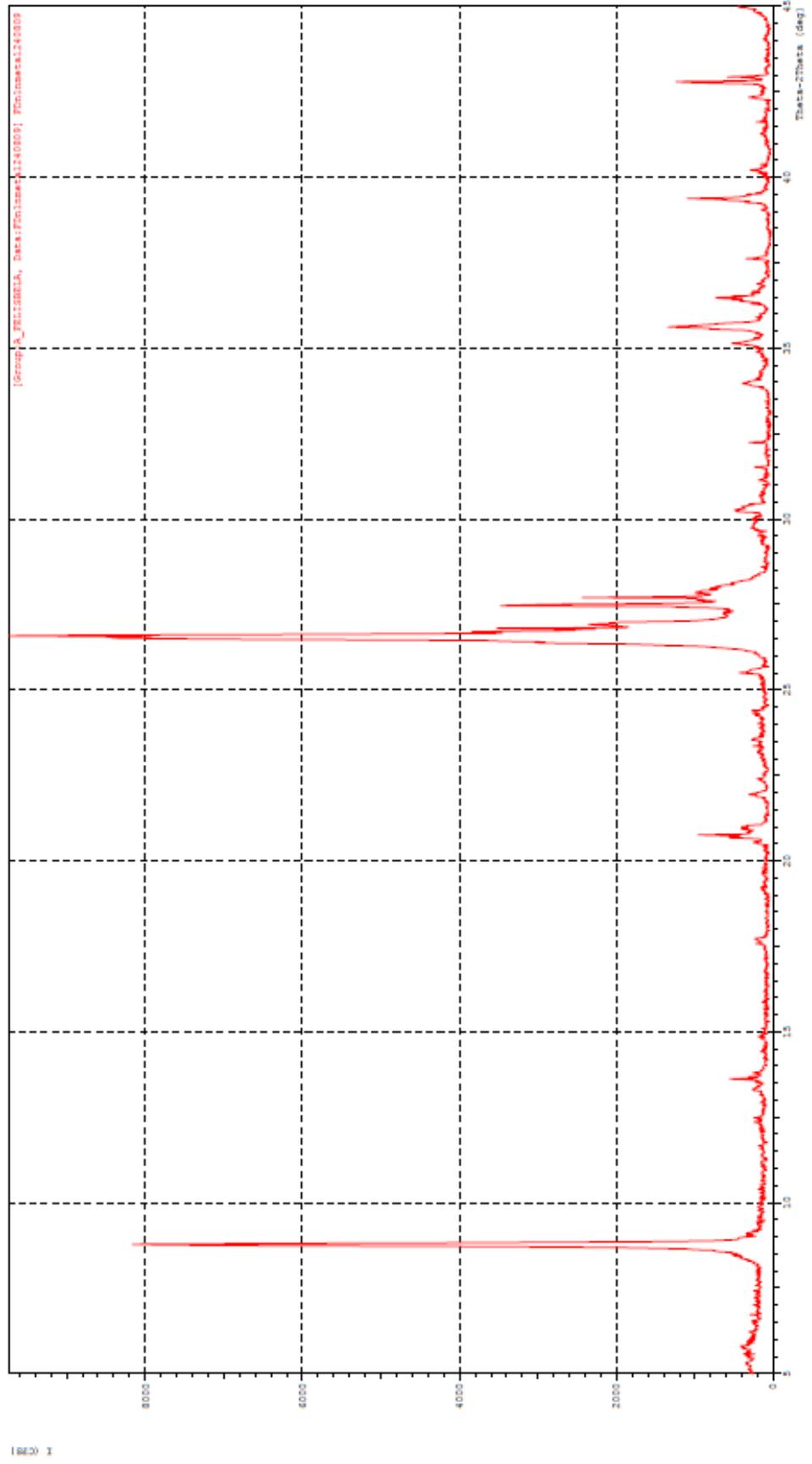
*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\FD6metal serra200809
Sample Name : FD6metal serra200809 Comment : FD6metal serra200809
Date & Time : 08-20-09 13:56:54
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.60 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



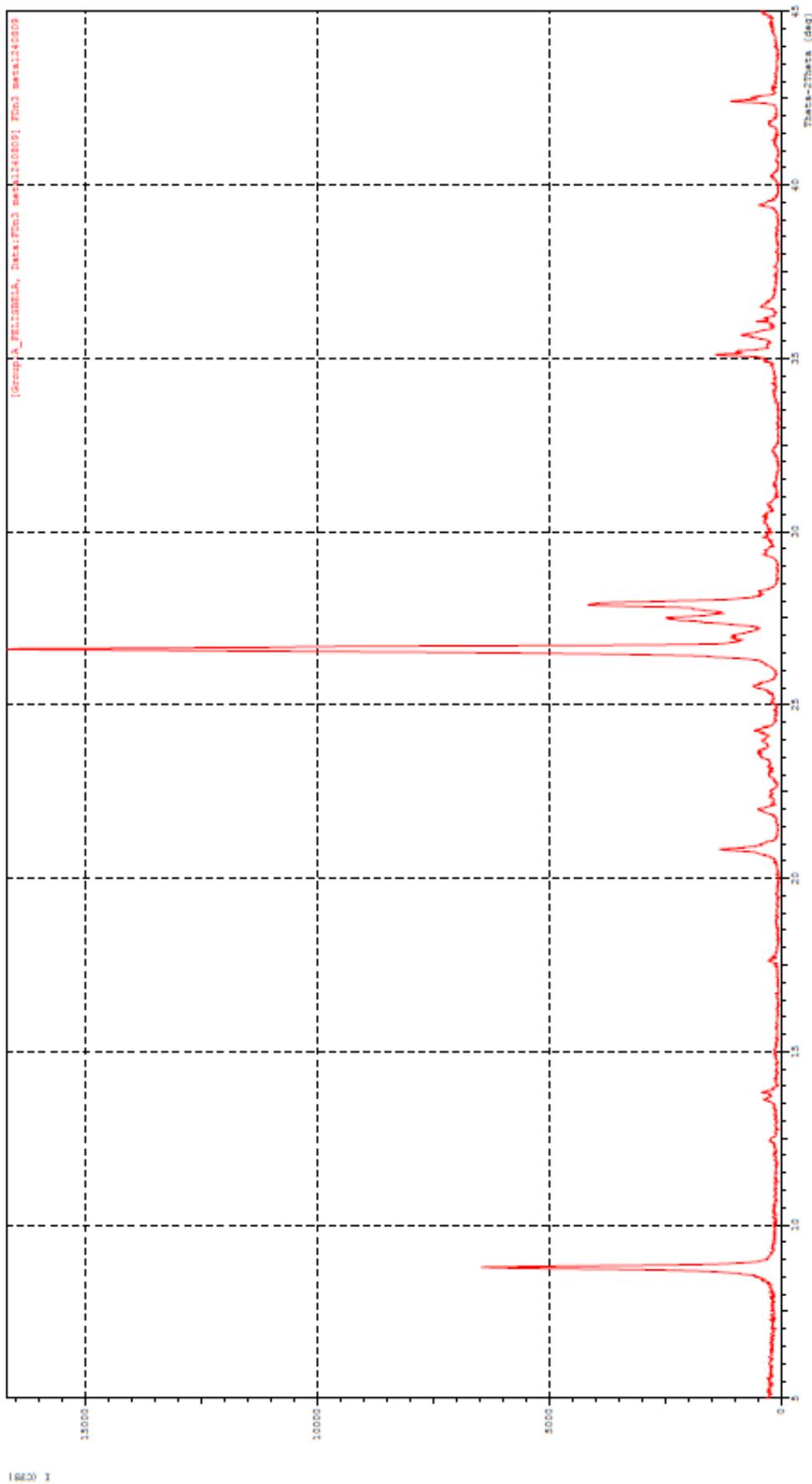
*** Multi Plot ***

File Name : A.FELISBELA\FDnlmetal240809
Sample Name : FDnlmetal240809 Comment : FDnlmetal240809
Date & Time : 08-24-09 15:29:00
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



*** Multi Plot ***

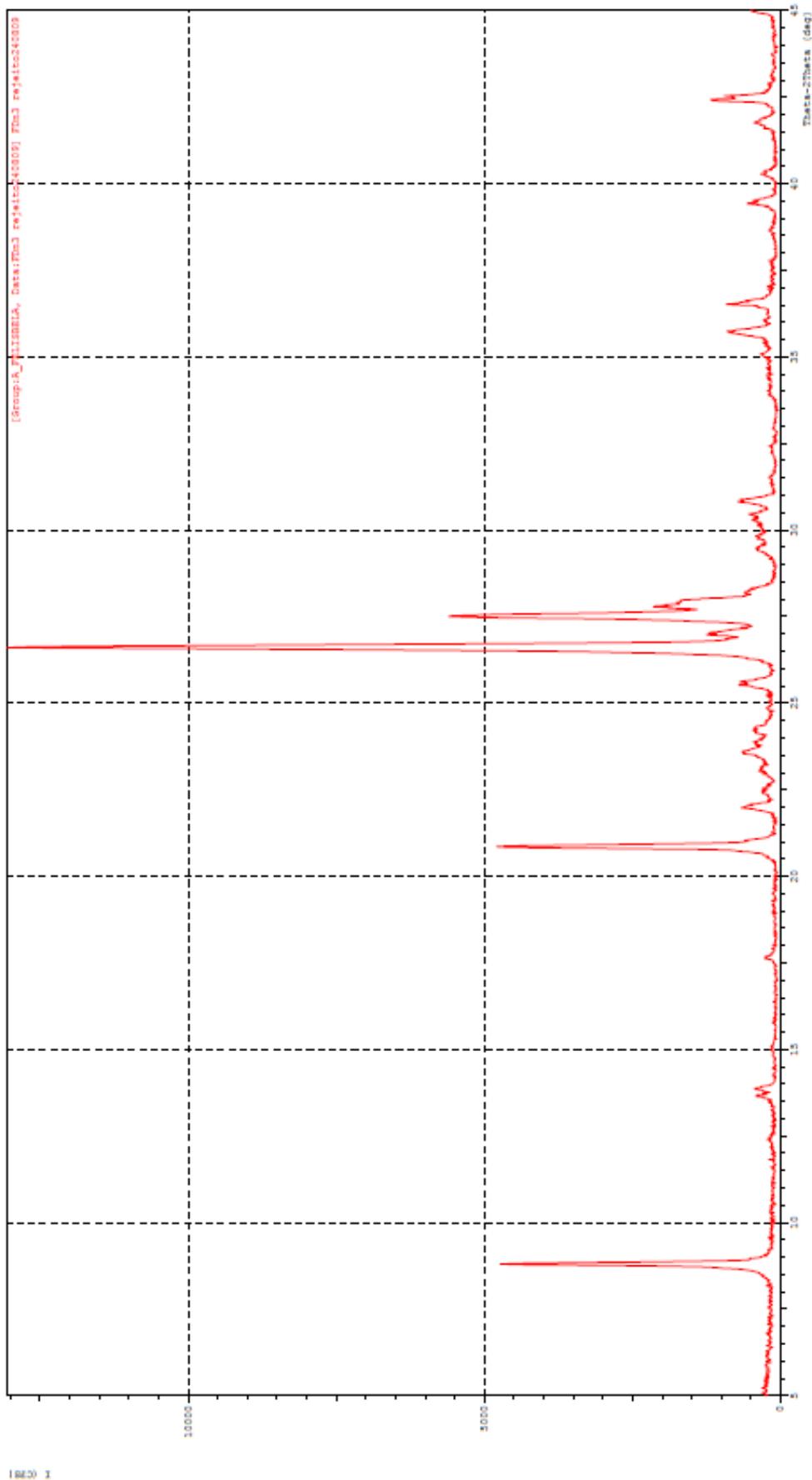
File Name : A FELISBELA\FDn3 metal240809
Sample Name : FDn3 metal240809 Comment : FDn3 metal240809
Date & Time : 08-24-09 15:43:28
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



*** Multi Plot ***

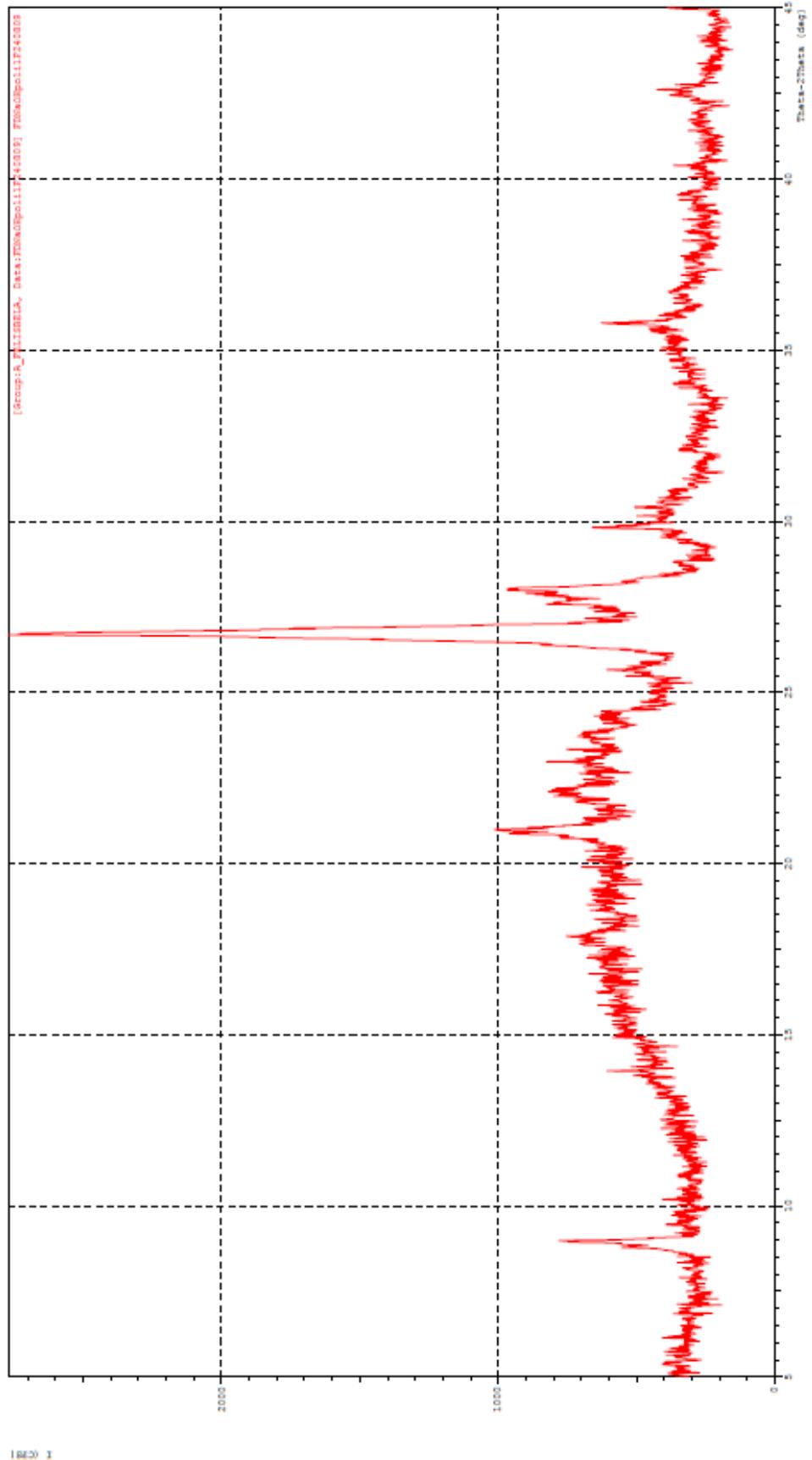
File Name : A FELISBELA\FDn3 rejeito240809
Sample Name : FDn3 rejeito240809 Comment : FDn3 rejeito240809
Date & Time : 08-24-09 15:57:58
Condition

X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



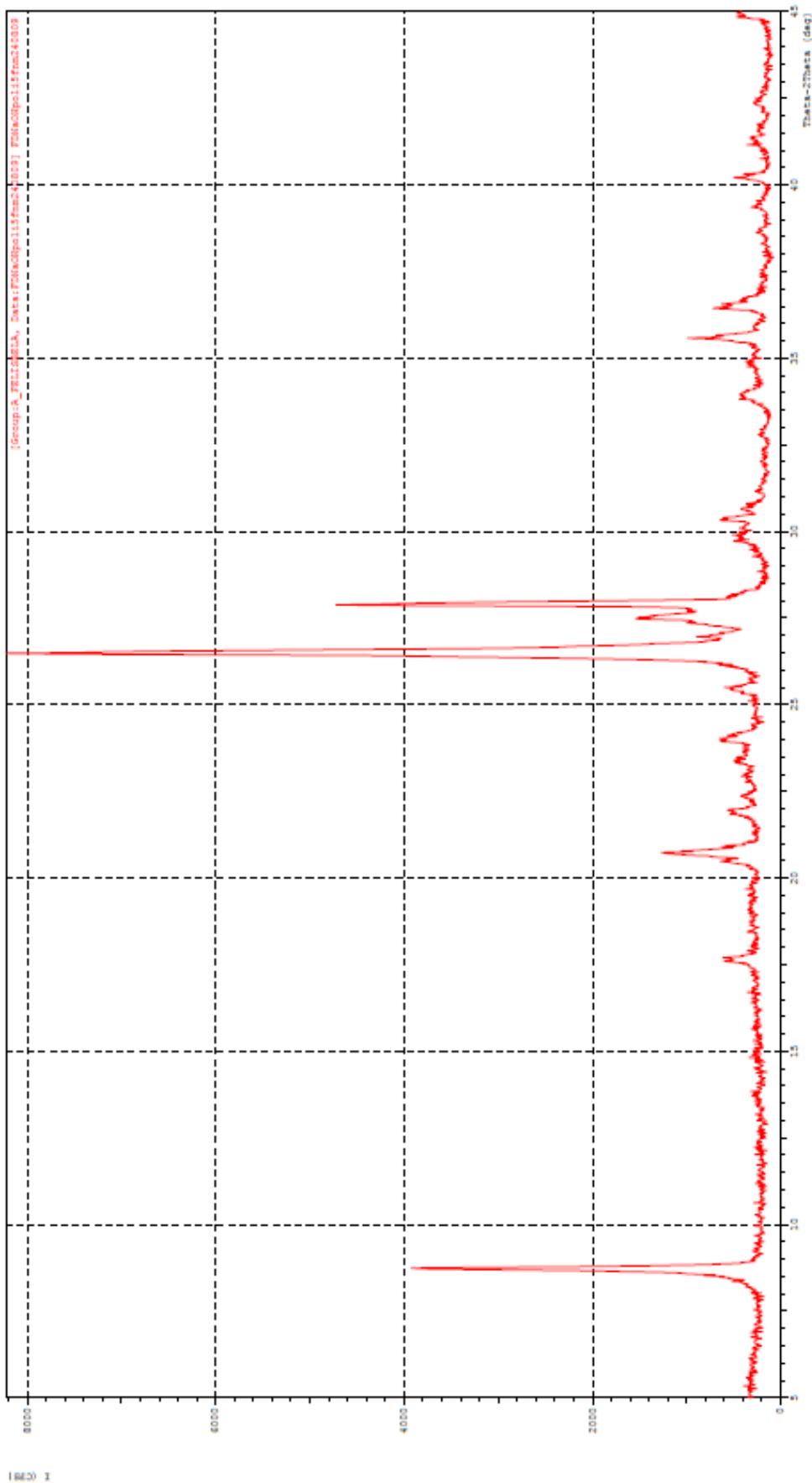
*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\FDNaOHpoliilF240809
Sample Name : FDNaOHpoliilF240809 Comment : FDNaOHpoliilF240809
Date & Time : 08-24-09 16:44:01
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



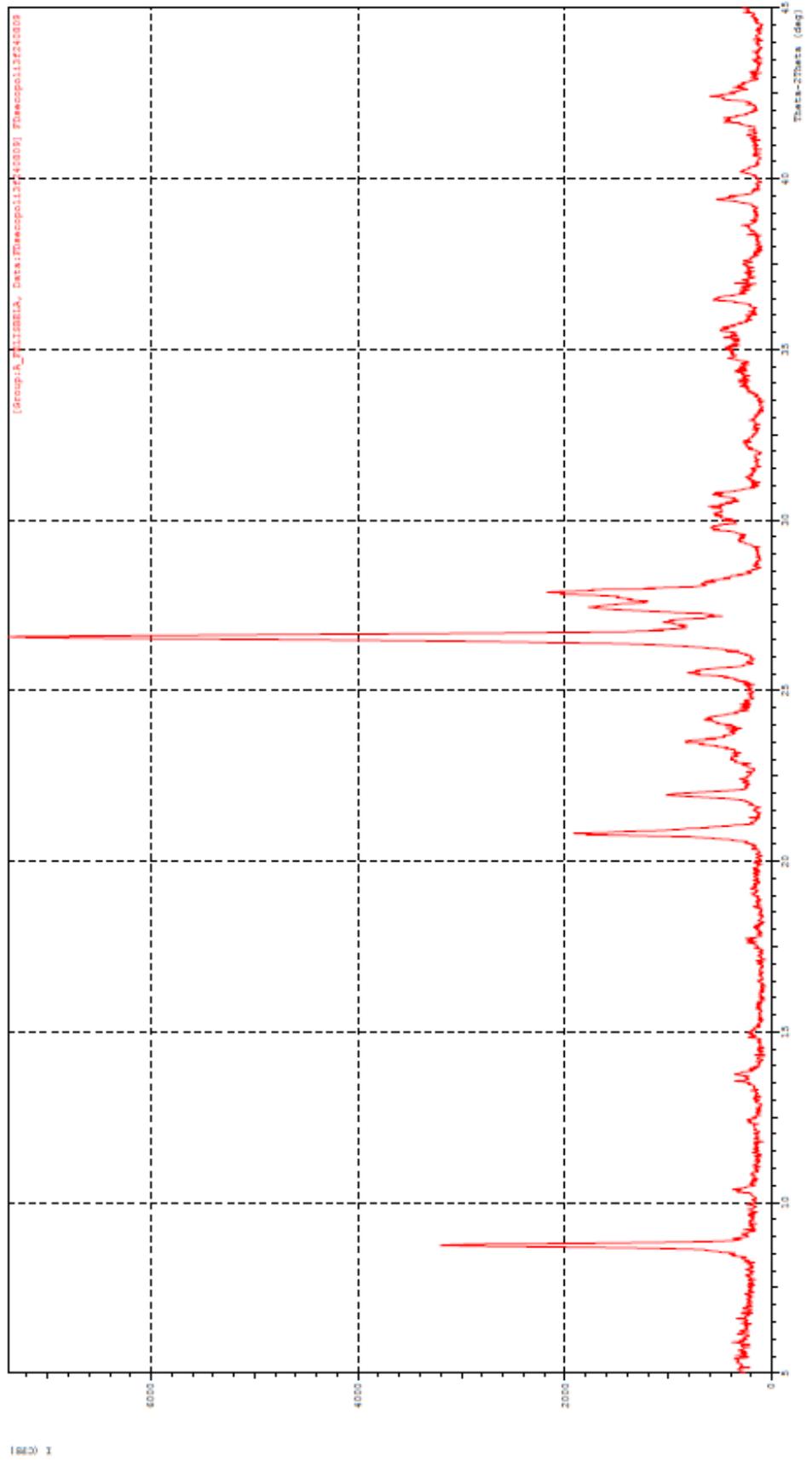
*** Multi Plot ***

File Name : A.FELISBELA\FDNaOHpoli15fnnm240809
Sample Name : FDNaOHpoli15fnnm240809 Comment : FDNaOHpoli15fnnm240809
Date & Time : 08-24-09 17:20:09
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 A) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



*** Multi Plot ***

File Name : A FELISBELA\FDsecopoli3f240809
Sample Name : FDsecopoli3f240809 Comment : FDsecopoli3f240809
Date & Time : 08-24-09 17:42:59
Condition
X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
Scan Range : 5.0000 <-> 45.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
Count Time : 0.30 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



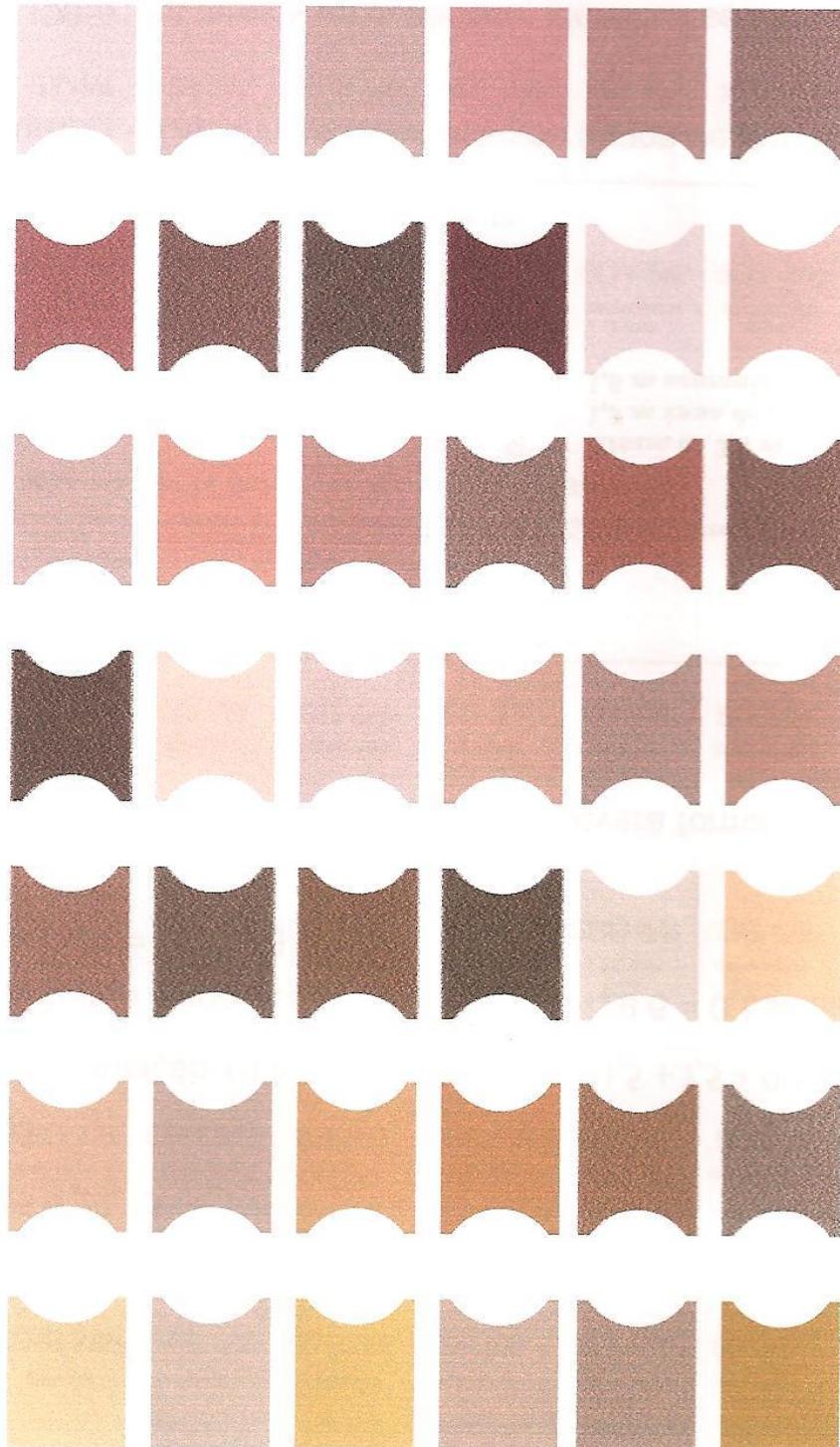
ANEXO D

Tabelas de cores da classificação Internacional de Munsell

5R 8/2 Grayish Pink	5R 7/4 Moderate Pink	5R 6/2 Pale Red	5R 6/6 Light Red	5R 5/4 Moderate Red	5R 4/2 Grayish Red
5R 4/6 Moderate Red	5R 3/4 Dusky Red	5R 2/2 Blackish Red	5R 2/6 Very Dark Red	10R 8/2 Grayish Orange Pink	10R 7/4 Moderate OrangePink
10R 6/2 Pale Red	10R 6/6 Moderate Reddish Orange	10R 5/4 Pale Reddish Brown	10R 4/2 Grayish Red	10R 4/6 Moderate Reddish Brown	10R 3/4 Dark Reddish Brown
10R 2/2 Very Dusky Red	5Y 8/4 Moderate Orange Pink	5YR 7/2 Grayish Orange Pink	5YR 6/4 Light Brown	5YR 5/2 Pale Brown	5YR 5/6 Light Brown
5YR 4/4 Moderate Brown	5Y 3/2 Grayish Brown	5YR 3/4 Moderate Brown	5YR 2/2 Dusky Brown	10YR 8/2 Very Pale Orange	10YR 8/6 Pale Yellowish Orange
10YR 7/4 Grayish Orange	10YR 6/2 Pale Yellowish Brown	10YR 6/6 Dark Yellowish Orange	10YR 5/4 Moderate Yellowish Brown	10YR 4/2 Dark Yellowish Brown	10YR 2/2 Dusky Yellowish Brown
5Y 8/4 Grayish Yellow	5Y 7/2 Yellowish Gray	5Y 7/6 Moderate Yellow	5Y 6/4 Dusky Yellow	5Y 5/2 Light Olive Gray	5Y 5/6 Light Olive Brown

Munsell Color

Rock-Color Chart
2009 Revision



5Y 4/4 Moderate Olive Brown	5Y 3/2 Olive Gray	10Y 8/2 Pale Greenish Yellow	10Y 7/4 Moderate Greenish Yellow	10Y 6/2 Pale Olive	10Y 6/6 Dark Greenish Yellow
10Y 5/4 Light Olive	10Y 4/2 Grayish Olive	5GY 7/2 Grayish Yellow Green	5GY 7/4 Moderate Yellow Green	5GY 5/2 Dusky Yellow Green	5GY 3/2 Grayish Olive Green
10GY 7/2 Pale Yellowish Green	10GY 6/4 Moderate Yellowish Green	10GY 5/2 Grayish Green	10GY 4/4 Dark Yellowish Green	10GY 3/2 Dusky Yellowish Green	
5G 7/2 Pale Green	5G 7/4 Light Green	5G 6/6 Brilliant Green	5G 5/2 Moderate Yellow Green	5G 5/6 Moderate Green	5G 3/2 Dusky Green
10G 8/2 Very Pale Green	10G 6/2 Pale Green	10G 4/2 Grayish Green	5BG 7/2 Pale Blue Green	5BG 6/6 Light Blue Green	5BG 5/2 Grayish Blue Green
5BG 4/6 Moderate Blue Green	5BG 3/2 Dusky Blue Green	5B 8/2 Very Pale Blue	5B 7/6 Light Blue	5B 6/2 Pale Blue	5B 5/6 Moderate Blue
5PB 7/2 Pale Blue	5PB 5/2 Grayish Blue	5PB 3/2 Dusky Blue	5P 6/2 Pale Purple	5P 4/2 Grayish Purple	5P 2/2 Very Dusky Purple

Munsell Color

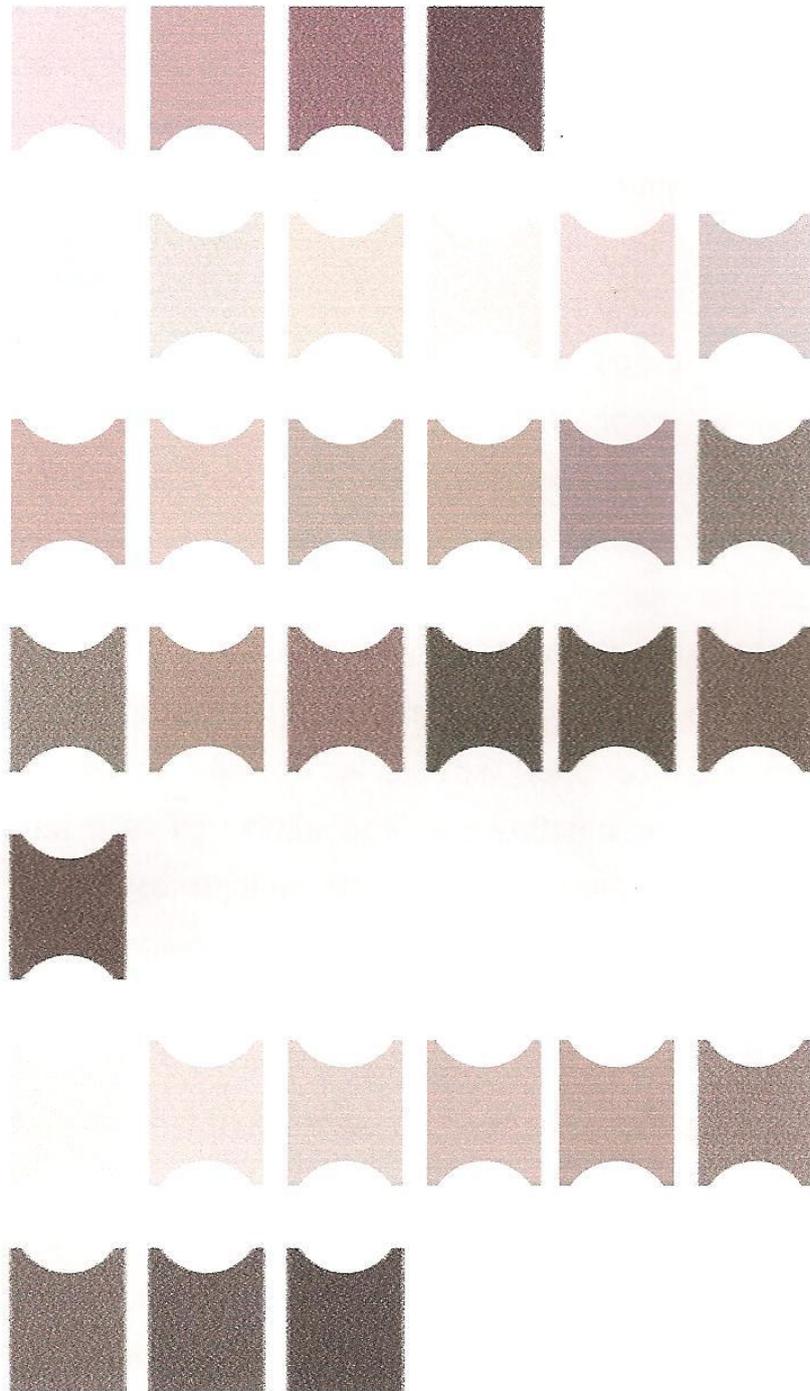
Rock-Color Chart
2009 Revision



5RP 8/2 Pale Pink	5RP 6/2 Pale Red Purple	5RP 4/2 Grayish Red Purple	5RP 2/2 Very Dusky Purple		
5B 9/1 Bluish White	5G 8/1 Light Greenish Gray	5GY 8/1 Light Greenish Gray	5Y 8/1 Yellowish Gray	5YR 8/1 Pinkish Gray	5B 7/1 Light Bluish Gray
5YR 6/1 Light Brownish Gray	5Y 6/1 Light Olive Gray	5G 6/1 Greenish Gray	5GY 6/1 Greenish Gray	5B 5/1 Medium Bluish Gray	5G 4/1 Dark Greenish Gray
5GY 4/1 Dark Greenish Gray	5Y 4/1 Olive Gray	5YR 4/1 Brownish Gray	5G 2/1 Greenish Black	5GY 2/1 Greenish Black	5Y 2/1 Olive Black
5YR 2/1 Brownish Black					
N9 White	N8 Very Light Gray	N7 Light Gray	N6 Medium Light Gray	N5 Medium Gray	N4 Medium Dark Gray
N3 Dark Gray	N2 Grayish Black	N1 Black			

Munsell Color

Rock-Color Chart
2009 Revision



ANEXO E

Gráficos de análise térmogravimétrico e termo diferencial da argila e das massas cerâmicas.

