



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM ARGAMASSAS EXPANSIVA PARA
LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

WANDENBERG BISMARCK COLAÇO LIMA

Campina Grande – PB
Agosto - 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM ARGAMASSAS EXPANSIVA PARA
LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Wandenberg Bismarck Colaço Lima

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientador: Prof. Hélio de Lucena Lira, Ph.D., UAEMa/UFCG

Orientador: Prof. Gelmires de Araújo Neves, Dr., UAEMa/UFCG

Campina Grande – PB

Agosto – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- L732i Lima, Wandenberg Bismarck Colaço.
 Incorporação de resíduos em argamassas expansiva para lavra de rochas ornamentais / Wandenberg Bismarck Colaço Lima. – Campina Grande, 2014.
 174 f. : il. color.
- Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.
- "Orientação: Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira, Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves".
- Referências.
1. Resíduos. 2. Argamassa Expansiva. 3. Rochas Ornamentais.
 4. Lavra. I. Lira, Hélio de Lucena. II. Neves, Gelires de Araújo. III. Título.

CDU 628.4(043)

A DEUS, aos meus queridos pais Geraldo Magela Lima e Geralda Colaço de Lima, a minha esposa Lúcia Aparecida Silva Lima, aos meus filhos Wandenberg Bismarck Colaço Lima Filho e Thayse Colaço Silva Lima, por tudo que representaram e representam na minha vida e a todos aqueles que acreditam na capacidade de sonhar e que lutam para que seus sonhos se tornem realidade,

Dedico.

VITAE DO CANDIDATO

- Engenheiro de Minas pela UFPB (1987);
- Especialização em Geologia de Jazidas UFPB (1989);
- Mestre em Ciência e Engenharia de Minas pela UFPB (1997).

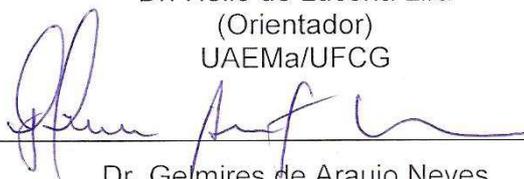
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM ARGAMASSAS EXPANSIVA PARA
LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

WANDENBERG BISMARCK COLAÇO LIMA

Tese Aprovada em 30/08/2014 pela banca examinadora constituída dos seguintes membros:



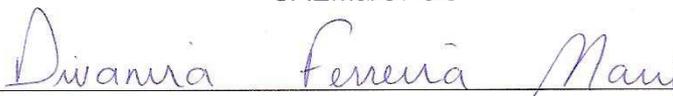
Dr. Hélio de Lucena Lira
(Orientador)
UAEMa/UFCG



Dr. Gelmires de Araujo Neves
(Orientador)
UAEMa/UFCG



Dr. Romualdo Rodrigues Menezes
(Examinador Interno)
UAEMa/UFCG



Dr.ª Divanira Ferreira Maia
(Examinadora Externa)
IFPB



Dr. Romulo Augusto Ventura
(Examinador Externo)
UATEC/UFCG



Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa
(Examinador Externo)
UEPB

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pela oportunidade da vida e do conhecimento, pela minha família, pelos meus amigos, enfim, por tudo. A Deus, toda honra e toda glória;

Aos meus pais, **Geraldo Magela Lima e Geralda Colaço de Lima**, por terem sido para mim o primeiro e determinante exemplo de amor, seriedade, dedicação e honestidade;

A minha esposa **Lúcia Aparecida Silva Lima** pela ajuda de vida e companheirismo, pelo amor, compreensão e tolerância;

Aos meus filhos **Wandenberg Bismarck Colaço Lima Filho e Thayse Colaço Lima** pelo incentivo, amor e compreensão;

Aos professores do **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais** pelos conhecimentos adquiridos em suas disciplinas;

Ao Prof. Dr. **Hélio de Lucena Lira**, meu orientador, sem o qual não seria possível a conclusão deste trabalho sem a sua ajuda e participação e, acima de tudo, pela amizade e pelo incentivo para que eu concluísse este trabalho;

Ao Prof. Dr. **Gelmires de Araújo Neves**, meu orientador, no qual não seria possível a conclusão deste trabalho sem a sua ajuda e participação e, acima de tudo, pela amizade e pelo incentivo para que eu concluísse este trabalho;

Aos bolsistas do Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG, em nome de **Juliana de Melo Cartaxo**, pela grande ajuda na execução do planejamento experimental;

Aos meus amigos professores e funcionários do **IFPB Campus Campina Grande**, pela parceria e incentivo colaborando sempre que possível com as minhas atividades administrativas e docência, para que eu tivesse mais tempo para me dedicar à minha Tese;

Às Minerações **FUJI S/A – Mármore e Granitos** no município de Campina Grande-PB, **AMARAL MINERAÇÃO LTDA** no município de Campina Grande-PB, **VALMOR PACHER LTDA** no município de Junco do Seridó-PB, **GRANFUJI Mármore e Granitos LTDA** no município de Campina Grande-PB e a Mineração **TOP-STONE** no município de Casserengue-PB.

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM ARGAMASSAS EXPANSIVA PARA LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

RESUMO

A indústria de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais vem sendo citadas pelos ambientalistas como uma grande fonte de contaminação e poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e que frequentemente são lançados diretamente nos ecossistemas. Por outro lado o emprego de argamassa expansiva para demolição e corte de rochas, vem sendo uma das mais procuradas tecnologias de corte utilizadas pelas indústrias extrativas, por suas inúmeras vantagens, ante outras tecnologias de corte utilizadas na lavra de rochas ornamentais. Assim o objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade da incorporação na argamassa expansiva de demolição de resíduos dos processos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais além do caulim e gesso. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização de duas argamassas expansivas comerciais dos resíduos gerados nos processos de lavra e beneficiamento do granito do caulim e do gesso, avaliando-se a influência do percentual de incorporação e da granulometria dos mesmos no desempenho da argamassa expansiva. Concluindo-se que é possível a incorporação do caulim, do gesso e dos resíduos do beneficiamento de granitos e do pó da perfuração do granito, como carga nas argamassas expansiva, sem perdas consideráveis da pressão de expansão, para utilização em corte de rochas na lavra de rochas ornamentais.

Palavras-chave: resíduos, argamassa expansiva, rochas ornamentais, lavra.

INCORPORATION OF RESIDUES IN EXPANSIVE MORTARS FOR ORNAMENTAL ROCK MINING

ABSTRACT

The mining industry and processing of ornamental rocks has been cited by environmentalists as a major source of contamination and pollution of the environment, due to the enormous amount of waste generated and which often are released directly in the ecosystems. On the other hand the use of expansive grout for demolition and cutting of rocks, has been one of the most sought after cutting technologies used by extractive industries, for its numerous advantages, compared to other cutting technologies used in the ornamental rock mining. So the aim of this work is to study the feasibility of incorporation into the expansive mortar demolition waste from mining processes and processing of ornamental rocks beyond the kaolin and gypsum. For both tests were carried out to characterize two expansive commercial mortars of waste generated in the processes of mining and processing kaolin and granite plaster, by evaluating the influence of percentage of incorporation and the granulometry of the same expansive mortar performance. In conclusion-if that is possible the incorporation of kaolin, gypsum and waste from processing of Granites and granite drilling dust, as cargo on the expansive mortar, without considerable losses of the expansion pressure for use in cutting of rocks in the ornamental rock mining.

Key words: Residues, expansive mortar, dimension stones, plowing.

PUBLICAÇÃO

- LIMA. W. B. C; LIRA, H. L; NEVES; G.A. Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. Campina Grande, submetido em agosto/2014

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	xi
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE TABELAS	xxii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES	xxiv
1 – INTRODUÇÃO	20
1.1 – Objetivos	21
1.1.1 – Objetivo Geral	21
1.1.2 – Objetivos Específicos	21
2. – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1- Rochas Ornamentais e de Revestimentos.....	23
2.2 – Metodologias de Lavra.....	23
2.3 – Tecnologias de Corte	25
2.4 – Produção Mundial e Mercado Internacional de Rochas Ornamentais	26
2.5. Estimativa de Produção e Consumo Interno	28
2.6. Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais	29
2.7. Argamassas Expansivas	32
2.7.1. Aplicações.....	34
2.7.2. Composição Química	39
2.7.3. Utilização em Campo	42
2.7.4. Mecanismo de Ruptura e Tempo de Reação.....	46
2.8. Matérias-primas e Resíduos Utilizados e Incorporados na Argamassa Expansiva.....	49
2.8.1. Caulim	49

2.8.1.1. Beneficiamento do Caulim	50
2.8.1.2. Impactos Ambientais	51
2.8.2. Gesso.....	53
2.8.3. Resíduo do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG)	55
2.8.4. Resíduo do Processo de Perfuração do Granito (RPPG)	56
2.8.4.1 Principais fontes produtoras.....	58
2.8.4.2 Definições de poeira.....	58
2.8.4.3 Classificação das poeiras.....	59
3. MATERIAS E MÉTODOS	61
3.1. Materiais.....	61
3.1.1 Resíduos	61
3.1.1.1 Caulim	61
3.1.1.2 Gesso.....	62
3.1.1.3 Resíduos do Processo de Beneficiamento de Granitos (RPBG).....	63
3.1.1.4 Resíduos do Processo de Perfuração de Granitos (RPPG).....	63
3.2 Métodos	64
3.3. Ensaio de Caracterização	65
3.3.1. Análise Química	66
3.3.2. Análises Térmicas (DTA e TGA)	66
3.3.3. Difração de Raios-X (DRX)	66
3.3.4. Distribuição do Tamanho de Partículas.....	67
3.3.5. Medição da Pressão de Expansão.....	67
3.3.6. Preparação das Amostras	70
3.3.6.1. Preparação das Amostras de Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana sem Adição de Resíduos	70
3.3.6.2. Preparação das Amostras de Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana com Adição de Resíduos	71

3.3.8. Execução do Ensaio.....	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.2. Caracterização das Argamassas Expansivas	74
4.2.1. Análise Química Argamassa Expansiva.....	74
(*) Perda ao fogo realizado à parte.	74
4.2.2. Difratomia de Raios-X (DRX) das Amostras das Argamassas Expansivas Chinesa (Chemshine) e Italiana (Fracta.Ag).....	75
4.2.3. Análise Granulométrica das Argamassas Expansivas Chinesa e Italiana.	78
4.3. Caracterização do Gesso.....	82
4.3.1. Análise Granulométrica.....	82
4.3.2. Análise Química do Gesso.....	83
4.3.3. Difratomia de Raios-X da Amostra de Gesso	83
4.4. Caracterização do Caulim.....	84
4.4.1. Análise Granulométrica do Caulim.....	84
4.4.2. Análise Química do Caulim.	85
4.4.3. Difratomia de Raios-X da Amostra de Caulim.....	86
4.5. Caracterização do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granitos (RPBG).	87
4.5.1. Análise Granulométrica.....	87
4.5.2. Análise Química do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito (RPBG).	88
4.5.3. Difratomia de Raios-X da Amostra do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito (RPBG).	89
Figura 34: Difrátograma de Raios X (DRX) da amostra do Resíduo do Beneficiamento de Granito.....	90
4.6. Caracterização do Resíduo do Processo de Perfuração dos Granitos (RPPG).	90

4.6.1. Análise Granulométrica	90
4.6.2. Análise Química do Resíduo do Processo de Perfuração do Granito. ...	92
4.6.3. Difratomia de Raios-X da Amostra do Resíduo do Processo de Perfuração de Granito.....	93
4.7. Medições da Pressão de Expansão das Argamassas Comerciais Chinesa (Chemshine) e Italiana (Fracta.Ag).	94
4.7.1. Argamassa Expansiva Chinesa (Chemshine)	94
4.7.2. Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag)	99
4.7.3. Comparativo do Desempenho da Pressão das Argamassas Expansivas Italiana (Fracta.Ag) e Chinesa (Chemshine).	104
4.8. Medições da Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana Adicionadas de Resíduos.	105
4.8.1. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduo de Caulim nas Proporções de 10%, 20% e 30%.	106
4.8.2. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduos de Gesso nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.	110
4.8.3. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduos do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG), Nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.	117
4.8.4. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada do Resíduo do Processo de Perfuração do Granito (RPPG) nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.	124
4.8.5. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag) Adicionada do Resíduo de Caulim nas Proporções de 10%, 20% e 30%.....	131
4.8.6. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag) Adicionada do Resíduo de Gesso nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.....	136

4.8.7. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana Adicionada de Resíduos do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG) nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% E 50%.	143
4.8.8. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana Adicionada de Resíduo do Processo de Perfuração de Granito (RPPG).	150
4.9. Comparação entre a Pressão de Expansão dos Resíduos Adicionados na Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana.	157
4.10. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria dos Resíduos Adicionados nas Argamassas Expansivas Chinesa e Italiana.	162
4.10.1. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria Resíduos Adicionadas da Argamassa Expansiva Chinesa.	162
4.10.2. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria Resíduos Adicionadas da Argamassa Expansiva Chinesa.	164
5. CONCLUSÕES.....	166
6. SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURAS	168
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resíduo do processo de beneficiamento de granito	20
Figura 2: Metodologias de lavra em rochas ornamentais.....	24
Figura 3: Principais tecnologias de corte utilizadas em rochas ornamentais ...	26
Figura 4: Abertura através de cunhas	33
Figura 5: Corte em granito através de argamassa expansiva. Granito “Amarelo Veneziano”. Notar sua pequena espessura com perda mínima de material....	34
Figura 6: Estrutura cristalina do óxido de cálcio e hidróxido de cálcio	40
Figura 7: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa expansiva (aumento de 1100X e metalização por carbono)	41
Figura 8: Furos preenchidos com argamassa expansiva.....	45
Figura 9: Mecanismos de ruptura da argamassa expansiva.....	49
Figura 10: Vista da área utilizada para depósito do resíduo gerado durante o processo de beneficiamento de caulim	53
Figura 11: Área de deposição de rejeito	62
Figura 12: Gesso adquirido no comércio local.	62
Figura 13: Deposição do resíduo do processo de beneficiamento de rochas ornamentais	63
Figura 14: Perfuração de rocha com geração de pó (resíduo).....	64
Figura 15: Fluxograma do procedimento experimental desenvolvido nesse trabalho	64
Figura 16: Máquina de ensaio de medição de Carga de expansão, utilizada nos ensaios desse trabalho	68
Figura 17: Molde e colocação da mistura	69
Figura 18: A esquerda recipiente com argamassa expansiva italiana “Fracta.Ag” pura preparada antes da expansão e a direita após expansão	70
Figura 19: A esquerda recipiente com argamassa expansiva italiana Fracta.Ag adicionada de resíduo de granito preparada antes da expansão e a direita após expansão	71
Figura 20: Ensaio preparado para execução, com análise de temperatura em um recipiente externo com argamassa expansiva	72

Figura 21: Difratoograma de Raios-X (DRX) da amostra da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)	75
Figura 22: Difratoograma de Raios-X (DRX) da amostra da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag).....	75
Figura 23: Curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TGA) da amostra da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag).....	76
Figura 24: Curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TGA) da amostra da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)	77
Figura 25: Distribuição granulométrica por peneiramento via seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine).....	79
Figura 26: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine).....	79
Figura 27: Distribuição granulométrica obtida por peneiramento via seca da amostra de argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)	81
Figura 28: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seca da amostra de argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)	81
Figura 29: Distribuição granulométrica por difração a laser da amostra de gesso	82
Figura 30: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra de gesso.....	84
Figura 31: Distribuição granulométrica por difração a laser da amostra de caulim.....	85
Figura 32: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra de caulim.....	87
Figura 33: Distribuição granulométrica por difração a laser amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos.....	88
Figura 34: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra do Resíduo do Beneficiamento de Granito.....	90
Figura 35: Distribuição granulométrica via peneiramento da amostra do resíduo do processo de perfuração dos granitos - RPBG.....	91
Figura 36: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seco da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito- RPBG.....	92
Figura 37: Difratoograma de raios X (DRX) da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito	94

Figura 38: Teste 1 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine) ..	95
Figura 39: Teste 2 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine) ..	96
Figura 40: Teste 3 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine) ..	97
Figura 41: Teste 4 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine) ..	98
Figura 42: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa (Chemshine).....	99
Figura 43: Teste 1 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)....	100
Figura 44: Teste 2 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)	101
Figura 45: Teste 3 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)....	102
Figura 46: Teste 4 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)....	103
Figura 47: Carga máxima dos testes realizados com argamassa italiana (Fracta.Ag)	104
Figura 48: Relação entre a pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana	105
Figura 49: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% de caulim	106
Figura 50: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% de caulim	107
Figura 51: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% de caulim	108
Figura 52: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo de caulim	109
Figura 53: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% de gesso	111
Figura 54: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% de gesso	112
Figura 55: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% de gesso	113
Figura 56: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% de gesso	114
Figura 57: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% de gesso	115

Figura 58: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de gesso	116
Figura 59: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% do resíduo do processo de beneficiamento de granito ...	118
Figura 60: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% resíduo do processo de beneficiamento de granito	119
Figura 61: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento de granito ...	120
Figura 62: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% do resíduo do processo de beneficiamento de granito ...	121
Figura 63: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% do resíduo do processo de beneficiamento de granito ...	122
Figura 64: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo do processo do beneficiamento do granito	123
Figura 65: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	125
Figura 66: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPPG)	126
Figura 67: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	127
Figura 68: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	128
Figura 69: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	129
Figura 70: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG).....	130
Figura 71: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo de caulim	132

Figura 72: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo de caulim	133
Figura 73: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo de caulim	134
Figura 74: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo de caulim	135
Figura 75: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo de gesso	137
Figura 76: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo de gesso	138
Figura 77: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo de gesso	139
Figura 78: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo de gesso	140
Figura 79: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo de gesso	141
Figura 80: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de gesso	142
Figura 81: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)	144
Figura 82: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)	145
Figura 83: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)	146
Figura 84: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)	147
Figura 85: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo do beneficiamento do granito (RPBG)	148

Figura 86: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo do processo do beneficiamento do granito (RPBG).....	149
Figura 87: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	151
Figura 88: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	152
Figura 89: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)..	153
Figura 90: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	154
Figura 91: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)	155
Figura 92: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG).....	156
Figura 93: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição das matérias-primas na proporção de 10%	158
Figura 94: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de matérias-primas na proporção de 20%	159
Figura 95: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 30%	160
Figura 96: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 40%	161
Figura 97: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 50%	162
Figura 98: Relação entre a pressão média máxima dos resíduos utilizados na argamassa expansiva chinesa e a granulometria	163
Figura 99: Relação entre a pressão média máxima dos resíduos utilizados na argamassa expansiva italiana e a granulometria	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Carga de rompimento de rochas comuns e sua comparação com concreto	37
Tabela 2: Composição química de argamassa expansiva	39
Tabela 3: Consumo estimado de argamassa expansiva por metro linear.....	43
Tabela 4: Composição química semiquantitativa obtida por fluorescência de Raios-X das amostras de argamassa expansiva utilizados nos ensaios.	74
Tabela 5: Análise granulométrica obtida por peneiramento a seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine).....	78
Tabela 6: Análise granulométrica obtida por peneiramento a seco da amostra de argamassa expansiva italiana (FRACTA.AG)	80
Tabela 7: Análise granulométrica por difração a laser da amostra de gesso ...	82
Tabela 8: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de gesso.....	83
Tabela 9: Análise granulométrica por difração a laser da amostra de caulim ..	84
Tabela 10: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de caulim.....	86
Tabela 11: Análise granulométrica por difração a laser da amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos.....	87
Tabela 12: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de resíduo do processo de beneficiamento do granito.....	89
Tabela 13: Análise granulométrica obtida por peneiramento da amostra do resíduo do processo de perfuração dos granitos.	91
Tabela 14: Composição química semiquantitativa obtida por fluorescência de Raios-X da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito	93
Tabela 15: Resultado das cargas média e máxima da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)	98
Tabela 16: Resultado das cargas e pressão da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)	103
Tabela 17: Resultado das pressões máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de caulim com granulometria de 21,10 μ m D(μ m) a 90%.....	110

Tabela 18: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de gesso com granulometria de 17,97 μm D(μm) a 90%.....	117
Tabela 19: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa (Chemshine) adicionada do resíduo do processo de beneficiamento de granito com granulometria de 60,43 μm D(μm) a 90%.	124
Tabela 20: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa (Chemshine) adicionada do resíduo do processo de perfuração de granito com granulometria de 73,17 μm D(μm) a 90%	131
Tabela 21: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de caulim com granulometria de 21,10 μm D(μm) a 90%.....	136
Tabela 22: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada de gesso com granulometria de 17,97 μm D(μm) a 90%.....	143
Tabela 23: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada do resíduo do processo de beneficiamento de granito com granulometria de 60,43 μm D(μm) a 90%.	150
Tabela 24: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada do resíduo do processo de perfuração do granito com granulometria de 73,17 μm D(μm) a 90%.....	157
Tabela 25: Relação entre pressão média máxima de expansão e a granulometria dos resíduos adicionados a argamassa expansiva chinesa....	163
Tabela 26: Relação entre pressão média máxima de expansão e a granulometria dos resíduos adicionados a argamassa expansiva italiana.....	165

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

\bar{X}	Valor Médio
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
AEC	Argamassa Expansiva Chinesa
AEI	Argamassa Expansiva Italiana
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
cm ²	Centímetro quadrado
d	Diâmetro do furo do molde (cm)
DRX	Difratometria de Raios-X
DTA	Análise Térmica Diferencial (Differential Thermal Analysis)
F	Força gerada pela argamassa expansiva (Kgf)
FRX	Fluorescência de Raios-X
kgf	Quilograma-força
MME	Ministério das Minas e Energia
P	Pressão gerada pela argamassa expansiva (Kgf/cm ²)
RPBG	Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito
RPPG	Resíduo do Processo de Perfuração de Granito
TGA	Análise Termogravimétrica
σ	Desvio padrão

1 – INTRODUÇÃO

A indústria de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais vem sendo citadas pelos ambientalistas como uma grande fonte de contaminação e poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e que frequentemente são lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes poluentes.

Os impactos ambientais causados pelas empresas mineradoras do setor de rochas ornamentais são inicialmente os gerados na fase da pesquisa mineral com o desmatamento e a retirada de amostras, causando fortes impactos a fauna e a flora. Em uma segunda fase, o impacto ambiental gerado na fase de exploração com a abertura e funcionamento das frentes de lavra, gerando um elevado volume de resíduos que frequentemente, são depositados em locais inadequados. E por fim o impacto gerado sob a forma de uma polpa abrasiva resultante do desdobramento dos blocos em chapas ou ladrilhos. A Figura 1 ilustra o resíduo gerado no processo de serragem dos blocos.

Figura 1: Resíduo do processo de beneficiamento de granito



Fonte: própria (2013).

A incorporação de resíduos principalmente do processo de perfuração da rocha nas argamassas expansivas de demolição usadas na lavra de rochas ornamentais já se tornou algo normal, relatos de funcionários das pedreiras afirmam que são incorporados de 30 a 50% destes resíduos no peso total da

argamassa, esta prática é realizada na maioria das pedreiras tendo como o objetivo principal reduzir os custos sem perdas no processo de extração (informação verbal)¹.

Segundo a empresa de mineração Amaral Mineração Ltda., o consumo médio mensal de argamassa expansiva utilizada na pedreira de rochas ornamentais, localizada no município de Equador/RN, é de aproximadamente 1200 kg ao preço de R\$ 2,50 o quilo (comunicação verbal)².

Desta forma, pretende-se criar alternativas para a utilização dos minerais de caulim e gesso e dos resíduos gerados do processo de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais.

1.1 – Objetivos

1.1.1 – Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho consiste em estudar o comportamento da pressão de expansão das argamassas expansivas comerciais utilizadas na lavra de rochas ornamentais, ao se incorporar os produtos e subprodutos gerados pela indústria mineral em suas várias atividades e etapas. Tais como: o caulim gerados pelas empresas de decantação localizadas no município de Junco do Seridó-Pb, do gesso utilizado na indústria de construção civil, do resíduo gerado pelo processo de beneficiamento de rochas ornamentais e do resíduo gerado pelo processo de perfuração de granitos, visando a redução dos custos de extração na lavra de rochas ornamentais e a redução dos impactos ambientais com a reutilização dos resíduos gerados pela indústria mineral.

1.1.2 – Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar física, química e mineralogicamente o caulim o gesso e os resíduos dos processos de beneficiamento de granitos e do pó gerado no processo de perfuração de granitos;

¹ Informações adquiridas ao longo da minha experiência profissional e em conversa com encarregados de pedreiras ligadas a extração de rochas ornamentais.

² Informação repassada verbalmente pelo gerente da empresa Amaral Mineração Ltda.

- ✓ Caracterizar física, química e mineralogicamente as argamassas expansivas importadas de fabricantes da Itália e da China;
- ✓ Determinar as proporções de misturas de argamassa expansiva mais matérias-primas para chegar-se a uma composição que mantenha o objetivo final que é o rompimento da rocha;
- ✓ Realizar ensaios para medição da pressão de expansão das várias composições das argamassas expansivas incorporadas com os matérias estudados.

2. – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1- Rochas Ornamentais e de Revestimentos

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, entre outros (MME/Brasil, 2009).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são classificadas como granitos e mármore. Como granitos enquadram-se genericamente as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam as rochas carbonáticas. Outros tipos litológicos, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também são muito importantes para o setor (MME/Brasil, 2009).

2.2 – Metodologias de Lavra

Segundo CARUSO (2006), dentro do planejamento global de um projeto, o método de lavra define a melhor sequência dos trabalhos segundo a qual a jazida será subdividida em volumes predeterminados, de modo a seguir uma ordem funcional de exploração. Dessa forma, a escolha e a aplicação de um determinado método de lavra para uma jazida permitem, em qualquer fase do seu desenvolvimento, a visualização e a definição da geometria espacial da mina, em todas as suas etapas, bem como as primeiras operações e a definição do volume, a ser extraído para, em seguida, determinar a sequência de remoção que otimize os trabalhos de exploração.

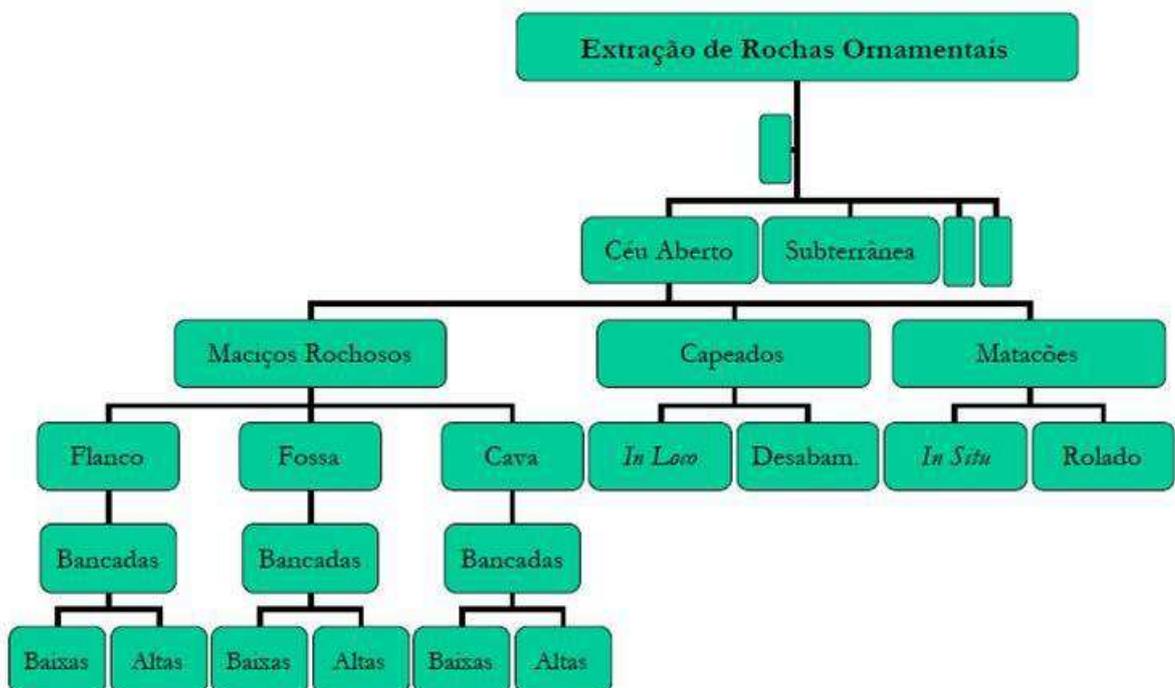
Segundo o autor citado anteriormente, o método de lavra indica as modalidades de extração para um determinado volume de material. A escolha do

método é definida em função da morfologia dos afloramentos, dos volumes da reserva mineral, da análise do plano estrutural da jazida, do seu estado de fraturamento, da localização geográfica da área e das características intrínsecas do material e por tais razões é que, atualmente, as pedreiras de rochas ornamentais são classificadas segundo dois aspectos básicos: fisiográfico e técnico.

Ainda de acordo com o autor já citado, sob ponto de vista fisiográfico, as pedreiras são classificadas em duas categorias: pedreiras de planície e de colina ou relevo. As pedreiras em planície são subdivididas em dois tipos: do tipo fossa ou poço. As pedreiras em colina, também são subdivididas em três tipos: pé de encosta, meia encosta e de topo.

Atualmente, os principais métodos de lavra utilizados estão diretamente associados à forma de ocorrência e a morfologia das jazidas. Assim sendo pode-se classificar o método em dois tipos: lavra em matacões e maciços rochosos, conforme Figura 2.

Figura 2: Metodologias de lavra em rochas ornamentais



Fonte: CARANASSIOS (2004)

Deve-se notar que os métodos de lavra e suas variações podem ser alterados durante a evolução da extração à medida que suas feições topográficas e geológicas variam durante as fases de exploração.

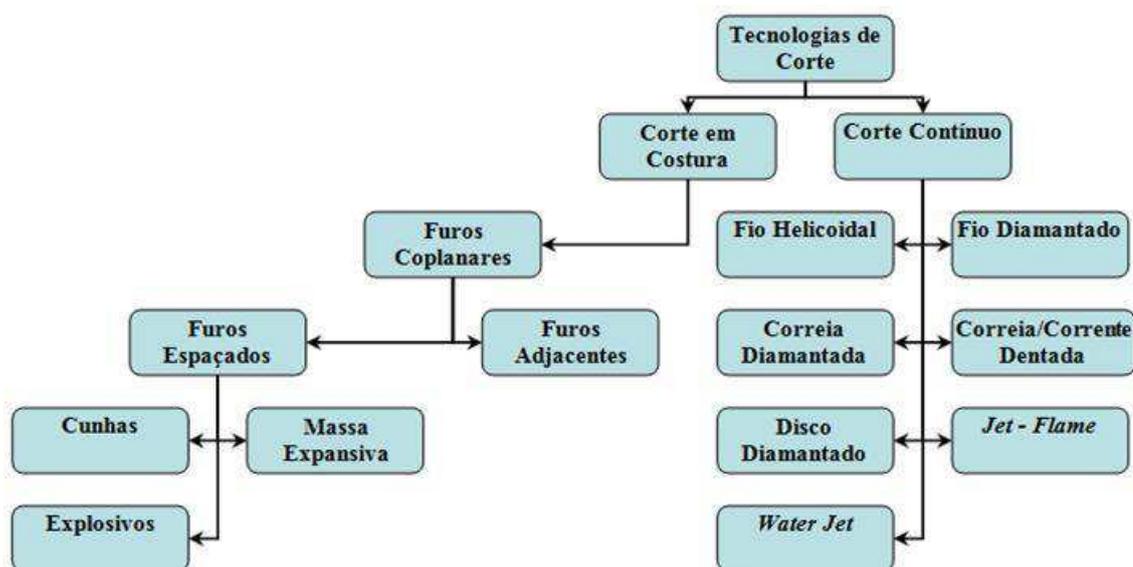
2.3 – Tecnologias de Corte

A escolha de uma determinada técnica de corte para o desmonte de rochas ornamentais está diretamente ligada às características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas da jazida. Também são levados em consideração parâmetros econômicos inerentes ao tipo e valor comercial do material, escala de produção e dimensão dos blocos, (CHIODI 1995; CARANASSIOS 1996; CARUSO 1996).

As técnicas de corte atualmente utilizadas estão subdivididas em duas modalidades: corte em costura e corte contínuo, sendo que sua utilização depende do tipo geral de rocha (mármore ou granito). No caso do mármore, por se tratar de uma rocha carbonática, de baixa dureza, utiliza-se o corte contínuo. Já nos granitos, por ser uma rocha ácida, com elevadas porcentagens de quartzo, o que as torna mais abrasivas, a técnica mais difundida é a de corte em costura. Atualmente, com o desenvolvimento de novas tecnologias já é possível a utilização da técnica de corte contínuo com fio, em rochas graníticas com baixa porcentagem de quartzo, (CHIODI 1995; CARANASSIOS 1996; CARUSO 1996).

A seguir serão discutidas as principais técnicas de corte atualmente utilizadas, bem como suas principais características. (Figura 3).

Figura 3: Principais tecnologias de corte utilizadas em rochas ornamentais



Fonte: própria (2013).

2.4 – Produção Mundial e Mercado Internacional de Rochas Ornamentais

A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 milhão t/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 123,5 milhões de toneladas por ano. Cerca de 52 milhões de toneladas de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2012. O notável crescimento do intercâmbio mundial caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como a “nova idade da pedra” e o próprio setor de rochas como uma das mais importantes áreas emergentes de negócios mínero-industriais. Em âmbito mundial, estima-se que o setor de rochas esteja, atualmente, movimentando transações comerciais de US\$ 120 bilhões por ano. (ABIROCHAS, 2013).

A década de 2000, pelo menos até 2008, foi marcada pela multiplicação de feiras setoriais internacionais, pela modernização das tecnologias de lavra, beneficiamento e acabamento, pela diversificação dos produtos comerciais e da carteira de rochas comercializadas, pela bolha de consumo no mercado dos EUA e pela notável expansão chinesa no mercado internacional. (ABIROCHAS, 2013).

Com o estouro da bolha imobiliária norte-americana e instalação da crise econômica mundial, a partir de meados de 2008, promoveu-se um novo cenário,

delineado pelo forte enxugamento do crédito, acirramento da concorrência entre os exportadores e aumento da pressão de oferta dos grandes produtores. Este cenário negativo mostrou sinais de recuperação ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012, pelo incremento lento, mas consistente, do mercado de reformas residenciais dos EUA e do mercado imobiliário chinês, apesar da persistência da crise econômica mundial. (ABIROCHAS, 2013).

Uma condicionante setorial relevante está sendo orientada pelo, cada vez mais intenso, controle ambiental das atividades produtivas, determinando a necessidade de conservação de energia e otimização das matérias-primas. Cresce, assim, a oferta e demanda de tecnologias limpas para atividades extrativas e industriais; a elaboração de chapas mais delgadas para revestimentos em geral; e a oferta de materiais artificiais aglomerados, neste caso importante para o aproveitamento de resíduos e melhoria dos índices de recuperação na lavra e beneficiamento. (ABIROCHAS, 2013).

As projeções de consumo, produção e intercâmbio mundial das matérias-primas da construção civil, não apontam mudanças de paradigmas, sugerindo a manutenção da tendência de crescimento da demanda dos materiais rochosos naturais e artificiais para revestimento. Estima-se que no ano de 2020, a produção mundial de rochas ornamentais ultrapassará a casa dos 180 milhões de toneladas, correspondentes a quase dois bilhões de metros quadrados equivalentes por ano, devendo-se ainda ter incremento de 35% no volume físico das atuais transações internacionais (ABIROCHAS, 2013).

A produção mundial estimada de rochas ornamentais, no ano de 2012, totalizou 123,5 milhões de toneladas, correspondentes a cerca de 43 milhões de metros cúbicos ou 1,35 bilhões de metros quadrados equivalentes de chapas com dois centímetros de espessura. Esta produção envolveu 72,25 milhões de toneladas (58,5%) de rochas carbonáticas, 45,75 milhões de toneladas (37,0%) de rochas silicáticas e 5,5 milhões de toneladas (4,5%) de ardósias e outras rochas xistosas. (ABIROCHAS, 2013).

Como resultado do desenvolvimento de tecnologias mais adequadas para lavra e beneficiamento de materiais duros, a participação das rochas silicáticas no total da produção evoluiu de 10%, na década de 1920, para um patamar atual de

quase 40%. Um dos principais responsáveis por esse crescimento foi sem dúvida o Brasil, que a partir da década de 1980 colocou centenas de novos granitos no mercado internacional. (ABIROCHAS, 2013).

A China foi a maior produtora mundial em 2012, com 38,0 milhões de toneladas. Além disso, já desde o final da década de 1990, a China tornou-se a maior exportadora de rochas processadas e a maior importadora de rochas brutas. O segundo maior produtor mundial é a Índia, com 17,5 milhões de toneladas em 2012. Seguem, com uma produção ao redor de 9,0-11,0 milhões de toneladas, a Turquia e o Brasil. (ABIROCHAS, 2013).

Ao longo da década de 2000, cresceu significativamente a produção de países extra europeus, caso da China, Índia, Irã, Turquia e Brasil, enquanto permaneceu inalterada, ou até com leve declínio, a produção dos *players* europeus tradicionais, como a Itália, Espanha, Portugal e Grécia. O crescimento mais expressivo foi o da China, cuja produção evoluiu de 14,0 milhões de toneladas, em 2002, para os referidos 38,0 milhões de toneladas em 2012. (ABIROCHAS, 2013).

2.5. Estimativa de Produção e Consumo Interno

Considerando os dados referentes às exportações e importações, bem como alguns indicadores baseados no crescimento do PIB, no desempenho da construção civil e em informações de mineradores, serradores, marmoristas e entidades regionais do setor, estima-se que a produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento tenha atingido o patamar de 10,5 milhões de toneladas em 2013, com incremento de 13% frente a 2012. Do total da produção, cerca de 3,6 milhões de toneladas (34,3%) foram destinadas ao atendimento do mercado externo e 6,9 milhões de toneladas (65,7%) ao atendimento do mercado interno. (ABIROCHAS, 2014).

As rochas silicáticas, envolvendo granitos e materiais afins, representam quase 50% do total da produção brasileira, seguindo-se os mármore e travertinos, com cerca de 19%, além de quartzitos maciços e foliados, ardósias e outros. Mais de 60% dessa produção está concentrada na Região Sudeste,

principalmente no Espírito Santo e Minas Gerais, seguindo-se a Região Nordeste com 25% e as demais regiões brasileiras com 10%. (ABIROCHAS, 2014).

Novamente analisando-se a produção, exportações e importações brasileiras de rochas, estima-se que o consumo interno aparente tenha totalizado 78 milhões m² equivalentes, em chapas com 2 cm de espessura. Desse total, estima-se que 2,4 milhões m² de materiais naturais e aglomerados tenham sido importados e que 35,1 milhões m² correspondam a granitos e rochas afins. O Estado de São Paulo responde por 45% do total do consumo interno brasileiro, atingindo-se 68% para a Região Sudeste. (ABIROCHAS, 2014).

O consumo *per capita* de rochas de revestimento no Brasil evoluiu de 15 kg em 2007 para pouco mais de 21 kg em 2012 e 2013. As ilustrações apresentadas ao final do texto mostram o desempenho geral do setor de rochas em 2013, com referências às suas exportações, importações, produção e consumo interno. (ABIROCHAS, 2014).

2.6. Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais

a) Exportações

No ano de 2013, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 1.302,11 milhões, correspondentes a um volume físico comercializado de 2.725.628,78 toneladas. As rochas processadas compuseram 76,9% do faturamento e 47% do volume físico dessas exportações, tendo-se as rochas brutas com respectivamente 23,1% e 53,0%. (ABIROCHAS, 2014).

Frente ao ano de 2012, registrou-se variação positiva de 22,8% no faturamento e de 21,8% no volume físico das exportações. Com essas taxas de incremento, as exportações de 2013 superaram o recorde histórico de 2007 (US\$ 1,1 bilhão), reafirmando a forte presença brasileira no mercado internacional e especialmente nos EUA e China. (ABIROCHAS, 2014).

Os incrementos mais expressivos em volume físico, mesmo sobre uma base ainda pouco elevada, foram aqueles das chapas de mármore (+133,0% pela posição 6802.91.00) e dos blocos de rochas quartzíticas (+64,4% pela posição 2506.20.00), que passaram assim a constituir itens também relevantes na pauta

das exportações. Os incrementos de maior importância para os resultados alcançados foram das chapas de granitos e similares (+26,3% pela posição 6802.93.00) e dos blocos dessas rochas (+24,4% para posição 2516.12.00). (ABIROCHAS, 2014).

Contabilizando as posições fiscais utilizadas, bem como observando os materiais geológicos e produtos comerciais envolvidos, estima-se que foram exportadas cerca de 1,1 milhões de toneladas de chapas de granitos sensu lato, quartzitos em geral e pedra-sabão; 11.000t de chapas de mármore; 105.000t de produtos de ardósia, envolvendo telhas, lajotas e lajões (chapas); 40.000t de produtos de quartzito foliado, envolvendo lajotas, cacos/cavacos, filetes e pavês; 1,4 milhões de toneladas de blocos de granitos sensu lato; 25.000 t de blocos de rochas quartzíticas maciças; e, 12.000t de blocos de mármore. (ABIROCHAS, 2014).

Não é possível avaliar as exportações de produtos acabados de granitos, mármore e outras rochas extraídas em blocos, bem como de pedra-sabão, pela falta de especificidade dos códigos fiscais existentes. As chapas em geral representaram pelo menos 70% do total do faturamento e 40% do total do volume físico das exportações, sendo assim caracterizadas como o melhor produto brasileiro no mercado internacional. Estima-se que essas exportações de chapas tenham atingido 21 milhões m² equivalentes, com 2 cm de espessura, em 2013, o que representa incremento de 27% frente a 2012. (ABIROCHAS, 2014).

A exemplo do que foi registrado em 2012, continuaram declinantes as exportações de ardósias e quartzitos foliados. As vendas de ardósias ficaram abaixo dos US\$ 50 milhões e representaram menos de 4% do total das exportações do setor. Para os produtos de quartzitos foliados foi registrada uma queda de 43,3% no faturamento e uma participação de apenas 1% nas exportações totais brasileiras.

Todas as exportações mensais de 2013, exceto de março, foram superiores às de 2012, ultrapassando em oito oportunidades a marca de US\$ 100 milhões. O maior valor exportado ocorreu no mês de abril, com US\$ 126,5 milhões. (ABIROCHAS, 2014).

Da mesma forma, apenas em março de 2013 o volume físico das exportações foi inferior ao do mesmo período de 2012. O maior volume exportado aconteceu no mês de agosto, com 300.200 t, quando se superou o limite presumido de nossa capacidade logística instalada (250-270 mil t/mês). (ABIROCHAS, 2014).

As exportações para os EUA somaram US\$ 770,73 milhões e representaram 59,3% do total do faturamento das exportações brasileiras, incluindo mais de 17 milhões m² equivalentes de chapas, com 2 cm de espessura. Para a China exportou-se US\$ 184,62 milhões, que representaram 14,12% do total das exportações. O volume físico das exportações brasileiras para a China (1.028.599,63t) é, no entanto, superior ao dos EUA (941.221,45t). (ABIROCHAS, 2014).

b) Importações

As importações brasileiras de materiais rochosos naturais para ornamentação e revestimento somaram US\$ 69,6 milhões e 109.210t em 2013, marcando incremento de respectivamente 14,33% e 10,33% frente a 2012. Chapas e lajotas de rochas carbonáticas diversas (mármore, travertino e calcários/limestones) compuseram mais de 70% do total dessas importações. (ABIROCHAS, 2014).

As importações de materiais rochosos artificiais somaram, por sua vez, US\$ 51,9 milhões e 52.200t, com variação positiva de 9,2% em valor e negativa de 13,5% em peso. Esses quantitativos não incluem as importações efetuadas pela posição 6810.91.00, que parece também abranger placas de materiais rochosos artificiais de revestimento. (ABIROCHAS, 2014).

A participação do faturamento das exportações de rochas, no total das exportações brasileiras (US\$ 242.178,65 milhões) foi de 0,54% em 2013. O saldo da balança comercial do setor de rochas, considerando exportações de US\$ 1.302,11 milhões e importações de US\$ 69,64 milhões, em materiais rochosos naturais, foi de US\$ 1.232,47 milhões em 2013. A participação ou contribuição do saldo comercial de rochas no saldo das exportações totais brasileiras (US\$ 2.557,74 milhões) foi, portanto, de 48,2%. (ABIROCHAS, 2014).

Para cada US\$ 1,00, importado pelo Brasil em 2013, foram exportados apenas US\$ 1,01. No setor de rochas, para cada US\$ 1,00 importado, exportou-se US\$ 18,70.

O preço médio das exportações gerais brasileiras foi de US\$ 433,60/t, enquanto das importações foi de US\$ 1.501,60/t. O preço médio das exportações brasileiras de rochas foi de US\$ 477,70/t, enquanto o das importações foi de US\$ 637,70/t. Assim, o preço médio das importações gerais brasileiras foi 3,5 vezes superior ao das exportações, enquanto no setor de rochas o preço médio das importações foi apenas 1,3 vezes superior ao das exportações. (ABIROCHAS, 2014).

2.7. Argamassas Expansivas

Chama-se argamassa à mistura feita com pelo menos um aglomerante, agregados e água. O aglomerante pode ser a cal, o cimento ou o gesso. O agregado mais comum é a areia, embora possa ser utilizado o pó de pedra.

Segundo BUENO (1996), argamassa é uma mistura de cal, areia, água e cimento. Na construção civil, as argamassas são empregadas para assentar tijolos, blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicos e tacos de madeira; Impermeabilizar superfícies; regularizar paredes, pisos e tetos; dar acabamento às superfícies (liso, áspero, rugoso, texturizado etc.).

Além destas, ainda temos argamassas com finalidades diferenciadas, como, por exemplo, às argamassas expansivas, as argamassas estruturais, para encunhamento e de proteção radiológica. Estas têm características diferenciadas para cada aplicação, variando assim a sua composição química para atender as demandas específicas de cada aplicação.

Segundo (HUYNH & LAEFER, 2009), a argamassa expansiva começou a ser comercializada na década de 70, entretanto, ela foi citada já em 1890 por Candlot e Michaelis na investigação da etringita no cimento. A produção intencional iniciou-se em 1930 com Henri Lossier na França. Nos 20 anos seguintes, Lossier concluiu que a argamassa expansiva ideal seria composta de cimento Portland, um componente expansivo e resíduos calcinados. Depois disso,

na década de 80, foram executados vários estudos referentes à composição química das argamassas expansivas.

No caso específico da argamassa expansiva utilizada para desmonte, tem-se uma mistura de cal, normalmente em torno de 60%, com outros agentes minerais como óxido de alumínio, óxido de ferro, sílica e orgânicos, tanto como cargas inertes, como ativas no retardo da reação de hidratação da cal. (ROGERTEC, 2005).

A argamassa expansiva se apresenta como um pó cinza ou branco, com densidade de 3,2kg/l, inodoro e com área específica em torno de 3000 cm²/g. É praticamente insolúvel em água e tem ponto de fusão acima de 1000 °C. Por ser altamente alcalino, (pH em torno de 13 em uma solução de 10g/l de H₂O) é considerado um material corrosivo (ROGERTEC, 2005). Estes valores variam levemente de acordo com o fabricante da argamassa e da faixa de temperatura para a qual foi projetada.

Seu princípio de funcionamento é similar ao da abertura por cunhas mostradas na Figura 4.

Figura 4: Abertura através de cunhas



Fonte: SPLIT-AG - MASSA EXPANSIVA (2009)

O contato com a água provoca uma reação do óxido de cálcio com a água, originando hidróxido de cálcio, com um aumento de volume de 96% e com geração de calor. Esta alteração volumétrica é a responsável pela carga originada na expansão da argamassa. Seu princípio de funcionamento é similar ao da

abertura por cunhas, distinguindo-se deste método pela substituição das cunhas por uma argamassa expansiva. A resposta ao corte pode ser observada na Figura 5, se deve notar sua pequena espessura com perda mínima de material. (ROCHAS DE QUALIDADE, 1999).

Figura 5: Corte em granito através de argamassa expansiva. Granito "Amarelo Veneziano". Notar sua pequena espessura com perda mínima de material



Fonte: CHIMICA EDILE (2014)

2.7.1. Aplicações

Pode-se utilizar a argamassa expansiva sobre qualquer formação rochosa, obra de concreto, de concreto armado, tijolos, e para os trabalhos que seguem (CHIMICA EDILE DO BRASIL, 2014).

- ✓ Escavação de fundações;
- ✓ Nivelamento de rochas para os trabalhos rodoviários;
- ✓ Escavação de valas para instalação de canalizações;
- ✓ Escavações subterrâneas;
- ✓ Escavações marítimas, mesmo submarinas;
- ✓ Eliminações de blocos de pedra;
- ✓ Demolição de pilares, de vigas, de paredes e outros de cimento ou de concreto armado;
- ✓ Demolição de obras de tijolos ou de tijolos refratários.

A aplicação mais extensiva da argamassa expansiva no Brasil além da construção civil, por se tratar de um agente demolidor de alta segurança e não explosivo está diretamente relacionada com a extração de rochas ornamentais. A principal vantagem do uso da argamassa expansiva para este fim é o controle do corte no maciço rochoso, além deste controle preciso, têm-se poucas fissuras fora da zona de corte, o que aumenta a quantidade e melhoram qualidade da matéria-prima produzida, parâmetros cruciais na exploração de rochas ornamentais (CAIMEX, 2013).

Segundo (MENEZES, 2005), o mercado internacional tem dado uma crescente importância às rochas ornamentais, particularmente aos mármore e granitos. As aplicações destas rochas são as mais variadas, indo desde a própria ornamentação até a construção civil. Conseqüentemente, têm-se observado crescentes investimentos em tecnologia aplicada à extração e manipulação destes minerais.

Ainda segundo (MENEZES, 2005), na cadeia produtiva das rochas ornamentais são consideradas como suas etapas essenciais, a lavra e o beneficiamento, representando este último um importante estágio do ponto de vista econômico, não apenas por agregar valor aos produtos pétreos, mas também por proporcionar a verticalização das empresas produtoras e estímulo à expansão do parque fabril de apoio, notadamente em investimentos na diversificação e aperfeiçoamento tecnológico de seus produtos e qualificação da mão de obra. O beneficiamento compreende basicamente a serragem de blocos de rocha bruta e, eventualmente, placas rústicas, para a produção de chapas, o acabamento de suas superfícies e a formatação de peças, padronizadas ou não.

Come descreve (MENEZES, 2005), a fase de lavra é o pilar da cadeia produtiva das rochas ornamentais, compreendendo as metodologias empregadas no desenvolvimento físico das jazidas e as técnicas de liberação de blocos de rocha, tanto para o isolamento de volumes primários e secundários como no seu esquadreamento.

Segundo (MENEZES, 2005), os principais métodos de lavra de rochas ornamentais são as por bancadas, por painéis verticais, por desmoronamento, seletiva, de matacões e lavra subterrânea. Os métodos de lavra no Brasil, em sua

quase totalidade, são desenvolvidos a céu aberto. No caso das lavras a céu aberto, dependendo da localização das frentes de retirada de material em relação à topografia do maciço, elas podem ser classificadas em pedreiras em flancos de encosta, em fossa e em poço, as duas últimas genericamente também chamadas de pedreiras em cava (MENEZES, 2005).

Atualmente, a maioria das lavras no Brasil ainda utiliza técnicas tradicionais, como o *flame jet* e perfurações com cunhas e explosivos, devido principalmente a seus baixos custos, versatilidade e fácil manejo operacional, a despeito dos seus vários inconvenientes. (MENEZES, 2005).

Entretanto, fatores como a menor produtividade e qualidade inferior das faces de corte, ou, como no caso dos explosivos e maçarico, problemas também relacionados à integridade físico-mecânica das rochas acarretando grande quantidade de rejeitos, com reflexos negativos para o meio ambiente, têm motivado uma progressiva tendência de sua substituição por métodos com melhor relação custo x benefício, que refletem maior taxa de recuperação e qualificação dos produtos, além de impacto mínimo à paisagem e a segurança do trabalho, como o fio diamantado e as argamassas, por exemplo. Esta última, especificamente, vem se tornando uma opção mais viável com emprego crescente nas operações de corte, justificada pela facilidade de operação, produtividade e baixo custo, além de ser uma técnica limpa, sem agressões ao meio ambiente e inofensiva para seus manuseadores (MENEZES, 2005).

A incorporação de resíduos nas argamassas expansivas de demolição na abertura de bancadas no processo de lavra de rochas ornamentais é um processo recorrente com relatos de incorporação de até 50% do peso. Esta prática é realizada na maioria das pedreiras com o objetivo principal de reduzir-se os custos sem perda do processo. Há relatos também de se adicionar mais ou menos água a mistura sem observarem-se as especificações dos fabricantes, com o objetivo de aumentar ou reduzir o tempo de reação e com isso, interferir no tempo de rompimento da rocha.

A argamassa expansiva é um produto utilizado em larga escala em pedreiras de granito e mármore para corte de rocha. Seu efeito expansivo de 7000 ton/m² resulta em corte linear, sem a necessidade de uso de explosivos,

rompedores, cunhas, fios diamantados ou outros métodos de corte. A força necessária para o desmonte de rochas ornamentais comuns está mostrada na Tabela 1. Como se pode observar, a argamassa se qualifica para o desmonte de qualquer uma destas rochas. Seu alto poder expansivo permite cortes na vertical e horizontal, em blocos soltos, em bancadas ou em pranchas.

Tabela 1 Carga de rompimento de rochas comuns e sua comparação com concreto

MATERIAL	CARGA DE ROMPIMENTO (t/m ³)
Granitos	150
Concreto	300
Arenitos	750
Dolomitos	1000
Calcários	1200
Mármore	1400
Gnaisses	1800

Fonte: modificado de ROGERTEC (2005)

Grandes produtores de rochas ornamentais no Brasil já utilizam argamassa expansiva com grande aumento de produção e melhor custo/benefício. Além disto, a argamassa é muito utilizada para desmonte de rocha em áreas urbanas, onde o uso do explosivo é proibitivo. Também é largamente utilizada em rompimento de concreto para obras civis, corte de pilares, pontes, valas, vigas etc.

O custo da argamassa expansiva é outro fator limitante ao seu uso extensivo, sendo ainda agravado pela necessidade de importação, já que não se tem uma argamassa expansiva nacional em produção comercial. Neste sentido, tem sido crescente o interesse em pesquisas para melhor aproveitamento do uso da argamassa e, no caso do Brasil, no desenvolvimento de uma argamassa nacional com um custo mais compatível com a realidade do país. (CHIMICAEDILE, 2014)

Os outros métodos comumente usados para cortes de blocos de grandes dimensões com um aproveitamento adequado da rocha são o corte com maçarico, fio diamantado, fio helicoidal e explosivos. Cada um destes com vantagens e desvantagens, sejam energéticas e da demanda de operadores

qualificados no caso de fio adiantado e fio helicoidal ou de restrições ambientais como barulho e segurança no caso de explosivos.

As vantagens de seu emprego, citadas nos catálogos (por exemplo, das argamassas (CHIMICAEDILE, 2014) em relação ao uso de explosivos, são:

- ✓ Não requer permissão especial para seu manejo;
- ✓ Não há vibrações, explosões ou emissão de gases;
- ✓ Não há poluição acústica;
- ✓ Obtém-se ganho de recuperação, pois há minimização de micro-fissuras interiores ao maciço.

O principal fator limitante ao uso extensivo da argamassa expansiva é o seu custo. No Brasil, temos apenas um fabricante de argamassa expansiva, sendo, ainda assim, de origem e formulação italiana, com toda a matéria-prima importada (SOUSA, 2007).

Além da aplicação em rochas, a argamassa expansiva também é amplamente utilizada em demolição e corte de concreto. Neste campo, a argamassa também apresenta uma série de vantagens amplamente desejadas, como a menor emissão de poeira, e, principalmente, a menor poluição sonora, característica fundamental para determinadas situações urbanas.

As principais empresas que fabricam argamassas expansivas estão situadas na Itália e Espanha, por isso nesses países o seu uso é mais acentuado. O Brasil importa principalmente desses dois países, cerca de 110 toneladas por mês de argamassa expansiva, gerando um déficit na balança comercial mensal de aproximadamente US\$ 100.000,00 (SOUSA, 2007).

2.7.2. Composição Química

HUYNH & LAEFER, (2009) citam a composição da argamassa expansiva exposta na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química de argamassa expansiva

Substância	Fração %
SiO ₂	1,5 – 8,0
Al ₂ O ₃	0,3 - 0,5
Fe ₂ O ₃	0,2 – 3,0
CaO	81 - 96
MgO	0,0 – 1,6
SO ₃	0,6 – 4,0

Fonte: HUYNH & LAEFER (2009)

SHIRO ISHI (2006) informa que uma argamassa expansiva comercial é composta de cal, argila e gesso misturados em proporções determinadas. Essa mistura é calcinada em forno rotatório a 1500°C. A argamassa resultante é então triturada até atingir 2000 a 3000cm²/g de área específica dos grãos.

Segundo KAWANO et al. (2005) essas argamassas são preparadas pela pulverização de um clínquer obtido principalmente pela mistura de óxidos de cálcio, óxidos de silício (SiO₂) e sulfato de cálcio (CaSO₄). No entanto, Miki et al. (1970) substituiu o SiO₂ pelo Al₂O₃. Também estão presentes outros tipos de óxidos, como o de ferro e magnésio em menores quantidades. Deve-se calcinar o clínquer a alta temperatura, entre 1350 e 1550°C.

De acordo com Moyer et al. (1980) também é formado o clínquer de uma mistura, onde ele destaca o uso de óxido de cálcio (80 – 95%), cimento Portland, hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e carbonato de cálcio (CaCO₃). Já conforme Rice et. al. (1983) o clínquer consiste em CaO, Al₂O₃ e CaSO₄, que depois de pulverizado é acrescido de cimento portland e gesso.

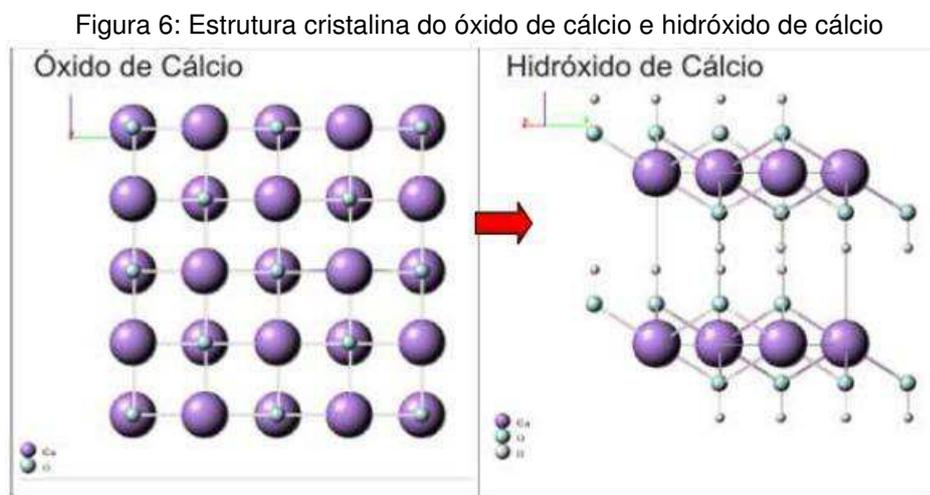
Segundo Suzukawa et. al. (2005) o clínquer é obtido na temperatura de 1000 a 1400°C e contém CaO (60%), CaF₂ (30%) e Al₂O₃ que depois de pulverizado é acrescido de óxido de alumínio e sulfato de cálcio (CaSO₄) (1,0 - 3,5%).

Apesar das diferenças observa-se que todas obedecem ao princípio da cinética e termodinâmica desse processo químico onde a argamassa (clínquer pulverizado) sofre hidratação em uma velocidade relativamente baixa, mas com aumento volumétrico e grande pressão de expansão por umidade. No controle da cinética da reação tem sido sugerido o uso de compostos orgânicos das funções ácidos carboxílicos, álcoois, com o objetivo de retardar a hidratação dos óxidos da argamassa.

Quando a água é adicionada ao cimento expansivo, a cal reage com a água se expandindo 1,96 vezes em volume gerando calor de acordo com a equação 2:



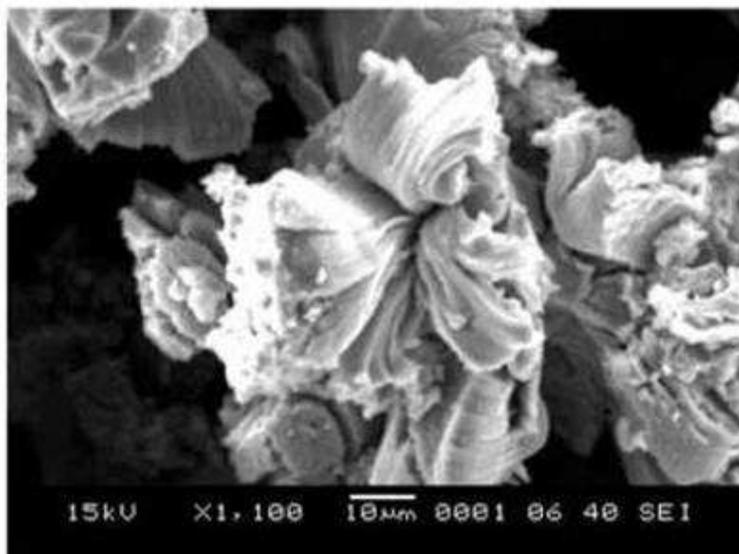
Em termos cristalográficos, tem-se a mudança de um sistema isométrico do óxido de cálcio para um sistema trigonal do hidróxido de cálcio. Esta alteração cristalográfica, facilmente identificada na Figura 6, provoca uma queda de densidade e um conseqüente aumento de volume da argamassa. Esse aumento de volume é o fato gerador da carga gerada pela argamassa durante o seu uso.



Fonte: WEBMINERALS (2007)

A observação da argamassa expansiva por microscopia eletrônica revela uma acentuada esfoliação dos grânulos após sua hidratação e conseqüente expansão, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7: Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa expansiva (aumento de 1100X e metalização por carbono)



Fonte: LUZ, BALAREZO, PEREIRA (2003)

Definida a reação fundamental do processo de expansão da argamassa, deve-se considerar a presença de outros componentes minerais ou orgânicos responsáveis pelo controle da cinética da reação. Tendo assim uma reação química lenta para que os furos preenchidos com essa argamassa possam aplicar uma pressão lenta e gradual, tendo o plano de alinhamento dos furos como preferencial para o rompimento da rocha, evitando também a perda da água por evaporação e a explosão da argamassa contida nos furos.

Também é importante o ajuste da reologia da pasta hidratada, com uso de fluidificantes, de forma que se possa ter uma pasta com fluidez adequada ao seu escoamento, com o mínimo de fase líquida, para dentro dos furos previamente executados na rocha a ser desmontada.

O controle da cominuição e de outros fatores responsáveis pela porosidade é fundamental para o funcionamento da argamassa expansiva. Quanto menor a porosidade inicial do sistema particulado constituinte da argamassa, menor é o espaço interno disponível para acomodações morfológicas com o avanço das reações de hidratação da argamassa, permitindo – essa falta de espaço livre – uma expansão real do volume do material que preenche os furos na rocha a ser

desmontada, com o inchamento das fases cristalóquímicas, e levando conseqüentemente à transmissão de pressões.

Dois fatores relevantes de elevação de custos de produção dos agentes expansivos comerciais são a calcinação especial e a cominuição intensiva. A operação unitária de calcinação das matérias-primas para as argamassas expansivas convencionais é feita dentro de rigorosas condições termodinâmicas, para o surgimento de fases mineralógicas que retardam a reação de hidratação, onerando o processo. A cominuição, em especial a moagem, também é operação de alta incidência de custos industriais.

2.7.3. Utilização em Campo

Fraturar rochas em blocos de tamanho e forma definidos é essencial para as indústrias de mármore e granito. Os blocos são cortados de forma a ser facilmente transportados para a fábrica, onde depois são beneficiados até que adquiram as características adequadas ao uso comercial.

A maioria dos fabricantes possui argamassas expansivas classificadas de acordo com a temperatura do ambiente onde ela será aplicada. Estes diferentes tipos de composição têm uma consequência direta no tempo de corte da rocha.

O procedimento detalhado para aplicação das argamassas expansivas é simples e comum entre a maioria dos fabricantes. De uma maneira simplificada, podemos citar as etapas deste processo como:

1. Limpar e preparar o local de trabalho;
2. Planejar o diagrama de furos necessários à demolição;
3. Executar os furos com o diâmetro e profundidade adequados;
4. Limpar dos furos com jato de ar;
5. Verter a mistura da argamassa expansiva nos orifícios;
6. Aguardar a ação da argamassa;
7. Demolir a rocha ou o concreto ao tamanho desejado para o transporte ou descarte.

O processo de corte com o uso de argamassa expansiva começa com a definição do plano de corte e, em função disto, da definição de pontos no maciço rochoso para a execução de furos para a infusão da argamassa expansiva. Feitas

estas definições, se executam as furações com perfuratrizes de carreta e martelotes hidráulicos. Estes furos tem diâmetros variando de 30 a 50 mm, de acordo com o tamanho da broca utilizada. O consumo estimado de argamassa expansiva por metro linear de profundidade do orifício em função do diâmetro da broca está mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Consumo estimado de argamassa expansiva por metro linear

Diâmetro do furo (mm)	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Consumo (Kg/metro linear)	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,2

Fonte: modificado de CHEMICALDILE (2013)

Em um estudo para identificar a distância ótima entre os furos, Gomez & Mura (1984) propuseram a Equação 2 para a distância entre os furos na demolição de materiais de diferentes resistências mecânicas. Para rochas mais resistentes, $k < 10$, para rochas de média resistência, $8 < k < 12$ e, para rochas frágeis e concreto, $12 < k < 18$. Outros autores chegaram a valores similares para esta constante (HUYNH & LAEFER, 2009)

$$L = D \cdot k \quad (2) \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

L: Distância entre os furos;

D: Diâmetro do furo;

k: Constante dependente da resistência mecânica do meio.

Para as argamassas expansivas, a profundidade, tamanho, orientação e distância dos furos têm relação direta com a fratura, afetando suas dimensões, tempo e direção. Estes fatores relativos à perfuração não controlam apenas a fratura, mas também os custos globais de demolição, então, se pode aperfeiçoar o uso da argamassa melhorando o conhecimento da influência de cada um destes fatores no processo (HUYNH & LAEFER, 2009).

Executados os furos, deve-se proceder com a limpeza e preparação dos mesmos para serem preenchidos pela argamassa expansiva, o que pode ser feito com o uso de um jato de ar provido por um compressor. Nos furos não deve haver

água, embora alguns fabricantes indiquem que, caso a rocha ainda esteja em uma temperatura relativamente elevada, deve-se proceder a um resfriamento com água para evitar uma reação muito rápida da argamassa, sendo posteriormente a argamassa colocada dentro de um tubo de PVC, dentro do furo previamente executado. Processo semelhante pode ser executado no caso de infiltrações no maciço rochoso.

A mistura da argamassa expansiva deve ser feita com o uso de um misturador, evitando o contato do produto com pele do operador, pois é um produto altamente básico e assim pode causar queimaduras. A maioria dos fabricantes disponibiliza a argamassa em sacos de 5Kg. A preparação requer o uso de um recipiente com água, de acordo com a capacidade necessária para o preenchimento dos furos, no qual é colocada lentamente a argamassa expansível, sempre sob agitação, até a mistura adquirir um aspecto cremoso, homogêneo e fluido. A partir deste ponto é só vertê-la imediatamente aos furos previamente preparados, num prazo variável entre 5 a 15 minutos. ALANIS (2002) alerta quanto ao tipo de recipiente, que não deve ser de vidro e nem estreitos ou com diâmetro da boca menor do que o do seu fundo. (MENEZES, 2005).

Alguns fabricantes citam a necessidade de um processo efetivo e contínuo de mistura, dadas às características tixotrópicas da pasta obtida. Depois disto, deve-se verter a pasta nos furos previamente executados na rocha. Estes furos devem ser preenchidos até 2,5cm da borda e devem ter cerca de 80% da altura da rocha.

Furos adequadamente alinhados e preenchidos permitem o corte de maciços rochosos de modo mais controlado do que aquele obtido por explosivos. A execução de furos com martetele hidráulico está mostrada na Figura 8. A evolução dos esforços é lenta e são necessárias cerca de 8 a 24 horas para a completa ação de desmonte, dependendo da temperatura ambiente.

Figura 8: Furos preenchidos com argamassa expansiva



Fonte: própria (2012)

Segundo PINHEIRO (1999), o tempo de reação para corte é função dos seguintes fatores: temperatura ambiente, características mecânicas e geológicas das rochas (composição mineralógica, textura e estrutura interna, estado de alteração da rocha), direção do corte, espaçamento e diâmetro dos furos e quantidade e tipo de argamassa utilizada, esta, por sua vez, determinada pelo próprio diâmetro dos furos. Neste sentido, segundo ele, quanto menor o espaçamento dos furos e maior seu diâmetro mais rápido é o processo de corte, que obviamente deve também levar em conta o tipo de argamassa em função da temperatura ambiente.

Alguns fabricantes indicam também o uso de uma proteção leve do sol, como uma lona, para evitar que a argamassa reaja muito rapidamente e haja expulsão do furo, o que seria potencialmente perigoso para os operadores próximos.

HANIF & AL-MAGHRABI (2006) fizeram tentativas de economizar a quantidade de argamassa expansiva misturando outros materiais e deixando alguns furos vazios. Os testes realizados com as misturas provaram a ineficiência deste método, entretanto, deixar alguns buracos vazios mostrou-se positivo, embora deixar dois furos consecutivos vazios foi ineficiente.

Em comparação com furos em linha com espaçamentos uniformes, HANIF & AL-MAGHRABI (2006) também verificaram que a mesma quantidade de furos com o espaçamento crescendo gradativamente provoca um início da fratura e sua propagação mais rapidamente, começando onde o espaçamento é menor.

2.7.4. Mecanismo de Ruptura e Tempo de Reação

A resistência à tração das rochas é menor que a sua resistência a compressão, variando numa faixa de 10% a 40%, de acordo com as características tecnológicas do material. A argamassa expansiva, aplicada ao longo de furos alinhados e devidamente espaçados, exerce nas paredes dos furos uma pressão de expansão, em todas as direções, agindo como um esforço compressivo. As forças dessa compressão induzem reações de tensões trativas, no plano perpendicular àquelas forças compressivas atuantes no plano dos furos, promovendo, desta maneira, a ruptura da rocha por tração.

Geralmente, o estresse de fratura compressiva de rochas é kg/cm^2 de 1000 a 2000 e o de concreto kg/cm^2 de 150 a 500. No entanto, o esforço de tração da fratura é muito pequeno, ou seja, ele varia de 40 a 70kg/cm^2 em concreto, respectivamente. A demolição usando massa expansiva é baseada em uma fratura devido a um estresse de tração, todos os tipos de rochas e concreto podem ser rachados e quebrados usando-se furos apropriados e perfurados corretamente. (CHEMSHINE. 2015)

Uma grande parte dos granitos exhibe resistências à tração na ordem de 150kgf/cm^2 . Segundo a LAGeMA (2013), a pressão de expansão exercida pela argamassa expansiva é de 800kgf/cm^2 , determinada experimentalmente para tempos de reação entre 8 e 12 horas, com temperaturas próximas a 20°C . Essa fabulosa pressão obtida demonstra o poder de ruptura do agente expansivo.

A pressão de expansão varia sensivelmente com o tempo de reação e com a temperatura que se encontra a rocha. Com tempos de reação mais longos, podendo alcançar vários dias, a pressão de expansão pode chegar a valores consideravelmente superiores a 800kgf/cm^2 . Para temperaturas elevadas alcança-se determinados resultados em tempos mais breves; com temperaturas mais baixas, alcança-se os mesmos resultados em tempos mais longos, ou resultados mais modestos para um mesmo tempo.

O tempo de reação, para geração de um corte, varia em função da temperatura ambiente, do espaçamento dos furos, das características petrológicas e mecânicas das rochas, além do seu aspecto textural, e da qualidade e tipo de argamassa a ser usada.

A argamassa expansiva existente no mercado tem sua aplicação limitada devido à suscetibilidade cinética de reação às condições climáticas e limitação dos diâmetros de furos. Recentemente, pesquisadores do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas (unidade acadêmica da Universidade Federal de Ouro Preto) desenvolveram processo alternativo de fabrico de argamassa.

Esse processo alternativo está com depósito de patente junto ao INPI (pedido de patente PI0404614-5). O processo abarca a fabricação de argamassa expansiva constituída por uma mescla de uma fase aquosa com agente expensor em pó. Parte dos reagentes de controle termoquímico das reações de expansão, nesse caso, está em fase aquosa. O processo proposto ajusta a cinética e as variáveis termoquímicas de modo que se possa ter um tempo de reação compatível com os tempos de ciclo de manuseio da argamassa, ajuste da reologia da pasta hidratada e ajuste da porosidade do sistema antes da cura (SEGATO, LUZ & PEREIRA, 2004).

Em qualquer caso, incluindo as argamassas comerciais, o tempo ideal para obtenção dos cortes, para liberação de pranchas (bancadas altas) ou de filões (bancadas baixas), deve estar em conformidade com o ritmo de produção da empresa e com as variáveis (espaçamento dos furos) e quantidade de argamassa usada, que devem estar devidamente equacionadas. (PINHEIRO, 1999).

Com a colocação da argamassa em um furo, será exercida uma pressão na direção ortogonal as paredes do furo (uma pressão “p” uniforme foi determinada experimentalmente em 800kg/cm^2 . O valor de “p” varia sensivelmente com o tempo de reação e com a temperatura). De fato, com temperaturas mais elevadas, obtém-se resultados em tempos mais breves. Com temperaturas mais baixas alcançam-se os mesmos resultados em tempos mais longos, ou resultados mais modestos para um mesmo tempo. O valor de 800kg/cm^2 fixado, refere-se a tempos de reação de 20/24 horas com temperaturas próximas a 20°C . (ROGERTEC, 2014).

Com tempos de reação mais longos (a argamassa expansiva continua a agir por muitos dias) e pode-se obter valores de “p” consideravelmente superiores a 800kg/cm^2 . Quando se faz uma série de furos ao longo da linha do material que

deverá ser demolido ou cortado, haverá tendência a quebrar-se ao longo desta linha, para a região que se deseja cortar. (ROGERTEC, 2014).

No concreto armado deve-se fazer com que o plano de ruptura seja paralelo às armaduras principais. O ideal é que os furos no concreto armado, sejam feitos com 80% da altura da peça a ser demolida. (ROGERTEC, 2014).

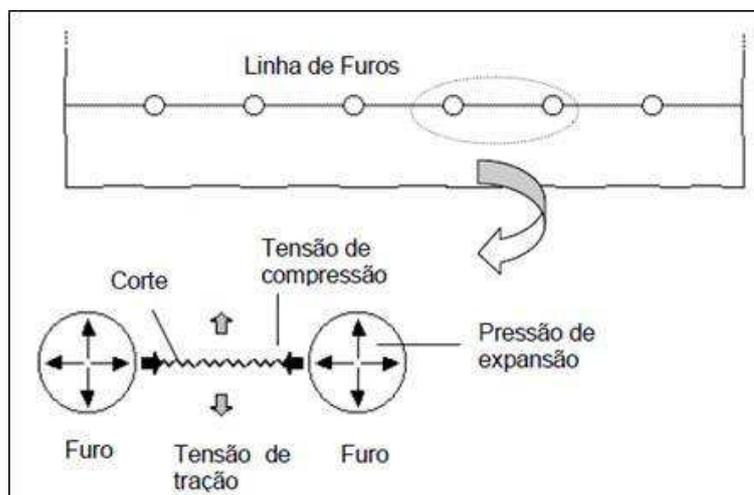
A seguir, as resistências a tração aproximadas de alguns tipos de rochas mais comuns e do concreto fornecido por (ROGERTEC, 2014).:

- Granitos 150 kg/cm^2
- Dolomitos 100 kg/cm^2
- Gnaisses 180 kg/cm^2
- Mármore 140 kg/cm^2
- Arenitos 75 kg/cm^2
- Concreto 30 kg/cm^2

Segundo informações colhidas no site da (CHIMICAEDILE, 2014), a resistência à tração das rochas é menor que a sua resistência a compressão, variando numa faixa de 10% a 40%, de acordo com as características tecnológicas do material. A argamassa expansiva se aplicada ao longo de furos alinhados e devidamente espaçados, exerce nas paredes dos furos uma pressão de expansão, em todas as direções, agindo como um esforço compressivo.

As forças dessa compressão induzem reações de tensões trativas, no plano perpendicular àquelas forças compressivas atuantes no plano dos furos, promovendo, desta maneira, a ruptura da rocha por tração conforme Figura 9. (CHIMICAEDILE, 2014)

Figura 9: Mecanismos de ruptura da argamassa expansiva



Fonte: CHEMICALEDILE (2014)

2.8. Matérias-primas e Resíduos Utilizados e Incorporados na Argamassa Expansiva

2.8.1. Caulim

Os caulins brasileiros podem ser divididos em cinco grupos: caulins sedimentares, caulins oriundos de pegmatitos, de rochas graníticas, de rochas vulcânicas e caulins derivados de anortosito. A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) abrange partes dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Na região Equador-Junco (RN-PB), ocorrem diversos depósitos de caulins associados à alteração feldspatos de pegmatitos. Os pegmatitos caulinitizados estão inseridos no Grupo Seridó, de idade pré-cambriana e possuem grande variação de tamanho, podendo chegar a algumas dezenas de metros de largura (SILVA *et al.*, 1997). Quando comparados com os caulins do Sudeste, os caulins do Nordeste são de granulometria mais fina, sendo a caulinita o seu principal constituinte mineralógico. Os cristais de caulinita são de perfil hexagonal e bem cristalizado, não apresentando haloisita tubular (WILSON *et al.*, 1998).

Segundo (LUZ *et al.*, 2000), o Brasil é o terceiro maior produtor de caulim do mundo, e junto com os Estados Unidos, detêm mais de 80% de reserva mundial de caulim de valor econômico.

Segundo (SANTOS, 1975), o caulim pode ocorrer em dois tipos de depósito: primário e secundário. O primeiro é encontrado no local de formação

pela ação de intemperismo ou hidrotermal, apresentando baixa plasticidade, baixa resistência mecânica a cru. Já o sedimentário, resulta do transporte e deposição de caulins residuais ou argilas caulínicas por meio de correntes de água e matéria orgânica.

Segundo (LEITE *et al*, 2007), na região nordeste, as principais indústrias mineradoras de caulim estão instaladas na região da Província Pegmatítica de Borborema (PPB), cuja localidade tipo situa-se nos municípios do Equador (RN) e Junco do Seridó (PB). Essas mineradoras perdem em torno de 50% de caulim durante o beneficiamento. Essa grande perda é causada principalmente pela ineficiência dos processos de cominuição e classificação das usinas de tratamento de minérios, para os quais são apresentadas rotas tecnológicas para maximizar a sua recuperação.

Segundo (DUTRA, 2005), a deposição deste rejeito constitui uma tarefa delicada, quer por questões econômicas, quer por questões ambientais. Por não possuir valor comercial, ele precisa ser descartado da forma mais econômica possível, minimizando, porém os impactos ambientais resultantes do processo. No caso de rejeitos sólidos secos, a deposição em áreas predeterminadas tem equacionado o problema, as chamadas “pilhas de resíduos”. Em alguns casos, os rejeitos são utilizados para preenchimento de cavas, na recuperação ambiental de áreas já lavradas.

2.8.1.1. Beneficiamento do Caulim

O processo de beneficiamento inicia-se com a adição de água ao caulim bruto e a desagregação do mesmo em um misturador. Em seguida, a polpa é transportada por gravidade para etapa de peneiramento. Nesse transporte ocorre o desareamento, no qual são sedimentados os materiais mais grosseiros, constituídos por mica, quartzo, feldspato, entre outros. Esse material é removido manualmente, através de pás perfuradas, e depositados em terrenos da empresa.

Na etapa de peneiramento ocorre a classificação das partículas da mistura. Essa etapa é formada por um conjunto de peneiras de malha número 200 (0,074mm) e 325 (0,044mm), que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha. Todo o material é passado na peneira N^o. 200. Caso seja

necessário um melhor refinamento do minério, a poupa também deve ser submetida à peneira de N^o. 325. O material retido nas peneiras de N^o. 200 é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do caulim.

O material peneirado é bombeado, por gravidade, através de tubulações, para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação. O primeiro tanque recebe a mistura e é preenchido completamente com água destilada. Nele ocorre a separação da fração de maior granulometria através da sedimentação. A fração mais fina, que se posiciona na região superficial, passa por transbordamento para o segundo tanque, que apresenta um desnível de altura em relação ao primeiro, onde acontece a sedimentação da fração mais grossa. A parcela mais fina é transbordada para o terceiro tanque. Esse procedimento se sucede até o último tanque do sistema. A água superficial que não transborda é vazada para outro tanque de onde é reciclada para fase inicial de dispersão do minério bruto.

O material sedimentado em cada tanque é escolhido, de acordo com a sua utilização final, e destinado para um tanque de vazamento para posteriormente seguir para etapa de filtração. Na etapa de filtração retira-se a água do material proveniente do tanque de vazamento. Este processo é realizado através do método da prensagem, em que a mistura é recalçada para dentro de filtros prensa, por meio de uma bomba de recalque, obtendo-se assim uma torta com aproximadamente 65% de sólidos.

Para a perda da umidade, as tortas são expostas ao sol e as correntes de ar, onde ficam parcialmente secas. Para completa secagem do material, elas são dispostas em fornos à lenha. Depois da calcinação são trituradas, ensacadas e destinadas à comercialização.

2.8.1.2. Impactos Ambientais

Segundo (WILLIAMS *et al.*, 2001), a extração de um volume expressivo de argila e de materiais rochosos, em todas as suas fases, envolve atividades que provocam impactos para o meio físico e biótico e acarretam problemas socioeconômicos. Alguns desses impactos dependem de fatores como tipo de

minério, técnicas de extração e beneficiamento, o que requer diferentes medidas para a recuperação ambiental.

a) Etapa de Extração

Na etapa da lavragem do caulim os principais problemas estão ligados à segurança e saúde dos trabalhadores. Esses trabalham em condições precárias, sem equipamentos adequados, tanto para a sua proteção quanto para o transporte material. Nas galerias não há vigas de sustentação, nem escoramento, facilitando assim o desmoronamento das mesmas. A iluminação é realizada através de velas. Além da função de iluminação, as velas servem para detectar a quantidade de oxigênio presente no ar, em profundidades muito grandes, abaixo de 50m do chão.

Por o caulim possuir partículas sólidas muito pequenas, a exposição durante um longo período pode provocar doenças no sistema respiratório dos trabalhadores, como a silicose, e levá-los à morte.

A escavação do subsolo ou alteração da superfície sem estudos mais aprofundados pode levar à degradação de um ecossistema ou à contaminação de lençóis freáticos. No município de Junco do Seridó tem-se observado indícios de contaminação da água devido à exploração inadequada do subsolo da região, caracterizados pela quantidade de casos de doenças renais, acima do índice considerado normal.

b) Etapa de Beneficiamento

Na etapa de beneficiamento os principais problemas estão ligados à quantidade de resíduo gerada, 70% do caulim extraído, e a poluição do ar. Os resíduos gerados nessa etapa são simplesmente amontoados em terrenos das empresas de beneficiamento. Figura 10, ocupando assim um grande volume. Como a disposição dos resíduos não é feita de forma correta, observa-se que eles, depois de secos, se transformam em pó e pela ação do vento, se espalham, poluindo o ar.

Figura 10: Vista da área utilizada para depósito do resíduo gerado durante o processo de beneficiamento de caulim



Fonte: própria (2012)

2.8.2. Gesso

“É um aglomerante aéreo (endurece pela ação química do CO_2 do ar), obtido pela desidratação total ou parcial da Gipsita – aglomerante já utilizado pela humanidade há mais de 4.500 anos, no Egito. A Gipsita é o sulfato de cálcio mais ou menos impuro, hidratado com duas moléculas de água. Sua fórmula química é $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ e suas impurezas que, no máximo, indicam 6% - são o silício (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), o carbonato de cálcio (CaCO_3), a cal (CaO), o anidrito sulfúrico (SO_3) e o anidrido carbônico (CO_2)” (SEED/Paraná/Brasil, 2013).

É encontrado em praticamente todo o mundo, e ocorre no Brasil em terrenos cretáceos de formação marinha, principalmente no Maranhão, no Ceará, no Rio Grande do Norte, no Piauí e em Pernambuco. Sua cor geralmente é branca, mas impurezas podem conferir a ele tons acinzentados, amarelados, rosados ou marrons (SEED/Paraná/Brasil, 2013).

Ao umedecer o gesso com cerca de um terço de seu peso em água, forma-se uma massa plástica que sofre expansão e endurece em cerca de dez minutos. Esta é utilizada na confecção de moldes, na construção, em acabamentos de reboco e tetos e, modernamente, na produção de rebaixamentos e divisórias, em conjunto com o papelão. Também é usado em aparelhos ortopédicos, trabalhos

de prótese dentária, confecção de formas e moldes, imobilização, adubo (na forma de gipsita), retardador de pragas no cimento Portland, e isolante térmico, já que seu coeficiente de condutividade térmica é 0,46W/m°C.

O gesso cristaliza no sistema monoclinico, formando cristais de espessuras variadas chamados de selenita. Pode ser encontrado também na forma de agregados granulares chamados alabastro ou em veios fibrosos com brilho sedoso chamados espato-de-cetim. Apresenta baixo impacto ambiental, pois seu processo de calcinação ocorre a baixa temperatura, requerendo pouco consumo energético. Durante o processo é liberada grande quantidade de água e resíduos da combustão. “Estas propriedades caracterizam o gesso como um dos aglomerantes menos agressivos ao ambiente” (SEED/Paraná/Brasil, 2013).

a) Mineralogia

A gipsita é um sulfato mineral hidratado cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Como mineral cristaliza no sistema monoclinico, com um hábito prismático, em que por vezes, aparecem cristais de hábito tabular. Ocasionalmente possui maclas em ferro de lança e/ou em cauda de andorinha. A gipsita é um material granular, por vezes fino, de hábito maciço ou granular. Ocorre em cores variáveis como o branco, cinza, verde ou incolor. As cores devem-se frequentemente à presença de impurezas que lhe estão associadas, como a calcita, dolomita, pirita, óxidos de Fe, argilas, barita, anidrita e quartzo secundário. O seu brilho pode ser vítreo, nacarado ou sedoso. É frequentemente translúcido. O gesso possui uma dureza de 2 e uma densidade que vai do 2,3 a 2,4g/cm³. Pode possuir clivagens e seu traço é de cor branca. A sua cor de fluorescência é verde. O gesso pode ocorrer em diversas variedades (SEED/Paraná/Brasil, 2013).:

- Gipsita: é das variedades mais abundantes de gesso. Facilmente se transforma em anidrite (variedade desidratada de gesso) se as condições de calor, pressão e presença de água variarem.
- Anidrita: forma-se como mineral primário em *sabkhas* ou em bacias profundas. O termo está muito associado à *gipsite* porque a única diferença entre eles é

as moléculas de água. A anidrite contém maior densidade que a *gipsite*, contudo, possui menor porosidade.

- Selenita: é um mineral de gesso macrocristalina, incolor, hialina e euédrica. Encontra-se, muitas vezes, a preencher fendas em rochas.
- Alabastro: o alabastro é uma variedade de gesso que faz lembrar o mármore, maciça, microgranular e translúcido. As suas cores dependem das impurezas contidas. Ocorre, frequentemente, em zonas de grandes depósitos de gesso.

2.8.3. Resíduo do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG)

O beneficiamento de rochas ornamentais caracteriza-se pelo desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras na forma de blocos, podendo ser subdividido em processo de beneficiamento primário e secundário. Entende-se por beneficiamento primário, como o processo inicial de desdobramento de blocos em chapas com espessuras variadas realizado em teares e talha-blocos. Já o beneficiamento secundário entende-se pelo processo de polimento, corte e acabamento das chapas em peças. O primeiro realizado em unidades industriais chamadas de serrarias, enquanto o beneficiamento secundário é realizado nas marmorarias. Existem empresas integradas verticalmente nas quais a serraria e a marmoraria estão juntas na mesma unidade industrial. Há também empresas que só possuem serraria, outras que só possuem atividades de marmoraria.

Segundo ALENCAR *et al.* (1996), citados por ALMEIDA & CHAVES (2002), o beneficiamento do mármore brasileiro é 95% feito em teares convencionais que usam granalha e o restante em teares diamantados e talha-blocos. Isto caracteriza um grande atraso tecnológico, visto que no mundo inteiro praticamente 100% do mármore é beneficiado em teares de lâminas diamantadas ou talha-blocos.

“Nas diversas etapas de produção (nomeadamente, extração, corte, serragem e polimento dos blocos de pedra), as perdas podem ser da ordem de 30 a 40%. Atualmente, e em grande parte dos casos, não existe nenhuma preocupação com o meio ambiente, sendo o rejeito jogado diretamente em lagoas e rios, sem nenhum tratamento prévio, o que, apesar de os resíduos de serragem

não serem consideradas resíduo perigoso (classe I), constitui um sério problema ambiental.” (MORAIS, 2006).

O processo de serragem nos teares é auxiliada por uma polpa formada por água, cal e granalha, despejada continuamente sobre a carga, para otimização do corte e resfriamento das lâminas.

De acordo com Freire e Motta (1995), no sistema de desdobramento do bloco de rocha em chapas através de teares, de 20 a 25% do mesmo é transformado em pó e segundo GONÇALVES (2000), no mesmo processo, cerca de 25 a 30% do volume do bloco é transformado em resíduo de serragem.

A quantidade estimada de geração de resíduo de corte de granito e mármore no Brasil foi de 165.000 toneladas ao ano distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba entre outros estados, de acordo com Gonçalves (2000); já em 2002, no trabalho de MOURA *et al.* (2002), esse valor alcançou 240.000 toneladas ao ano, distribuídos nos mesmos estados.

CHIODI FILHO (2005, *apud* MOURA *et al.*, 2006), afirma que no Brasil, o setor de rochas ornamentais gera cerca de 800.000 toneladas por ano de resíduo durante o processo de beneficiamento das rochas. De acordo com esses dados, verifica-se um grande aumento na quantidade de resíduo gerado no país nos últimos cinco anos, saltando de 165.000 toneladas para 800.000 toneladas anualmente.

2.8.4. Resíduo do Processo de Perfuração do Granito (RPPG)

As variadas atividades da indústria mineral que vai da exploração ao processamento, produzem grandes quantidades de partículas finas. E que todo e qualquer ambiente de trabalho contaminado com poeiras (aerodispersóides) representa um sério problema à saúde dos trabalhadores que transitam naquele local.

No Brasil, a atividade mineira segue regulamentações estabelecidas de nível federal, estadual e municipal a respeito de procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho (Normas Regulamentadoras – NR's) e ao aproveitamento racional das jazidas, levando em consideração as condições técnicas de operação, segurança e preservação ambiental (Normas

Regulamentadoras da Mineração – NRM). A NR 22 define normas sobre Segurança e Medicina do Trabalho em minas, determinando métodos e locais de trabalho que proporcionem condições satisfatórias de Segurança e Medicina do Trabalho aos empregados de uma determinada empresa. A NR 15 é a Norma que trata de atividades e operações insalubres, onde, em seus anexos são apontados os limites de tolerância (LT) a agentes agressivos como: ruídos, radiações, calor, frio, pressões, poeiras minerais, umidade, agentes químicos entre outros. A NRM 09 regulamenta a Prevenção contra Poeiras Minerais.

Segundo ALMEIDA et al, (2000), a influência exercida pelo homem sobre os ecossistemas terrestres, bem como, com o desenvolvimento de tecnologias que alteram, de forma cada vez mais célere e predatória, o ambiente em que vivemos, acarreta ao Planeta uma rápida degradação o que compromete a qualidade de vida e a sobrevivência humana na biosfera, este impacto na deterioração do meio ambiente é bastante significativo, com 60% da demanda bioquímica de oxigênio e de material em suspensão e com 90% dos resíduos tóxicos na água, além de ter despejado 75% do lixo orgânico.

Segundo RODRIGUES, (1993), as consequências quanto à poluição do ar são preocupantes. A poeira resultante do processo de obtenção de brita, conhecida como pó de pedra, pode danificar de forma irreversível o aparelho respiratório humano. No Brasil, este problema é agravado pelo descaso das empresas de mineração que utilizam métodos obsoletos de exploração, pela legislação falha e ineficácia dos órgãos governamentais de fiscalização.

Segundo BRANCO et al, (1987), a variedade de substâncias que podem estar presentes na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Entretanto, admite-se dividir os poluentes em duas categorias, as quais foram adotadas neste trabalho:

Poluentes primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão;

Poluentes secundários: aqueles formados na atmosfera, através da reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera.

A poluição atmosférica caracteriza-se basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar. A amostra de ar, mesmo o estimado puro, extraído de qualquer ambiente, possui pequenas quantidades de poeira de origem

mineral, vegetal ou animal, além de bactérias. (MACINTYRE, 1990). Sob o ponto de vista da higiene ocupacional, acima de certa concentração (Limite de Tolerância - L T), qualquer outra substância no ar, passa a ser chamada de poluente ou contaminante ocasionando prejuízos á saúde humana e danos ecológicos.

2.8.4.1 Principais fontes produtoras

Boa parte da poluição urbana é causada pelas poeiras industriais que são responsáveis por precipitações das chaminés, detritos de fricção, partículas de ferro, beneficiamento de rochas, o tráfego de veículos em ruas não pavimentadas, veículos sem regulagem de motor, atividade de construção civil, movimentação de materiais secos e as queimadas, combustões domésticas, usinas de gás, geração de eletricidade, fábricas de cimento, refinarias de petróleo, fornos de cal, fábricas de cerâmica, fundições, estufas e carvão, pintura automotiva ou naval com jateamento de areia, artesanato com vidro fosco ou cristal de rocha e escavação de túneis, galerias e outras. (LOPES, 2006)

Segundo PESSOA, (2005), as atividades como a mineração, a marmoraria, a indústria de cerâmica ou vidros podem causar uma das doenças profissionais mais tradicionais no Brasil, conhecida como silicose. Essa doença ataca os pulmões e é causada pela inalação da poeira de sílica, cujo representante mais comum é quartzo, e está presente em minerais como o granito, a areia, algumas gemas preciosas e semipreciosas. Segundo dados do Programa Nacional de Eliminação da Silicose, desenvolvido pelo Ministério do Trabalho e Emprego e pelo Ministério da Saúde, aproximadamente seis milhões de trabalhadores estão expostos á sílica no Brasil.

2.8.4.2 Definições de poeira

São chamadas de poeira as partículas sólidas projetadas no ar por forças naturais, tais como vento, erupção vulcânica ou terremoto, ou por processos mecânicos tais como trituração, moagem, esmagamento, perfuração, demolição,

peneiramento, varredura. Geralmente, o tamanho das partículas de poeira situa-se entre 1 e 100 micra. (WHO, 1999).

São pequenas partículas sólidas dispersas por processos mecânicos de desintegração de substâncias inorgânicas ou orgânicas, como lixamento, britamento, moagem, etc., ou poeiras naturais como o pólen, esporos, etc. Exemplos: Partícula de rochas, de metais, de cimento, etc. Pode também ser definido como um aerosol de partículas sólidas. Quando menores que 1 micron, as partículas são classificadas como fumos ou fumaça. (MACINTYRE, 1990)

a) Poeiras - São partículas sólidas produzidas por rompimento mecânico através de processos de moagem, atrito, impacto, etc., ou por dispersão secundária como arraste ou agitação de partículas decantadas.

b) Fumos - São partículas formadas pela condensação de vapores de materiais sólidos, geralmente metais, e conseqüentemente solidificação. Normalmente este mecanismo é acompanhado de oxidação. Os fumos são inorgânicos. Exemplo: Fumos de óxidos de chumbo, de zinco, etc.

c) Fumaça - São aerossóis, geralmente, mas não obrigatoriamente, sólidas em suspensão no ar, e oriundas da combustão incompleta de materiais orgânicos (lenha, óleo combustível, carvão, etc.).

2.8.4.3 Classificação das poeiras

Segundo WILLEKE et al, (1993), as poeiras podem ser classificadas segundo algumas características básicas:

a) Forma da partícula

A forma da partícula é um importante fator de influência na deposição inercial no sistema respiratório e nos projetos de instrumentos adequados para amostragem e análise de partículas. Algumas das variedades de formas existentes para as partículas podem ser citadas tais como esféricas, cúbicas, irregulares, com formato de flocos, fibras, cadeias, plaquetas ou escamas.

b) Origem da partícula

As partículas podem ser classificadas de acordo com sua origem em:

Minerais - Ex.: quartzo e misturas que contenham quartzo (carvão, caulim, quartzito, areia, argila); asbesto e misturas que contenham asbesto (asbesto bruto, crisotila, anfibólios; fibrocimento, talco); metais e compostos metálicos (alumínio, ferro, chumbo, manganês, berílio, cromo, cádmio);

Orgânicas (animais e vegetais) - Ex.: couros, plumas, escamas, madeiras, cereais, algodão, bagaço.

c) Tamanho da partícula (MURPHY, 1984)

A faixa de tamanhos das partículas encontradas na atmosfera tem uma variação de 0,001 a 100 micra. O local de deposição das partículas no sistema respiratório humano depende diretamente do tamanho das partículas. Para os estudos de Higiene Ocupacional e deste trabalho, as faixas de tamanho de maior interesse são:

- menores que 100 micra, capazes de penetrar pelo nariz e pela boca – poeira inalável;
- menores que 25 micra, capazes de penetrar além da laringe – poeira torácica;
- menores que 10 micra, capazes de penetrar na região alveolar – poeira respirável.

3. MATERIAS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Os materiais usados para o desenvolvimento deste trabalho foram fornecidos pelas seguintes empresas:

- Argamassa expansiva chinesa - fabricante Chemshine;
- Argamassa expansiva Fracta.Ag - fabricante Chimica Edile do Brasil;
- Resíduo de Caulim fornecido pela empresa de mineração VALMOR PACHER LTDA. localizada no Sítio Aldeia Zona Rural do município de Junco do Seridó/PB;
- Resíduo do processo beneficiamento de granitos, fornecidos pela empresa GRANFUJI localizada na Av. Deputado Raimundo Asfora, 1545 Bairro Velame Distrito Industrial de Campina Grande/PB;
- Resíduo gerado no processo de perfuração do granito Preto São Marcos fornecido pela empresa TOP-STONE, localizada na Fazenda São Pedro Zona Rural do município de Casserengue/PB;
- Gesso comercial comprado no comércio de Campina Grande.

3.1.1 Resíduos

3.1.1.1 Caulim

O caulim utilizado neste trabalho e incorporado na argamassa expansiva foi proveniente do rejeito gerado pela empresa Valmor Pacher – EP, localizada no município de Junco do Seridó/PB, que é depositado em uma área próxima a sua unidade de beneficiamento conforme Figura 11.

Figura 11: Área de deposição de rejeito



Fonte: própria (2012)

3.1.1.2 Gesso

O gesso utilizado na incorporação na argamassa expansiva foi adquirido no comércio de Campina Grande/PB, conforme Figura 12

Figura 12: Gesso adquirido no comércio local.

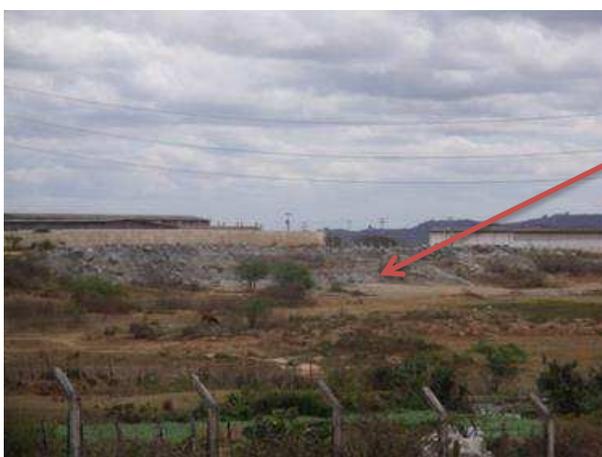


Fonte: própria (2013)

3.1.1.3 Resíduos do Processo de Beneficiamento de Granitos (RPBG).

Os resíduos do processo de beneficiamento de rochas ornamentais incorporados na argamassa expansiva foram provenientes das indústrias de beneficiamento da Granfuji e Fuji, localizadas no distrito industrial de Campina Grande/PB, conforme Figura 13.

Figura 13: Deposição do resíduo do processo de beneficiamento de rochas ornamentais



(Fonte: própria 2012)

3.1.1.4 Resíduos do Processo de Perfuração de Granitos (RPPG).

Os resíduos do processo de perfuração de granito incorporados na argamassa expansiva foram provenientes da mina de extração de granito da mineradora TOP-STONE do grupo Fuji Granitos, localizada na fazenda São Pedro, zona rural do município de Casserengue/PB. Figura 14.

Figura 14: Perfuração de rocha com geração de pó (resíduo)

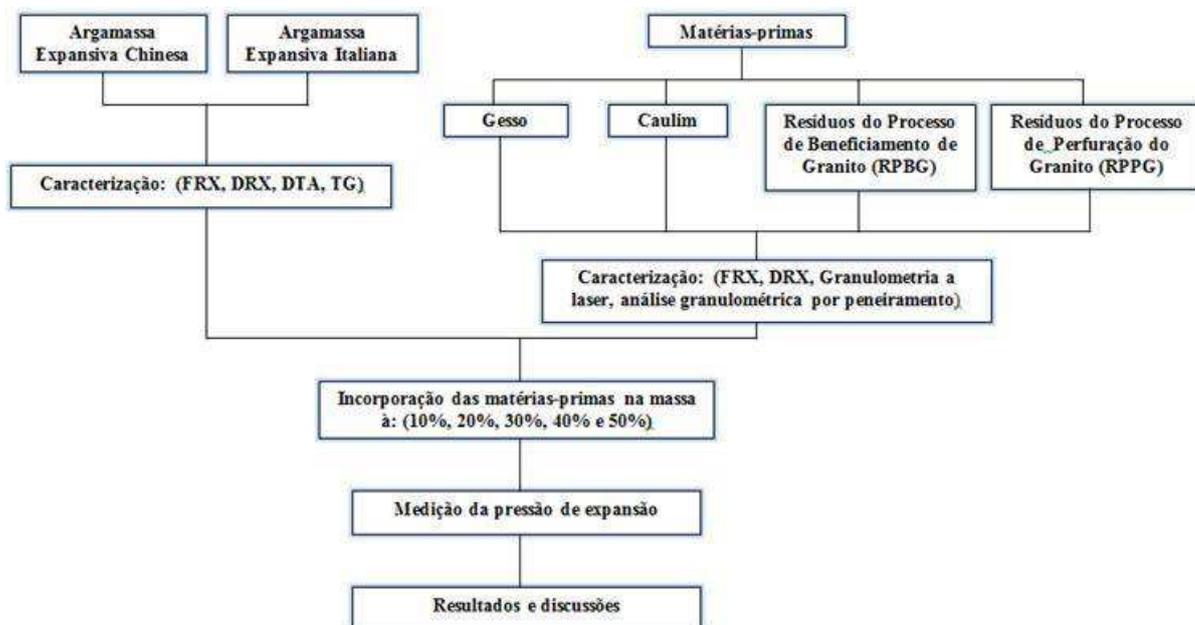


(Fonte: própria 2013)

3.2 Métodos

Os procedimentos experimentais foram realizados conforme fluxograma apresentado na Figura 15, a seguir.

Figura 15: Fluxograma do procedimento experimental desenvolvido nesse trabalho



Fonte: própria (2013)

Em todas as matérias-primas fornecidas pelas empresas, foram realizados ensaios de caracterizações físicas e mineralógicas através dos ensaios de análise granulométrica a laser e por peneiramento via seca, análise química por fluorescência de Raios-X (FRX), análise térmica diferencial (TDA), análise termogravimétrica (TGA) e difração de Raios-X (DRX).

Após caracterizações, as argamassas expansiva chinesa e italiana foram testadas nas proporções que variaram de 30 a 60g. Foi também observada segundo as instruções de preparo fornecidas pelos fabricantes, a trabalhabilidade da mistura preparada segundo instruções a qual é um fator importante quando do preenchimento da argamassa nos furos executados nas rochas.

Após caracterização as matérias-primas e os resíduos utilizados como gesso, resíduo do beneficiamento dos granitos, caulim e pó do processo de perfuração de granitos, as mesmas foram incorporadas as argamassas expansivas nas proporções de 10%, 20%, 30% 40% e 50%.

3.3. Ensaio de Caracterização

Foram realizados ensaios de caracterização das argamassas expansivas de origem chinesa e italiana, tais como: análise química através da fluorescência de Raios-X, análises térmicas de DTA e TGA, DRX e de distribuição do tamanho de partículas, a fim de obter os parâmetros necessários para o processo de incorporação dos resíduos.

Finalmente, foram realizados ensaios de caracterização das amostras de gesso, caulim, resíduo do processo de beneficiamento de granitos e pó do processo de perfuração do granito onde se realizaram ensaios de caracterização, tais como: análise química através da fluorescência de Raios-X, DRX, distribuição do tamanho de partículas, a fim de obter os parâmetros necessários para o processo de incorporação dos resíduos.

3.3.1. Análise Química

Todas as amostras foram analisadas no laboratório do Núcleo de Estudos Geoquímicos do Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, em espectrômetro de fluorescência de raios X Rigaku modelo RIX 3000 equipado com tubo de Rh, pelo método de curvas de calibração preparadas com materiais de referências internacionais (para as análises quantitativas); ou varredura (para as análises semiquantitativas; nesse caso, as análises foram recalculadas para 100% para incluir os resultados da perda ao fogo). Resultados em peso %. Nd = não detectado; TR = traços.

Uma porção de cada amostra foi colocada em estufa para secar a 110°C e então levada a uma mufla, a 1000°C, por 2 horas, para a determinação de perda ao fogo. Para as análises quantitativas foi feita uma pérola fundida de cada amostra, usando tetraborato de lítio como fundente. Para as análises semiquantitativas, uma porção de cada amostra seca foi prensada com força de 3ton.

3.3.2. Análises Térmicas (DTA e TGA)

Para avaliação térmica das matérias-primas utilizou-se o Sistema de Análise Térmica modelo RB-3000-20 e o DTG-60H Shimadzu, do Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMA/UFCG (Campina Grande/PB). Foram utilizadas as seguintes condições: massa das amostras em torno de 10 a 12mg, razão de aquecimento 10°C/min entre 27°C e 1000°C, atmosfera dinâmica de CO₂, com fluxo de 283 mL/min. O suporte da amostra foi um cadinho de (alumina), e da referência um cadinho similar vazio.

3.3.3. Difração de Raios-X (DRX)

A análise mineralógica das matérias-primas foi obtida por ensaio de DRX realizado com material moído abaixo de 325mesh (44µm). O equipamento é um XRD-6000 Shimadzu, do Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMA/UFCG (Campina Grande/PB), com tubo de Cu ($\lambda = 1,54056\text{\AA}$). A tensão utilizada foi de

40kV e a corrente foi de 30mA, com varredura de 2° a 60° para 2θ, com velocidade de 2°/min e passo de 0,02°/passo.

3.3.4. Distribuição do Tamanho de Partículas

Para a análise dos matérias: caulim, gesso, e resíduo do beneficiamento do granito, foi utilizado um granulômetro a laser do Laboratório de Engenharia de Materiais – UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB), da marca CILAS, modelo 1064, para medida da distribuição granulométrica do material em uma faixa de tamanho entre 0,5 e 500µm. O tempo de medida total é inferior a três minutos. Os resultados são expressos em curvas de distribuição granulométrica das partículas e também fornece o diâmetro médio das partículas.

Para análise granulométrica da argamassa chinesa, italiana e do resíduo da perfuração dos granitos, foi utilizado um conjunto de peneiras nas malhas Malha Tyler/Mesh 30, 35, 50, 60, 80, 120, 140, 170, 200, 270 e 325 e um agitador de peneiras marca BERTEL pertencentes ao Laboratório de Tratamento de Minérios do IFPB-campus Campina Grande.

3.3.5. Medição da Pressão de Expansão.

O medidor de Carga de expansão usado nessa análise está localizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos – UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB). O mesmo foi desenvolvido em um projeto de tese da UAEMa/UFCG (Campina Grande/PB), defendido pelo Dr. Rômulo Augusto Ventura Silva (2007), o qual foi projetado para medição da pressão de expansão em argamassa expansiva, conforme Figura 16.

Figura 16: Máquina de ensaio de medição de Carga de expansão, utilizada nos ensaios desse trabalho



(Fonte: própria 2013)

As amostras das argamassas expansivas chinesa e italiana com e sem adição dos resíduos, foram misturadas com água segundo proporções em peso de água especificado pelos fabricantes. Posteriormente a pasta formada foi transferida para o molde metálico previamente limpo e lubrificado, o qual pode ser visualizado na Figura 17. A lubrificação do molde deve ser feita apenas nas extremidades, onde se tem as aberturas para limpeza após a finalização do ensaio em virtude de que a lubrificação completa poderia interferir de maneira negativa nos dados do próximo ensaio de pressão de expansão, comprometendo a reprodutibilidade dos mesmos. Após o fechamento do molde, o excesso de massa foi retirado e ele foi colocado na máquina de ensaio previamente programada para leituras periódicas de segundo em segundo com uma duração total do ensaio de 24 a 48 horas.

Figura 17: Molde e colocação da mistura



Fonte: própria (2013)

Na transferência para o molde, o processo deve ser conduzido de forma a atingir a maior uniformidade possível da argamassa no seu interior, evitando a formação de bolhas de ar, vazios ou outras substâncias. Em termos ambientais, o ensaio deve ser executado em uma temperatura de $(25 + 4)$ °C com uma umidade relativa do ar em $(60 + 5)\%$. Estas condições procuram refletir as condições climáticas normais para a maior parte do Brasil. A umidade é um fator crítico, devido à alta reatividade do óxido de cálcio com a água. Deve-se manter a argamassa expansiva fechada até o momento do ensaio. Depois da pesagem, deve-se imediatamente selar o recipiente ou embalagem da qual foi retirada a amostra para evitar reações de hidratação que poderiam interferir em ensaios posteriores. A temperatura tem um papel importante na cinética da reação de hidratação, considerando que a maioria dos fornecedores tem uma composição específica para cada faixa de temperatura, indica-se que a faixa escolhida contenha o valor da temperatura padrão do ensaio.

3.3.6. Preparação das Amostras

3.3.6.1. Preparação das Amostras de Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana sem Adição de Resíduos

As argamassas expansivas chinesa e italiana foram preparadas de acordo com os seguintes procedimentos:

1. Pesagem das amostras de argamassas comerciais chinesa e italiana em proporções que variaram de 35 a 60 gramas;
2. Pesagem da água a ser misturada a argamassa na proporção de 30% em peso de massa, conforme orientação dos fabricantes;
3. Mistura da argamassa e da água pesadas, em um copo de plástico de 200ml, com pelo menos 4cm de diâmetro interno que facilita o processo de homogeneização que deve ser feito com um bastão e por um tempo máximo de 3 minutos;
4. Colocação da mistura no corpo de prova, conforme mostrado na figura 18, que consome cerca de 20 gramas da mistura.

Figura 18: A esquerda recipiente com argamassa expansiva italiana “Fracta.Ag” pura preparada antes da expansão e a direita após expansão



Fonte: própria (2013)

3.3.6.2. Preparação das Amostras de Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana com Adição de Resíduos

Para os casos dos ensaios das argamassas expansivas com adição de resíduos, foram feitas os seguintes procedimentos:

1. Determinou-se em função das pequenas quantidades a serem utilizadas nos ensaios, o peso total da amostra a ser analisada foi fixado em 50 gramas (argamassa mais resíduo) e da água em 15 gramas que representa 30% do peso estabelecido pelos fabricantes;
2. Escolheu-se da argamassa a ser analisada e pesagem em proporções que variaram no intervalo de 25, 30, 35, 40 e 45 gramas;
3. Escolheu-se o resíduo a ser incorporado a argamassa para ser analisada em proporções que variaram no intervalo de 25, 30, 35, 40 e 45 gramas;
4. Misturou-se a argamassa, resíduo e a água recém-pesada, em um recipiente plástico com pelo menos 4cm de diâmetro interno para facilitar o processo de homogeneização. O processo de homogeneização deve ser feito com um bastão e por um tempo máximo de 3 minutos, Figura 19.

Figura 19: A esquerda recipiente com argamassa expansiva italiana Fracta.Ag adicionada de resíduo de granito preparada antes da expansão e a direita após expansão



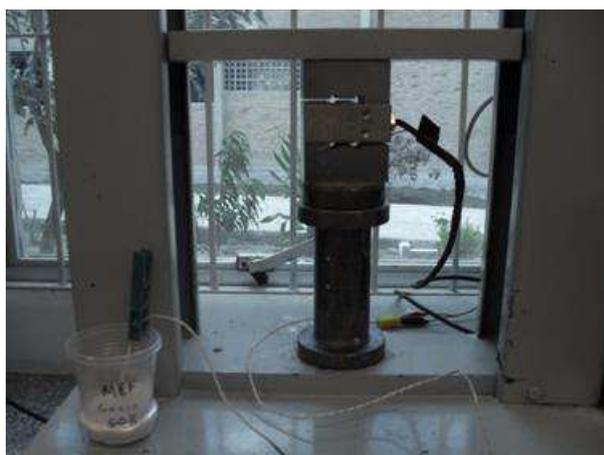
Fonte: própria (2013)

3.3.8. Execução do Ensaio

A pasta preparada deve ser imediatamente vertida no molde metálico. Para isso, a pasta, mantida sob constante agitação deve ser lentamente transferida, para evitar a formação de bolhas no interior do molde. Após a transferência, deve-se bater levemente algumas vezes no molde para que as bolhas geradas durante o processo de transferência aflorem à superfície. Após a transferência, fecha-se o molde com a parte superior, lentamente, e faz-se a limpeza externa com o auxílio de um pano úmido. Deixa-se o excedente de argamassa no copo, para que se possa fazer um acompanhamento visual da expansão.

Depois de preparado, o molde com a argamassa deve ser colocado na máquina de ensaio como mostrado na Figura 20. Neste momento, deve-se observar a centralização do corpo de prova na máquina e o tempo máximo para o início da medição. Recomenda-se que, do início da mistura até o início da leitura, não exceda 10 minutos. Programa-se o intervalo de leituras e o programa computacional de captura dos dados.

Figura 20: Ensaio preparado para execução, com análise de temperatura em um recipiente externo com argamassa expansiva



Fonte: própria (2013)

O intervalo programado no equipamento vai definir a qualidade estatística dos resultados obtidos. Quando menor o intervalo, maior a quantidade de dados, e melhor a qualidade dos resultados obtidos, embora uma quantidade muito

grande de dados aumente consideravelmente o tempo de processamento e os recursos computacionais requeridos. O tempo de ensaio padrão é de 24 horas, podendo ser estendido em função do estudo a ser executado na argamassa.

Os dados de carga, em kgf, foram convertidos em pressão utilizando-se a equação 3:

$$\frac{F}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

P = Pressão gerada pela argamassa expansiva (Pa=Kgf/cm²)

F = Carga gerada pela argamassa expansiva (Kgf)

d = Diâmetro do furo do corpo de prova (cm)

Os valores de pressão assim obtidos foram utilizados para a elaboração de gráficos e tabelas de pressão expansiva versus tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2. Caracterização das Argamassas Expansivas

4.2.1. Análise Química Argamassa Expansiva

As amostras de massa expansiva chinesa e italiana foram analisadas por fluorescência de Raios-X para determinação da composição química semiquantitativa. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4: Composição química semiquantitativa obtida por fluorescência de Raios-X das amostras de argamassa expansiva utilizados nos ensaios.

Análise	Argamassa Expansiva italiana (Fracta.Ag)	Argamassa Expansiva chinesa (Chemshine)
CaO	90,2	89,8
SiO ₂	2,8	3,0
MgO	0,6	0,4
Al ₂ O ₃	0,6	1,5
SO ₃	0,6	0,2
Fe ₂ O _{3T}	0,4	1,8
K ₂ O	0,1	0,2
SrO	0,1	0,1
TiO ₂	0,1	0,2
Na ₂ O	nd	0,8
NiO	nd	tr
ZrO ₂	nd	tr
CuO	nd	tr
P ₂ O ₅	tr	tr
MnO	tr	tr
Y ₂ O ₃	nd	tr
PF*	4,62	2,59
Total	100,00	100,74

Fonte: própria (2013)

(*) Perda ao fogo realizado à parte.

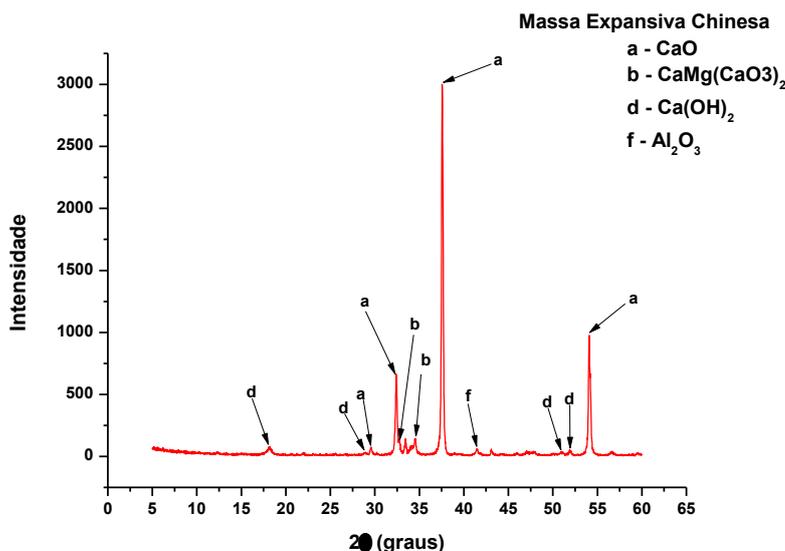
Analisando os resultados da Tabela 4, verifica-se que as amostras de massa expansiva chinesa (Chemshine) e italiana (Fracta.Ag), apresentam alto teor de óxido de cálcio, CaO –que foi de 89,8% e 90,2%, respectivamente. Comparando este resultado com os obtidos por Lira *et al* (2005) também para as massa italianas e chinesa, que obteve valores de teor de óxido de cálcio, CaO – aproximadamente 64% e 80%, respectivamente, porém com valores de perda ao fogo de 15,85% e 29,50%. Enquanto os valores obtidos neste trabalho foram de

4,62 e 2,59. Segundo Souza Santos (1989), a perda ao rubro (PR) representa a perda de água livre intercalada, a perda de água de hidroxilas, matéria orgânica e carbonatos. Pode-se observar que também que a composição química das argamassas estão dentro da faixa estimada por HUYNH & LAEFER (2009).

4.2.2. Difractometria de Raios-X (DRX) das Amostras das Argamassas Expansivas China (Chemshine) e Italiana (Fracta.Ag).

A Figura 21 do difratograma obtido para a amostra de argamassa expansiva chinesa, mostra picos de difração das fases cristalinas do CaO, CaMg(CaO₃)₂, Ca(OH)₂ e Al₂O₃ confirmados também pela análise química.

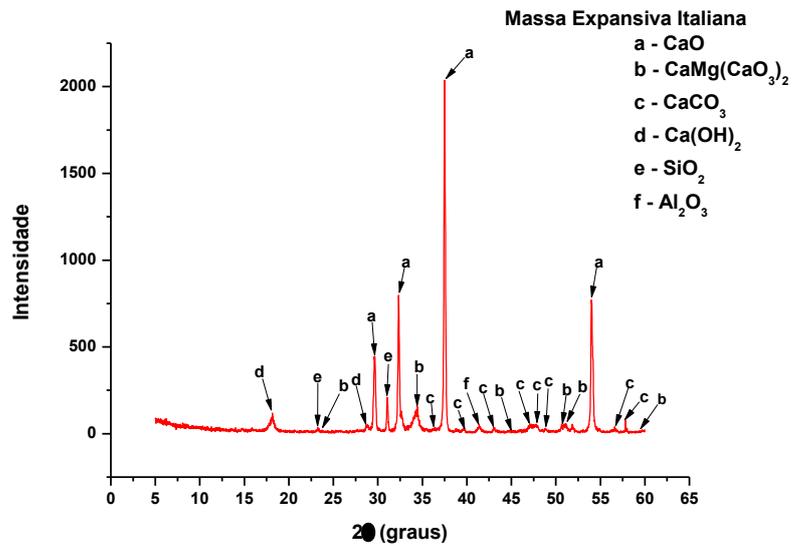
Figura 21: Difractograma de Raios-X (DRX) da amostra da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)



Fonte: própria (2013)

A Figura 22, do difratograma obtido para a amostra da argamassa expansiva italiana, mostra picos de difração das fases cristalinas do CaO (óxido de cálcio), CaMg(CaO₃)₂ (carbonato de cálcio e magnésio), CaCO₃ Carbonato de cálcio, Ca(OH)₂ Hidróxido de cálcio, SiO₂ Sílica, e Al₂O₃ (Óxido de alumínio confirmados também pela análise química. Estes resultados também foram obtidos por Lira et al. (2005)

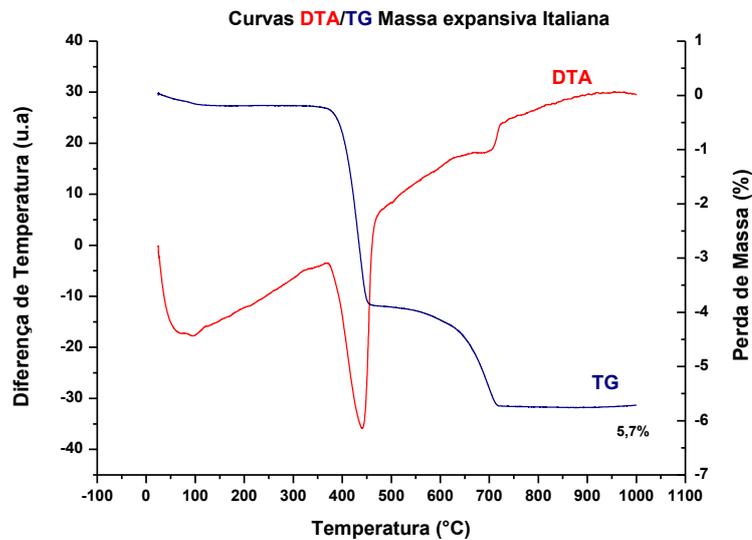
Figura 22: Difractograma de Raios-X (DRX) da amostra da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)



Fonte: própria (2013)

A Figura 23 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimetria (TGA) da amostra da argamassa expansiva italiana, onde se observa um pico endotérmico de grande intensidade em torno dos 441,15°C com perda de massa ($\Delta m \approx 3,20\%$) em virtude da decomposição térmica do Ca(OH)_2 e um pico menor endotérmico em torno de 705,10°C com perda de massa ($\Delta m \approx 5,53\%$) justificado pela decomposição térmica do CaCO_3 e confirmando os resultados de difração de Raios-X, onde mostra a presença das fases cristalinas do carbonato de cálcio magnesiano e do hidróxido de cálcio.

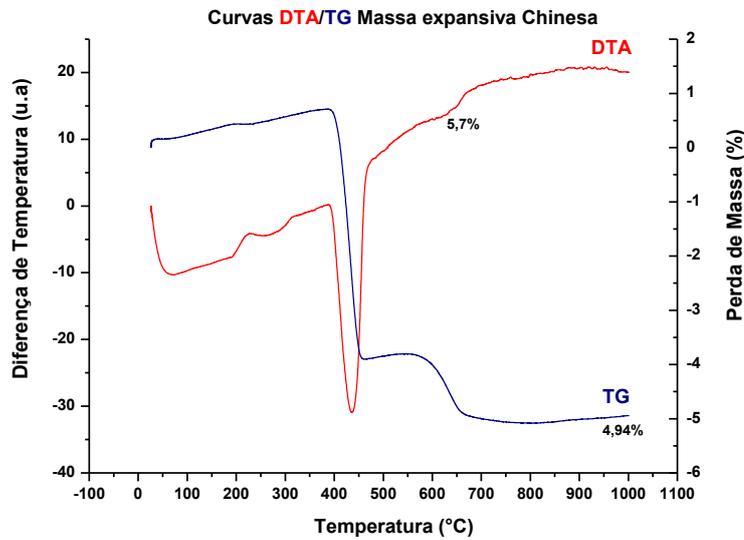
Figura 23: Curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TGA) da amostra da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)



Fonte: própria (2013)

A Figura 24 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimetria (TGA) da amostra da argamassa expansiva chinesa, onde se observa um pico endotérmico de grande intensidade em torno dos 436,95°C com perda de massa ($\Delta m \approx 2,55\%$) justificado pela decomposição térmica do hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ou é $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e um pico menor endotérmico em torno de 629,19°C com perda de massa ($\Delta m \approx 4,41\%$) justificado pela decomposição térmica do CaCO_3 . Estes resultados também estão de acordo com os resultados de difração de Raios-X, onde mostra a presença das fases cristalinas do carbonato de cálcio magnesiano e do hidróxido de cálcio.

Figura 24: Curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TGA) da amostra da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)



Fonte: própria (2013)

4.2.3. Análise Granulométrica das Argamassas Expansivas Chinesa e Italiana.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica via peneiramento, feita na amostra da argamassa expansiva chinesa. Onde pode-se observar que a amostra apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas de aproximadamente 10% com diâmetro inferior a 75 μ m, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a 106 μ m e 90% das partículas com diâmetro inferior a 250 μ m, obtendo assim um diâmetro médio de 106,07 μ m.

Tabela 5: Análise granulométrica obtida por peneiramento a seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine)

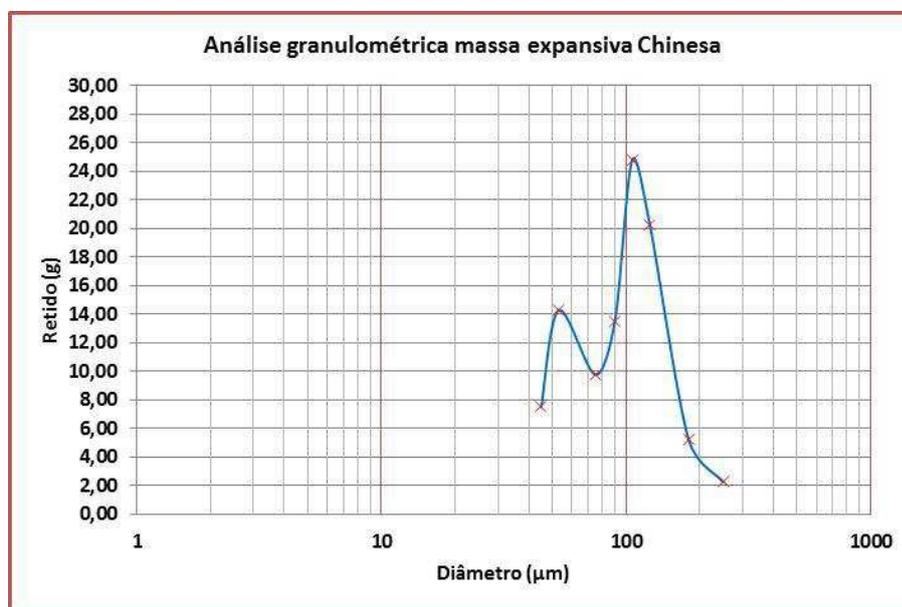
Malha Tyler/Mesh	Abertura (μ m)	Peso (g)	Porcentagem
------------------	---------------------	----------	-------------

			Retida	Acumulada	Passante
60	250	3,00	2,26	2,26	97,74
80	180	7,00	5,26	7,52	92,48
120	125	27,00	20,30	27,82	72,18
140	106	33,00	24,81	52,64	47,37
170	90	18,00	13,53	66,17	33,83
200	75	13,00	9,77	75,94	24,06
270	53	19,00	14,29	90,23	9,77
325	45	10,00	7,52	97,75	2,26
Acima de 325	Fundo	3,00	2,26	100,00	0,00
-	-	133,00	100,00	-	-
Diâmetro médio	106,07				

Fonte: própria (2014)

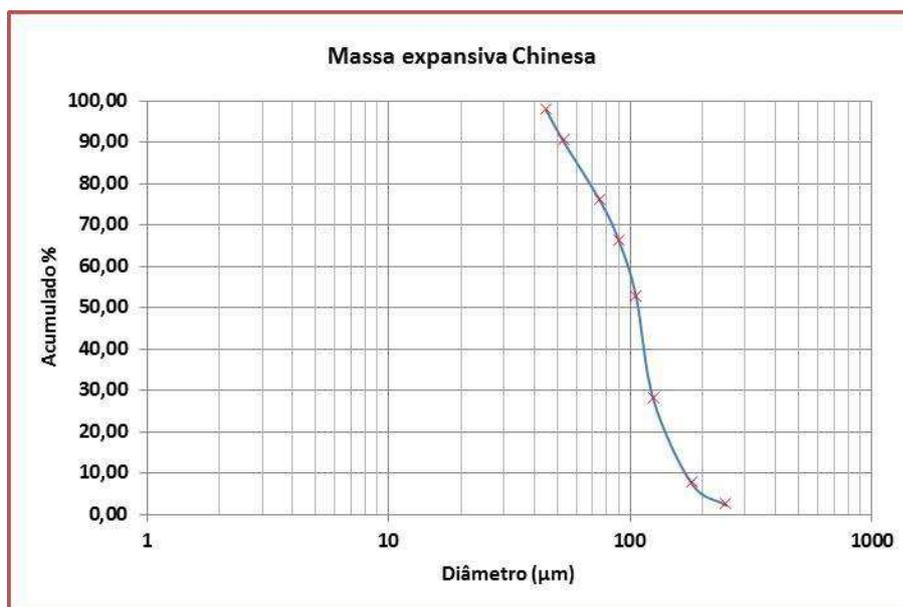
As Figuras 25 e 26 mostram a distribuição granulométrica bimodal retida e a acumulada da argamassa expansiva chinesa, via peneiramento, apresentado um tamanho médio de partícula de 106,07 μ m.

Figura 25: Distribuição granulométrica por peneiramento via seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine)



Fonte: própria (2014)

Figura 26: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seco da amostra de argamassa expansiva chinesa (Chemshine)



Fonte: própria (2014)

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica via peneiramento, feita na amostra da argamassa expansiva italiana. Onde pode-se observar que a amostra apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas 10% com diâmetro inferior a 75 µm, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a 106 µm e 90% das partículas com diâmetro inferior a 250 µm, obtendo assim um diâmetro médio de 101,64 µm.

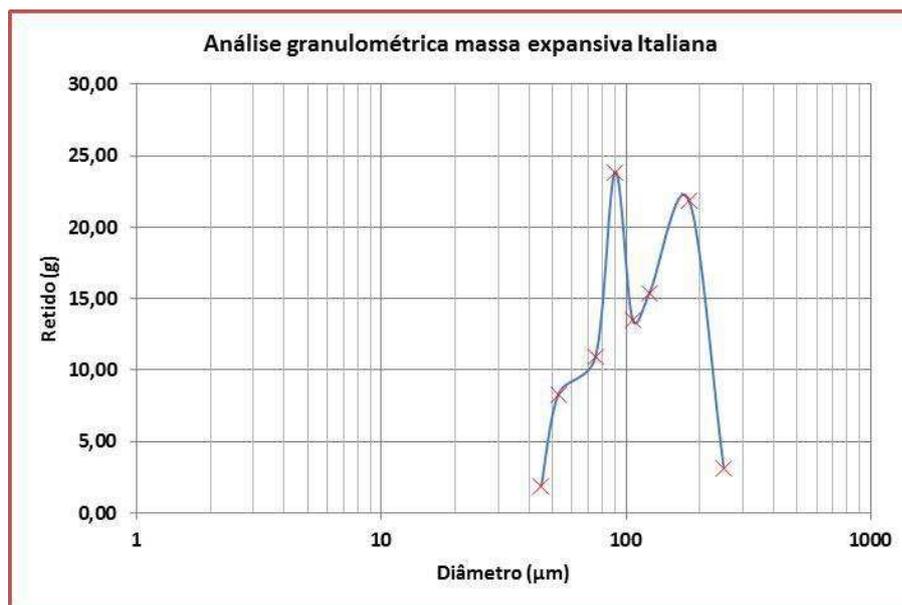
Tabela 6: Análise granulométrica obtida por peneiramento a seco da amostra de argamassa expansiva italiana (FRACTA.AG)

Malha Tyler/Mesh	Abertura (µm)	Peso (g)	Porcentagem		
			Retida	Acumulada	Passante
60	250	5,00	3,23	3,23	96,77
80	180	34,00	21,94	25,16	74,84
120	125	24,00	15,48	40,65	59,35
140	106	21,00	13,55	54,19	45,81
170	90	37,00	23,87	78,06	21,94
200	75	17,00	10,97	89,03	10,97
270	53	13,00	8,39	97,42	2,58
325	45	3,00	1,94	99,35	0,65
Acima de 325	Fundo	1,00	0,65	100,00	0,00
	-	155,00	100,00	-	-
Diâmetro médio	101,64				

Fonte: própria (2014)

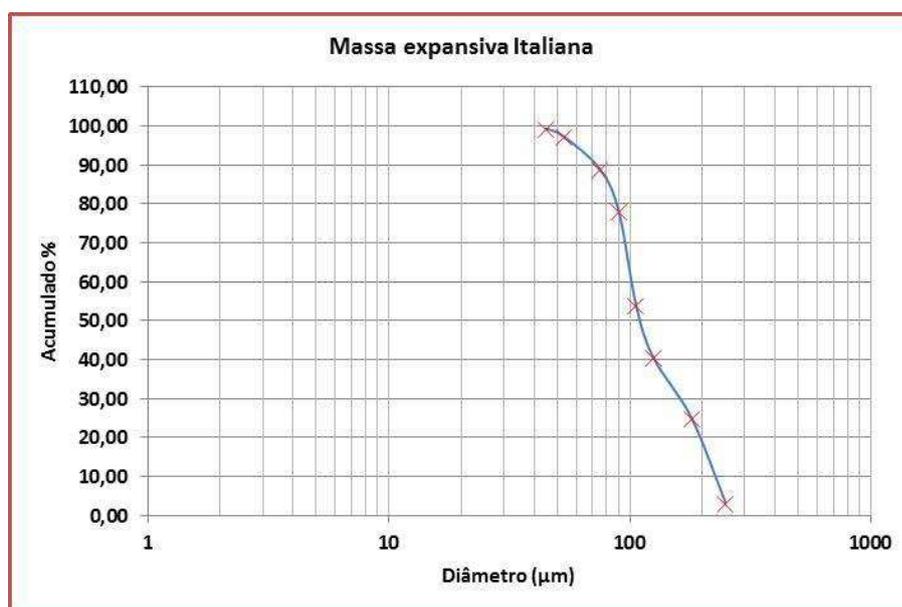
As Figuras 27 e 28 mostram a distribuição granulométrica bimodal retida e a cumulada da argamassa expansiva italiana, via peneiramento, apresentado um tamanho médio de partícula de 101,64 μm .

Figura 27: Distribuição granulométrica obtida por peneiramento via seca da amostra de argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)



Fonte: própria (2014)

Figura 28: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seca da amostra de argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)



Fonte: própria (2014)

4.3. Caracterização do Gesso

4.3.1. Análise Granulométrica

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica a laser feita na amostra de gesso, onde se pode observar que na amostra de gesso apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas 10% com diâmetro inferior a $0,79\mu\text{m}$, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a $4,32\mu\text{m}$ e 90% das partículas com diâmetro inferior a $17,97\mu\text{m}$, obtendo assim um diâmetro médio de $7,12\mu\text{m}$.

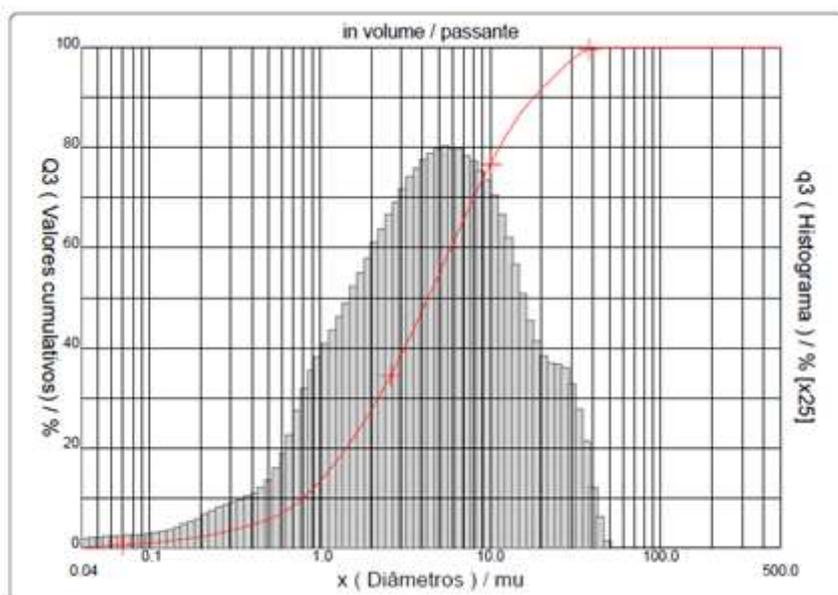
Tabela 7: Análise granulométrica por difração a laser da amostra de gesso

Resíduo	D (μm) a 10%	D (μm) a 50%	D (μm) a 90%	D médio (μm)
Gesso	0,79	4,32	17,97	7,12

Fonte: própria (2014)

A Figura 29 mostra a distribuição granulométrica unimodal por difração a laser da amostra de gesso, apresentado um tamanho médio de partícula de $7,12\mu\text{m}$.

Figura 29: Distribuição granulométrica por difração a laser da amostra de gesso



Fonte: própria (2013)

4.3.2. Análise Química do Gesso.

A composição química do gesso foi obtida por fluorescência de Raios-X. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de gesso

Gesso	
Análise	Resultado %
SO ₃	53,285
CaO	43,215
P ₂ O ₅	2,092
SiO ₂	0,720
Al ₂ O ₃	0,283
K ₂ O	0,141
SrO	0,138
Fe ₂ O ₃	0,126
Total	100,00

Obs. O Fe₂O₃ representa Fe total

Fonte: própria (2013)

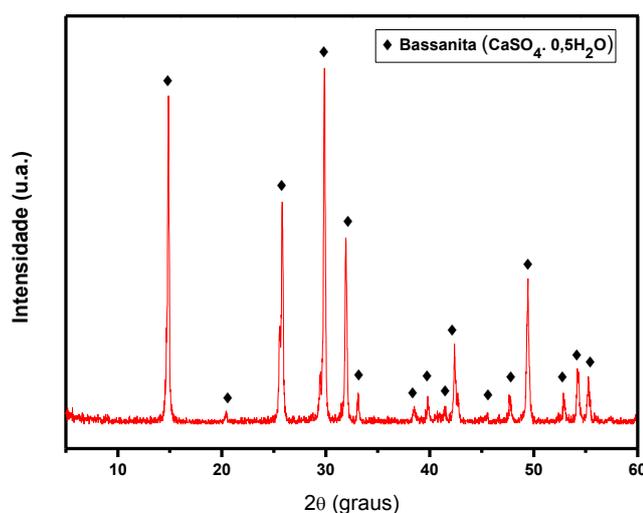
Analisando os resultados da Tabela 8, verifica-se que a amostra de gesso, apresenta alto teor de trióxido de enxofre SO₃ – aproximadamente 53,285%, óxido de cálcio, CaO – aproximadamente 43,215%, Pentóxido de fosforo P₂O₅ – aproximadamente 2,092% (A presença P₂O₅ não é recomendada, podendo comprometer o desempenho da pressão de expansão (SUZUKAWA, 1984). Antônio Augusto, Dióxido de silício SiO₂ – aproximadamente 0,720%, Óxido de alumínio Al₂O₃ – aproximadamente 0,283%, Óxido de potássio K₂O – aproximadamente 0,141%, Óxido de estrôncio SrO – aproximadamente 0,138 e Óxido de ferro, - Fe₂O₃ – aproximadamente 0,126%.

4.3.3. Difractometria de Raios-X da Amostra de Gesso

A Figura 30 A apresenta o resultado do difratograma de raios X da amostra de gesso, apresentando fase mineralógica única, bassanita (CaSO₄.0,5H₂O). De acordo com Antunes (1999) e Kanno (2009), o mineral bassanita cristaliza na estrutura monoclinico com o pico d₄₀₀ de maior intensidade (100%). O gesso em

formulações de massas cerâmicas pode apresentar menor plasticidade, devido à fase mineralógica bassanita ser um sulfato de cálcio semi-hidratada, diferentemente da fase gipsita que contém o mineral dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no qual confere uma maior plasticidade nas massas cerâmicas.

Figura 30: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra de gesso



Fonte: própria (2013)

4.4. Caracterização do Caulim

4.4.1. Análise Granulométrica do Caulim

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica a laser feita na amostra de caulim, onde pode-se observar que na amostra de gesso apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas 10% com diâmetro inferior a $0,73\mu\text{m}$, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a $3,87\mu\text{m}$ e 90% das partículas com diâmetro inferior a $21,10\mu\text{m}$, obtendo assim um diâmetro médio de $7,12\mu\text{m}$.

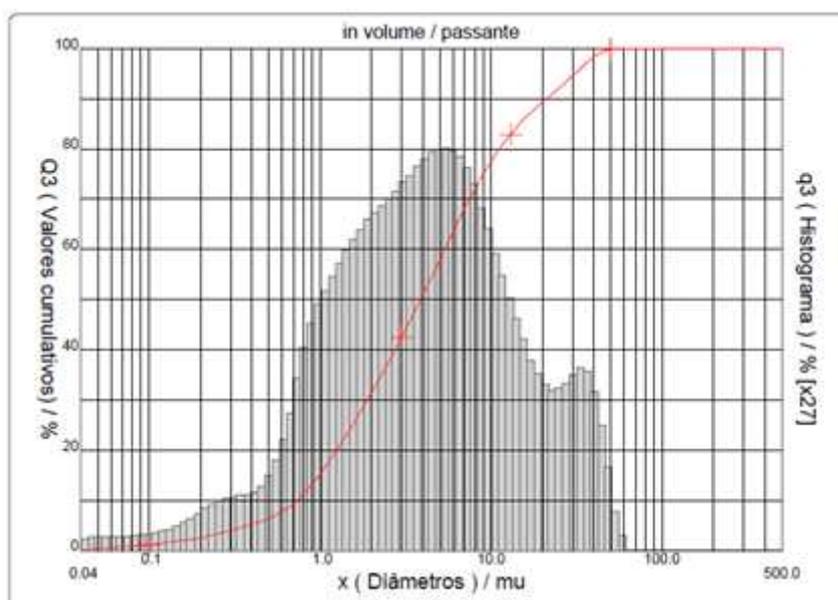
Tabela 9: Análise granulométrica por difração a laser da amostra de caulim

Matéria-prima	D (μm) a 10%	D (μm) a 50%	D (μm) a 90%	D médio (μm)
Caulim	0,73	3,87	21,10	7,58

Fonte: própria (2013)

A Figura 31 mostra a distribuição granulométrica unimodal por difração a laser da amostra de caulim, apresentado um tamanho médio de partícula de 7,58µm.

Figura 31: Distribuição granulométrica por difração a laser da amostra de caulim



Fonte: própria (2013)

4.4.2. Análise Química do Caulim.

A Tabela 10 mostra a composição química semiquantitativa, obtida por fluorescência de Raios-X feito no caulim.

Analisando os resultados da Tabela 10, verifica-se que a amostra de gesso, apresenta alto teor de Dióxido de silício SiO_2 – aproximadamente 52,282%, Óxido de alumínio Al_2O_3 – aproximadamente 45,224%, Óxido de potássio K_2O – aproximadamente 0,994%, Óxido de magnésio MgO – aproximadamente 0,475%, Óxido de ferro, - Fe_2O_3 – aproximadamente 0,465%, Trióxido de enxofre SO_3 – aproximadamente 0,196%, Óxido de bário BaO – aproximadamente 0,137%, óxido de cério CeO_2 – aproximadamente 0,087%, Pentóxido de fósforo P_2O_5 - aproximadamente 0,059%, Óxido de tântalo Ta_2O_5 – aproximadamente 0,026%, Óxido de estrôncio SrO – aproximadamente 0,014%, Óxido de rubídio Rb_2O – aproximadamente 0,012, Óxido de irídio Ir_2O_3 - aproximadamente 0,006%, Óxido

de ítrio Y_2O_3 – aproximadamente 0,004% e Óxido de zircônio ZrO_2 – aproximadamente 0,003% .

Tabela 10: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de caulim

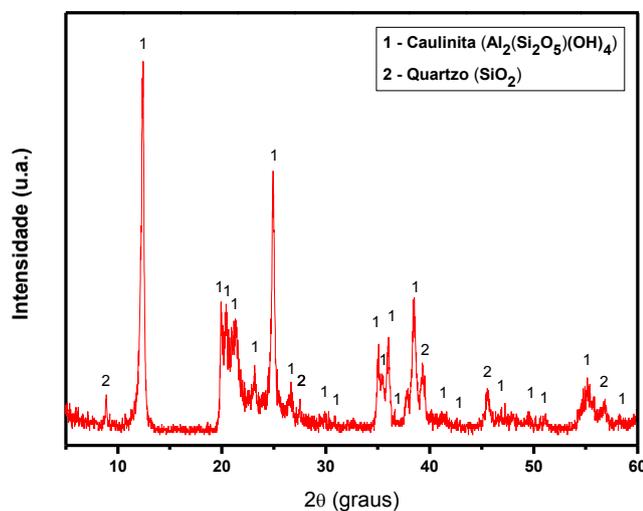
Caulim	
Análise	Resultado %
SiO₂	52.298
Al₂O₃	45.224
K₂O	0.994
MgO	0.475
Fe₂O₃	0.465
SO₃	0.196
BaO	0.137
CeO₂	0.087
P₂O₅	0.059
Ta₂O₅	0.026
SrO	0.014
Rb₂O	0.012
Ir₂O₃	0.006
Y₂O₃	0.004
ZrO₂	0.003
Total	97,52

Fonte: própria (2013)

4.4.3. Difractometria de Raios-X da Amostra de Caulim

A Figura 32 apresenta o difratograma de raios X (DRX) da amostra de caulim, no qual apresenta a caulinita $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$ e o quartzo $[SiO_2]$ como constituintes mineralógicos. O quartzo combinado com o CaO e K_2O contribui para a diminuição da retração linear, já que este funciona como “esqueleto” durante a formação de fase líquida na sinterização. O quartzo possui uma estrutura cristalina trigonal e hexagonal composta por tetraedros de sílica (SiO_2). A caulinita e os óxidos de ferro determinam, normalmente, a cor e influenciam a estrutura, consistência, infiltração e retenção de água e reações de troca iônica dos solos (VIEIRA, 2007).

Figura 32: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra de caulim



Fonte: própria (2014)

4.5. Caracterização do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granitos (RPBG).

4.5.1. Análise Granulométrica

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica a laser feita na amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos, onde pode-se observar que na amostra de gesso apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas 10% com diâmetro inferior a 2,5 μ m, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a 22,38 μ m e 90% das partículas com diâmetro inferior a 60,43 μ m, obtendo assim um diâmetro médio de 27,38 μ m.

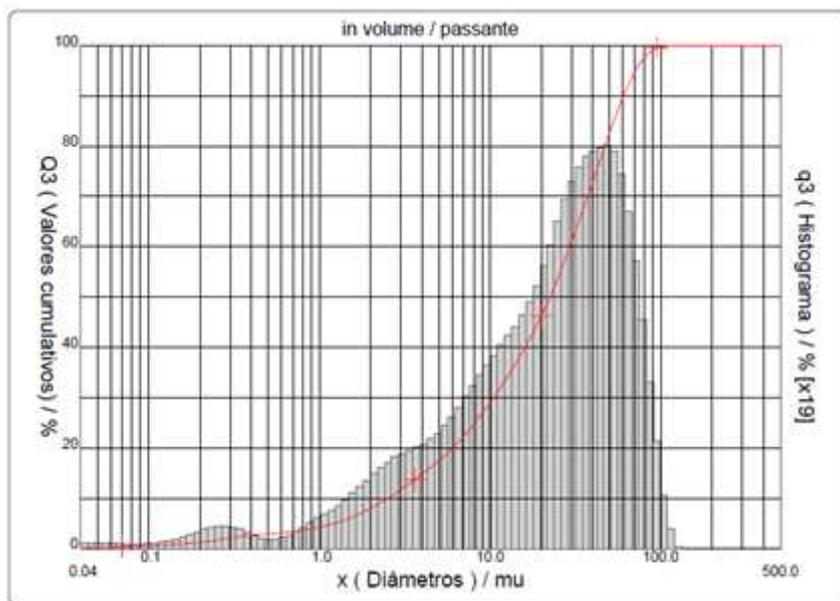
Tabela 11: Análise granulométrica por difração a laser da amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos

Resíduo	D (μ m) a 10%	D (μ m) a 50%	D (μ m) a 90%	D médio (μ m)
Resíduo granito	2,5	22,38	60,43	27,38

Fonte: própria (2013)

A Figura 33 mostra a distribuição granulométrica unimodal por difração a laser da amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos, apresentado um tamanho médio de partícula de 27,38 μ m.

Figura 33: Distribuição granulométrica por difração a laser amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granitos



Fonte: própria (2013)

4.5.2. Análise Química do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito (RPG).

A Tabela 12 mostra a composição química semiquantitativa, obtida por fluorescência de Raios-X feito do resíduo do processo de beneficiamento do granito.

Analisando os resultados da Tabela 12, verifica-se que a amostra do resíduo do processo de beneficiamento do granito, apresenta alto teor de Dióxido de silício SiO_2 – aproximadamente 46,21%, Óxido de alumínio Al_2O_3 – aproximadamente 17,682%.

Tabela 12: Composição química semiquantitativa por fluorescência de Raios-X da amostra de resíduo do processo de beneficiamento do granito

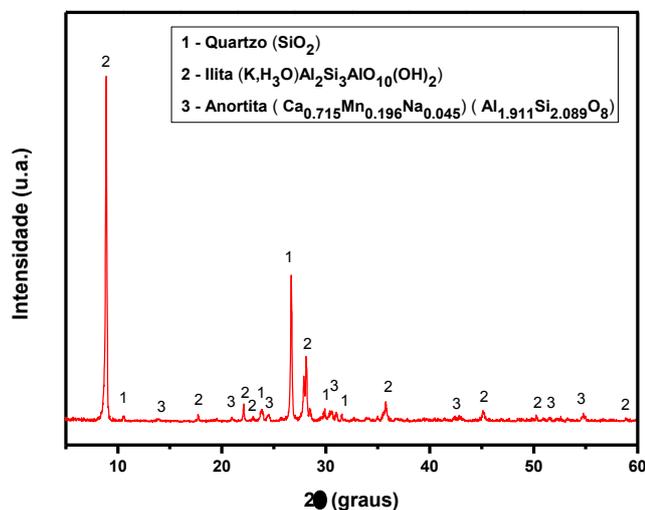
Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito (RPBG)	
Análise	Resultado %
SiO₂	46,210
Al₂O₃	17,682
Fe₂O₃	14,674
CaO	7,885
MgO	3,919
K₂O	3,261
Na₂O	2,429
TiO₂	2,089
SO₃	1,067
P₂O₅	0,457
MnO	0,200
SrO	0,068
ZrO₂	0,059
Total	100

Fonte: própria (2013)

4.5.3. Difratometria de Raios-X da Amostra do Resíduo do Processo de Beneficiamento de Granito (RPBG).

A Figura 34 apresenta o difratograma de Raios-X da amostra do resíduo do processo de beneficiamento de granito, no qual apresenta o Quartzo SiO₂, Ilita K,H₃OAl₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ e Anortita Ca_{0.715}Mn_{0.196}Na_{0.045}Al_{1.911}Si_{2.089}O₈ como os principais constituintes mineralógicos do resíduo.

Figura 34: Difratoograma de Raios X (DRX) da amostra do Resíduo do Beneficiamento de Granito



Fonte: própria (2013)

4.6. Caracterização do Resíduo do Processo de Perfuração dos Granitos (RPPG).

4.6.1. Análise Granulométrica

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos da análise granulométrica via peneiramento na amostra do resíduo do processo de perfuração do granitos, onde pode-se observar que na amostra do granito, apresenta uma seguinte distribuição granulométrica: um percentual de partículas 10% com diâmetro inferior a $75\mu\text{m}$, um percentual de 50% das partículas com diâmetro inferior a $250\mu\text{m}$ e 90% das partículas com diâmetro inferior a $600\mu\text{m}$, obtendo assim um diâmetro médio de $157,58\mu\text{m}$.

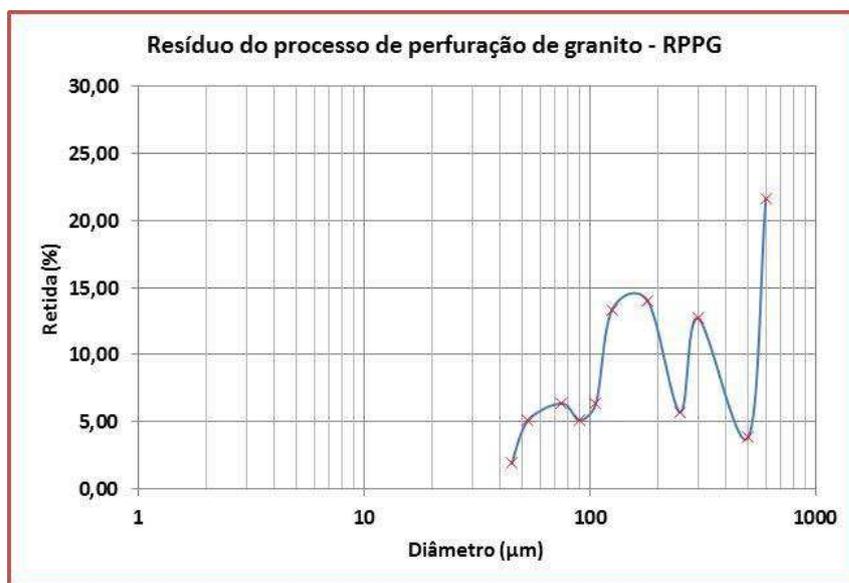
Tabela 13: Análise granulométrica obtida por peneiramento da amostra do resíduo do processo de perfuração dos granitos.

Malha Tyler/Mesh	Abertura (µm)	Peso (g)	Porcentagem		
			Retida	Acumulada	Passante
30	600	34,00	21,66	21,66	78,34
35	500	6,00	3,82	25,48	74,52
50	300	20,00	12,74	38,22	61,78
60	250	9,00	5,73	43,95	56,05
80	180	22,00	14,01	57,97	42,04
120	125	21,00	13,38	71,34	28,66
140	106	10,00	6,37	77,71	22,29
170	90	8,00	5,10	82,81	17,20
200	75	10,00	6,37	89,18	10,83
270	53	8,00	5,10	94,27	5,73
325	45	3,00	1,91	96,18	3,82
		6,00	3,82	100,00	0,00
-		157,00	100,00	-	-
Diâmetro médio	157,58				

Fonte: própria (2014)

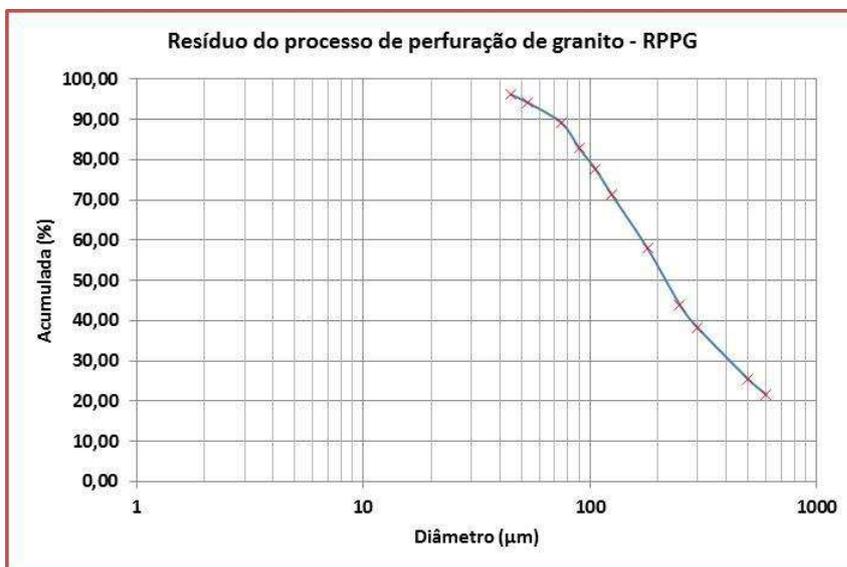
As Figuras 35 e 36 mostram a distribuição granulométrica trimodal retida e a acumulada via peneiramento da amostra do resíduo do processo de perfuração dos granitos, apresentado um tamanho médio de partícula de 157,58µm.

Figura 35: Distribuição granulométrica via peneiramento da amostra do resíduo do processo de perfuração dos granitos - RPPG



Fonte: própria (2014)

Figura 36: Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seco da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito-RPBG



Fonte: própria (2014)

4.6.2. Análise Química do Resíduo do Processo de Perfuração do Granito.

A Tabela 14 mostra que o resíduo do processo de perfuração do granito apresenta em sua composição 49,432% (SiO_2) e 19,067% (Al_2O_3), se tratando portanto de um material silicato aluminoso, com teores de 12,433% (Fe_2O_3), 7,787% (CaO), 3,331% (MgO), 2,720% (Na_2O), 1,994% (TiO_2) e 1,794% (K_2O).

Tabela 14: Composição química semiquantitativa obtida por fluorescência de Raios-X da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito

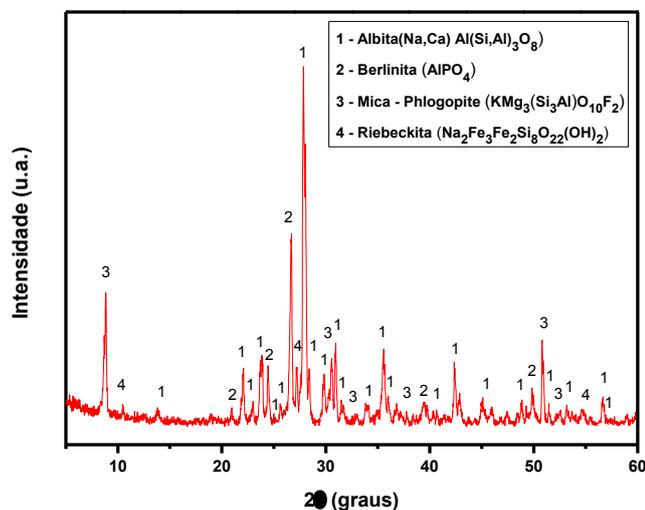
Resíduo do Processo de Perfuração de Granito	
Análise	Resultado %
SiO₂	49.432
Al₂O₃	19.067
Fe₂O₃	12.433
CaO	7.787
MgO	3.331
Na₂O	2.720
TiO₂	1.994
K₂O	1.794
P₂O₅	0.692
SO₃	0.388
MnO	0,203
ZrO₂	0,080
SrO	0,067
ZnO	0,012
Total	98,558

Fonte: própria (2014)

4.6.3. Difractometria de Raios-X da Amostra do Resíduo do Processo de Perfuração de Granito.

A Figura 37 apresenta o difratograma de Raios-X da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito, no qual apresenta a Albita [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Berlinita [AlPO₄], Mica – Phlogopita [(KMg₃(Si₃Al)O₁₀F₂)] e Riebeckita [(Na₂Fe₃Fe₂Si₈O₂₂(OH)₂] como constituintes mineralógicos. Observa-se que os compostos formadores dos minerais albita, berlinita, mica e riebeckita são os mesmos apresentados na Tabela 14.

Figura 37: Difratoograma de raios X (DRX) da amostra do resíduo do processo de perfuração do granito



Fonte: própria (2014)

4.7. Medições da Pressão de Expansão das Argamassas Comerciais Chinesa (Chemshine) e Italiana (Fracta.Ag).

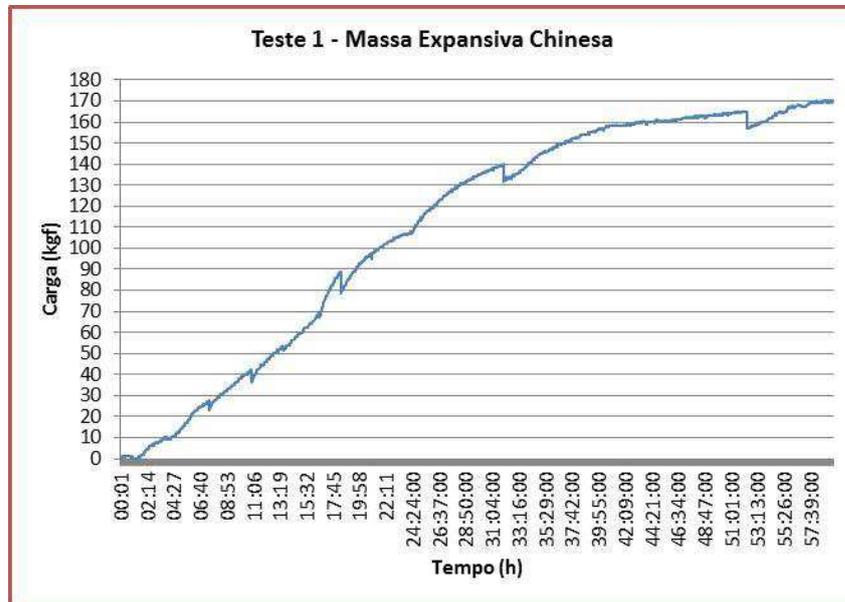
Para avaliar o comportamento do processo de expansão e da carga gerada pelas argamassas expansivas chinesa (Chemshine) e italiana (Fracta.Ag) foram realizados uma série de ensaios com as respectivas argamassas em seu estado puro.

4.7.1. Argamassa Expansiva Chinesa (Chemshine)

Na Figura 38, pode-se observar que no teste 1 realizado com a argamassa expansiva chinesa, o início do seu processo de expansão se dá às 01h24min, atingindo uma carga máxima de 170,00 kgf (216,56 kgf/cm²) às 58h08min.

Neste ensaio, verifica-se as quedas repetidas da carga às 17h51min, 31h13min, e 51h29min, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar na argamassa.

Figura 38: Teste 1 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine)

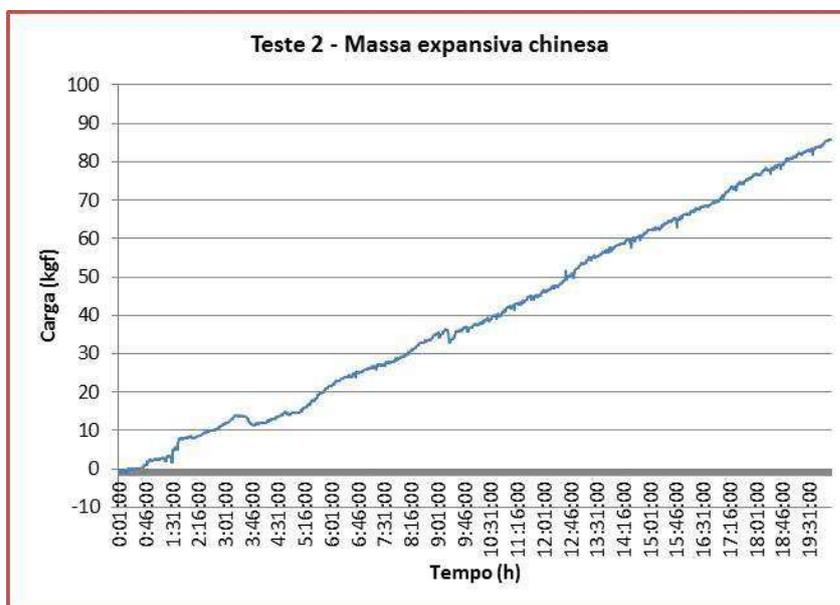


Fonte: própria (2013)

Na Figura 39, pode-se observar que no teste 2 realizado com a argamassa expansiva chinesa, o início do seu processo de expansão se dá às 00h37min horas, atingindo uma Carga máxima de 85,67 kgf ($109,13\text{kgf}/\text{cm}^2$) às 20h05min.

Neste ensaio, verifica-se a queda da carga às 09h03min e outras menores, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 39: Teste 2 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine)

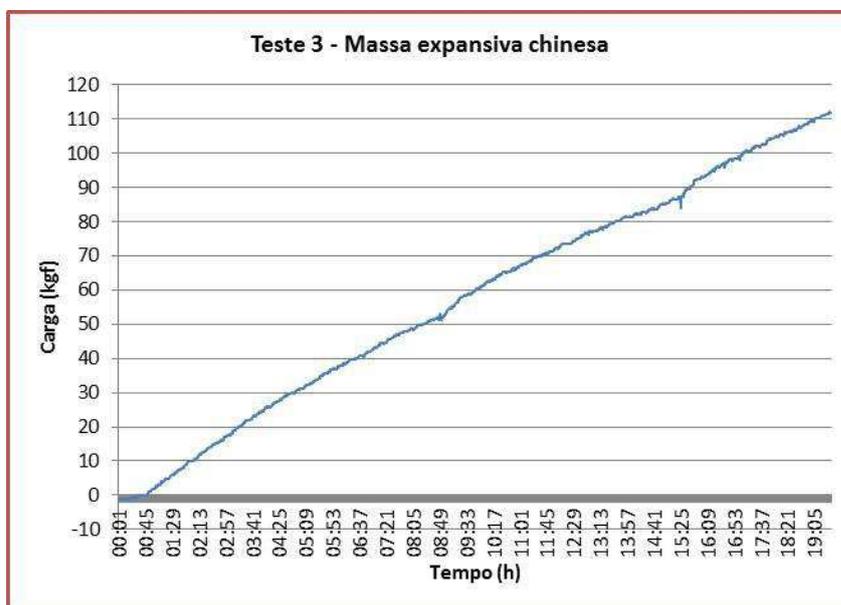


Fonte: própria (2013)

Na Figura 40, pode-se observar que no teste 3 realizado com a argamassa expansiva chinesa, o início do seu processo de expansão se dá às 00h02min, atingindo uma carga máxima de 112,14kgf ($142,85\text{kgf/cm}^2$) às 19h30min.

Neste ensaio, não verifica-se quedas significativas da carga, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 40: Teste 3 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine)

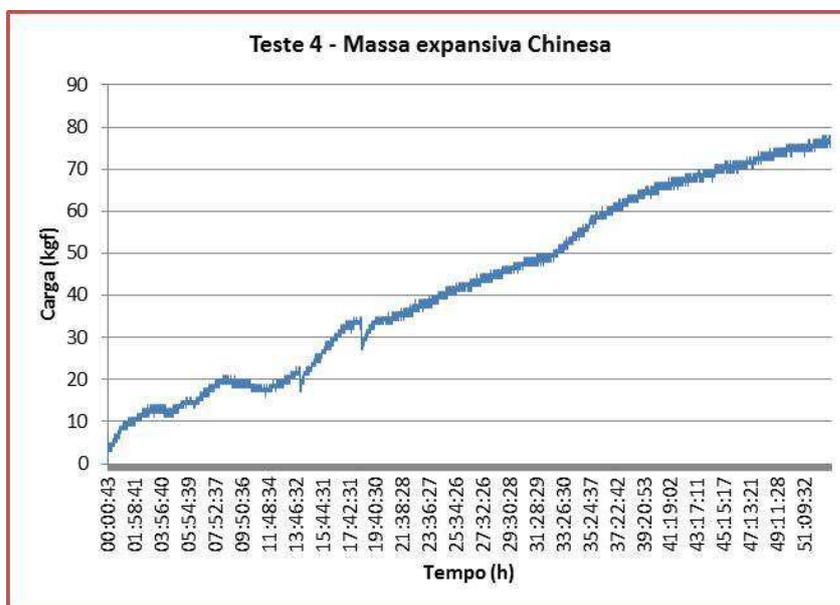


Fonte: própria (2013)

Na Figura 41, pode-se observar que no teste 4 realizado com a argamassa expansiva chinesa, o início do seu processo de expansão se dá às 00h24min, atingindo uma carga máxima de 78,00kgf (99,36kgf/cm²) às 52h30m.

Neste ensaio, verificam-se as quedas repetidas da carga às 13h30min e 17h51min, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 41: Teste 4 de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine)



Fonte: própria (2013)

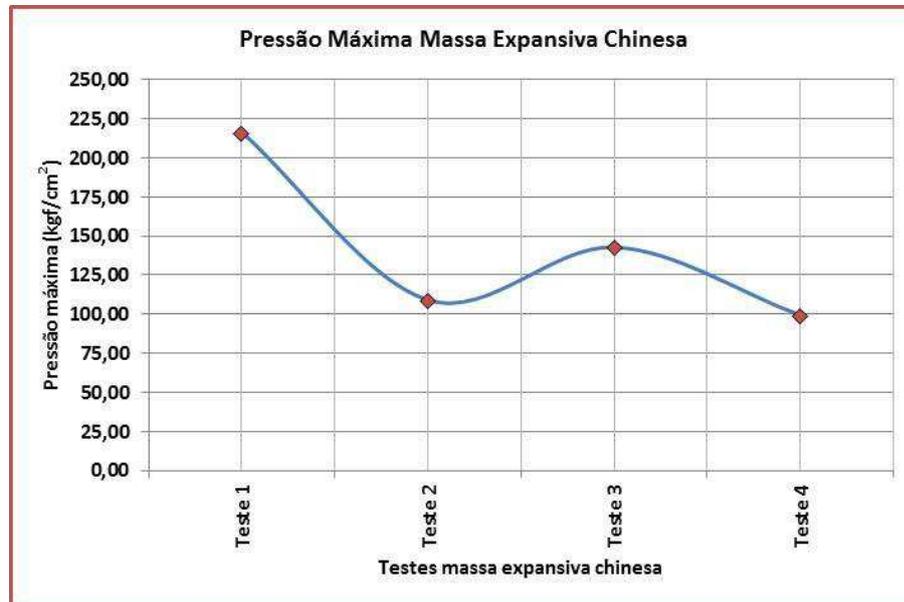
A Tabela 15 além da Figura 42 apresentam o resumo dos resultados dos testes de carga/pressão da argamassa comercial chinesa (Chemshine) realizadas no equipamento de medição de carga.

Tabela 15: Resultado das cargas média e máxima da argamassa expansiva chinesa (Chemshine)

Teste	Início do processo de expansão	Carga média (kgf)	Carga Máxima (Kgf)	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
Teste 1	01h24min	109,96	170,00	216,56
Teste 2	00h37min	39,92	85,67	109,13
Teste 3	00h02min	57,49	112,14	142,85
Teste 4	00h24min	43,07	78,00	99,36
Média	00h36min	62,61	111,45	141,98
Desvio P	00h:30min	28,13	36,10	45,98

Fonte: própria (2013)

Figura 42: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa (Chemshine)



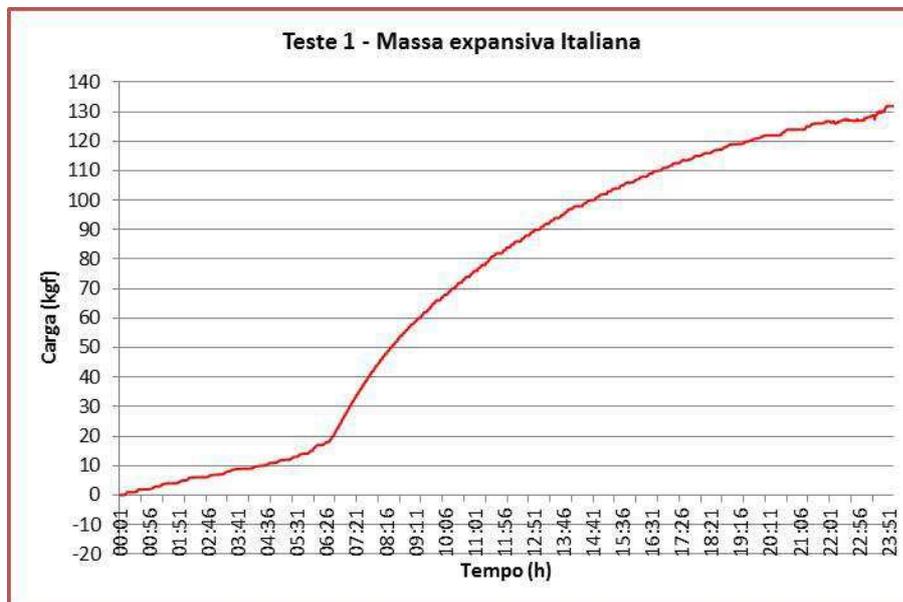
Fonte: própria (2014)

4.7.2. Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag)

Na Figura 43, pode-se observar que no teste 1 realizado com a argamassa expansiva italiana, o início do seu processo de expansão se dá às 00h10min horas, atingindo uma carga máxima de 132,00kgf (168,15MPa) às 23h52min.

Neste ensaio, verificam-se as quedas repetidas da carga às 05h08min, 03h47min e 05h51min e um aumento de carga às 09h30min e 16h04min, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 43: Teste 1 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)

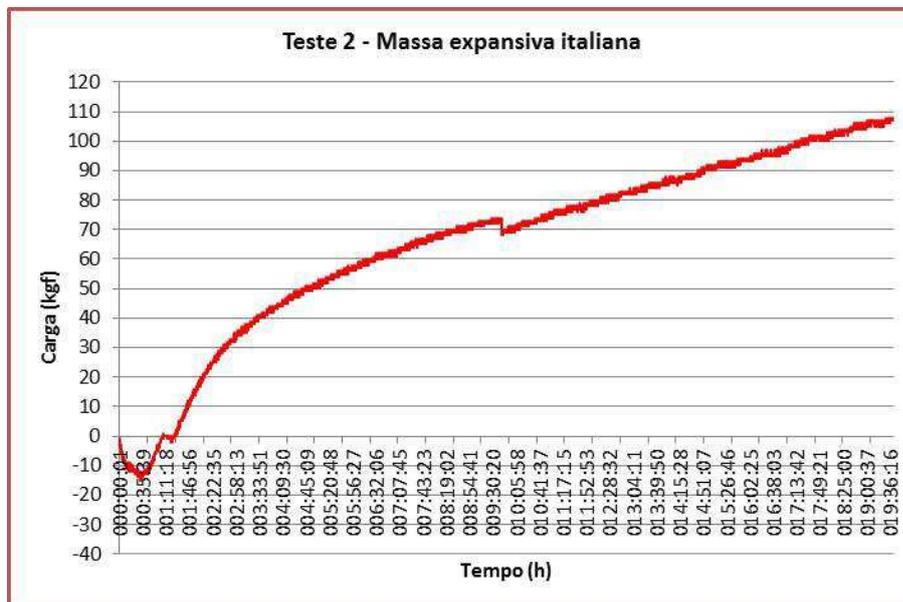


Fonte: própria (2013)

Na Figura 44, pode-se observar que no teste 2 realizado com a argamassa expansiva italiana o início do seu processo de expansão se dá às 01h26min horas, atingindo uma carga máxima de 108,00kgf ($137,58\text{kgf/cm}^2$) às 19h30min.

Neste ensaio, não se verifica quedas consideráveis de carga, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 44: Teste 2 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)

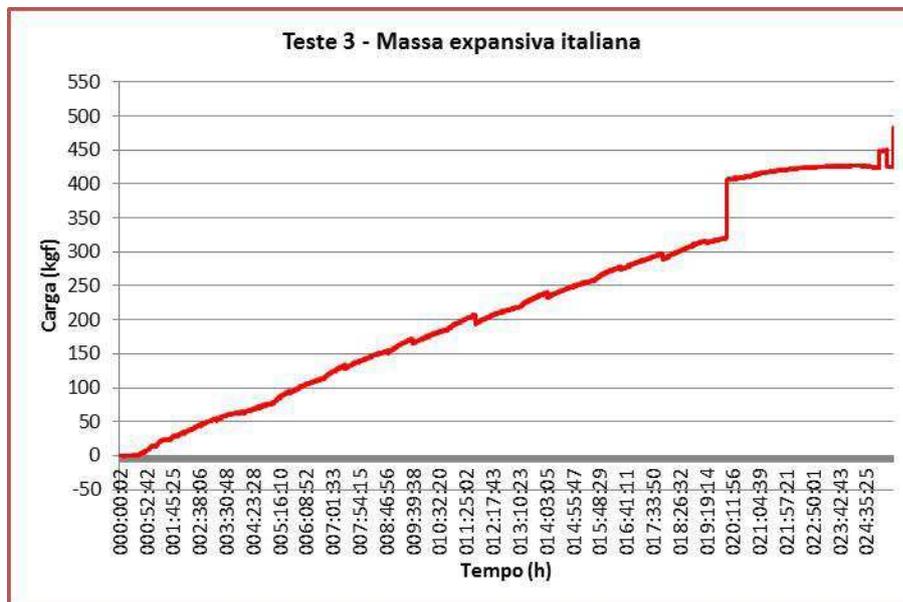


Fonte: própria (2013)

Na Figura 45, pode-se observar que no teste 3 realizado com a argamassa expansiva italiana o início do seu processo de expansão se dá às 00h34min, atingindo uma carga máxima de 344,00kgf ($438,22\text{kgf/cm}^2$) às 23h56min.

Neste ensaio, verificam-se quedas não significativas mas repetidas da carga às 11h25min, 13h44min e 17h31min, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 45: Teste 3 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)

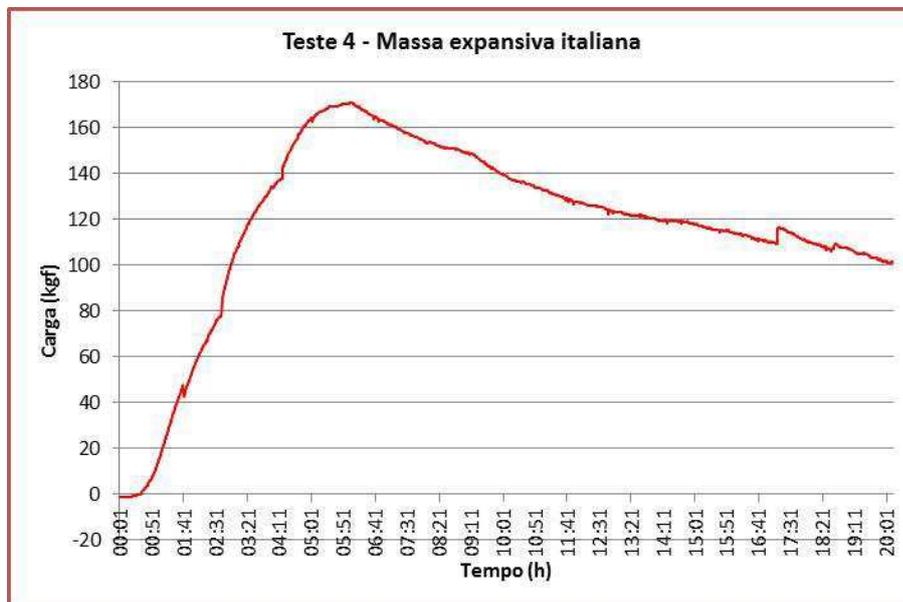


Fonte: própria (2013)

Na Figura 46, pode-se observar que no teste 4 realizado com a argamassa expansiva italiana, o início do seu processo de expansão se dá às 00h31min, atingindo uma carga máxima de 171,28kgf (218,19kgf/cm²) às 06h04min.

Neste ensaio, verificam-se as quedas repetidas da carga às 02h40min e 04h15min e um aumento de carga às 09h15min e 17h17min, provocadas por processos de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 46: Teste 4 de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag)



Fonte: própria (2013)

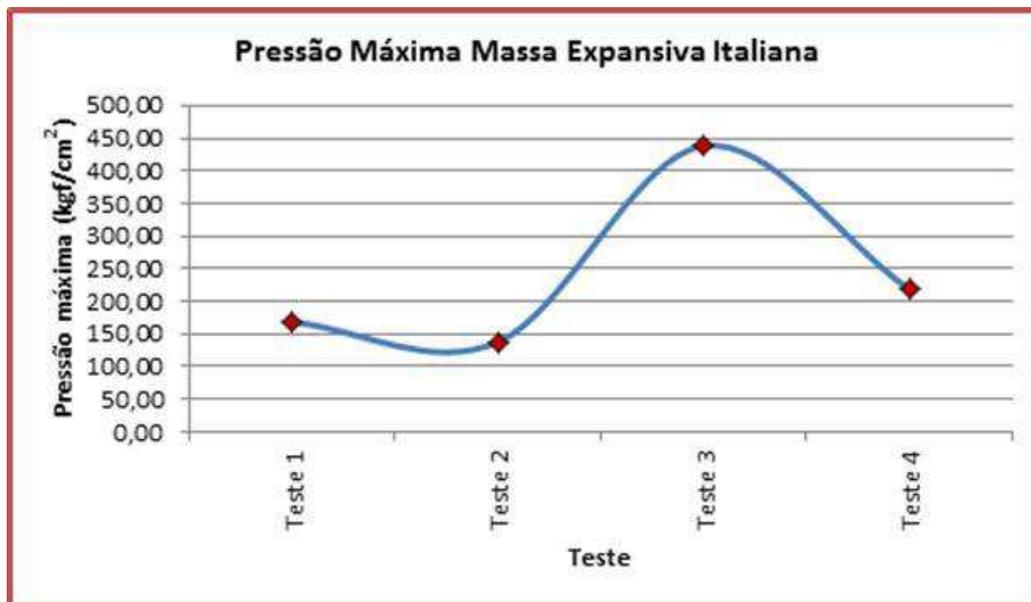
A Tabela 16 e o gráfico da Figura 47 apresentam o resumo dos resultados dos testes de carga/pressão da argamassa comercial italiana (Fracta.Ag) realizadas no equipamento de medição de carga.

Tabela 16: Resultado das cargas e pressão da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag)

Teste	Início do processo de expansão	Carga média (kgf)	Carga Máxima (Kgf)	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
Teste 1	00h10min	71,32	132,00	168,15
Teste 2	01h26min	65,75	108,00	137,58
Teste 3	00h34min	203,96	344,00	438,22
Teste 4	00h31min	118,11	171,28	218,19
Média	00h40min	114,79	188,82	240,54
Desvio P	00h28min	55,36	92,40	117,70

Fonte: própria (2014)

Figura 47: Carga máxima dos testes realizados com argamassa italiana (Fracta.Ag)



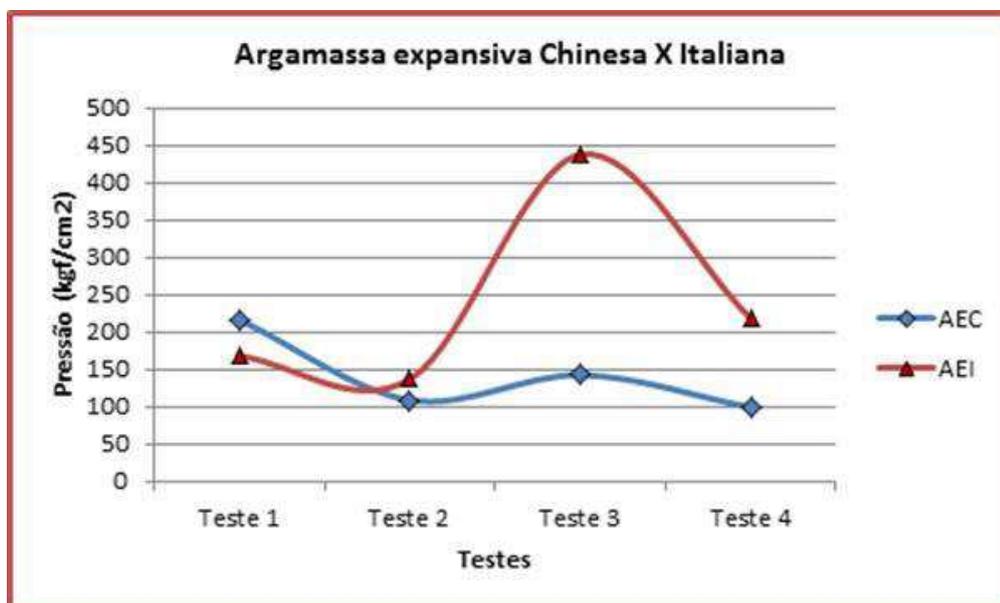
Fonte: própria (2014)

4.7.3. Comparativo do Desempenho da Pressão das Argamassas Expansivas Italiana (Fracta.Ag) e Chinesa (Chemshine).

A Figura 48 As argamassas chinesa e italiana apresentam valores médios totais da pressão de expansão obtidos nos testes de 141,98kgf/cm² e 240,54kgf/cm² respectivamente, sobre a área de 0,785cm² do corpo de prova com 0,8 cm de diâmetro. Os valores obtidos para cada um dos 4 testes realizados para as argamassa chinesa e italiana podem ser observados na figura 48.

Conclui-se que a argamassa italiana (Fracta.Ag) mesmo com o início médio de reação de expansão de 00h40min. um pouco mais demorada do que a chinesa que é de 00h36min min. a mesma apresenta uma pressão média total 69,41% superior a chinesa (Chemshine).

Figura 48: Relação entre a pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana



Fonte: própria (2014)

4.8. Medições da Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana Adicionadas de Resíduos.

Para análise do comportamento do processo de expansão das argamassas expansivas comerciais chinesa (Chemshine) e italiana (Fracta.Ag), as mesmas foram adicionadas com resíduos com granulometrias variadas conforme tabelas **7, 9, 11 e 13** de: gesso, caulim, resíduo do processo de beneficiamento de granito e do pó resultante do processo de perfuração dos granitos, nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

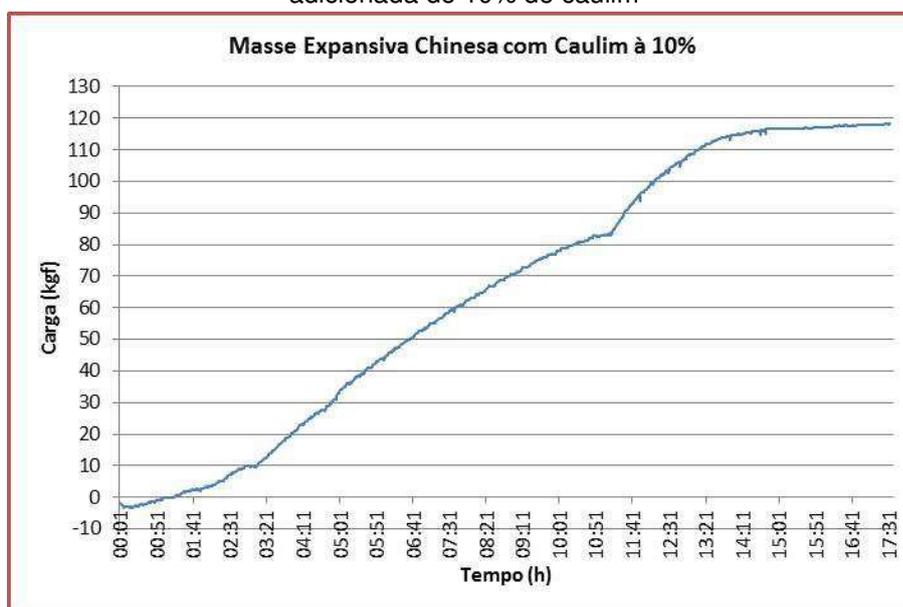
Um fator limitante durante o processo de mistura dos resíduos as argamassas, foi a questão da trabalhabilidade da mistura para colocação no orifício do molde após pronta. Principalmente nos casos do caulim e do gesso que só foi possível a mistura até no máximo 30%.

4.8.1. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduo de Caulim nas Proporções de 10%, 20% e 30%.

Na Figura 49, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 10% de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h12min, atingindo uma carga máxima de 118,26kgf (150,65kgf/cm²) às 17h32min.

Neste ensaio, não se verifica quedas repetidas de carga, provocada por processo de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 49: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% de caulim

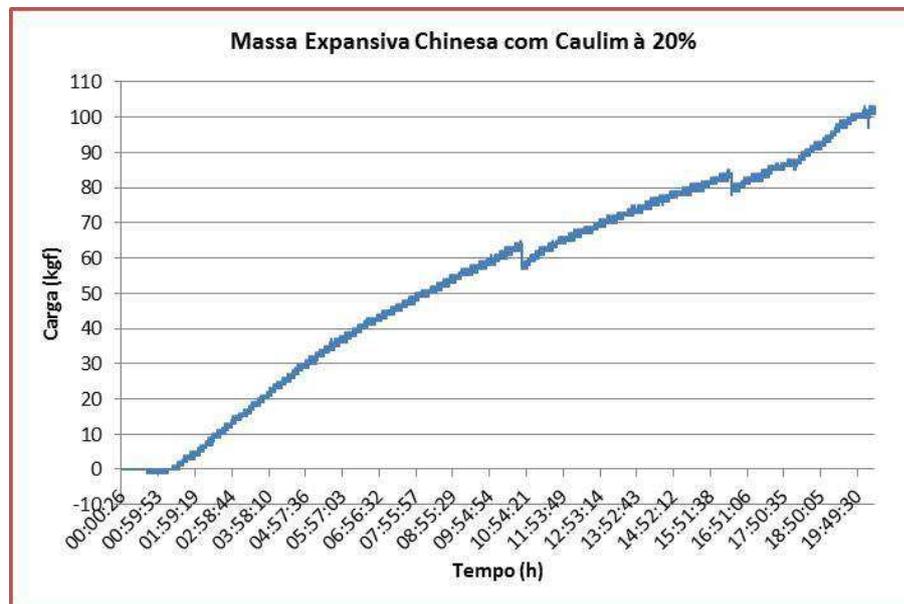


Fonte: própria (2014)

Na Figura 50, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 20% de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h23min, atingindo uma carga máxima de 103,00kgf (131,21,10kgf/cm²) às 19h59min.

Neste ensaio, verificam-se as quedas repetidas da carga às 10h32min e 16h16min provocados por processo de acomodação da argamassa possivelmente em função de bolhas de ar.

Figura 50: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% de caulim

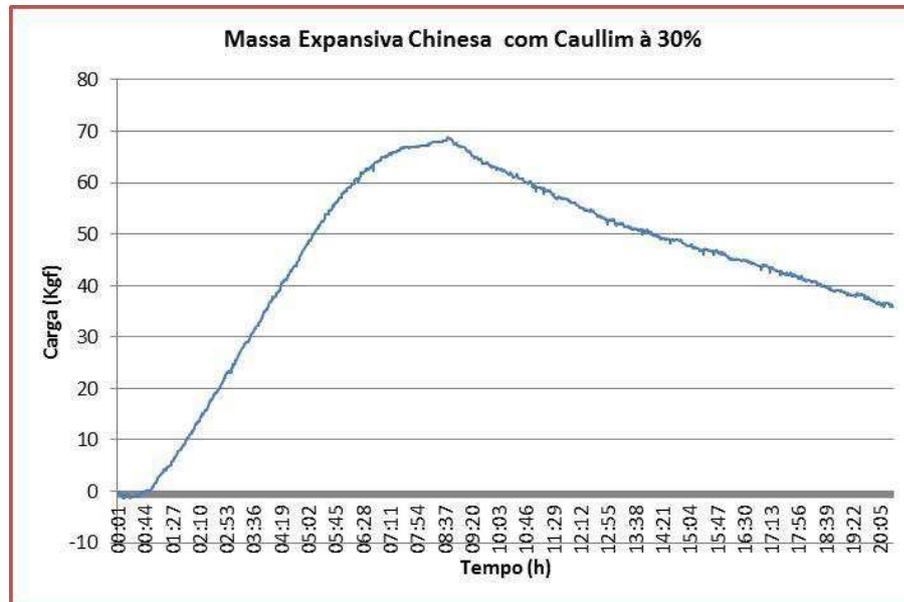


Fonte: própria (2014)

Na Figura 51, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 30% de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h44min, atingindo uma carga máxima de 68,83kgf (87,68kgf/cm²) às 08h43min.

Neste ensaio, verificam-se queda da carga a partir das 08h46min.

Figura 51: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% de caulim

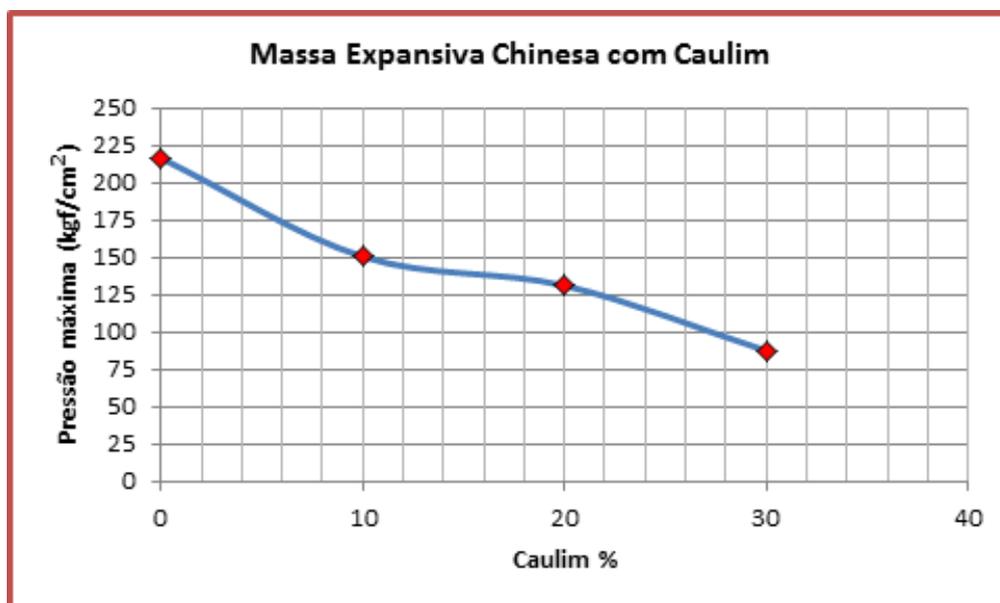


Fonte: própria (2014)

Na Figura 52, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva chinesa com adição de caulim nas proporções de 10%, 20% e 30% do peso total de 50 gramas (argamassa + caulim), se comparadas com a argamassa chinesa pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 216,56kgf/cm².

Em face da baixa trabalhabilidade da mistura final que dificulta o preenchimento da argamassa pronta no molde de teste, só foi possível ser realizado até no máximo de 30% de caulim na mistura.

Figura 52: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo de caulim



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 17, apresentamos pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do caulim a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de 104,16kgf/cm².

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão media máxima total dos testes de 104,16kgf/cm², obtivemos um percentual de 23,25% de resíduo de caulim na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 17: Resultado das pressões máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de caulim com granulometria de 21,10 μ m D(μ m) a 90%

Teste	Percentual de Caulim na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	216,56*
1	10	01h12min	150,65
2	20	01h23min	131,21
3	30	00h44min	87,68
Média total	-	01h06min	123,18
Desvio Padrão	-	00h16min	26,33

* Valor de referência da argamassa expansiva chinesa pura
 Fonte: própria (2014)

4.8.2. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduos de Gesso nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Na Figura 53, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 10% de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 03h08min, atingindo uma carga máxima de 118,34kgf (150,75kgf/cm²) às 23h52min.

Neste ensaio, não se verifica queda da carga, provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 53: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% de gesso



Fonte: própria (2014)

Na Figura 54, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 20% de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 03h36min, atingindo uma carga máxima de 59,00kgf (75,16kgf/cm²) às 20h08min.

Figura 54: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% de gesso

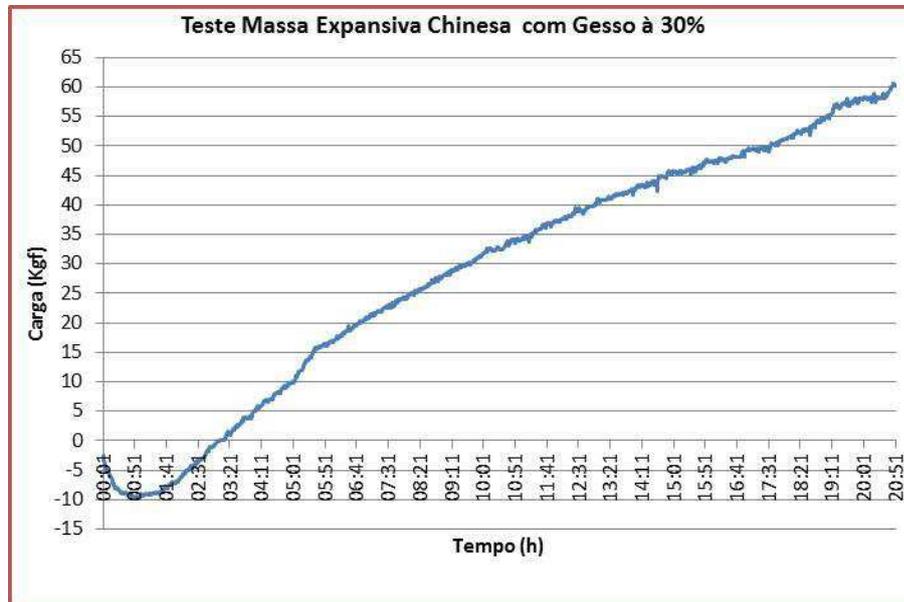


Fonte: própria (2014)

Na Figura 55, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 30% de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 03h09min, atingindo uma carga máxima de 60,57kgf (77.16kgf/cm²) às 20h48min.

Neste ensaio, não se verifica queda significativa de carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 55: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% de gesso

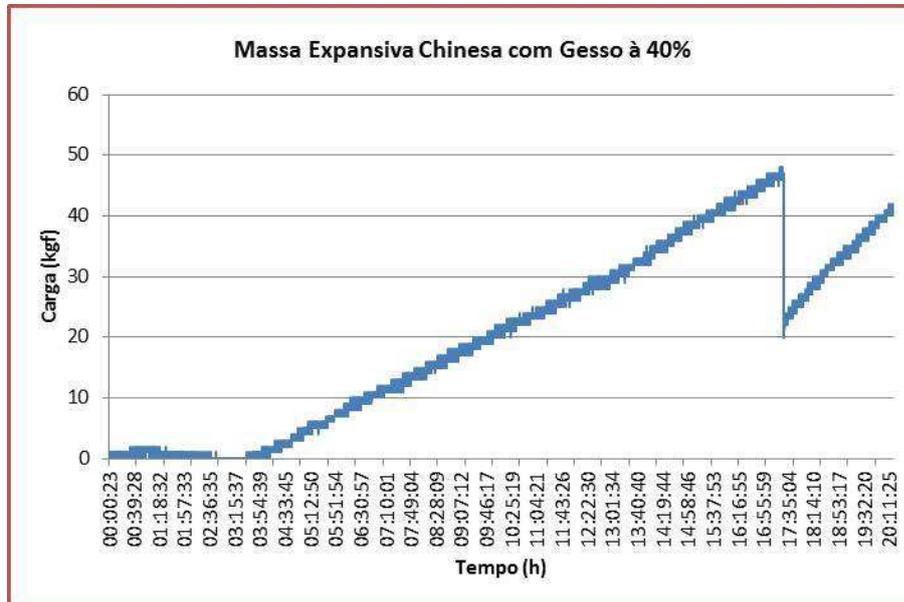


Fonte: própria (2014)

Na Figura 56, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 40% de gesso em sua composição inicia o processo de expansão às 03h33min, atingindo uma carga máxima de 48,00kgf (85,35kgf/cm²) às 17h20min.

Neste ensaio, não se verifica queda significativa de carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 56: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% de gesso



Fonte: própria (2014)

Na Figura 57, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 50% de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h55min, atingindo uma carga máxima de 31,92kgf (40,66kgf/cm²) às 20h10min.

Neste ensaio, não se verifica queda significativa de carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 57: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% de gesso

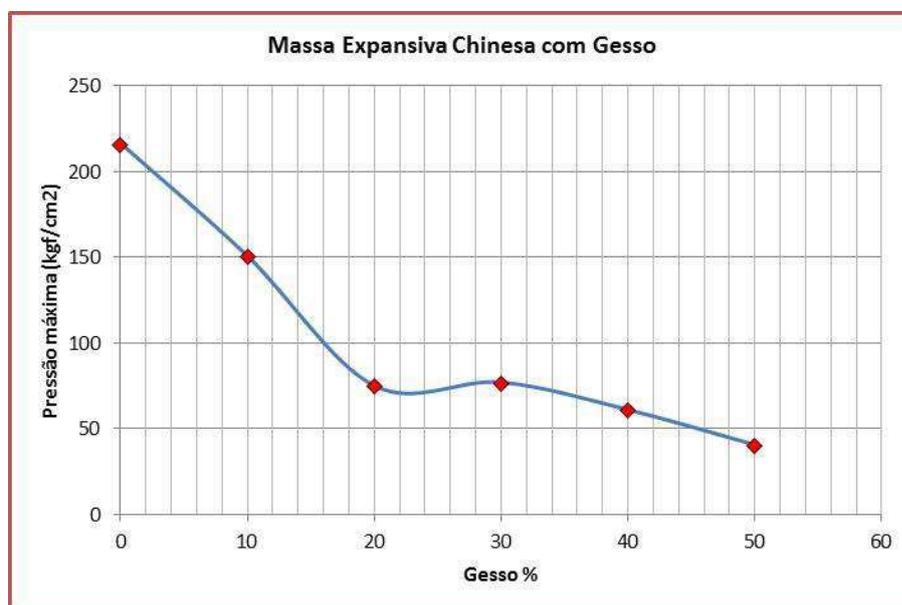


Fonte: própria (2014)

Na Figura 58, pode-se observar nos testes realizados que o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva chinesa com adição de gesso nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + gesso), comparadas com a argamassa chinesa pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 216,56kgf/cm².

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 58: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de gesso



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 18, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do gesso a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de $80,98\text{kgf/cm}^2$.

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão média máxima total dos testes de $80,90\text{kgf/cm}^2$, obtivemos um percentual de 19,93% de resíduo de gesso na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 18: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de gesso com granulometria de 17,97 μ m D(μ m) a 90%

Teste	Percentual de Gesso na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	216,56*
1	10	03h08min	150,75
2	20	03h36min	75,16
3	30	03h09min	77,16
4	40	03h33min	61,15
5	50	00h55min	40,66
Média total	-	02h52min	80,98
Desvio Padrão	-	00h59min	35,90

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura

Fonte: própria (2014)

4.8.3. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada de Resíduos do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG), Nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Na Figura 59, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 10% resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h43min, atingindo uma carga máxima de 230,27kgf (293,34kgf/cm²) às 17h25min.

Neste ensaio, não se verifica quedas significativas das cargas provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 59: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% do resíduo do processo de beneficiamento de granito

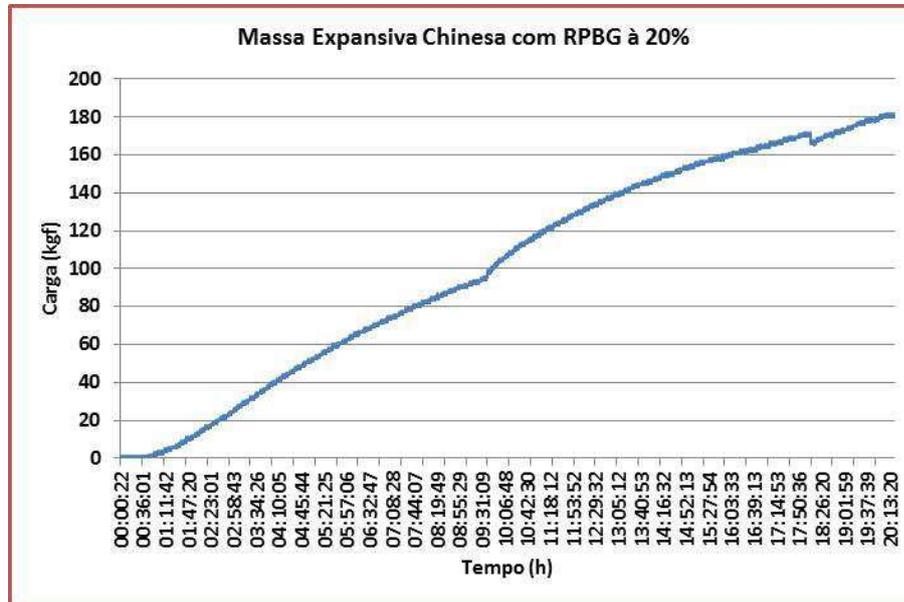


Fonte: própria (2014)

Na Figura 60, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 20% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h50min, atingindo uma carga máxima de 182,00kgf ($231,35\text{kgf/cm}^2$) às 20h03min.

Neste ensaio, não verifica-se quedas significativas de carga provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 60: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% resíduo do processo de beneficiamento de granito

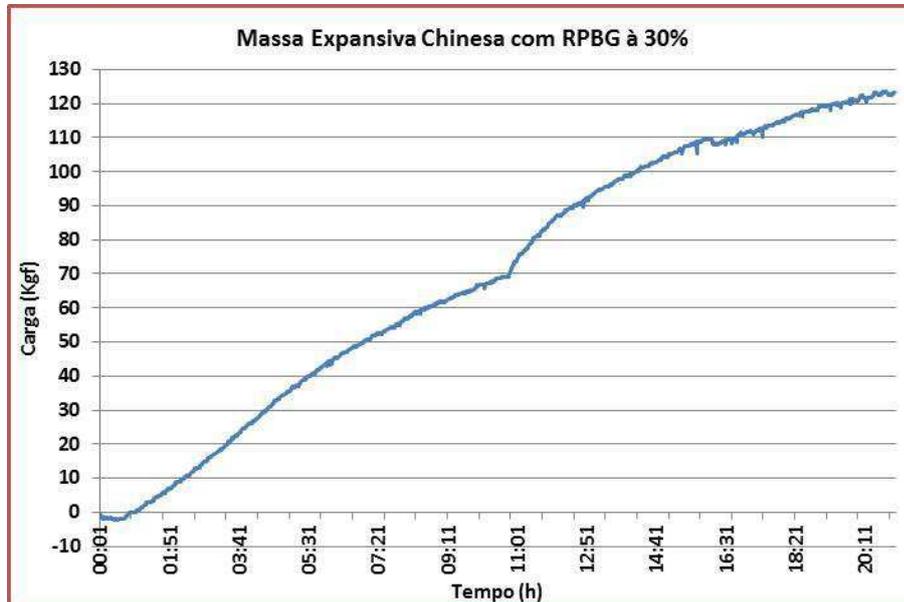


Fonte: própria (2014)

Na Figura 61, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h58min, atingindo uma carga máxima de 123,71kgf (157,59kgf/cm²) às 20h45min.

Neste ensaio, verificam-se quedas de carga provavelmente provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 61: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento de granito

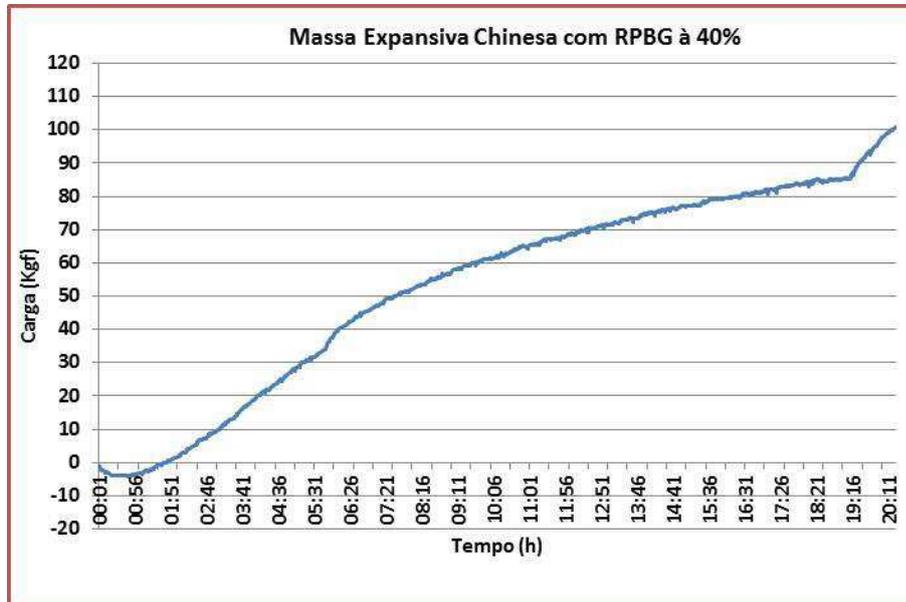


Fonte: própria (2014)

Na Figura 62, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 40% de resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG), em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h44min, atingindo uma carga máxima de 100,83kgf ($128,45\text{kgf/cm}^2$) às 20h22min.

Neste ensaio, não foi verificado quedas significativas de carga provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 62: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% do resíduo do processo de beneficiamento de granito

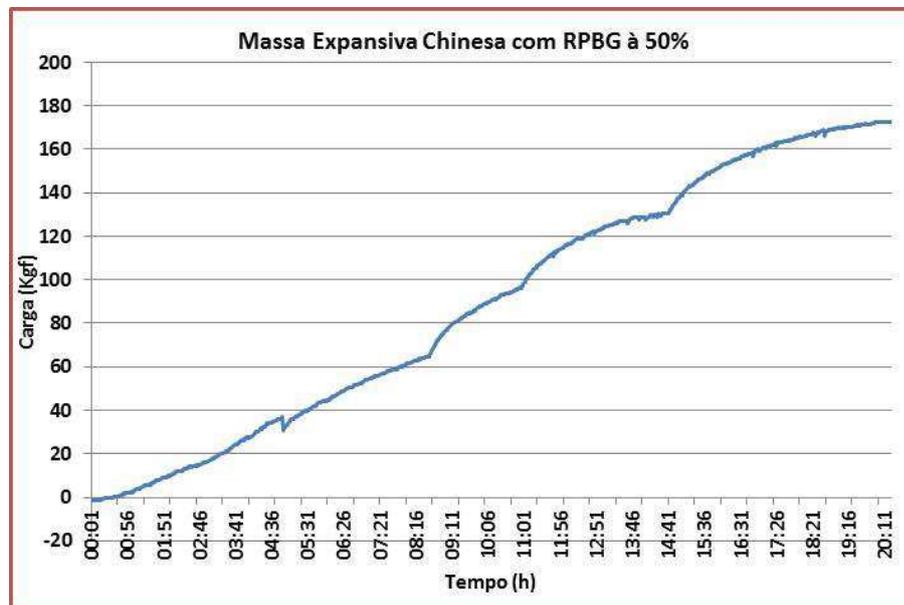


Fonte: própria (2014)

Na Figura 63, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 50% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG), em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h35min, atingindo uma carga máxima de 172,64kgf (219,92kgf/cm²) às 19h59min.

Neste ensaio, verificam-se queda da carga a partir das 04h44min provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 63: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% do resíduo do processo de beneficiamento de granito

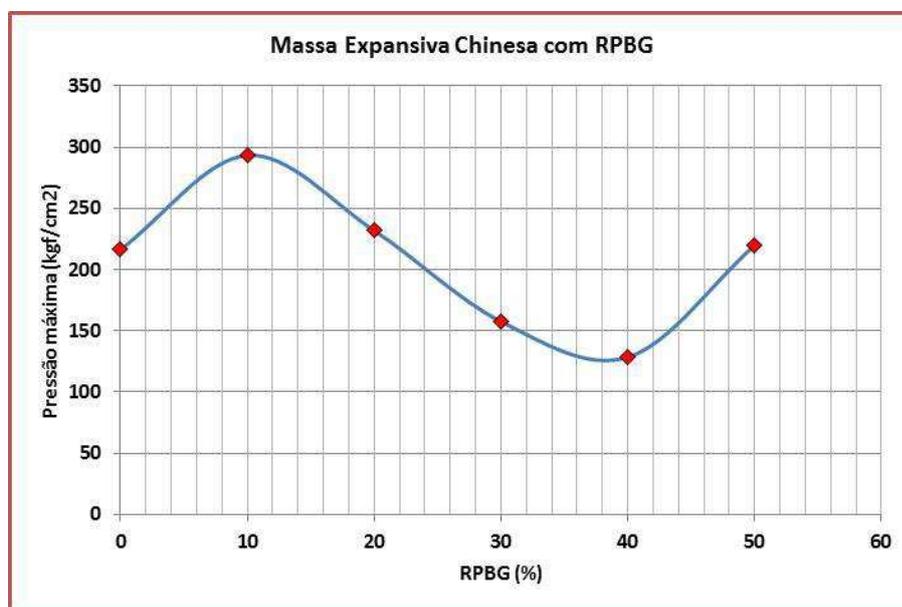


Fonte: própria (2014)

Na Figura 64, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva chinesa com adição do resíduo do processo de beneficiamento de granito nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + resíduo), se comparadas com a argamassa chinesa pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 216,56kgf/cm².

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 64: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo do processo do beneficiamento do granito



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 19, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do processo de beneficiamento do granito a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de $206,23\text{kgf/cm}^2$.

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão media máxima total dos testes de $206,23\text{kgf/cm}^2$, obtivemos um percentual de 23,45% de Resíduo do Beneficiamento de Granito na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 19: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa (Chemshine) adicionada do resíduo do processo de beneficiamento de granito com granulometria de 60,43 μ m D(μ m) a 90%.

Teste	Percentual de RPBG na argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	216,56*
1	10	00h43min	293,34
2	20	00h50min	231,85
3	30	00h58min	157,59
4	40	01h44min	128,45
5	50	00h35min	219,92
Média total	-	00h58min	206,23
Desvio Padrão	-	00h24min	58,05

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura

RPBG - Resíduo do processo de beneficiamento de granito

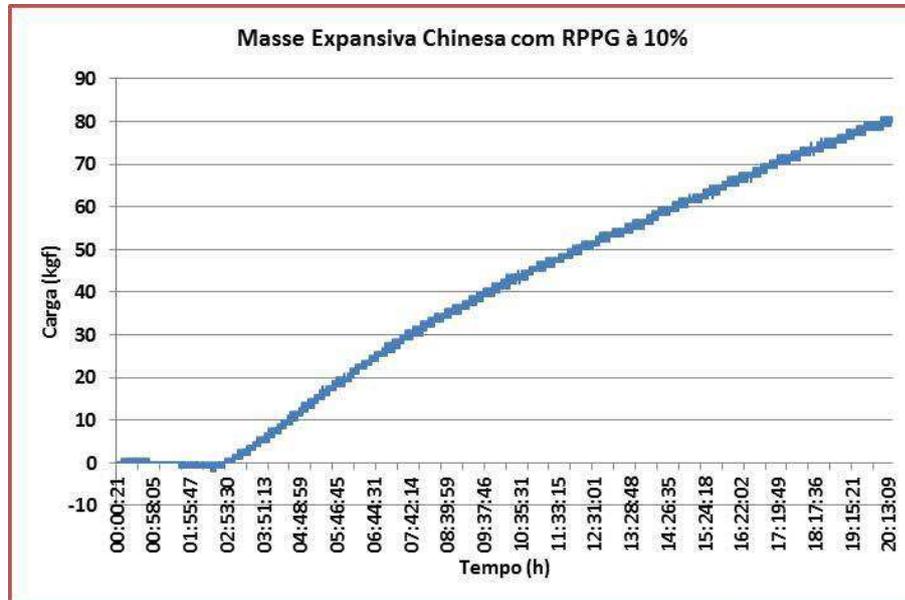
Fonte: própria (2014)

4.8.4. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Chinesa Adicionada do Resíduo do Processo de Perfuração do Granito (RPPG) nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Na Figura 65, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 10% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 02h50min, atingindo uma carga máxima de 81,00kgf (113,18kgf/cm²) às 20h03min.

Neste ensaio, não foi verificada queda da carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 65: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 10% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

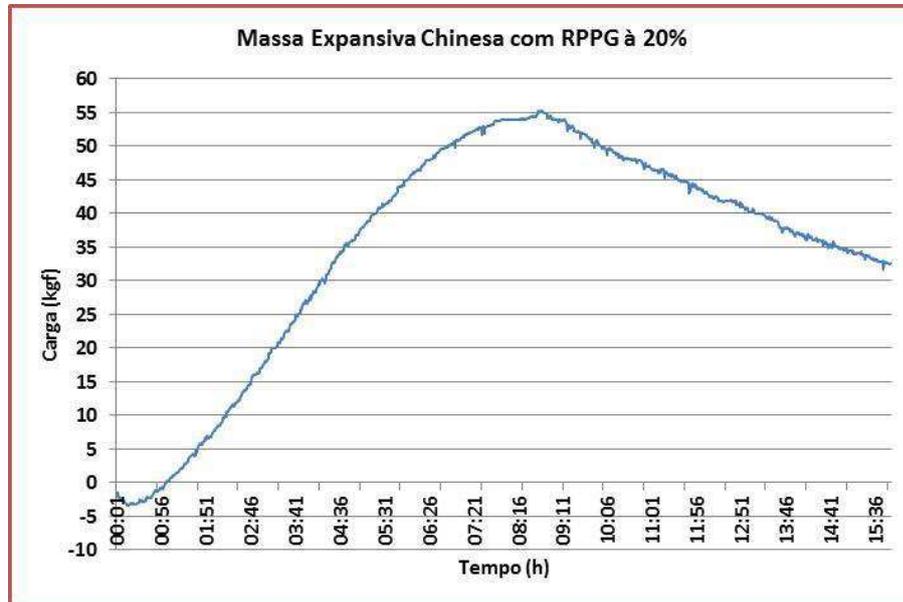


Fonte: própria (2014)

Na Figura 66, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 20% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h03min, atingindo uma carga máxima de 55,36kgf (70,52kgf/cm²) às 08h41min.

Neste ensaio, não foi verificada queda da carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 66: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 20% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPPG)

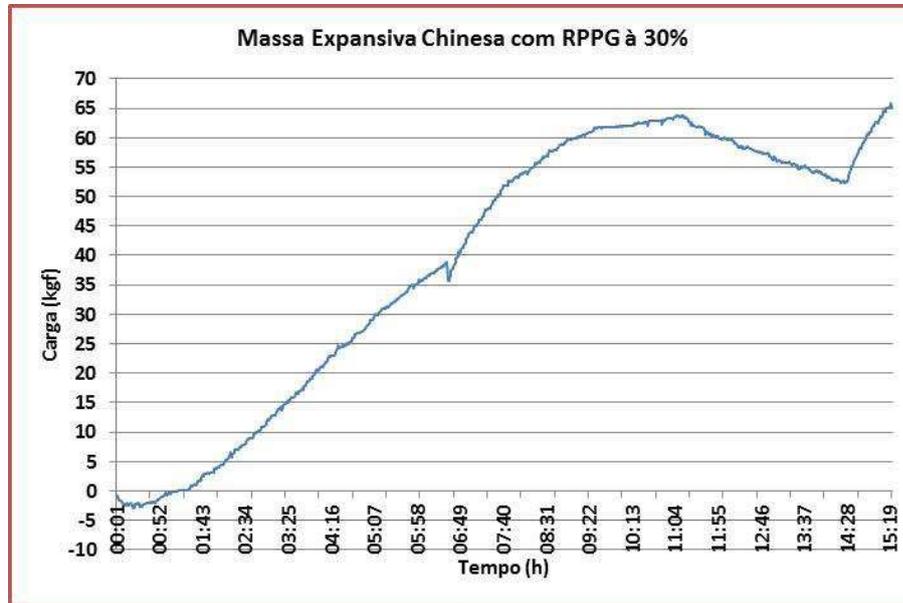


Fonte: própria (2014)

Na Figura 67, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 30% do resíduo do processo de perfuração granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h16min, atingindo uma carga máxima de 65,95kgf ($84,01\text{kgf/cm}^2$) às 15h20min.

Neste ensaio foi verificada uma queda da carga às 06h23min provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 67: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 30% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

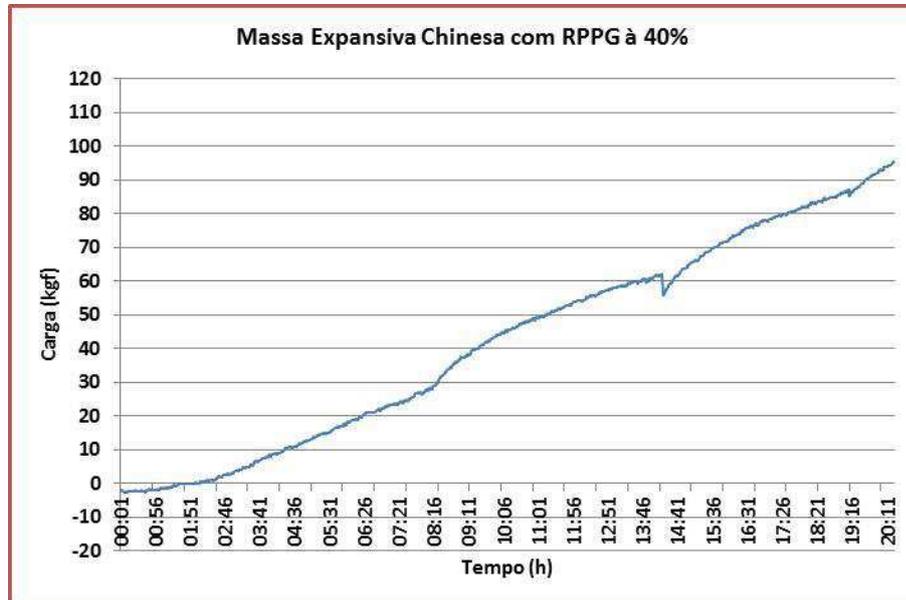


Fonte: própria (2014)

Na Figura 68, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 40% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h53min, atingindo uma carga máxima de 95,57kgf ($121,75\text{kgf/cm}^2$) às 20h18min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 14h13min provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 68: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 40% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

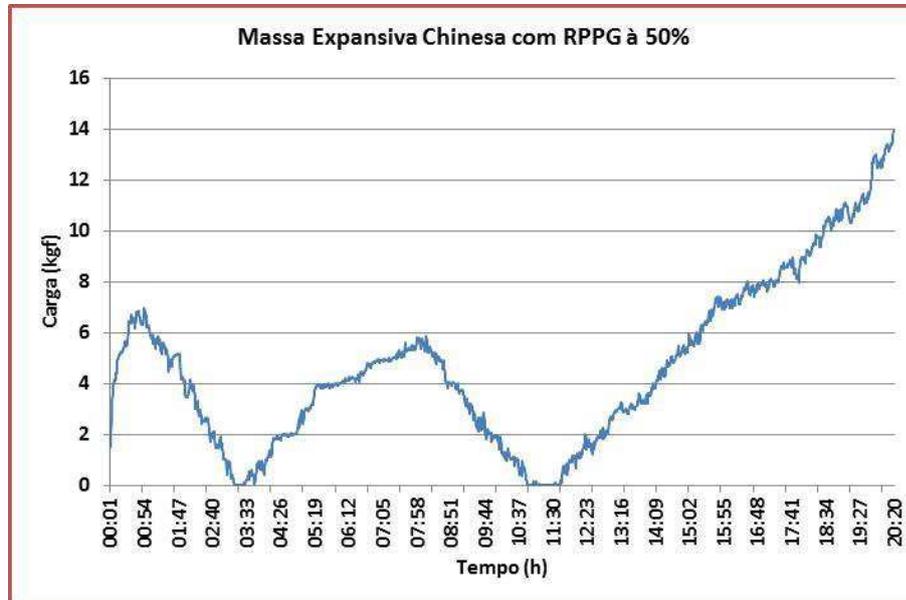


Fonte: própria (2014)

Na Figura 69, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva chinesa adicionada de 50% do resíduo da perfuração (pó) do granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 03h25min, atingindo uma carga máxima de 14,00kgf ($17,83\text{kgf/cm}^2$) às 20h19min.

Neste ensaio não foi verificada queda das cargas provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 69: Teste de longa duração com argamassa chinesa (Chemshine), adicionada de 50% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

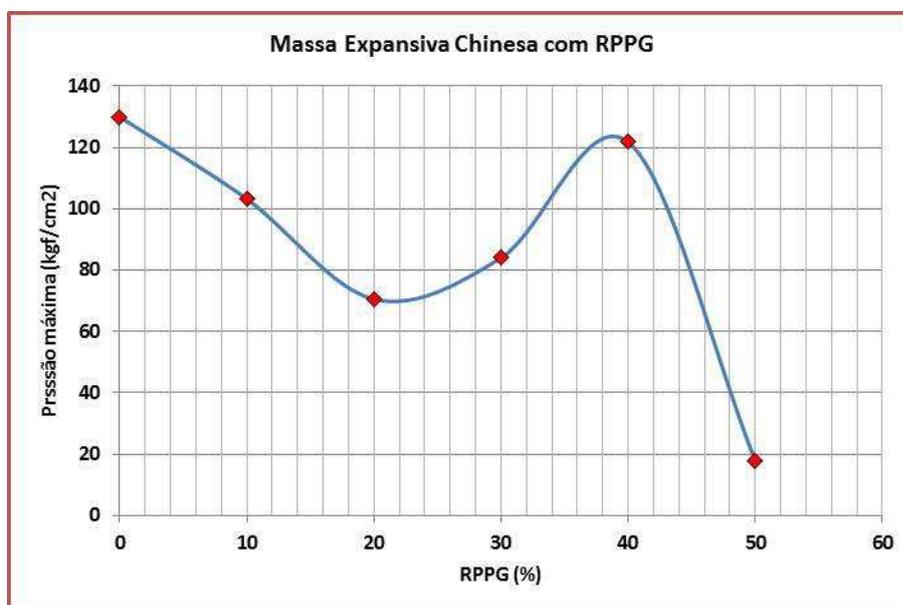


Fonte: própria (2014)

Na Figura 70, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva chinesa com adição do pó de granito nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + pó de granito), se comparadas com a argamassa chinesa pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de $129,94\text{kgf/cm}^2$.

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 70: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa chinesa com adição de resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 20, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do pó de granito a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de $79,46\text{kgf/cm}^2$.

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão média máxima total dos testes de $79,46\text{kgf/cm}^2$, obtivemos um percentual de 26,62% de resíduo de pó de granito na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 20: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa (Chemshine) adicionada do resíduo do processo de perfuração de granito com granulometria de 73,17 μ m D(μ m) a 90%

Teste	Percentual de RPPG na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	216,56*
1	10	02h50min	103,18
2	20	01h03min	70,52
3	30	01h16min	84,01
4	40	01h53min	121,75
5	50	03h25min	17,83
Média total	-	02h05min	79,46
Desvio Padrão	-	00h54min	37,36

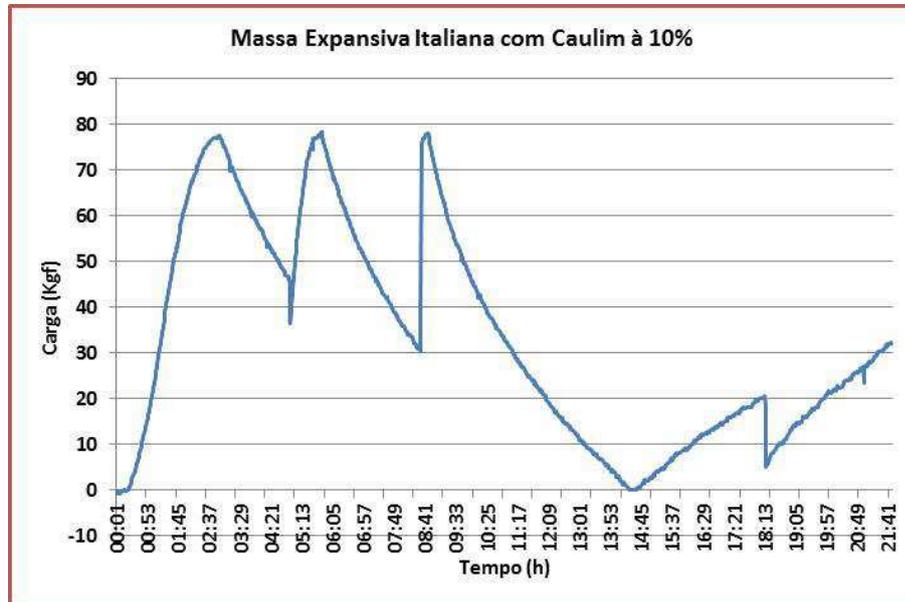
* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura
RPPG _ resíduo do processo de perfuração de granito
Fonte: própria (2014)

4.8.5. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag) Adicionada do Resíduo de Caulim nas Proporções de 10%, 20% e 30%.

Na Figura 71, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 10% do resíduo de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h14min, atingindo uma carga máxima de 78,41kgf (99,89kgf/cm²) às 05h46min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 17h52min, provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 71: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo de caulim

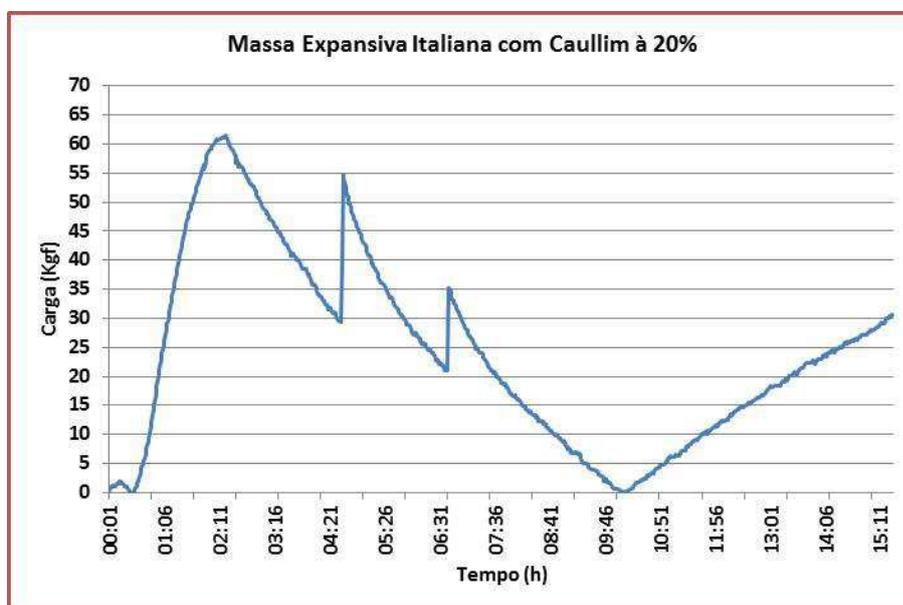


Fonte: própria (2014)

Na Figura 72, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 20% do resíduo de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h26min, atingindo uma carga máxima de 61,59kgf (78,46kgf/cm²) às 02h18min.

Neste ensaio foi verificada elevação da carga às 04h37min e 06h41min provocadas por acomodação da argamassa.

Figura 72: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo de caulim

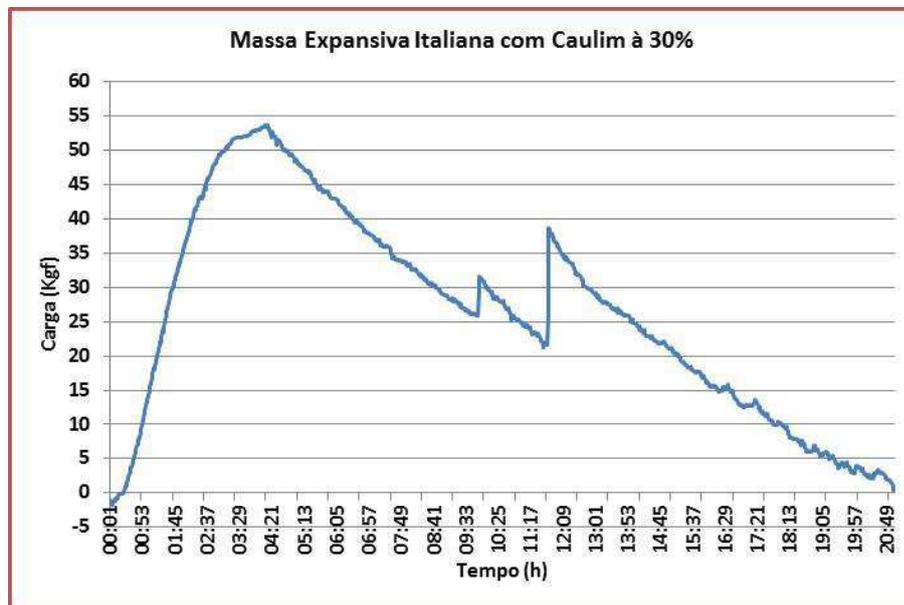


Fonte: própria (2014)

Na Figura 73, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 30% do resíduo de caulim em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h24min, atingindo uma carga máxima de 53,79kgf (68,52kgf/cm²) às 04h13min.

Neste ensaio foi verificada elevação da carga às 09h54min e 11h45min provocadas por acomodação da argamassa.

Figura 73: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo de caulim

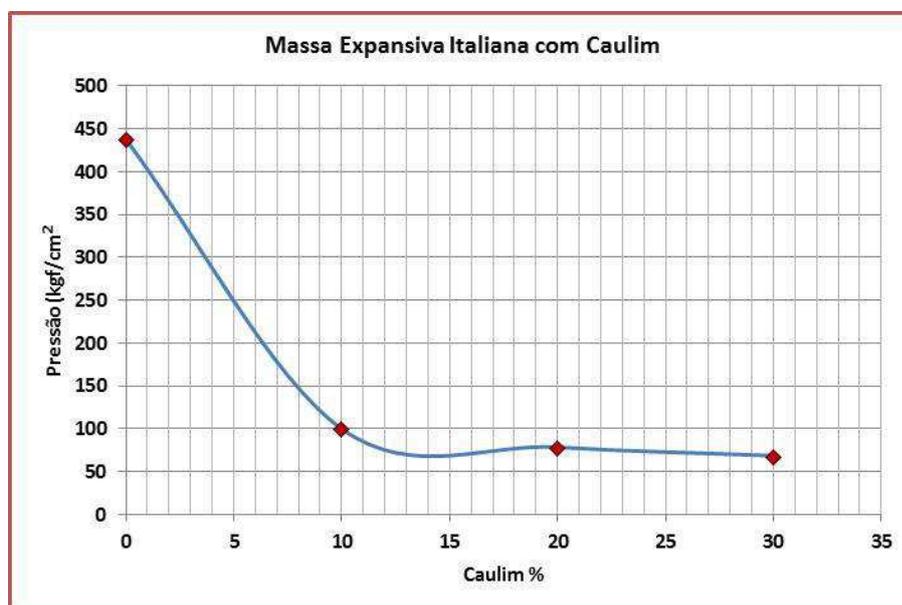


Fonte: própria (2014)

Na Figura 74, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva italiana com adição de caulim nas proporções de 10%, 20% e 30% do peso total de 50 gramas (argamassa + caulim), se comparadas com a argamassa italiana pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 168,15kgf/cm².

Em face da baixa trabalhabilidade da mistura final que dificulta o preenchimento da argamassa pronta no molde de teste, só foi possível ser realizado até no máximo de 30% de caulim na mistura.

Figura 74: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo de caulim



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 21, apresentamos pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do caulim a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de 82,29kgf/cm².

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão média máxima total dos testes de 82,29kgf/cm², obtivemos um percentual de 18,21% de resíduo de caulim na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 21: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva chinesa adicionada de caulim com granulometria de 21,10 μ m D(μ m) a 90%.

Teste	Percentual de Caulim na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	438,22*
1	10	00h14min	99,89
2	20	00h26min	78,46
3	30	00h24min	68,52
Média total	-	00h21min	82,29
Desvio Padrão		00h05min	13,09

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva italiana pura
 Fonte: própria (2014)

4.8.6. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana (Fracta.Ag) Adicionada do Resíduo de Gesso nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Na Figura 75, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 10% do resíduo de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h40min, atingindo uma carga máxima de 107,00kgf (136,31kgf/cm²) às 18h44min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 17h26min e 18h50min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 75: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo de gesso

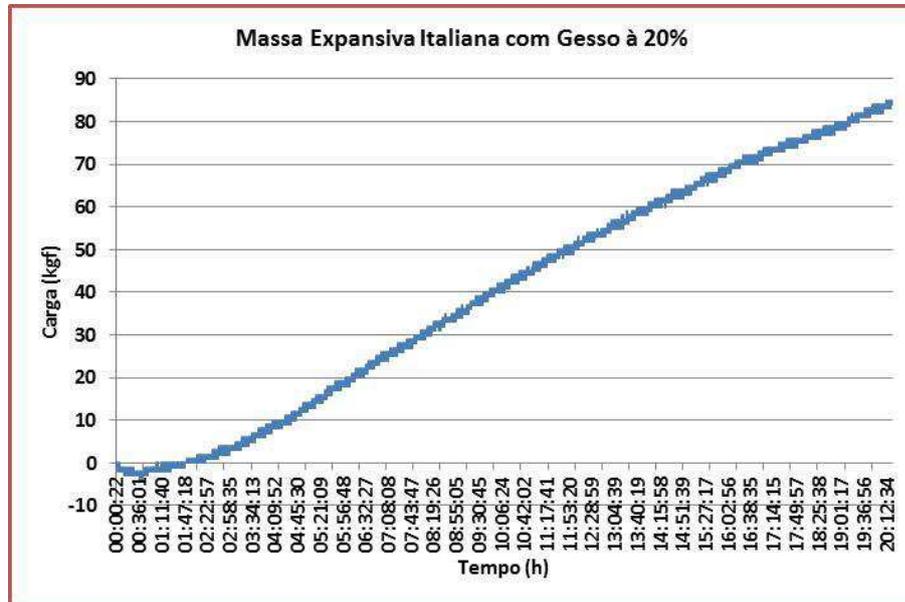


Fonte: própria (2014)

Na Figura 76, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 20% do resíduo de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h52min, atingindo uma carga máxima de 85,00kgf (108,28kgf/cm²) às 20h11min.

Neste ensaio não foi verificada queda da carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 76: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo de gesso

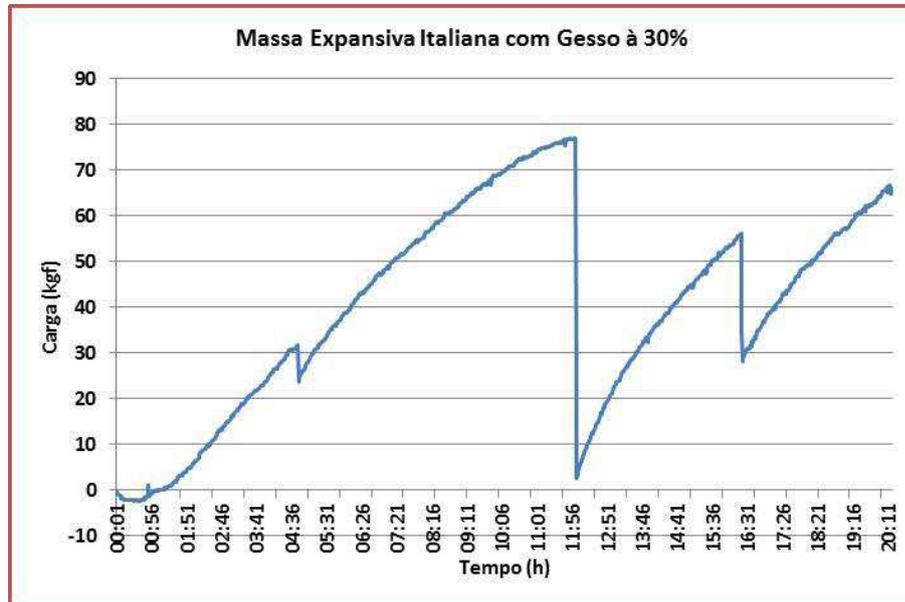


Fonte: própria (2014)

Na Figura 77, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 30% do resíduo de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h14min, atingindo uma carga máxima de 76,98kgf (98,06kgf/cm²) às 12h00min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 04h29min, 12h02min e 16h22min provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 77: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo de gesso



Fonte: própria (2014)

Na Figura 78, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 40% do resíduo de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 01h06min, atingindo uma carga máxima de 69,67kgf ($88,75\text{kgf/cm}^2$) às 18h48min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 14h04min e 18h31min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 78: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo de gesso

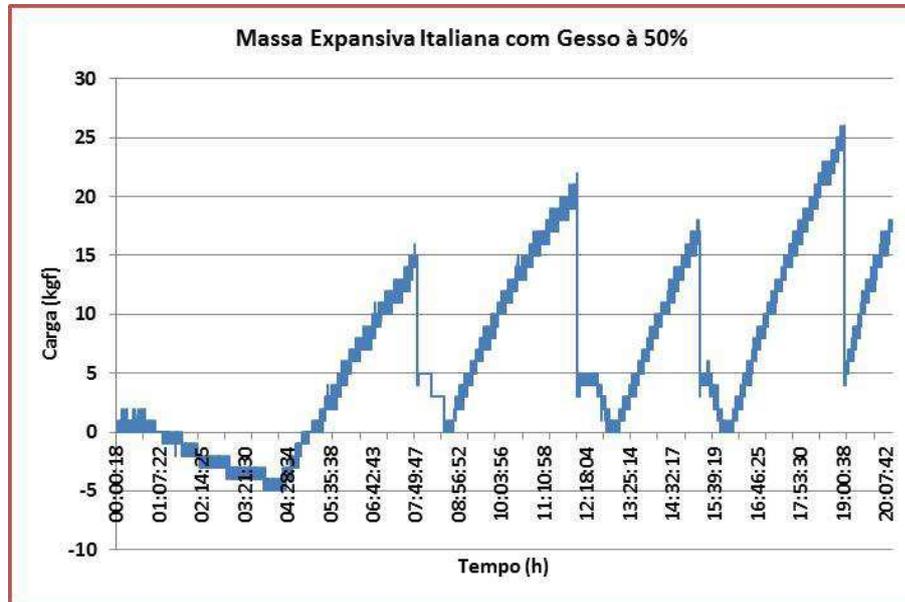


Fonte: própria (2014)

Na Figura 79, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 50% do resíduo de gesso em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h02min, atingindo uma carga máxima de 26,00kgf (33,12kgf/cm²) às 18h56min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 14h04min e 18h31min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 79: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo de gesso

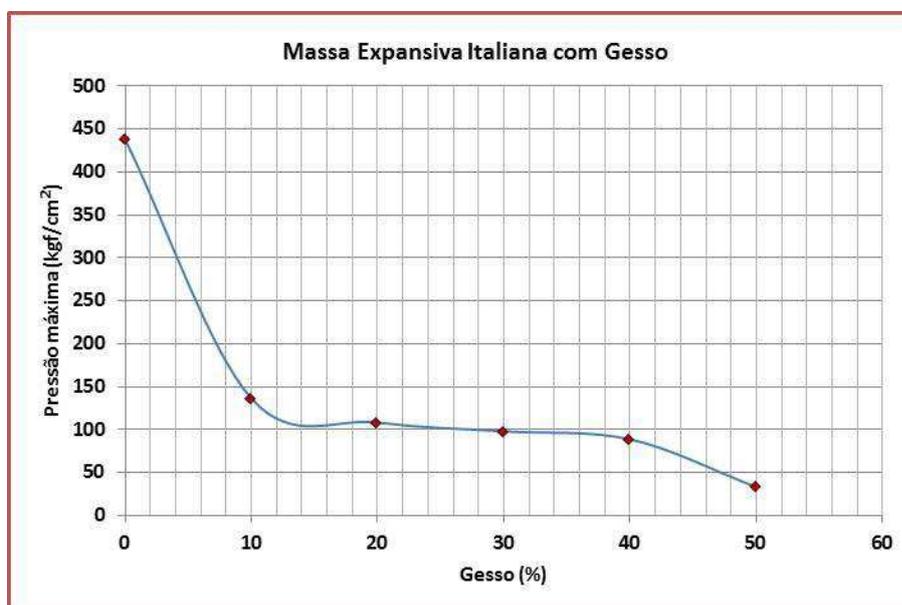


Fonte: própria (2014)

Na Figura 80, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva italiana com adição de gesso nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + gesso), se comparadas com a argamassa italiana pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 168,15 kgf/cm².

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 80: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de gesso



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 22, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do gesso a argamassa expansiva italiana. Como resultado, tivemos uma pressão media máxima total dos testes de 92,90 kgf/cm².

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão média máxima total dos testes de 92,90kgf/cm², obtivemos um percentual de 35,54% de resíduo de gesso na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 22: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada de gesso com granulometria de 17,97 μ m D(μ m) a 90%.

Teste	Percentual de Gesso na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
0	0	-	438,22*
1	10	01h40min	136,31
2	20	01h52min	108,28
3	30	01h14min	98,06
4	40	01h06min	88,75
5	50	00h02min	33,12
Média total	-	01h10min	92,90
Desvio Padrão	-	00h38min	33,88

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura

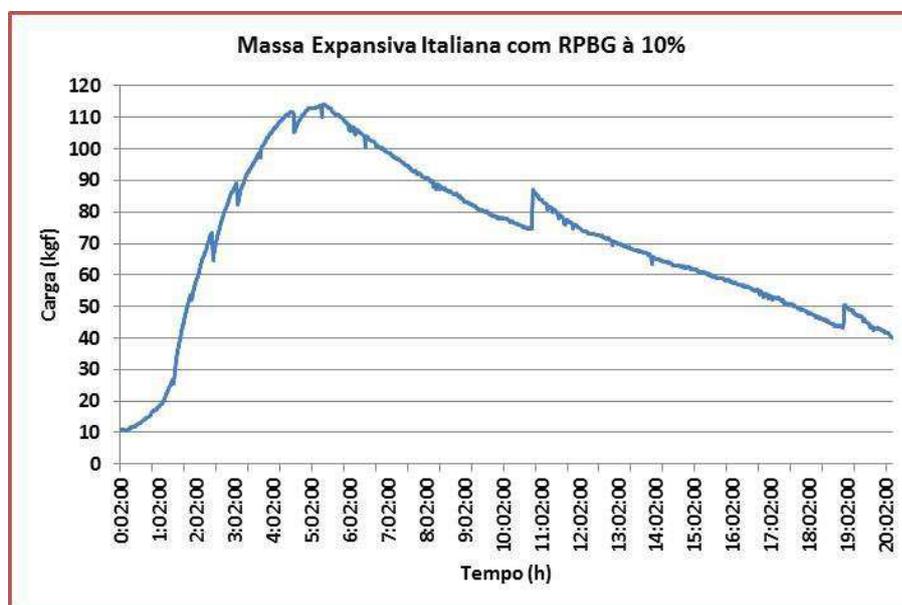
Fonte: própria (2014)

4.8.7. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana Adicionada de Resíduos do Processo de Beneficiamento do Granito (RPBG) nas Proporções de 10%, 20%, 30%, 40% E 50%.

Na Figura 81, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 10% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h02min, atingindo uma carga máxima de 113,98kgf (145,20kgf/cm²) às 05h21min.

Neste ensaio não foi verificada quedas significativas da carga provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 81: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)



Fonte: própria (2014)

Na Figura 82, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 20% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h33min, atingindo uma carga máxima de 103,95kgf ($132,42\text{kgf}/\text{cm}^2$) às 18h00min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 05h56min, 07h47min, 09h21min e 14h02min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 82: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)

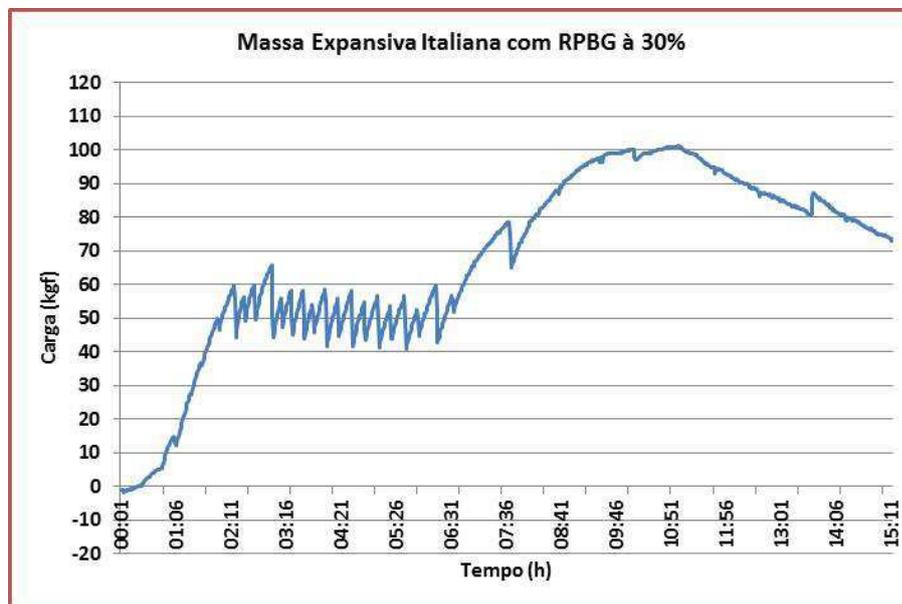


Fonte: própria (2014)

Na Figura 83, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h23min, atingindo uma carga máxima de 101,41kgf (129,18kgf/cm²) às 10h59min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga sucessiva no período de 02h08min a 06h11min e a 07h38min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 83: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)

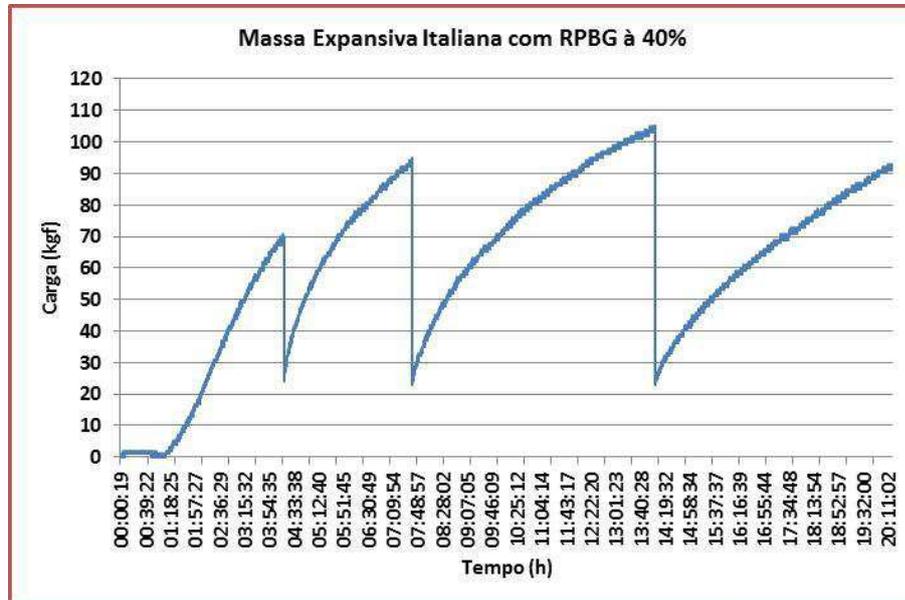


Fonte: própria (2014)

Na Figura 84, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 40% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h33min, atingindo uma carga máxima de 103,95kgf ($132,42\text{kgf}/\text{cm}^2$) às 18h00min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 05h56min, 07h47min, 09h21min e 14h02min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 84: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG)

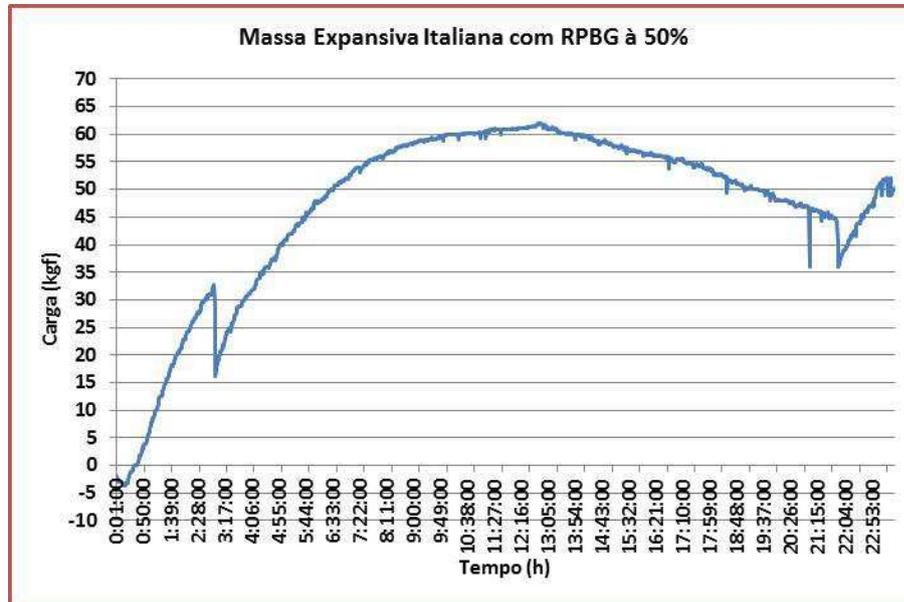


Fonte: própria (2014)

Na Figura 85, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 50% do resíduo do processo de beneficiamento de granito (RPBG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h37min, atingindo uma carga máxima de 62,05kgf (79,04kgf/cm²) às 12h46min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 02h43min e 21h29min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 85: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo do beneficiamento do granito (RPBG)

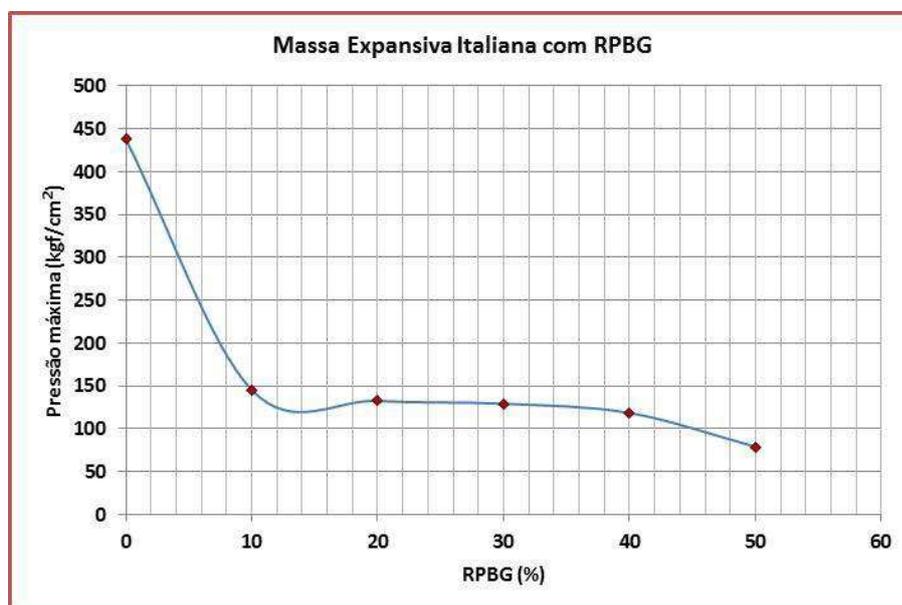


Fonte: própria (2014)

Na Figura 86, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva Italiana com adição do resíduo do processo de beneficiamento de granito nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + resíduo), se comparadas com a argamassa italiana pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 168,15kgf/cm².

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 86: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo do processo do beneficiamento do granito (RPBG)



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 23, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do resíduo do processo de beneficiamento do granito a argamassa expansiva chinesa. Como resultado, tivemos uma pressão média máxima total dos testes de 120,86kgf/cm².

Usando-se o cálculo de interpolação linear para série, dada uma pressão média máxima total dos testes de 120,86kgf/cm², obtivemos um percentual de 37,76% de resíduo do processo de beneficiamento de granito na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 23: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada do resíduo do processo de beneficiamento de granito com granulometria de 60,43 μ m D(μ m) a 90%.

Teste	Percentual de RPBG na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	438,22*
1	10	00h02min	145,20
2	20	00h33min	132,42
3	30	00h23min	129,18
4	40	00h33min	118,47
5	50	00h37min	79,04
Média total	-	00h25min	120,86
Desvio Padrão	-	00h12min	22,58

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura

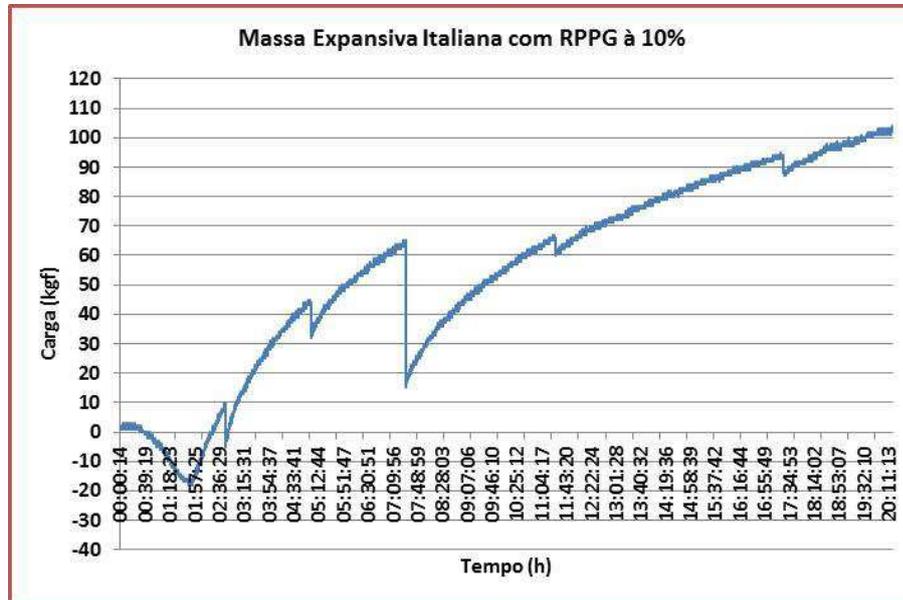
Fonte: própria (2014)

4.8.8. Pressão de Expansão da Argamassa Expansiva Italiana Adicionada de Resíduo do Processo de Perfuração de Granito (RPPG).

Na Figura 87, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 10% do Resíduo do Processo de Perfuração de Granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h15min, atingindo uma carga máxima de 104,00kgf (132,48kgf/cm²) às 20h16min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 02h33min, 04h44min, 07h12min e 17h08min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 87: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 10% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

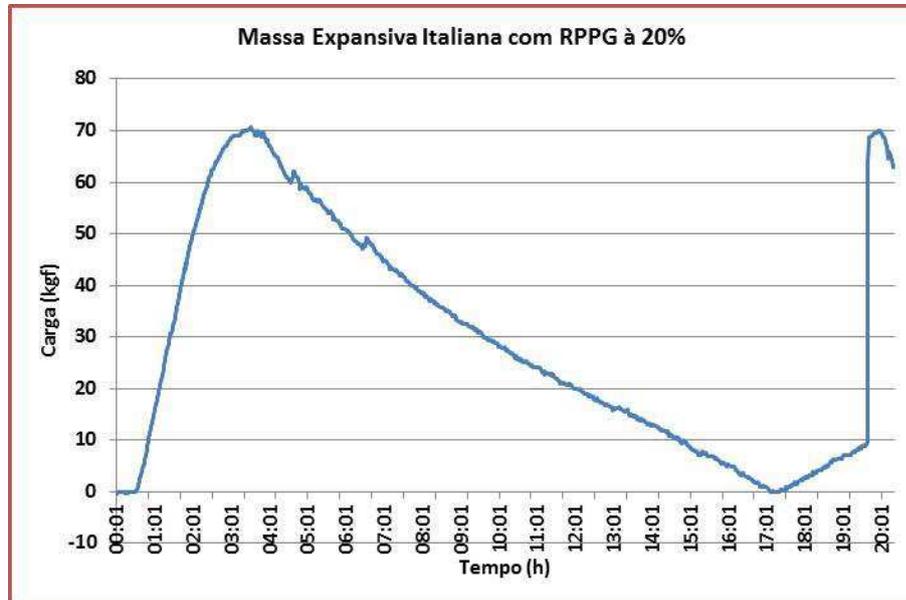


Fonte: própria (2014)

Na Figura 88, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 20% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h30min, atingindo uma carga máxima de 70,75kgf (90,13kgf/cm²) às 03h31min.

Neste ensaio não foi verificada queda da carga apenas uma elevação às 19h39min provocada por acomodação da argamassa.

Figura 88: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 20% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

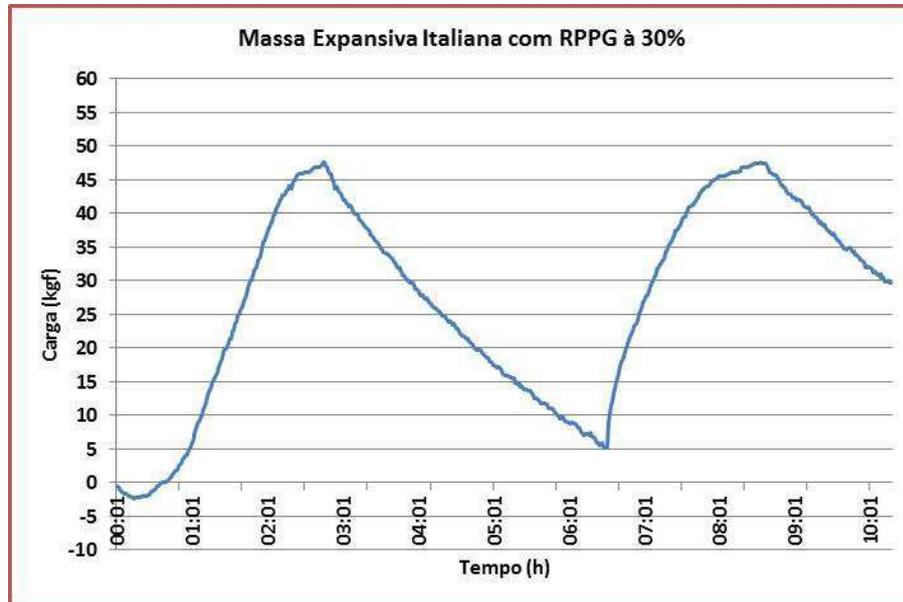


Fonte: própria (2014)

Na Figura 89, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 30% do Resíduo do Processo de Perfuração de Granito (RPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h41min, atingindo uma carga máxima de 47,63kgf ($78,96\text{kgf/cm}^2$) às 02h45min.

Neste ensaio foi verificada queda progressiva da carga às 02h46min e elevação às 06h21min provocadas por acomodação da argamassa.

Figura 89: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 30% resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

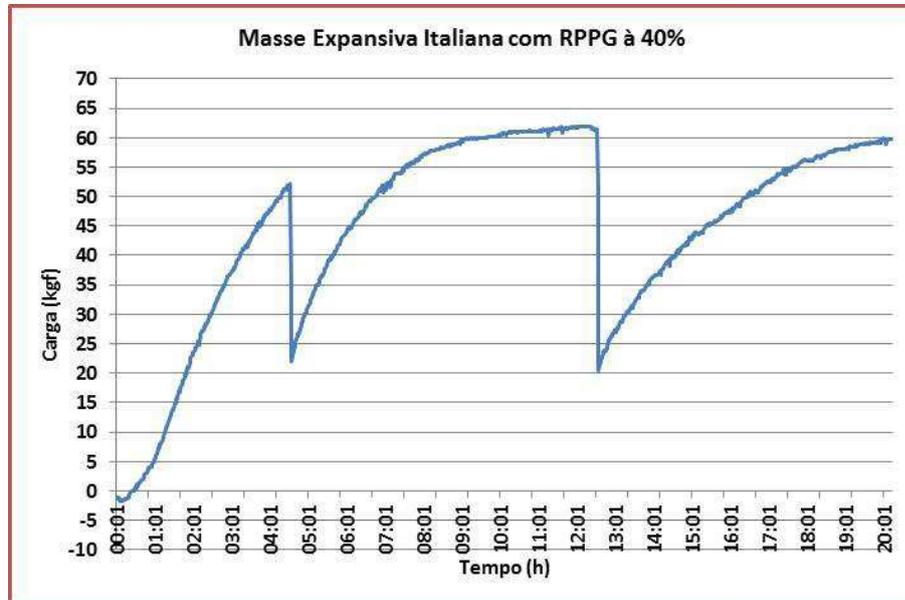


Fonte: própria (2014)

Na Figura 90, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 40% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h29min, atingindo uma carga máxima de 61,98kgf ($64,15\text{kgf/cm}^2$) às 12h15min.

Neste ensaio foi verificada queda da carga às 04h20min e às 12h21min provocadas por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 90: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 40% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

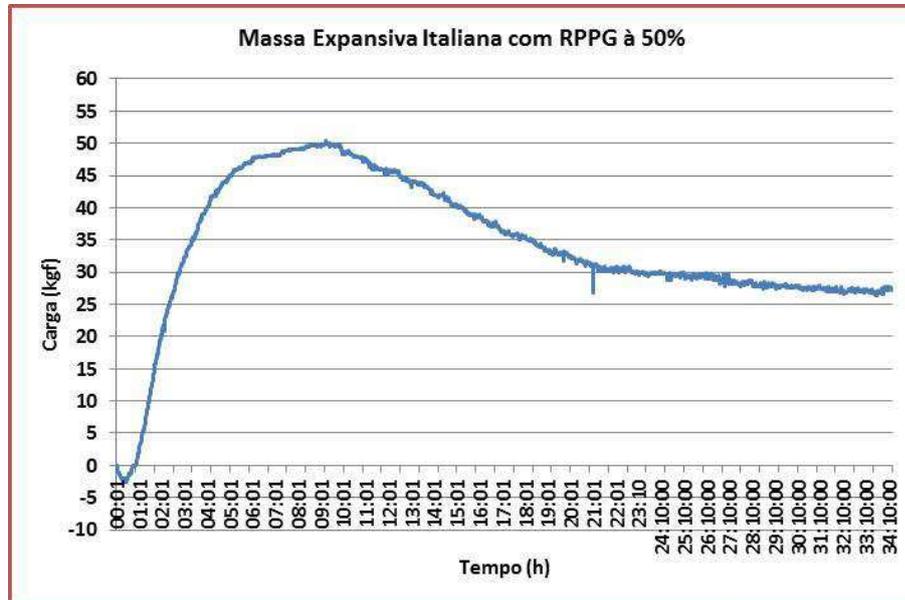


Fonte: própria (2014)

Na Figura 91, pode-se observar que o comportamento da argamassa expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de 50% do Resíduo do Processo de Perfuração de Granito (RPG) em sua composição, inicia o processo de expansão às 00h52min, atingindo uma carga máxima de 50,36kgf ($60,68\text{kgf/cm}^2$) às 12h15min.

Neste ensaio não foi verificada queda da carga provocada por acomodação ou bolhas de ar na argamassa.

Figura 91: Teste de longa duração com argamassa italiana (Fracta.Ag), adicionada de 50% do resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)

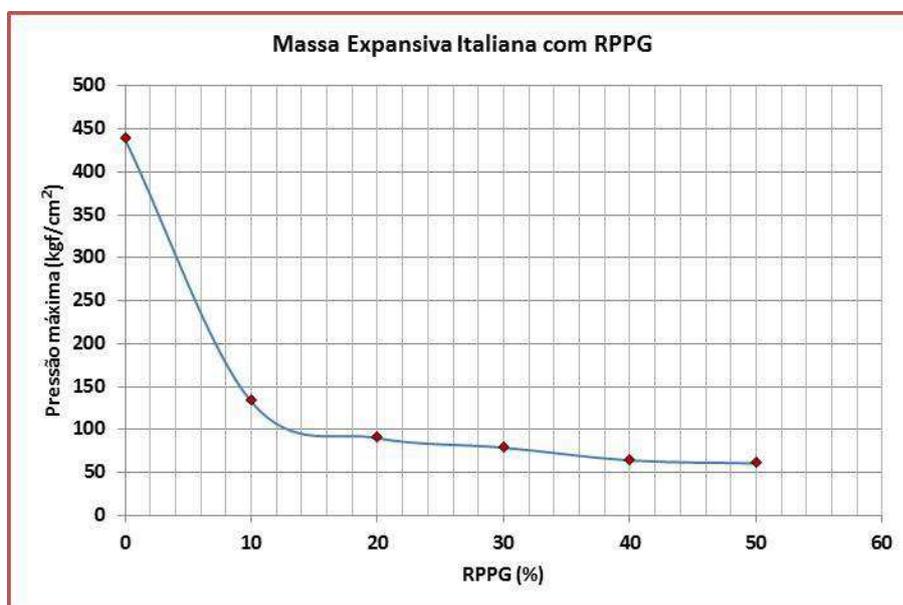


Fonte: própria (2014)

Na Figura 92, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da argamassa expansiva italiana com resíduo do processo de perfuração do granito nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do peso total de 50 gramas (argamassa + resíduo de granito), se comparadas com a argamassa italiana pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 168,15kgf/cm².

O teste realizado apresentou-se dentro da faixa de uma boa trabalhabilidade da mistura final que facilitava o preenchimento da argamassa pronta no interior do molde de teste.

Figura 92: Pressão máxima dos testes realizados com argamassa italiana com adição de resíduo do processo de perfuração do granito (RPPG)



Fonte: própria (2014)

Na Tabela 24, apresentamos a pressão máxima média para cada teste com proporções de resíduo na argamassa, como também, a pressão média total dos testes com adição do pó de granito a argamassa expansiva italiana. Como resultado, tivemos uma pressão media máxima total dos testes de $85,28\text{kgf/cm}^2$.

Usando-se o calculo de interpolação linear para série, dada uma pressão media máxima total dos testes de $85,28\text{kgf/cm}^2$, obtivemos um percentual de 24,34% de resíduo de pó de granito na argamassa como parâmetro máximo de adição desejável para um bom desempenho da argamassa.

Tabela 24: Resultado das cargas máximas da argamassa expansiva italiana adicionada do resíduo do processo de perfuração do granito com granulometria de 73,17 μ m D(μ m) a 90%

Teste	Percentual do RPPG na Argamassa	Início do processo de expansão	Pressão Máxima (kgf/cm ²)
-	0	-	438,22*
1	10	00h15min	132,48
2	20	00h30min	90,13
3	30	00h41min	78,96
4	40	00h29min	64,15
5	50	00h52min	60,68
Média total	-	00h33min	85,28
Desvio Padrão	-	00h12min	25,86

* Valor máximo de referência atingido pela argamassa expansiva chinesa pura

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

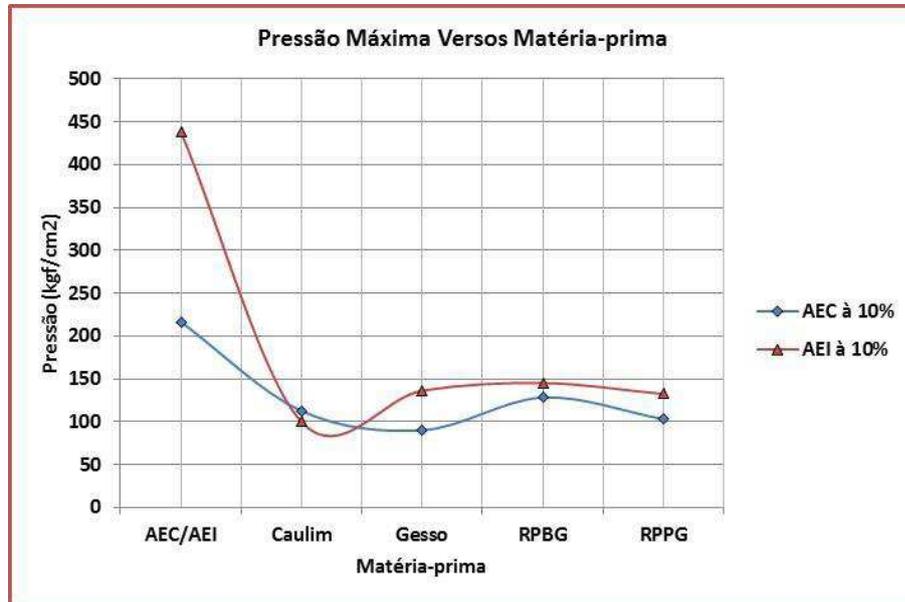
Fonte: própria (2014)

4.9. Comparação entre a Pressão de Expansão dos Resíduos Adicionados na Argamassa Expansiva Chinesa e Italiana.

Neste capítulo, foi realizado o estudo comparativo e individualizados da pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana adicionadas de resíduos nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Na Figura 93, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 10%, se comparadas com a argamassa chinesa e italiana pura. Pode-se observar que nesta proporção, o resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com os demais, apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 93: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição das matérias-primas na proporção de 10%



AEC – Argamassa expansiva chinesa

AEI – Argamassa expansiva italiana

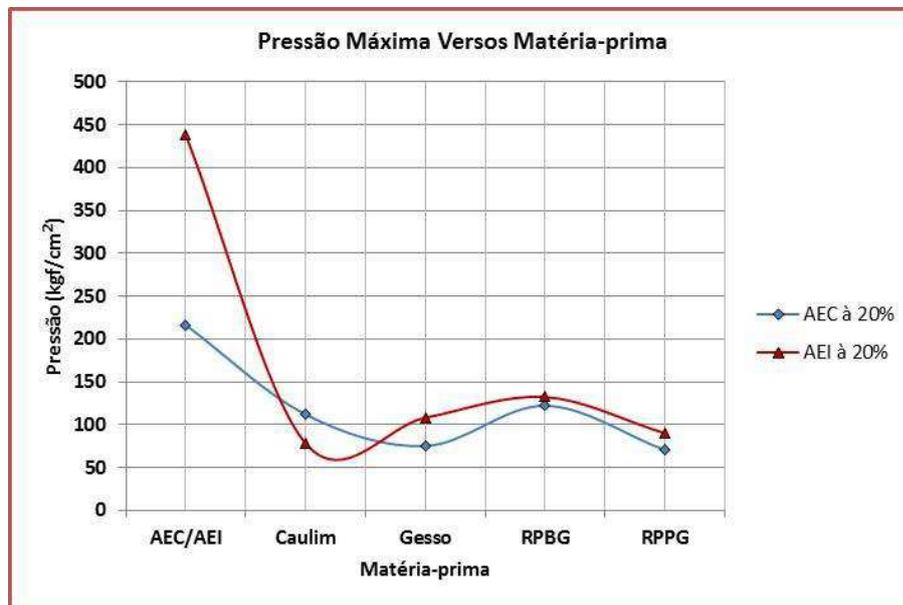
RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

Fonte: própria (2014)

Na Figura 94, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 20%, se comparadas com a argamassa chinesa italiana pura. Pode-se observar que nesta proporção, o resíduo do beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com os demais, apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 94: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de matérias-primas na proporção de 20%



AEC – Argamassa expansiva chinesa

AEI – Argamassa expansiva italiana

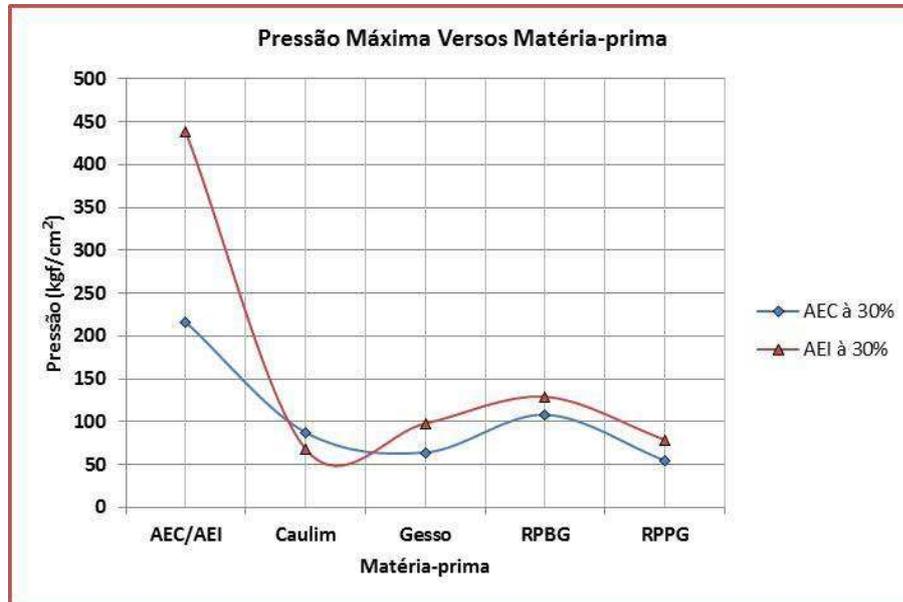
RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

Fonte: própria (2014)

Na Figura 95, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição dos resíduos na proporção de 30%, se comparadas com a argamassa chinesa italiana pura. Pode-se observar que nesta proporção, o resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com os demais, apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 95: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 30%



AEC – Argamassa expansiva chinesa

AEI – Argamassa expansiva italiana

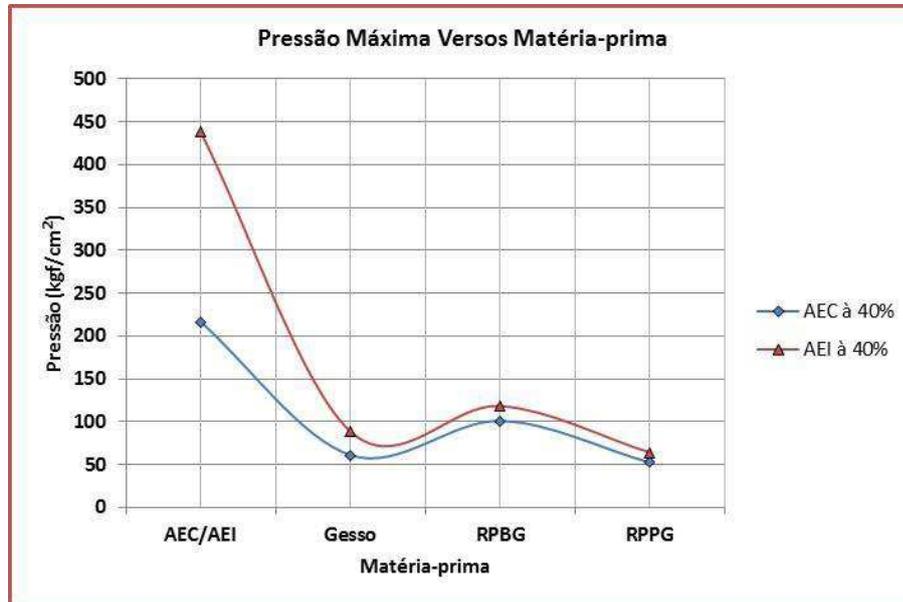
RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

Fonte: própria (2014)

Na Figura 96, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição dos resíduos na proporção de 40%, se comparadas com a argamassa chinesa italiana pura. Pode-se observar que nesta proporção, o resíduo do processo de beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com os demais, apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 96: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 40%



AEC – Argamassa expansiva chinesa

AEI – Argamassa expansiva italiana

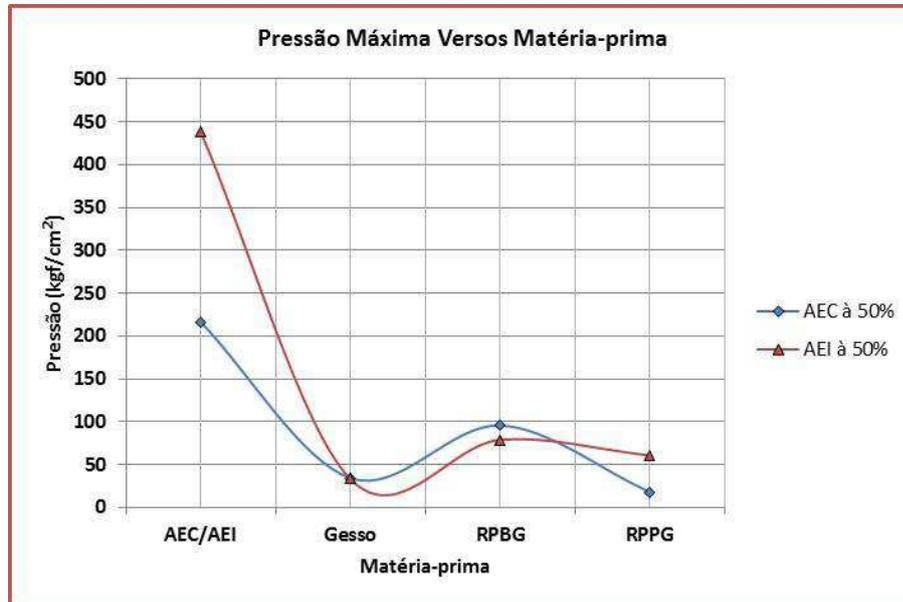
RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

Fonte: própria (2014)

Na Figura 97, pode-se observar o resumo dos testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição dos resíduos na proporção de 50%, se comparadas com a argamassa chinesa italiana pura. Pode-se observar que nesta proporção, o resíduo do beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com os demais, apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 97: Pressão de expansão das argamassas expansivas chinesa e italiana com adição de resíduos na proporção de 50%



AEC – Argamassa expansiva chinesa

AEI – Argamassa expansiva italiana

RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito

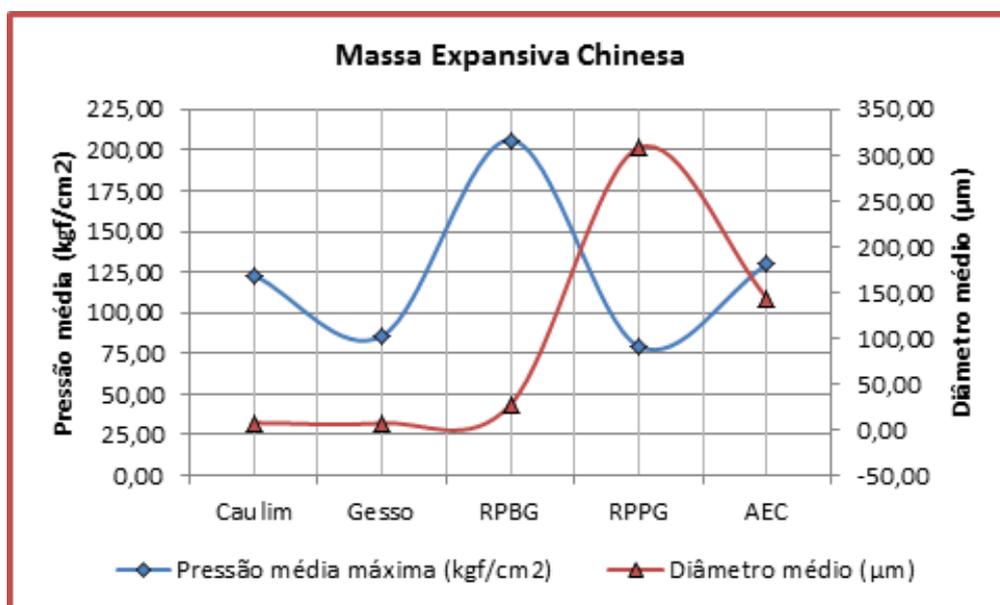
Fonte: própria (2014)

4.10. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria dos Resíduos Adicionados nas Argamassas Expansivas Chinesa e Italiana.

4.10.1. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria Resíduos Adicionadas da Argamassa Expansiva Chinesa.

Na Figura 98 e Tabela 25, pode-se observar o estudo comparativo do comportamento da pressão média máxima de expansão da argamassa expansiva chinesa com adição dos resíduos e suas respectivas granulometrias médias. Pode-se mais uma vez observar que o resíduo do beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com as demais matérias-primas à mesma apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 98: Relação entre a pressão média máxima dos resíduos utilizados na argamassa expansiva chinesa e a granulometria



AEC – Argamassa expansiva chinesa

RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento de granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração de granito

Fonte: própria (2014)

Tabela 25: Relação entre pressão média máxima de expansão e a granulometria dos resíduos adicionados a argamassa expansiva chinesa.

Resíduo	Pressão Média Máxima (kgf/cm ²)	Granulometria Média (µm)
Caulim	123,18	7,58
Gesso	85,82	7,12
RPBG	206,23	27,38
RPPG	79,46	308,30
AEC	129,94	143,67

AEC – Argamassa expansiva chinesa

RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento de granito

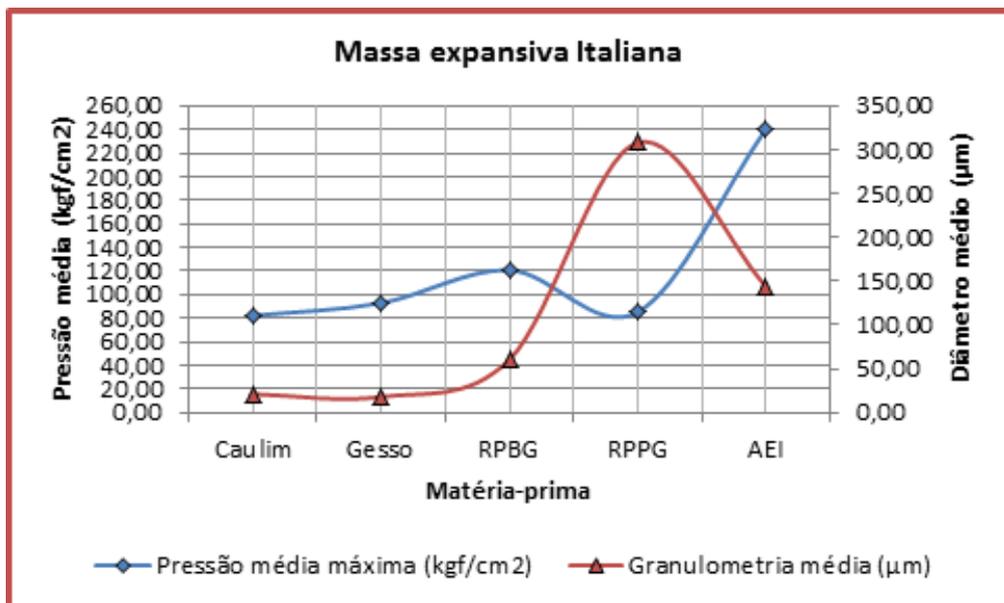
RPPG – Resíduo do processo de perfuração de granito

Fonte: própria (2014)

4.10.2. Relação entre a Pressão de Expansão e a Granulometria Resíduos Adicionadas da Argamassa Expansiva Chinesa.

Na Figura 99 e Tabela 26, pode-se observar o estudo comparativo do comportamento da pressão média máxima de expansão da argamassa expansiva italiana com adição dos resíduos e suas respectivas granulometrias médias. Pode-se mais uma vez observar que o resíduo do beneficiamento do granito (RPBG) se comparado com as demais matérias-primas à mesma apresenta um melhor desempenho na pressão de expansão.

Figura 99: Relação entre a pressão média máxima dos resíduos utilizados na argamassa expansiva italiana e a granulometria



AEC – Argamassa expansiva chinesa
AEI – Argamassa expansiva italiana
RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento do granito
RPPG – Resíduo do processo de perfuração do granito
Fonte: própria (2014)

Tabela 26: Relação entre pressão média máxima de expansão e a granulometria dos resíduos adicionados a argamassa expansiva italiana

Resíduo	Pressão Média Máxima (kgf/cm²)	Granulometria Média (µm)
Caulim	82,29	21,10
Gesso	92,90	17,97
RPBG	120,86	60,43
RPPG	85,28	308,30
AEI	130,22	107,00

AEI – Argamassa expansiva italiana

RPBG – Resíduo do processo de beneficiamento de granito

RPPG – Resíduo do processo de perfuração de granito

Fonte: própria (2014)

5. CONCLUSÕES

Dos vários ensaios e análises realizadas neste trabalho, pode-se chegar as seguintes conclusões parciais:

- As Argamassas expansivas chinesa (Chemshine) e italiana (Fracta.Ag) são formadas basicamente por CaO com 89,9% e 90,2% respectivamente, sendo este o responsável pela expansão via hidratação. Outros componentes também estão presentes: Óxido de magnésio, Óxidos de silício, Óxido de ferro, Óxido de alumínio. Também fazem parte da composição K_2O , TiO_2 .
- As argamassas chinesa (Chemshine) e italiana (Fracta.Ag) apresentam valores médios totais da pressão de expansão obtidos nos testes de $141,98\text{kgf/cm}^2$ e $240,54\text{kgf/cm}^2$ respectivamente, sobre a área de $0,785\text{cm}^2$ do corpo de prova com 0,8cm de diâmetro. Conclui-se que a argamassa italiana (Fracta.Ag) apresenta uma pressão média total 69,41% superior a chinesa (Chemshine).
- A argamassas expansiva chinesa (Chemshine) adicionadas dos resíduos apresentam uma pressão média de expansão da ordem de $123,18\text{ kgf/cm}^2$ para o caulim, $85,82\text{kgf/cm}^2$ para o gesso, $206,23\text{kgf/cm}^2$ para o RPBG e $79,46\text{kgf/cm}^2$ para o RPPG.
- A argamassas expansiva italiana (Fracta.Ag) adicionada de resíduos apresentaram uma pressão média de expansão da ordem de $82,29\text{ kgf/cm}^2$ para o caulim, $92,90\text{kgf/cm}^2$ para o gesso, $120,86\text{kgf/cm}^2$ para o RPBG e $85,28\text{kgf/cm}^2$ para o RPPG.
- Com a incorporação dos resíduos a argamassa expansiva chinesa (Chemshine) houve uma diminuição da pressão de expansão se comparada com a pressão máxima de expansão $216,56\text{ kgf/cm}^2$ da argamassa pura. Acarretando perdas na pressão de expansão da ordem de: 43,11%, 60,37%, 4,77% e 63,30% para os resíduos de: caulim, gesso, RPBG e RPPG respectivamente.
- Com a incorporação dos resíduos a argamassa expansiva italiana (Fracta) houve uma diminuição da pressão de expansão se comparada com a pressão máxima de expansão de $438,22\text{kgf/cm}^2$ da argamassa pura. Acarretando perdas de pressão de expansão da ordem de: 90,18%, 78,80%, 72,42% e 80,53% para o caulim, gesso, RPBG e RPPG respectivamente.

- Que o resíduo do processo de beneficiamento do granito pode ser usado nas várias composições sem perdas consideráveis na pressão de expansão das argamassas.
- que a granulometria é um fator que interfere apenas na trabalhabilidade da mistura da argamassa ao resíduo.
- Que o resíduo que apresentou melhor resultado na incorporação, foi o resíduo do processo de beneficiamento do granito.
- Que com a incorporação de resíduo na argamassa reduz os custo na lavra de rochas ornamentais.
- Tomando como base que a resistência a flexão das rochas silicatadas dependendo da sua classificação petrográfica varia de 66kgf/cm² para a granada leucognaisse a 200 kgf/cm² para a biotita granito, ser possível a incorporação dos resíduos estudados nas argamassas expansiva italiana (Fracta.Ag).

6. SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURAS

Os conhecimentos obtidos no desenvolvimento deste trabalho podem ser ampliados através de novas pesquisas, conforme algumas sugestões abaixo, que possam ser estudados em trabalhos futuros que venham contribuir como extensão desta tese:

1. realização de testes em campo, visando identificar com mais precisão as condições ideais para incorporação de resíduos nas argamassas expansivas estudadas nesta pesquisa;
2. otimização do equipamento de medição da pressão de expansão de argamassa expansiva, incorporando ensaios de outros importantes parâmetros tecnológicos de avaliação do desempenho de argamassa, como medição da temperatura e do tempo da reação exotérmica de hidratação do CaO e de condutividade, o que possibilitará avanços tecnológicos significativos nesta área de pesquisa;
3. estudar diferentes moldes para o ensaio de pressão expansiva no equipamento desenvolvido para medição de pressão, possibilitando a variação de volume ao longo do tempo das argamassas e das incorporações ensaiada, desta forma, aproximando o ensaio ao que efetivamente ocorre na aplicação *in loco*;
4. avaliar mais profundamente a influência da granulometria dos resíduos e das argamassas nas propriedades reológicas e na pressão de expansão de argamassa expansiva;
5. fazer estudo da influência das condições ambientais (temperatura ambiente e umidade relativa do ar) e do perfil da temperatura na profundidade da furação da rocha ornamental para o desempenho operacional da pressão de expansão, correlacionado estas propriedades com o tempo necessário para a ruptura da rocha;
6. realizar estudos comparativos e de correlação da caracterização petrográfica e tecnológica (comportamento físico e químico) das rochas ornamentais com a propriedade da pressão de expansão de argamassa expansiva, sendo possível adotá-los como parâmetro operacional no desmonte de rochas ornamentais.

7. realizar estudos com resíduos de outras rochas, como basalto, por exemplo, que tem menor conteúdo de sílica (SiO_2) Nesse estudo seriam utilizadas as mesmas argamassas e adicionados as mesmas proporções de caulim, e gesso, para comparação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de revestimento no período de janeiro a outubro de 2013. São Paulo, 2013. 8p. (Informe 17/2013).

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º Quadrimestre de 2014. São Paulo, 2014. 11p. (Informe 07/2014).

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2013. São Paulo, 2014. 24p. (Informe 01/2014).

ALANIS, A. Utilização da argamassa expansiva para o corte de rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002. Anais...Recife, CETEM/UFPE, 2002, 1 cd-rom, 2002.

ALENCAR, C.R.A., CARANASSIOS A.; CARVALHO D.L.C. Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento. V. 3, Fortaleza/CE, Instituto Evaldo Lodi da Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Fortaleza, 225p. 1996.

ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Série estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v. 3. 225 p. Instituto Euvaldo Lodi-FIEC/CIEL, Fortaleza, 1996.

ALMEIDA, J. R. de; CAVALCANTI, Y.; MELO, C. dos S.; Gestão ambiental: planejamento, avaliação, implantação, operação e verificação, ed, Thex, Rio de Janeiro, 2000.

BRANCO, S. M; ROCHA, A. A.; Elementos de ciências do ambiente. CETESB/ASCETESB, São Paulo, 1987.

BUENO, F.S., Minidicionário da língua portuguesa. São Paulo: FTD : LISA, 1996. 702p.

CAIMEX. Produtos Kayati SL-CRAS. www.caimex.com.br. Acesso em julho de 2014.

CARUSO, L.C. Pedras Naturais – Extração, Beneficiamento e Aplicação. São Paulo, 1996.

CARUSO, L. G. Pedras naturais-extração, beneficiamento e aplicação. Rochas & Equipamentos, n. 43, p. 98-156, 1996.

CHEMISHINE. Cimento expansivo. www.chemishine.com.cn. Acessado em julho de 2014.

CHIMICAEDILE. Cimento expansivo. www.chimicaedile.com.br. Acesso em agosto de 2014.

CHIOD FILHO, C.; ONO, P. A. Tipos de lavra e técnicas de corte para desmonte de blocos. Rocha de Qualidade, São Paulo v. 120, p. 93-106, 1995.

DUTRA, R; Beneficiamento dos minerais industriais. 49º Congresso brasileiro de cerâmica, São Pedro – SP, 2005. Disponível em:<<http://www.abceram.org.br/asp/49cb>>Acesso em setembro 2011.

EDWARD K. RICE Patente nº 4,419,136. www.patft.uspto.gov. 1983. Acesso em 19 de outubro de 2014.

FREIRE, A.S.; MOTTA,, J.F.:M.. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. Ano XXV. Edição 123, p.98-108, jul/ago. 1995.

HANIF, M., AL-MAGHRABI, M. N. H. Effective Use of Expansive Cement for the Deformation.... G.U. Journal of Science, Jeddah – Arabia Saudita, p. 1-5, 22 de novembro de 2006. Disponível em < [http://www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/20\(1\)/1.pdf](http://www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/20(1)/1.pdf) >. Acesso em julho de 2011.

HUYNH, M.; LAEFER, D. F. Expansive cements and soundless chemical demolition agents : state of technology review. In: 11th Conference on Science and Technology, 2009, Ho Chi Minh. Anais... Ho Chi Minh: Vietnam Academy Of Science And Technology, Vietnam, 2009. Disponível em <<http://irserver.ucd.ie/dspace/bitstream/10197/2285/1/79.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2010.

LEITE, J. Y. P.; VERAS; M. M.; SANTOS, E.P.; LIMA, R.F.S.; PAULO, J.B.A.; Mineração de Caulim de Pequena Escala em APL de Base Mineral – Novo Layout para sua Otimização. In: XXII ENTMME / VII MSHMT – Ouro Preto-MG, novembro 2007.

LIMA, F. T., GOMES, J., LIRA, H. L., NEVES, G. A. Utilização do resíduo industrial resultantes do beneficiamento de caulim para fabricação de revestimentos cerâmicos. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001, p. 501.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; SOUSA, A, P.; CUNHA, C.T.C., Caracterização Mineralógica de Argamassa Expansiva e sua Obtenção Utilizando Minérios Não-Metálicos do Nordeste. In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério das Ciências e Tecnologia. Guarapari/ES. 2005-a.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; SOUSA, A. A. P.; CUNHA, C.T.C., Estudo de Matéria-prima Cerâmica para Obtenção de Argamassa Expansiva para Lavra de Rochas Ornamentais. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. São Pedro/SP. 2005-b.

LUZ, J. A. M., BALAREZO, F. J. M., PEREIRA, C. A. Emprego de argamassa expansiva em termoconsolidação de peças em cantaria. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(3): 161-167, jul. set. 2003.

LUZ, A.B.; CHAVES, A.P. Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel. Vol. 1. Série rochas e minerais industriais – CETEM/MCT. 2000.

MANCINTYRE, A. J. Ventilação industrial e controle da poluição, LTC, 1990.

MENEZES, R. G. de. Tecnologias de Lavra em Maciços Rochosos. 2005. 48f. Monografia (Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais), Centro de Ciências, Matemática e da Natureza. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MIKI Minoru. Patente nº 3,510,326. www.patft.uspto.gov. 1970. Acesso em 14 de janeiro de 2005.

MME-MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA/BRASIL Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Brasília, 101p., 2009

Wendell W. Moyer, Jr., Robert Smith-Johannsen. Patente nº 4,205,994. Disponível em <<http://www.patft.uspto.gov>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

MOURA, W.A.; LIMA, M.B.L.; CALMON, João Luiz Nogueira da Gama; MORATTI, Markus, SOUZA, Fernando Lordello dos Santos. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. Santa Catarina. XI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. 2006.

MURPHY, C. H.; Handbook of particles sampling and analysis methods., Verlag Chemie International, Florida, 1994.

NEVES, G. A. Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para Uso como Matéria-Prima Cerâmica. Campina Grande. 2002. 242 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 242p. 2002.

NORSEQUIPAMENTOS. http://www.nors.com.br/cunha_hidraulica_darda.asp#. Acessado em julho de 2013.

OLIVEIRA, M.F; MENEZES,R.R; NEVES,G. A; SANTANA, L.N.L; LIRA, H. L; BRASILEIRO, M. I;. Sinterização de resíduo de caulim para obtenção de mulita. In: 1º SIMPÓSIO NORDESTINO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS-GESTÃO E

TECNOLOGIA DE RECICLAGEM, Campina Grande/PB. Anais do 1º SINRES 2007, 2007. p.1-7.

PESSOA, M. A; Silicose exige medidas de controle., Jornal Manuelzão; Disponível em: <http://www.manuelzao.ufmg.br/jornal/jornal29/silicose.htm> Acesso em 30/06/2014.

PINHEIRO, J. R. O emprego da argamassa expansiva na extração de rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, v. 28, n. 145, março/abril, 1999.

PINHEIRO, J.R. A indústria extrativa de rochas ornamentais no Brasil. (2005). Módulo I, do curso de especialização em rochas ornamentais. 55 p., n/ed., CETEM/UFRJ/CETEMAG, Rio de Janeiro.

RODRIGUES, G. S.; Efeitos ambientais na produção de brita em áreas urbanas (Poluição atmosférica e vibrações), Dissertação de mestrado do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de São Paulo (USP)., São Paulo, 1993.

ROGERTEC. Cimento expansivo. Disponível em <<http://www.rogertec.com.br>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2013.

SANTOS, P. S.; Ciência e Tecnologia de Argilas. vol. 2, p. 393-398, Edição da universidade de São Paulo, 1975.

SEED-SECRETARIA DA EDUCAÇÃO/PARANA/BRASIL, http://www.tooluizrego.seed.pr.gov.br/redeescola/escolas/27/2790/30/arquivos/File/Disciplinas%20Conteudos/Quimica%20Subsequente/Quimica%20Inorganica/Carlos_3_Semestre_Tec_Quimica_Gesso_Cal.pdf. Acessado em: 01 jul. 2013.

SHIRO ISHI. Study of a Demolition Method Using Non Explosive Demolition Agent, R & D Laboratório de Novos Produtos, Onada Cement Co., Japão, 2006.

SILVA, M. R. R.; DANTAS, J. R. A. Província Pegmatítica da Borborema-Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte. In: DNPM/CPRM (Eds). Principais Depósitos Minerais do Brasil. 1 ed. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 4, 1997.

SILVA, R. A. V.. Desenvolvimento de um equipamento para ensaio de pressão de expansão em argamassa expansiva / Rômulo Augusto Ventura Silva . — Campina Grande, 2007. 121 f.: il.

SOUSA, A.G.P. Desenvolvimento de argamassa expansiva para lavra de rochas ornamentais utilizando minerais não-metálicos da Região Nordeste do Brasil / Antônio Augusto Pereira de Sousa.F_&DPSLQD_*UDQGH_____ 114f.: il.

Yuichi Suzukawa, Waichi Kobayashi, Shigeo Okabayashi, Hidefumi Ichinose. Patente nº 4,452,637. Disponível em <<http://www.patft.uspto.gov>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2012.

WEBMINERALS. Disponível em <<http://www.webminerals.com>>. Acesso em maio de 2007.

WILLEK, K.; BARON, P. A.; Aerosol measurement – principles. Techniques and applications., Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

WILLIAMS *et al.* Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1997. 96p *apud* SILVA *et al.* Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. REM: Rev. Esc. Minas, vol.54, no.2, Apr./June. p.133-136. 2001.

WILSON, I. R.; SANTOS, H. S.; SANTOS, P. S. Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia. Cerâmica, v.44, n.287-288, p.118-129, 1998.

WHO. Hazard Prevention and Controlling the Work Environment: Airborne Dust, WHO/SDE/OEH/99.14, Geneva 1999.