

SANDRA MARA CORRÊA

**COMPÓSITO À BASE DE RESÍDUOS DE CONCRETO E RESÍDUOS DE
PRODUÇÃO DE CAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia (PIPE), Área de Concentração de Engenharia e Ciência dos Materiais, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

Orientador: Dr.Sc. Vsévolod Mymrine

CURITIBA

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

SANDRA MARA CORRÊA

**COMPÓSITO À BASE DE RESÍDUOS DE CONCRETO E RESÍDUOS DE
PRODUÇÃO DE CAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia (PIPE), Área de Concentração de Engenharia e Ciência dos Materiais, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

Orientador: Dr.Sc. Vsévolod Mymrine

CURITIBA

2005

DEDICATÓRIA

A Deus que com seu eterno amor, me ensinou como devemos amar a tudo e a todos.

Aos meus pais que me mostraram como é amar assim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a coordenação, professores e funcionários do Programa Interdisciplinar de Pós Graduação em Engenharia, pelo empenho, dedicação e toda a atenção dispensada.

Aos amigos do LAME, Paulo Chameki, Douglas Moser, João Bosco, Marcelo, Anivo, Amauri, João e Eustáquio.

Sou grata ao Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto, Coordenador do LAMIR e sua equipe, Joniel Munhoz Martins, Elisiane Röper Pescini, Luciane Lemos do Prado, Paola Barbosa Faleiros, Rodrigo Secchi e Ana Lúcia Rodolfo Moreto.

Ao Prof. Ney Pereira Matoso Filho e a Carla do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, pela cordialidade, presteza e gentileza com que sempre me atendeu e pelas análises realizadas.

Aos colegas do PIPE e LACTEC, pelas suas colaborações e apoio.

Ao amigo Eduardo Monteiro Bigélli pela força, paciência e dedicação.

Agradeço especialmente ao meu orientador Dr.Sc. Vsévolod Mymrine que muito me ajudou e incentivou em todos os momentos, dividindo comigo seu conhecimento e experiência.

Ao Prof. Dr. Kleber Franke Portella, pelo apoio e correções na dissertação.

Ao Prof. Dr. Haroldo Araújo Pontes, pelo uso do Laboratório de Tecnologia Ambiental para a confecção dos corpos-de-prova.

A Eng^a Fátima Lauand por todo apoio fornecido.

Agradeço a toda minha família que sempre esteve ao meu lado, neste, e em todos os momentos da minha vida.

A todos os demais que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ASPECTOS GERAIS	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD	6
2.2 O CONCRETO	14
2.2.1 Histórico, Definição e Utilização	14
2.2.2 Componentes do Concreto	15
2.2.3 Tipos de Concreto	16
2.3 A CAL	17
2.3.1 Histórico, Definição e Utilização	17
2.3.2 Componentes da Cal	19
2.3.3 Tipos de Cal	21
2.4 COMPÓSITOS	22
3 METODOLOGIA	24
3.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS	25
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	25
3.2.1 Resíduos de Concreto	25
3.2.2 Resíduos de Produção de Cal	27
3.3 DEFINIÇÃO DAS COMPOSIÇÕES PARA OS COMPÓSITOS	28
3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	29
3.5 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROSCÓPICOS	30
3.5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	30
3.5.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	32
3.5.3 DIFRAÇÃO DE RAIO X	33
3.5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA	34
3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	34
3.6.1 MÉTODO ESTATÍSTICO DE WEIBULL	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIO X	37
4.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO	38
4.2.1 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 3 dias	39
4.2.2 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 7 dias	40
4.2.3 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 14 dias	40
4.2.4 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 28 dias	41
4.2.5 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 60 dias	41
4.2.6 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 90 dias	42
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA	44
4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X	46
4.4.1 RX do Resíduo de Concreto Seco	46
4.4.2 RX do Resíduo de Produção de Cal Seco	48
4.4.3 RX da Composição 11D – Seca	49
4.4.4 RX da Composição 11D – 3 dias	50
4.4.5 RX da Composição 11D – 28 dias	51
4.4.6 RX da Composição 11D – 90 dias	52

4.4.7	Processos Físico-Químicos de Endurecimento dos Corpos-de-Prova.....	53
4.5	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	59
4.5.1	Resíduos de Concreto Seco	59
4.5.2	Resíduos de Produção de Cal Seco	60
4.5.3	Composição 11D 3 dias	62
4.5.4	Composição 11D 28 dias	63
4.5.5	Composição 11D 60 dias	64
4.5.6	Composição 11D 90 dias	66
5	CONCLUSÕES.....	68
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
	GLOSSÁRIO	71
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE 1	79
	APÊNDICE 2	82
	ANEXOS.....	85
	ANEXO 1 – Difratoograma de Raio X do Resíduo de Concreto Seco.....	86
	ANEXO 2 - Difratoograma de Raio X do Resíduo de Produção de Cal Seco	89
	ANEXO 3 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D Seca.....	92
	ANEXO 4 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 3 dias	95
	ANEXO 5 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 28 dias	98
	ANEXO 6 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 90 dias	101
	ANEXO 7 – Abstract e Aceite do Abstract Enviado para Congresso	104
	ANEXO 8 – Depósito do Pedido de Patente.....	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ENTULHO PROCESSADO PELA USINA DE RECICLAGEM DE RIBEIRÃO PRETO (ZORDAN, 1997).	7
FIGURA 2 – (A E B) FOTOS DA ORIGEM E TIPO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO TRABALHADOS.	25
FIGURA 3 - (A) FOTO DE 1 CP, (B) CONJUNTO DE CORPOS-DE-PROVA COM AS 7 COMPOSIÇÕES.....	29
FIGURA 4 – MOLDE UTILIZADO NA COMPACTAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CONSTITUÍDO DE 3 PARTES, CILINDRO, PISTÃO E TAMPÁ.	29
FIGURA 5 – PRENSA MANUAL MARCA SCHULTZ CAPACIDADE DE 15 TONELADAS.....	30
FIGURA 6 – (A) PRENSA INSTRON 4476, (B) CP EM ENSAIO, (C) COMPOSIÇÃO 5D EM ENSAIO..	32
FIGURA 7 – AMOSTRAS PREPARADAS PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE MEV.	32
FIGURA 8 – (A) E (B) DIFRATÔMETRO DE RAIOS-X (DRX).	33
FIGURA 9 – MODELO ESQUEMÁTICO DO DIAGRAMA DE WEIBULL.	36
FIGURA 10 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 3 DIAS.	39
FIGURA 11 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 7 DIAS.	40
FIGURA 12 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 14 DIAS.	40
FIGURA 13 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 28 DIAS.	41
FIGURA 14 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 60 DIAS.	41
FIGURA 15 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 90 DIAS.	42
FIGURA 16 – TENSÃO CARACTERÍSTICA DE WEIBULL – RESISTÊNCIA x COMPOSIÇÃO.	42
FIGURA 17 – TENSÃO CARACTERÍSTICA DE WEIBULL – RESISTÊNCIA x IDADE.	43
FIGURA 18 – MÓDULO DE WEIBULL - RESISTÊNCIA x IDADE.	43
FIGURA 19 – GRÁFICO ABSORÇÃO x COMPOSIÇÃO.	45
FIGURA 20 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO RESÍDUO DE CONCRETO.....	47
FIGURA 21 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO RESÍDUO DE PRODUÇÃO DE CAL.....	48
FIGURA 22 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D SECA.	49
FIGURA 23 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D – 3 DIAS.....	50
FIGURA 24 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D – 28 DIAS.....	51
FIGURA 25 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D – 90 DIAS.	52
FIGURA 26 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CONCRETO SECO 50X (A) E 1.000X (B).	59
FIGURA 27–MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CONCRETO SECO 1.000X(A) E 3.000X(B).....	60
FIGURA 28 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 50X(A) E 200X(B).	60
FIGURA 29 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 950X(A) E 3.000X(B).	61
FIGURA 30 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 3.000X (A) E (B).	62
FIGURA 31 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 3 DIAS – 50x (A) E 1.000x (B).	62
FIGURA 32 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 3 DIAS – 3.000x(A) E 5.000x(B).....	63
FIGURA 33 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 50x (A) E 200x (B).	63
FIGURA 34 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 1.000x(A) E 3.000x(B).....	64
FIGURA 35 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 5.000x(A) E 5.500x(B).....	64
FIGURA 36 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 60 DIAS 35x (A) E 300x (B).	65
FIGURA 37 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 60 DIAS 1.000x(A) E 3.000x(B).	65
FIGURA 38 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 300x(A) E 1.000x(B).	66
FIGURA 39 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 3.000x(A) E 4.000x(B).	67
FIGURA 40 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 8.000x (A) E 8.500x (B).	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	6
TABELA 2 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E POSSIBILIDADES DE REUTILIZAÇÃO, NAS PRINCIPAIS CAPITAIS BRASILEIRAS.	9
TABELA 3 – ÍNDICES MÉDIOS DE PERDAS (EM %).	10
TABELA 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO (MPA).....	11
TABELA 5 – TESTES COM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM ENTULHO – TESTIN.	12
TABELA 6 – PROPORÇÕES TÍPICAS PARA OS MATERIAIS DO CONCRETO DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS.	17
TABELA 7 – CONSUMO PER-CAPITA DE CAL NOS PRINCIPAIS PAÍSES.	18
TABELA 8 – COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS.	27
TABELA 9 – COMPOSIÇÕES TRABALHADAS.....	28
TABELA 10 – RESULTADOS DO ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X DOS RESÍDUOS DE CONCRETO E RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL.	37
TABELA 11 – RESULTADOS DO ENSAIO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL.	38
TABELA 12 – RESUMO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – MPA.....	39
TABELA 13 – RESUMO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	44
TABELA 14 – COMPARAÇÃO DE ALTERAÇÕES DE DRX ANTES E DURANTE A HIDRATAÇÃO DA COMPOSIÇÃO 11D.....	57
TABELA 15 – AMOSTRAS ANALISADAS X AMPLIAÇÕES OBTIDAS.	59
TABELA A 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	80
TABELA A 2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS _{cp}	- ensaio de absorção de água
Cp	- corpo-de-prova
ANVI	- empresa que comercializa misturadores de argamassa
DRX	- Difração de Raios-X
LACTEC	- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LAMIR	- Laboratório de Análise de Minerais e Rochas
LTA	- Laboratório de Tecnologia Ambiental
MEV	- Microscopia eletrônica de varredura
NBR	- Norma brasileira
PIGRCC	- Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIPE	- Programa de Pós-Graduação em Engenharia
PR	- Paraná
RCD	-Resíduo de Construção e Demolição
SINDUSCON-SP	- Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo
SLUMP	- ensaio de abatimento do tronco de cone para o concreto
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	- percentagem
θ	- teta (letra grega)
°C	- graus Celsius
Å	- angstroms
a/c	- relação água / cimento
CPII-F-32	- Cimento Portland composto com filler e resistência aos 32 dias.
hrs	- horas
Kg	- kilograma
Kg/m ³	- kilograma por metro cúbico
Kg-habitante/ano	- kilograma-habitante por ano
MPa	- Mega Pascal. Unidade de tensão.
μm	- micron
mm	- milímetro
mm/ μm	- milímetro por micron
mm/min.	- milímetro por minuto
m/mês	- metro por mês
m ²	- metro quadrado.
m ³	- metro cúbico
ton	- tonelada
ton/dia	- tonelada por dia
ton/m ³	- tonelada por metro cúbico
ton/ano	- tonelada por ano
Mton/ano	- milhões de toneladas por ano
unid/mês	- unidade por mês

RESUMO

Foi desenvolvido e patenteado no Brasil um compósito de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal, para aplicação como novo material na construção civil. Neste sentido este trabalho surge com o objetivo de fornecer parâmetros para a produção destes compósitos. Além de ser uma solução viável para a utilização da grande quantidade de resíduos de produção de cal gerados, tendo em vista que também não foi encontrado nada parecido na literatura mundial.

Foram estudados os parâmetros de: composição química, composição mineralógica, resistência à compressão, absorção de água por imersão. O resíduo de cal foi caracterizado por um alto excesso de SiO_2 , Al_2O_3 , CaCO_3 , etc. A resistência à compressão média aos 90 dias de uma das composições, em cura a seco chegou a 29 MPa, a absorção de água 12,0%. Os estudos de DRX explicam o crescimento da resistência dos cp's pela transformação dos minerais: de carbonato de cálcio, carbonato de magnésio, entre outros carbonatos, em novas formações. As análises de MEV demonstraram o crescimento de conhecidos minerais de carbonato em formas cristalinas, principais responsáveis pelo fortalecimento dos materiais de cal.

Palavras-chaves: Resíduos de construção e demolição (RCD), Compósito de resíduos de concreto, interação físico-química, formação de estruturas.

ABSTRACT

It was developed and patented in Brazil a binding component of residues of concrete and residues of production lime, for application as new material in the construction. In this sense this work arises with the object of supply parameters for the output of these binding. Beyond it is a viable solution for the utilization of the big generated lime output residues quantity, having in mind that also was found similar nothing in the world literature. They were studied the parameters of: chemical composition, composition mineralogy, resistance to the compression, absorption of water by immersion. The residue of lime was characterized by a high excess of SiO_2 , Al_2O_3 , CaCO_3 , etc. The resistance to the medium compression to the 90 days in one of the compositions, in cure the dry arrived to 29 MPa, the absorption of water 12,0%. The studies of DRX explain the growth of the resistance of the cp's by the transformation of the minerals: of carbonates of calcium, carbonates of magnesium, between others carbonates, in new formations. The analyses of MEV showed the growth of known minerals of carbonates in responsible main, crystalline forms by the hardening of the materials of lime.

Keywords: Construction residues and demolition (RCD), Composite of concrete residues, interaction physical-chemist, formation of structures.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento, e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de entulho mineral. Tal fato despertou a atenção já na época da edificação das cidades do Império Romano e desta época datam os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras.

WEDLER, HUMMEL (1946) *apud* LEVY, HELENE (1997): “Só a partir de 1928, iniciaram-se pesquisas para avaliar o consumo do cimento, a quantidade da água, e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de alvenaria britada e de concreto. Porém a primeira aplicação significativa de entulho reciclado, só foi registrada após o final da Segunda Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e os escombros ou entulhos resultantes foram britados para produção de agregados visando atender a demanda na época. Podendo-se dizer que somente a partir de 1946 empregou-se a tecnologia de reciclagem do entulho da construção civil”.

“Embora as técnicas de reciclagem dos resíduos minerais da construção civil tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção que a reciclagem tenha se tornado uma idéia amplamente difundida”.

Atualmente, na Europa, há um desperdício equivalente a 200 milhões de toneladas anuais entre concreto, pedras e recursos minerais valiosos. Tal volume de materiais seria suficiente para se construir uma rodovia com seis faixas de rolamento interligando as cidades de Roma e Londres (LAGUETTE, 1995).

Felizmente, nações tecnologicamente desenvolvidas como Holanda, Japão, Bélgica, França e Alemanha entre outras, já perceberam a necessidade de reciclar as sobras de construção civil e têm pesquisado o assunto intensamente visando atingir um grau de padronização dos procedimentos adotados para obtenção dos agregados, atendendo desta forma os limites que permitem atingir um padrão mínimo de qualidade (LEVY, 1997).

No início dos anos 60, os governos municipais, estaduais e federal dos EUA elaboraram leis que regulamentam a disposição de resíduos, o que resultou na busca de meios para reaproveitar e reciclar os resíduos gerados. Surgiram várias empresas que hoje oferecem a gestão de resíduos, ofertando serviços de coleta, classificação, reciclagem e destino final adequado para seus clientes.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos no Brasil e em outros países sobre a reciclagem de entulho e de resíduos de construção e demolição. (CINCOTTO, 1983). A partir de 1968, foram realizados muitos simpósios sobre o tema, que culminaram na criação de entidades normalizadoras, como:

- Comitê E-38 da ASTM (American Society for Testing and Materials), destinado ao desenvolvimento de métodos de recuperação de materiais e energia;
- Comitê 37 DRC RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Construction), voltado para os resíduos de demolição;
- Comitê de OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) com o objetivo de promover o uso mais econômico dos materiais na construção de rodovias e acompanhar as pesquisas e exigências dos países membros.

O COMASP Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do Sinduscon - SP participa nas comissões CE: 0213005 e CE: 0213006 da ABNT responsáveis pela elaboração das normas necessárias para a implantação de atividades / tecnologias em decorrência da gestão dos resíduos da construção civil (SINDUSCON, 2002). Como resultado da participação do COMASP junto aos trabalhos da ABNT foram elaboradas as seguintes normas:

- NBR 15.112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.114 - Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.

- NBR 15.116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos.

Com o advento da Resolução 307, de 05 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as exigências para definição de formas alternativas para reaproveitamento e reciclagem destes resíduos tornaram-se urgentes no Brasil.

Desde julho de 2004 as prefeituras estão proibidas de receber os resíduos de construção e demolição no aterro sanitário. Cada município deverá ter um plano integrado de gerenciamento deste tipo de resíduos. Isto obriga que as prefeituras de todo o país trabalhem no sentido de estimular o mais rápido possível o reaproveitamento destes resíduos. A Prefeitura de Curitiba-PR, em novembro de 2004 elaborou o seu Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

A adoção de Usinas de Reciclagem seria um meio de resolver este problema. No Brasil, atualmente estão em operação as centrais de reciclagem em Belo Horizonte (com 2 centrais com capacidade total de 300 ton./dia, em processo de ampliação), Ribeirão Preto e Piracicaba. Outros municípios como São José do Rio Preto, Tocantins e Santo André estão analisando o problema. Neste último município operou durante alguns meses uma pequena central de reciclagem experimental. (JOHN, AGOPYAN, 2000).

Os dados disponíveis demonstram a viabilidade técnica e econômica da operação destes sistemas de gestão dos RCD. Uma das condições do sucesso das centrais é a construção de uma rede de captação de resíduos dentro das malhas urbanas, capazes de atrair, via redução de distâncias de transporte, as caçambas de coleta bem como os coletores autônomos. (JOHN, AGOPYAN, 2000).

A Usina de Reciclagem de Belo Horizonte executa a moagem do entulho coletado na cidade por carrinheiros e pela própria Prefeitura da cidade; que é empregado como base para a pavimentação de ruas e rodovias e, também, na produção de blocos para a construção de novas residências, muros, etc.

O preparo de um compósito de resíduos de construção civil com resíduos de produção industrial pode resultar em uma alternativa ambiental e economicamente viável para minimizar e/ou reduzir o impacto de parte destes resíduos no meio

ambiente. Possibilitando maior conscientização entre os geradores destes resíduos em pensar antecipadamente, em como minimizá-lo e reaproveitá-lo adequadamente.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver as melhores composições para a fabricação de compósitos à base de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades físico-químicas e as melhores composições para o desenvolvimento deste compósito;
- Pesquisar as possibilidades de aplicação deste compósito frente aos resultados obtidos e as normas aplicáveis;
- Auxiliar na busca de soluções para os problemas relativos ao meio ambiente pela utilização de resíduos de construção e demolição.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 capítulos.

No capítulo 1 é feita uma introdução ao trabalho de pesquisa, destacando-se os aspectos gerais, seus objetivos, estrutura e limitações.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre os resíduos de construção e demolição, sobre o concreto, a cal, os compósitos e argamassas.

No capítulo 3 é descrita a metodologia com a descrição do planejamento e da metodologia empregada para a execução dos ensaios, a escolha dos resíduos, a caracterização dos resíduos, a definição das composições, a confecção dos corpos-de-prova, os ensaios físico-químicos dos resíduos, os ensaios de resistência à

compressão, absorção de água, o teor de carbonatos, a difração de raio X, e a microscopia eletrônica de varredura dos corpos-de-prova.

No capítulo 4 são analisados e comentados os resultados dos ensaios apresentados anteriormente, utilizando ferramenta de análise estatística para verificar a confiabilidade dos resultados para os ensaios de resistência mecânica à compressão, microscopia eletrônica de varredura, difração de raio X e absorção de água.

No capítulo 5 apresentam-se as considerações finais e conclusões baseadas neste trabalho, assim como sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho está concentrado no estudo experimental de compósitos confeccionados com 2 tipos de resíduos: de concreto e de produção de cal, provenientes das regiões de Curitiba e Rio Branco do Sul - PR, respectivamente.

Houve a necessidade de limitar o número de tipos de resíduos de concreto e de produção de cal a apenas 1, devido a questões de estocagem e disponibilidade das instalações do laboratório utilizado para a realização da pesquisa, bem como dos equipamentos disponíveis.

A escolha dos ensaios foi determinada pela sua relevância e importância, e pela limitação da pesquisa em função da disponibilidade de tempo, além da escassez de recursos materiais, humanos e financeiros destinados à pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD

A quantidade de RCD (resíduos de construção e demolição) gerada é elevada em muitos países do mundo, variando de 136 a 3359 kg-habitante/ano (JOHN, 2000 e PINTO, 1999) e estima-se que representem 13 a 80%, em massa, dos resíduos sólidos urbanos gerados. (ÂNGULO, 2000).

Desta forma, fica evidente seus efeitos negativos sobre as malhas urbanas, como surgimento de aterros clandestinos, entupimentos de sistemas de drenagens, assoreamento de rios, etc., contribuindo para um alto custo social e econômico para as cidades de médio e grande porte. (PINTO, 1999 e ÂNGULO, 2000).

Na TABELA 1 há um comparativo entre as estimativas de resíduos de construção gerados pelo Brasil entre outros países.

TABELA 1 – ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.

País	Quantidade Anual		Fonte
	Mton/ano	Kg/hab	
Suécia	1,2 – 6	136-680	TOLSTOY, BÖRKLUND & CARLSON (1998), EU (1999)
Holanda	12,8 – 20,2	820 – 1300	LAURITZEN (1998); BROSSINK; BROUWERS & VAN KESSEL (1996); EU (1999)
EUA	136 – 171	463 – 584	EPA (1998); PENG, GROSSKOPF, KIBERT (1994)
UK	50 – 70	880 – 1120	DETR (1998); LAURITZEN (1998)
Bélgica	7,5 – 34,7	735 – 3359	LAURITZEN (1998), EU (1999)
Dinamarca	2,3 – 10,7	440 – 2010	
Itália	35 – 40	600 – 690	
Alemanha	79 – 300	963 – 3658	
Japão	99	785	KASAI (1998)
Portugal	3,2	325	EU (1999)
Brasil	NA	230 – 660	PINTO (1999)

Fonte: JOHN, 2000.

ZORDAN (1997) menciona que “de acordo com dados do Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Campinas (CAMPINAS, 1996), o município produz cerca de 1.800 ton./dia de resíduos, que são lançados nos locais de bota-foras, o que representa a geração de 1,8 kg/dia por habitante (população

aproximada de 1 milhão de habitantes). Cerca de 70% desses resíduos são originados por residências ou prédios em construção/demolição, enquanto os 30% restantes constituem resíduos industriais que deveriam estar sendo tratados em unidades específicas.”

Uma das formas de redução dos impactos gerados pelos RCD é otimizar a sua reciclagem (JOHN, 2000 e PINTO, 1999). Atualmente, a aplicação de RCD reciclados mais corrente é em pavimentação.

Mas, outras utilizações devem ser desenvolvidas, como na produção de argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias que consome grande quantidade deste material (cerca de 1,4 ton./m³ de argamassa) e pode produzir revestimentos com qualidade similar aos tradicionais (MIRANDA, 2000).

Em muitos casos, o entulho reaproveitado nem é notado pelos usuários. Segundo dados da prefeitura de Belo Horizonte, 10% da malha viária municipal possui resíduos de construção na sub-base do pavimento. Como ainda faltam normas e estudos mais aprofundados, o entulho processado não é utilizado em estruturas. Mas isso é possível, tanto que na Bélgica, se produz concreto de alto desempenho com entulho (UNISINOS, 2001).



FIGURA 1- ENTULHO PROCESSADO PELA USINA DE RECICLAGEM DE RIBEIRÃO PRETO (ZORDAN, 1997).

ZORDAN (1997) classifica e avalia o material recebido pela Usina, como:

- argamassa: toda parcela constituída por areia e um material aglutinante (cal ou cimento) sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco.

- cerâmica: todo material cerâmico polido, constituído basicamente por tijolos e telhas cerâmicas;
- cerâmica polida: parcela constituída pelos materiais cerâmicos com pelo menos uma das superfícies polidas, tais como, azulejos, ladrilhos, manilhas, pisos vitrificados, etc.;
- concreto: todo material composto pela união de areia, cimento e pedra, cuja identificação seja possível;
- pedras: fragmento de rocha ainda sem uso, ou que fizera parte de um concreto podendo, portanto, possuir parcelas de argamassas, que não as uma a outra pedra;
- outros: materiais como madeira, metais, plásticos, amianto, torrões de terra ou de cal, trapos, etc.

ZORDAN (1997), realizou este estudo granulométrico e qualitativo com os resíduos provenientes da Usina de Reciclagem de Ribeirão Preto. Com esse material, produziu-se concreto em diferentes traços e relações a/c, que foi ensaiado à compressão simples, à abrasão e à permeabilidade, em idades distintas.

OFFERMAN (1987) propõe outras possibilidades de emprego de entulho de construção, entre elas: paredes de proteção acústica, preenchimento de vazios (aterros), preenchimento de valas de instalações, reforço e melhoria do solo, camadas de sustentação com e sem aglutinantes, etc.

ZORDAN (1997) cita CONSTRUÇÃO, 1996a, dependendo do tipo do britador usado, que definirá a granulometria do agregado, o material reciclado ainda pode ser usado como sub-base para pavimentação de vias, pré-moldagem de tampas de bueiros ou sarjetas, cascalhamento de vias, obras de contenção de encostas ou para fabricação de blocos de alvenaria.

Na TABELA 2 são citadas capitais brasileiras e suas taxas de geração de RCD, sendo destacado o valor resultante para a cidade de Curitiba, que estaria em 4º lugar na geração estimada de resíduos, em comparação com as outras capitais citadas, o que corresponde a 1.600 unid./mês de unidades habitacionais com 50 m².

TABELA 2 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E POSSIBILIDADES DE REUTILIZAÇÃO, NAS PRINCIPAIS CAPITALS BRASILEIRAS.

Capitais	Área média de piso licenciado (m ²)	Geração estimada de resíduos (ton.)	Unidades habitacionais com 50m ² (unid./mês)	Sub-base para pavimentação de vias públicas (m/mês)
São Paulo	413.000	372.000	8.300	183.700
Belo Horizonte	113.000	102.000	2.300	50.400
Brasília	95.000	85.000	1.900	42.200
Curitiba	82.000	74.000	1.600	36.300
Porto Alegre	65.000	58.000	1.300	28.900
Fortaleza	56.000	50.000	1.100	25.200
Salvador	49.000	44.000	1.000	21.500
Florianópolis	36.000	33.000	700	16.300
Rio de Janeiro	30.000	27.000	600	13.300
Recife	21.000	18.000	400	8.900

Fonte: PINTO, 1987.

Já, nas obras de reformas, a falta de uma cultura de reutilização e reciclagem, são as principais causas do resíduo gerado pelas demolições do processo.

Nas obras de demolição propriamente dita, a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata do produto do processo, e essa origem, sempre existirá.

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de resíduo. No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do resíduo gerado. Embora nem toda perda durante a execução de uma obra se transforme efetivamente em resíduo - uma parte fica na própria obra - os índices médios de perdas (em %) apresentados na TABELA 3 fornecem uma noção clara do quanto se desperdiça em materiais de construção - a quantidade de resíduo gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado.

TABELA 3 – ÍNDICES MÉDIOS DE PERDAS (EM %).

MATERIAIS	AGOPYAN et al. ¹	PINTO ²	SOILBELMAN ²	SKOYLES ²
Areia	76	39	46	12
Cimento	95	33	84	12
Pedra	75			
Cal	97			
Concreto	9	1	13	6
Aço	10	26	19	4
Blocos e Tijolos	17	27	13	13
Argamassa	18	91	87	12
¹ AGOPYAN et al (1998)				
² PINTO (1995)				

Fonte: ZORDAN, 1998 *apud* AGOPYAN, PINTO, SOILBEMAN e SKOYLES.

Muitos pesquisadores têm realizado diversos estudos para o reaproveitamento destes resíduos.

OFFERMAN (1987), analisou a substituição de agregados naturais por resíduos de construção, na confecção do concreto. Como o material menor que 4 mm absorve grande quantidade de água, ele substituiu essa faixa granulométrica por areia normal, para evitar os efeitos maléficos que a grande quantidade de água acarretaria. Ele chama a atenção para o fato de que se deve molhar previamente o resíduo, para se obter uma boa trabalhabilidade, devido à grande absorção de água pelo material.

HANSEN (1990) mostrou que se pode produzir concreto a partir de concreto reciclado com a adição de cinzas volantes, sem a utilização de novo cimento. Inicialmente, ele fez um concreto original, com cimento convencional, areia natural, brita e água, com relação $a/c = 0,40$, $slump = 55$ mm e resistência à compressão média de 56,4 MPa aos 38 dias. Este mesmo concreto foi triturado em laboratório, e separado. Um novo concreto foi então confeccionado, utilizando-se 79% dos resíduos separados, 11% de cinzas volantes e 10% de água. Apresentando um $slump$ de 100 mm, uma excelente coesão, e resistência à compressão de 1,6 MPa, aos 28 dias, que subiu para 12,4 MPa aos 3 anos.

LEVY e HELENE (1996) detectaram um crescimento de resistência à compressão para um aumento do teor de materiais cerâmicos nas argamassas, e esse aumento foi mais acentuado quanto mais rico foi o traço. O mesmo aconteceu

na resistência à tração da argamassa, porém o aumento não foi tão acentuado para o traço mais rico, como na resistência à compressão.

Os resultados do trabalho de LEVY, HELENE (1996) evidenciam vantagens econômicas na utilização da reciclagem do entulho para a produção de argamassa, tanto no consumo de cimento, como de cal.

PINTO (1989) *apud* ZORDAN (1997) os bons resultados que os resíduos de construção apresentaram na resistência à compressão nos traços com presença de cal, podem ser atribuídos a dois fatores:

- à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos, em presença da cal, embora se trate de uma reação lenta e,
- a uma maior velocidade de carbonatação, em função da porosidade maior que as argamassas de resíduos apresentaram. A porosidade superior otimizaria o contato do hidróxido de cálcio com o gás carbônico, acelerando a produção do carbonato de cálcio e, portanto, gerando maiores resistências.

Pode ser observado na TABELA 4, que em todos os concretos onde os consumos de materiais foram mantidos, a resistência foi mais alta do que quando se utilizou o concreto reciclado como agregado, ou seja, o seu comportamento neste item analisado foi melhor que o do agregado graúdo convencional. (ZORDAN, 1997)

TABELA 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO (MPa).

Cura	H	H/H	H/M	H/L	M	M/H	M/M	M/L	L	L/H	L/M	L/L
14 dias	49,5	54,4	46,3	34,6	26,2	27,7	27,0	23,2	9,1	10,2	10,3	9,6
38 dias*	56,4	61,2	49,3	34,6	34,4	35,1	33,0	26,9	13,8	14,8	14,5	13,4

H, M e L: concreto original (alta, média e baixa resistência respectivamente)
H/M: concreto de alta resistência feito com agregado reciclado de concreto de média resistência, etc.
 * Cura acelerada (11 dias, água a 20 °C + 27 dias água, a 40 °C)

Fonte: HANSEN e NARUD, 1983.

Os testes mostraram que, à medida que se diminuiu o consumo do cimento, a resistência à compressão se aproximou do concreto de referência, enquanto que a

resistência à abrasão mostrou-se sempre melhor quando se usou entulho como agregado. Os resultados do trabalho permitiram concluir que o entulho pode ser utilizado como agregado, na confecção de concreto não estrutural destinados à infra-estrutura urbana (ZORDAN, 1997).

SALES, CORDEIRO e SOUZA (2004) *apud* Lima (1999): “concretos com reciclado apresentam, em geral, resistência à compressão menor ou igual à dos concretos convencionais para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistência maior que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento”.

Resíduos reciclados de alvenaria são, em geral, menos resistentes e mais porosos que os de concreto, e por isso levam a maiores perdas de resistência do novo concreto. SCHULZ E HENDRICKS (1992) afirmam que, para se obter a mesma resistência do concreto convencional, o consumo de cimento do concreto com reciclado de alvenaria deve ser 20% maior (SALES, CORDEIRO e SOUZA 2004).

As argamassas produzidas com entulho apresentam uma redução de 10 a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal e, de 15 a 30% no consumo de areia, além de um ganho de resistência à compressão que varia de 20 a 100%, conforme o traço utilizado, em relação aos valores obtidos com argamassas convencionais obtidos de literatura (ZORDAN, 1997).

ZORDAN (1997) cita: os principais resultados demonstraram que o produto feito de entulho chega a apresentar resistência, praticamente, três vezes superior à argamassa tradicional, conforme representado na TABELA 5.

TABELA 5 – TESTES COM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM ENTULHO – TESTIN.

Argamassa	Compressão (MPa)		Aderência (MPa)		Retenção de água (%)	Permeabilidade (mm penetração)
	7 dias	28 dias	14 dias	28 dias		
Com entulho	4,0	7,9	0,54	0,71	56,3	36,2
Convencional	1,2	2,7	0,22	0,43	50,6	54,6
Argamassa com entulho:			1 cimento : 2,7 entulho : 5,3 areia		Traço: 1:8	
Argamassa convencional			1 cimento : 1,6 cal : 8 areia		Traço: 1:8	

Fonte: empresa TESTIN – Tecnologia de Materiais Ltda (ANVI, 1995).

Se, na ponta geradora do resíduo, a reciclagem significa redução de custos e até mesmo novas oportunidades de negócios, na outra ponta do processo, a cadeia produtiva que recicla reduz o volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados (JOHN, 2000).

A incorporação de resíduos na produção de materiais também pode reduzir o consumo de energia, não apenas pelo fato de esses produtos freqüentemente incorporarem grandes quantidades de energia, mas, também, porque se podem reduzir as distâncias de transporte de matérias-primas. (JOHN, 2000).

2.2 O CONCRETO

2.2.1 Histórico, Definição e Utilização

O material mais largamente usado em construção é o concreto, normalmente feito com a mistura de cimento Portland com areia, pedra e água. Em 1963 nos Estados Unidos, 63 milhões de toneladas de cimento Portland foram convertidas em 500 milhões de toneladas de concreto, cinco vezes o consumo de aço, em massa. Em muitos países, o consumo de concreto é 10 vezes maior que o do aço. O consumo mundial total de concreto, no ano de 1993, foi estimado em 3 bilhões de toneladas, ou seja, 1 ton por ser humano vivo. O homem não consome nenhum outro material em tal quantidade, a não ser a água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Hoje, a proporção em que o concreto é usado é muito diferente do que era há 30 anos atrás. Estima-se que o atual consumo mundial de concreto é da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos. Pela sua alta resistência à água, faz dele um material ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. O uso do concreto em barragens, canais, canalizações para conduzir água em tanques para estocagem é, na atualidade, visto, normalmente, em quase todo o mundo (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A segunda razão para o uso tão difundido do concreto é a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos.

A terceira razão é que é normalmente o material mais barato e mais facilmente disponível no canteiro. Os principais ingredientes para execução do concreto – cimento Portland e agregados – são relativamente baratos e comumente disponíveis na maior parte do mundo. Apesar de em certas áreas geográficas o custo do concreto chega a 80 dólares /ton, em outras ele cai para 20 dólares /ton, o que corresponde somente a 2 centavos de dólar /Kg. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.2.2 Componentes do Concreto

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O agregado é o material granular, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada ou escória de alto forno, usado com um meio cimentante, para formar um concreto ou uma argamassa de cimento hidráulico (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O termo agregado graúdo se refere às partículas de agregados maiores do que 4,8 mm (peneira n° 4) e o termo agregado miúdo se refere a partículas de agregado menores que 4,8 mm, porém maiores que 75 μm (peneira n° 200). Pedregulho é o agregado graúdo resultante da desintegração natural e abrasão da rocha ou do processamento mecânico (britagem) de conglomerados fracamente cimentados. (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

O termo areia é, normalmente, usado para o agregado miúdo resultante da desintegração natural e da abrasão de rochas ou processamento de rochas arenosas fiáveis (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Pedra britada é o produto resultante da britagem industrial de rochas, seixos rolados ou pedras arredondadas graúdas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Escória de alto forno, um subproduto da indústria do aço, é o material obtido pela britagem da escória que solidificou sob condições atmosféricas.

Argamassa é uma mistura de areia, cimento e água. É essencialmente um concreto sem agregado graúdo (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Concreto projetado se refere a uma argamassa ou concreto, transportado pneumáticamente através de uma mangueira e projetado sobre uma superfície a uma alta velocidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação (isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água). Um cimento é chamado hidráulico quando os subprodutos de hidratação são estáveis em meio aquoso. O cimento hidráulico mais utilizado para fazer concreto é o cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidratados. Os silicatos

de cálcio hidratados, formados pela hidratação do cimento Portland, são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meios aquosos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.2.3 Tipos de Concreto

Baseado na massa específica, o concreto pode ser classificado em três grandes categorias. O concreto contendo areia natural e seixo rolado ou pedra britada, geralmente pesando 2.400 kg/m^3 é chamado concreto de peso normal ou concreto corrente e é mais usado geralmente para peças estruturais. Para aplicações em que se deseja uma alta relação resistência/peso, é possível reduzir a massa específica do concreto, usando-se certos agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade.

O termo concreto leve é usado para concreto cuja massa é menor que 1.800 kg/m^3 . Por outro lado, concretos pesados, usados às vezes na blindagem de radiações, é o concreto produzido a partir de agregados de alta densidade e que geralmente pesa mais do que 3.200 kg/m^3 .

A classificação do concreto quanto à resistência, predominante na Europa e em muitos outros países, não é usada nos Estados Unidos. Entretanto, é útil dividir o concreto em três categorias gerais, baseadas na resistência à compressão, referida a 28 dias:

- Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa.
- Concreto de resistência moderada: resistência à compressão de 20 a 40 MPa.
- Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa.

O concreto de resistência moderada é o concreto normal ordinário ou corrente, usado na maioria das estruturas. O concreto de alta resistência é usado para aplicações especiais como a construção de estruturas de concreto armado de edifícios com mais de 30 andares.

Dosagens típicas dos materiais para produzir concreto de baixa, moderada e alta resistências, com agregados normais, são mostrados na TABELA 6. As relações entre o teor de pasta e a resistência e entre o fator água/cimento da pasta e a resistência devem ser observadas a partir dos dados.

Há inúmeros concretos modificados que são denominados especificamente pelo nome: por exemplo, concreto reforçado com fibras, concreto com cimento expansivo, concreto modificado com látex (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

TABELA 6 – PROPORÇÕES TÍPICAS PARA OS MATERIAIS DO CONCRETO DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS.

Materiais	Baixa Resistência	Resistência Moderada	Alta Resistência
Cimento (kg/m ³)	255	356	510
Água (kg/m ³)	178	178	178
Agregado miúdo (kg/m ³)	801	848	890
Agregado graúdo (kg/m ³)	1169	1032	872
Proporção de pasta (%)			
porcentagem em massa	18	22,1	28,1
porcentagem em volume	26	29,3	34,3
Fator água/cimento em massa (%)	0,70	0,50	0,35
Resistência ^a em Mpa	18	30	60

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 1994.

NOTA: ^a Na prática americana, a não ser que especificado o contrário, a resistência do concreto é medida pelo rompimento à compressão de corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm depois de 28 dias de cura normal. (27±1 °C, 100% de umidade relativa).

Quanto à composição química, sabe-se que os constituintes C₃S - alita (3CaO.SiO₂ – silicato tri-cálcio) e a C₂S - belita (2CaO.SiO₂ – silicato di-cálcio) são os mais diretamente responsáveis pelo crescimento da resistência.

2.3 A CAL

2.3.1 Histórico, Definição e Utilização

Pela multiplicidade de suas aplicações, a cal – virgem e hidratada – está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo mundial. O produto ganha ainda maior expressão quando se conhece o amplo leque de setores industriais e sociais que dele se utilizam, graças à sua dupla capacidade – reagente químico e aglomerante-ligante.

A produção de calcário no Paraná passou de cerca de 8 milhões de toneladas em 1989, para mais de 12 milhões em 2000. (REBELO, A. M. A.; GUIMARÃES, S. B.; NETO, J. M. R, 2003).

Na TABELA 7 estão fornecidos dados sobre o consumo per-capita nos principais países, cujos números não expressam a realidade desejável, pois não englobam a produção dos pequenos fabricantes disseminados pelo interior dos países.

TABELA 7 – CONSUMO PER-CAPITA DE CAL NOS PRINCIPAIS PAÍSES.

PAÍS (1994)	PRODUÇÃO DE CAL (em 1000 ton)	POPULAÇÃO EM MILHÕES	CONSUMO PER CAPITA (Kg)
JAPÃO	10.890	127,7	87
ALEMANHA	6.101	80,9	75
TURQUIA	3.860	56,5	68
ESTADOS UNIDOS	16.649	260,7	64
FRANÇA	2.822	57,3	49
ÁFRICA DO SUL	1.913	40,7	47
BRASIL	5.289	146,9	36
REINO UNIDO	1.297	57,9	22
CHINA (em 1994)	17.017	1.171,7	15
URSS (em 1990)	28.082	-	-

Fonte: GUIMARÃES, 2002.

Apesar do considerável nível de produção – entre 5 e 6 milhões de ton./ano – o Brasil tem baixo consumo *per-capita* (aproximadamente 36 kg/ano). Mesmo assim, este índice está acima do consumo médio mundial, em torno de 25 kg/ano.

Na metade do século passado, V. J. Azbe, mestre da ciência e arte de fabricar cal, fazia o seguinte comentário sobre o produto: “A cal participa diariamente de nossa vida, de nossas construções, dos produtos químicos e agrícolas. As atividades e a salubridade das indústrias e das cidades dependem dela em grande parte, de modo que pode ser considerada o mais importante produto químico inorgânico à disposição do homem. O volume de consumo de cal pode ser considerado como índice de desenvolvimento de um Estado” (GUIMARÃES, 2002).

O conhecimento do cálcio como elemento químico é relativamente recente. Contudo, alguns dos seus compostos são conhecidos desde tempos remotos, pois já os romanos usavam a cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ - hidróxido de cálcio), a cal hidráulica

e a cal viva (CaO - óxido de cálcio) nas construções. O nome do elemento deriva precisamente de *calx*, o nome latim para cal.

A cal aérea antes da adição de água era submetida a uma calcinação.

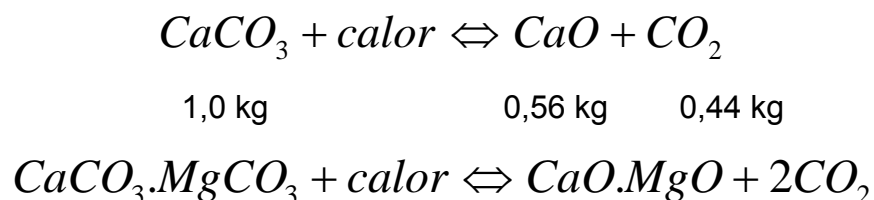
Tanto os gregos como os romanos sabiam que a adição de certas terras de origem vulcânica às argamassas de cal e areia melhorava sua resistência mesmo quando submetidas à ação da água. Os gregos empregavam, com esse intuito, as terras vulcânicas da ilha de Santorim. O material correspondente dos construtores romanos era uma cinza vulcânica encontrada em pontos diversos da baía de Nápoles.

Os gregos empregavam a cal como aglomerante, o mesmo acontecendo com os etruscos e depois com os romanos. A argamassa era preparada pelo mesmo processo ainda hoje adotado, e que consiste na extinção de pedra cozida e mistura da pasta com areia. Essa técnica continua – aliás, até nossos dias – a ser largamente empregada onde não se pede grande resistência mecânica, e em obras que não estejam sujeitas à ação da água. (PETRUCCI, 1976)

O exame das construções dos séculos IX a XI revelou que a arte de fabricar o aglomerante achava-se quase completamente perdida, sendo a cal usada em fragmentos mal queimados e sem adição de pozolanas. Do século XII em diante, a qualidade foi melhorando e, nas obras que ficaram, principalmente nas construídas depois do século XIV, encontram-se excelentes argamassas (PETRUCCI, 1976).

2.3.2 Componentes da Cal

A produção de cal envolve a calcinação de calcário, lançando grande quantidade de CO₂ na atmosfera:



Isso significa que, para cada tonelada de cal virgem, são produzidos 785 kg de CO₂, ou mais de 590 kg para uma tonelada de cal hidratada.

O carbonato de cálcio, reagente da primeira equação é típico do norte do Brasil. No sul do Brasil e Paraná o calcário predominante é o dolomítico.

O “setor calcareiro”, à luz dos dados existentes, é o “carro-chefe” do setor mineral paranaense. Seja pela sua dimensão e estrutura, ou pela sua organização e volumes produzidos. A atual importância econômica e social da extração e transformação de calcários na Região Metropolitana de Curitiba lhe confere uma natureza estratégica regional. (REBELO, A. M. A., et al. 2003).

A obtenção de cal ocorre em fornos que transformam a calcita (carbonato de cálcio – CaCO_3) o calcário calcítico, magnesiano ou dolomítico (dolomita), (carbonato de cálcio e magnésio $\text{CaCO}_3 \text{MgCO}_3$) em cal virgem (óxido de cálcio e magnésio – CaO.MgO), com posterior hidratação, no caso da cal hidratada (hidróxido de cálcio e magnésio – Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2). [59]

A cal hidratada é um dos principais elementos das argamassas porque promove uma série de benefícios para a edificação. Ela tem excelente poder aglomerante, assim como o cimento, que une para sempre os grãos de areia das argamassas.

A cal hidratada é extremamente fina e leve e por isso permite o preparo de maior quantidade de argamassa, com a redução do custo do m^3 . Suas partículas muito finas, ao serem misturadas com água, funcionam como verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia. O resultado é melhor trabalhabilidade (ou liga), boa aderência e maior rendimento na mão-de-obra.

Mas as vantagens não param por aí: a cal hidratada tem extraordinária capacidade de reter água em torno de suas partículas, formando na argamassa uma dupla perfeita com o cimento. As argamassas à base de cal hidratada têm resistência suficiente quanto à compressão e aderência, tanto para assentamentos como para revestimentos, para atender as normas técnicas.

Por ser um produto alcalino, a cal hidratada impede a oxidação nas ferragens e, também por essa sua característica, atua como agente bactericida e fungicida. Além disso, evita que se formem manchas e apodrecimento precoce dos revestimentos; proporciona economia de tinta, pois permite acabamento mais liso e de cor clara; é compatível com qualquer tipo de tinta e outros acabamentos, como fórmica, lambris, papéis de parede, se respeitado o tempo mínimo de cura de 28 dias.

É importante ressaltar ainda que as argamassas à base de cal hidratada têm baixo módulo de elasticidade, ou seja, absorvem melhor as pequenas movimentações das construções e evitam, portanto, trincas, fissuras e até o descolamento (ou queda) dos revestimentos.

Não se pode deixar de frisar a notável durabilidade que a cal hidratada confere às construções. Argamassas à base de cal hidratada podem durar centenas de anos, ou até mais. Os exemplos para comprovar essa característica são muitos, entre eles a milenar Via Ápia (na Itália) e a Casa das Retortas, na capital paulista. A cal hidratada é um produto de aplicação milenar, enquanto o cimento Portland só foi inventado em 1824. [59]

2.3.3 Tipos de Cal

Conforme aparece nas estatísticas mundiais, a cal compreende seis produtos resultantes da calcinação de calcários/calcários magnesianos/dolomitos – hidratados ou não. Estes produtos são: cal virgem cálcica (óxido de cálcio – CaO), cal hidratada cálcica (hidróxido de cálcio – Ca(OH)_2), cal virgem dolomítica (óxidos de cálcio e de magnésio – CaO.MgO), cal dolomítica hidratada normal tipo N (hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio – $\text{Ca(OH)}_2.\text{Mg(OH)}_2.\text{MgO}$), cal dolomítica hidratada especial tipo S (hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio – $\text{Ca(OH)}_2.\text{Mg(OH)}_2$), utilizadas em argamassas, os tipos intermediários (classificados como cales magnesianas) das cales cálcicas e dolomíticas e a cal hidráulica utilizada em estruturas.

Cal de calcário puro ou cálcica, com extinção violenta, origina-se a partir da calcinação de calcários dolomíticos, com teores de CaO entre 57 e 64% e entre 36 a 43% de MgO .

Cal dolomítica ou magnesiana, com extinção lenta, obtidas a partir da calcinação de calcários dolomíticos, com teores de CaO entre 57 e 64% e entre 36 a 43% de MgO .

Cal silicosa, contendo pequenas percentagens de sílica, como quartzo ou outros silicatos.

Cal argilosa, cal que contém aditivos argilosos (cal hidráulica natural).

Cal metalúrgica, adicionada à escória, usada em fornos siderúrgicos (alto-fornos).

Cal pozolânica, cal adicionada de cinzas (uso na antiga Roma, cinzas do Vesúvio) (GUIMARÃES, 2002).

As pastas preparadas com excesso de água fornecem as chamadas natas.

As natas de cal são utilizadas em revestimentos e pinturas; as de cimento são preparadas para a ligação de argamassas e concretos de cimento e para injeções. (PETRUCCI, 1976)

2.4 COMPÓSITOS

Materiais compósitos podem ser definidos como materiais formados de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades e que estão separados por uma interface.

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases; uma chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada freqüentemente de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Nesse contexto, por “geometria da fase dispersa” subentende-se a forma das partículas, e seu tamanho, sua distribuição e sua orientação.

O concreto é constituído por areia e brita (particulados), cimento e água (fase matriz) é considerado um compósito comum com partículas grandes, depois de dosado a olho nu é possível verificar a existência de 2 fases, que pode ser melhor evidenciada por meio da Difração de Raio X.

Para atingir a resistência ótima e a operacionalidade de uma mistura de concreto, os insumos devem ser adicionados nas proporções corretas. O empacotamento denso do agregado e um bom contato interfacial são obtidos ao se ter partículas com dois tamanhos diferentes; as partículas finas de areia devem preencher os espaços vazios entre as partículas de brita. Normalmente, esses agregados compreendem entre 60 a 80% do volume total. A quantidade da pasta de cimento-água deve ser suficiente para cobrir todas as partículas de areia e brita, de outra forma a ligação de cimentação será incompleta, enquanto muita água resulta

em uma porosidade excessiva; em ambos os casos, a resistência do produto final é inferior à ótima.

A natureza das partículas de agregado é uma consideração importante. Em particular, a distribuição de tamanhos dos agregados influencia a quantidade da pasta cimento-água que é necessária. Ainda, as superfícies devem estar limpas e isentas de argila e sedimentos, os quais impedem a formação de uma ligação eficiente na superfície da partícula (CALLISTER, 2002).

Segundo JOHN (2000) em Repensando o Papel da Cal Hidratada nas Argamassas, somente a aplicação de conceitos de Ciência dos Materiais, combinando química, microestrutura, com reologia e mecânica da fratura, combinados com uma maior padronização de variáveis experimentais relevantes como energia de lançamento, poderão esclarecer pontos ainda obscuros no longo prazo.

Quando se misturam dois materiais de composições granulométricas diferentes, eles podem formar um terceiro material com um maior ou menor empacotamento das partículas, gerando assim uma massa unitária diferente da média das duas iniciais (JOHN, 2000).

Tendo em vista que os 2 resíduos empregados neste estudo não foram dosados de maneira convencional, como na fabricação de concretos, conclui-se que do ponto de vista da Engenharia e Ciência dos Materiais a definição que melhor se aplica ao produto deste experimento é o Compósito.

3 METODOLOGIA

O método adotado para coleta, preparo dos materiais e fabricação dos compósitos, encontra-se citado na seqüência:

- 1) Coleta – as amostras de resíduos de construção e demolição de concreto foram coletadas em pedaços médios e os resíduos de produção de cal fornecidos na forma em pó.
- 2) Trituração – os resíduos de concreto de peças pré-fabricadas coletados em pedaços que variavam de 5 a 30 cm, inicialmente foram triturados em moinho de mandíbula.
- 3) Moagem – após a trituração o resíduo passou pelo moinho-de-bola por 90 min. para proporcionar maior atividade química.
- 4) Peneiramento – após a moagem, os resíduos de concreto foram peneirados em peneira 130 μm ; os resíduos deste peneiramento foram novamente moídos em moinho-de-bola e peneirados.
Os resíduos de produção de cal foram apenas peneirados na peneira 150 μm , não passando pela trituração e moagem, tendo em vista o módulo de finura em que foi fornecido pela empresa fabricante. O peneiramento tem como objetivo ampliar a capacidade de ligação destes 2 materiais.
- 5) Secagem – os 2 tipos de resíduos (concreto e de produção de cal) foram secos em estufa à 100 °C por 24:00 h.
- 6) Pesagem – a pesagem dos resíduos ocorreu conforme as composições definidas em balança de precisão com 4 casas decimais.
- 7) Mistura – após a pesagem de cada composição os 2 resíduos em pó foram bem misturados em recipientes fechados.
- 8) Hidratação – cada uma das composições teve um percentual definido de água adicionada, para efetuar a hidratação dos 2 resíduos e proporcionar a ligação entre os mesmos. O tempo de espera definido para a hidratação foi de 40:00 minutos antes da compactação.
- 9) Compactação – depois de decorrido o tempo de hidratação, a mistura de concreto e cal foi compactada em prensa hidráulica. Com uma pré-carga de 500 kg e 1.000 kg de carga.
- 10) Cura – o processo empregado é o de cura a seco.

3.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS

A definição pelo uso de resíduos de concreto e resíduos de cal foi baseada inicialmente no levantamento bibliográfico, que evidenciou a não existência de nenhum trabalho onde tenham sido empregados resíduos de produção de cal. O que torna este trabalho inédito.

Os resíduos de concreto têm sua origem de peças pré-fabricadas rejeitadas e sobras de sua produção, conforme mostrado na FIGURA 2.



FIGURA 2 – (a e b) FOTOS DA ORIGEM E TIPO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO TRABALHADOS.

Os resíduos de produção de cal utilizada foram fornecidos por uma empresa de Rio Branco do Sul, PR.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

3.2.1 Resíduos de Concreto

O RCD possui características bastante peculiares. Por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologias de produção e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente, características como composição e quantidade produzida dependem diretamente do

estágio de desenvolvimento da indústria de construção local (qualidade da mão-de-obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas da qualidade, etc.).

Dessa forma, a caracterização média deste resíduo está condicionada a parâmetros específicos da região geradora do resíduo analisado.

O resíduo se apresenta na forma sólida, com características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares.

3.2.1.1 Composição Química

Considerado como produto básico da indústria da construção civil, o concreto de cimento Portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Como se observa, cerca de 70% do concreto é constituído de agregados.

Os componentes principais do cimento Portland são: 60 a 67% de cal (CaO), 17 a 25% de sílica (SiO₂), 3 a 8% de alumina (Al₂O₃), 0,5 a 6,0% de óxido de ferro (Fe₂O₃), 0,1 a 6,5% de magnésia (MgO), 0,5 a 1,3% de álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₃). Os óxidos de titânio (TiO₂), de manganês (Mn₃O₄) e anidrido fosfórico (P₂O₅), são encontrados em pequena quantidade, geralmente não são determinados separadamente (PETRUCCI, 1993).

Na TABELA 8 encontra-se listada a composição média dos agregados reciclados, segundo ALTHEMAN (2002). Ângulo, em 2000, considerou que o concreto correspondia a 44% dos resíduos na usina de Santo André - SP, em relação a 28% de argamassa; já Latterza em 1998, 14,6% de concreto contra 46,2% de argamassa na usina de Ribeirão Preto - SP; enquanto que Zordan, em 1997 (3 anos antes de Ângulo) relaciona 21,1% de concreto em relação à 37,4% de argamassa nos resíduos da cidade de Ribeirão Preto – SP.

TABELA 8 – COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS.

COMPONENTE	% em massa		
	ZORDAN (1997) ¹	LATTERZA (1998) ¹	ÂNGULO (2000) ²
Concreto	21,1	14,6	44
Argamassa	37,4	46,2	28
Pedras	17,7	19,2	23
Cerâmicos	22,8	19,1	04
Outros	0,5	0,9	01
¹ usina de Ribeirão Preto, SP			
² usina de Santo André, SP			

Fonte: ALTHEMAN, 2002 *apud* ZORDAN, 1997, LATTERZA, 1998 e ÂNGULO, 2000.

3.2.2 Resíduos de Produção de Cal

São resíduos da indústria calcária da produção de cal para construção civil, obtida pela calcinação do calcário, constituído essencialmente de cal e elementos, não calcários (Al_2O_3 - alumina, SiO_2 - sílica, Fe_2O_3 – óxido de ferro, etc.) em quantidade totais maiores do que 12% (ABNT 6453:2003).

Sendo constituídos essencialmente de hidróxido de cálcio (CaOH), tendo em vista à exposição as chuvas e demais intempéries.

Os resíduos da produção de cal podem ser utilizados como material na construção civil, porém ressalta-se que há perda da reatividade ao longo do tempo, daí a recomendação de emprego logo após a produção, evitando-se o armazenamento prolongado à céu aberto.

O aproveitamento da cal residual como aglomerante depende das suas características a serem determinadas em laboratório, tomando-se como referência os requisitos e critérios da especificação para a cal industrial.

3.2.2.1 Composição Química

O material residual empregado é constituído de óxido de cálcio não hidratado (CaO), hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , restos de carbonato de cálcio e magnésio não queimados (CaCO_3 e MgCO_3), óxido de magnésio não hidratado (MgO) e traços de óxidos Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , etc.

Neste trabalho foi utilizado somente um tipo de resíduo de produção de cal de uma empresa do Paraná. Um fator importante é a quantidade de calcário não queimado, cerca de 18,54% no resíduo utilizado.

A definição pelo seu uso foi baseada em 2 itens: suas propriedades aglomerantes e sua disponibilidade em grande quantidade, além, é claro, de minimizar seu impacto junto ao meio ambiente.

A relação da quantidade de resíduos gerados, e a estimativa de resíduos da produção de cal com menor teor de calcário são, aproximadamente, 10 ton/mês, e com maior teor de calcário – 20 ton/mês.

3.3 DEFINIÇÃO DAS COMPOSIÇÕES PARA OS COMPÓSITOS

A escolha das composições que foram objeto deste trabalho ocorreu pelas análises preliminares, onde diversas composições foram elaboradas, variando o percentual de cal e de resíduo de concreto. Pelos resultados de resistência a compressão, algumas destas composições foram descartadas.

Também, foram testadas cinco composições com a adição de cimento CP II-F32, obtendo-se bons resultados em três das cinco composições testadas, conforme a norma NBR 8953. Decidiu-se não fazer uso de cimento nas composições tendo em vista o aumento do custo para a fabricação dos compósitos.

Após a realização dos testes preliminares, foram definidas sete composições, com a variação de 5% de resíduo de concreto e resíduo de produção de cal entre elas, conforme demonstrado na TABELA 9.

A proporção de água usada é de 1:1 em relação ao de resíduo de produção de cal.

TABELA 9 – COMPOSIÇÕES TRABALHADAS.

N	Composição %		
	Resíduo de Concreto	Resíduo de Produção de Cal	Água
5D	90	10	10
7D	85	15	15
9D	80	20	20
10D	75	25	25
11D	70	30	30
12D	65	35	35
13D	60	40	40

3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para cada uma das 7 composições trabalhadas foram confeccionados 6 cp's por idade. As idades trabalhadas foram: 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias. Perfazendo um total de 252 cp's nas dimensões de 20 mm x 20 mm, conforme demonstrado na FIGURA 3.



FIGURA 3 - (a) FOTO DE 1 CP, (b) CONJUNTO DE CORPOS-DE-PROVA COM AS 7 COMPOSIÇÕES.

As dimensões trabalhadas nos cp's foram definidas em função do tipo de moldagem e equipamentos disponíveis.

O molde utilizado na confecção dos cp's foi fabricado em aço, material não absorvente e quimicamente inerte aos resíduos trabalhados, com as seguintes dimensões internas: 20 x 60 mm, conforme demonstrado na FIGURA 4.



FIGURA 4 – MOLDE UTILIZADO NA COMPACTAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CONSTITUÍDO DE 3 PARTES, CILINDRO, PISTÃO E TAMPA.

Tendo em vista os recursos disponíveis, foi utilizada uma prensa manual para a compactação dos cp's, conforme ilustrado na FIGURA 5.



FIGURA 5 – PRENSA MANUAL MARCA SCHULTZ CAPACIDADE DE 15 TONELADAS.

A pressão empregada para a pré-carga foi de 500 kg seguida da carga de 1.000 kg. O tempo de permanência dos cp's a esta pressão é de 30 segundos. De forma a minimizar a variabilidade dos dados, todos os corpos-de-prova foram moldados pela mesma pessoa.

3.5 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROSCÓPICOS

Os ensaios realizados foram: fluorescência de raio-X, resistência à compressão, absorção de água, difração de raio-X e microscopia eletrônica de varredura – MEV.

3.5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Por ser uma propriedade de grande importância na engenharia civil, a resistência à compressão traduz de certa forma a qualidade do material, pois está diretamente relacionada à sua estrutura interna. Os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos-de-prova fornecem seu desempenho em termos mecânicos e conseqüente durabilidade.

HELENE e TERZIAN (1992) confirmam que a resistência para garantir a viabilidade do concreto deve ser superior a 20 MPa.

Segundo NEVILLE (1997), a maioria das características desejáveis do concreto está relacionada com a resistência.

SILVA (1991) destaca a importância da relação a/c, pois a maioria dos defeitos relacionados à resistência do concreto é decorrente do excesso de água presente.

Segundo LIMA (1999), concretos com reciclado apresentam, em geral, resistência à compressão menor ou igual à dos concretos convencionais para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistência maior que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento.

Segundo PETRUCCI (1993), a influência dos agregados miúdos na resistência é devida a granulometria, sendo que o agregado graúdo influencia em função de sua forma e textura do grão. No caso dos agregados miúdos, quanto mais finos, mais superfícies específicas terão, exigindo assim, uma maior quantidade de água para molhar os grãos e, conseqüentemente, diminuindo a resistência.

HANSEN (1992) afirma que, embora as especificações variem de país para país, pode-se identificar exigências gerais a que qualquer agregado deve atender: deve ser suficientemente resistente para o uso no tipo de concreto em que for usado; deve ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade; não deve reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras; não deve conter impurezas reativas; e deve ter forma de partículas e granulometria adequada à produção de concreto, com boa trabalhabilidade.

A variação da resistência à compressão do concreto com a relação a/c varia de acordo com a Lei de Abrams: *“Para dados materiais, a resistência depende somente de um fator: da relação água/cimento”*.

$$f_{cj} = \left(\frac{A}{B} \right)^x \text{ Equação de Abrams}$$

Onde: f_{cj} = resistência à compressão à idade de j dias;
x = relação água/cimento;
A = constante empírica;

B = constante que depende do tipo de aglomerante e da idade do concreto (MEHTA e MONTEIO, 1994).

Os ensaios foram realizados na Prensa INSTRON 4476, FIGURA 6. A velocidade definida foi de 1 mm/min.

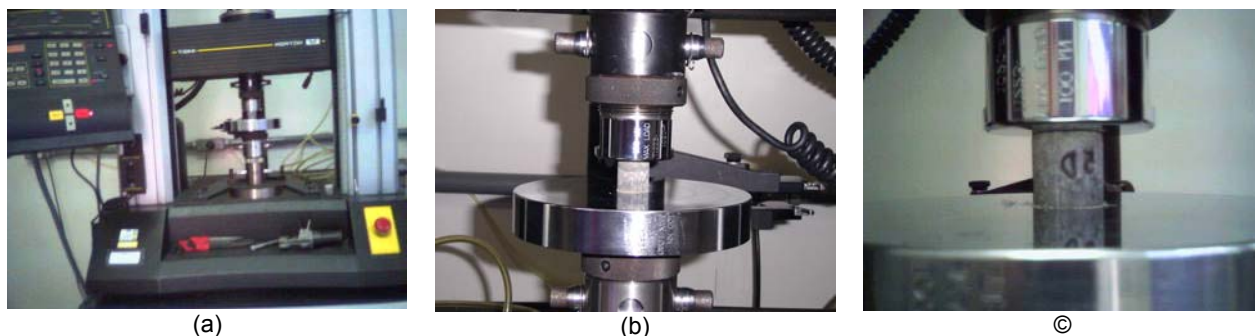


FIGURA 6 – (a) PRENSA INSTRON 4476, (b) CP EM ENSAIO, (c) COMPOSIÇÃO 5D EM ENSAIO.

3.5.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As amostras foram retiradas nos cp's dos compósitos rompidos nos ensaios de resistência mecânica à compressão, foram secas em estufa, coladas na base utilizada e metalizadas com ouro, conforme mostra a FIGURA 7.



FIGURA 7 – AMOSTRAS PREPARADAS PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE MEV.

No método de microscopia eletrônica de varredura, MEV, foram utilizadas amostras de superfície de fratura retiradas dos cp's rompidos nos ensaios de resistência à compressão.

Utilizou-se o Microscópio de Varredura de Elétrons marca JEOL JSM 6360LV, com capacidade de aumento de 50 a 300.000 vezes e as imagens obtidas foram registradas em arquivo digital.

3.5.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Empregou-se a difração de raio X com a finalidade de identificar as fases cristalinas do compósito em questão. Na técnica empregada utilizou-se o Difratômetro modelo PW 1710 da marca Philips.

A técnica de DRX oferece um modo conveniente para determinar a análise mineralógica dos sólidos cristalinos. Se um mineral é exposto a raios X de um comprimento de onda específico, as camadas de átomos difratam os raios e produzem um padrão de picos que é característico do mineral. A escala horizontal (ângulo de difração) de um padrão DRX típico fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala vertical (altura do pico) fornece a intensidade do raio difratado. Quando a amostra bombardeada com raios X tem mais de um mineral, a intensidade de picos característicos dos minerais individuais é proporcional às suas quantidades.

As amostras foram preparadas a partir da moagem dos resíduos de concreto e resíduos de produção de cal, e da melhor composição (11D) seca, e ainda nas idades de 3, 28 e 90 dias. O pó fino obtido por meio do moinho de tungstênio, foi levado ao porta-amostra do sistema de DRX, ilustrado na FIGURA 8.



(a)



(b)

FIGURA 8 – (a) e (b) DIFRATÔMETRO DE RAIOS-X (DRX).

Nesta análise a radiação usada foi de Cobre (Cu); tensão de 40 Kv; corrente de 30 mA, o ângulo 2θ variou de 5° a 70° , passo = $0,02^\circ 2\theta$, tempo/passos 2° .

Foram fornecidas, por meio do software, as fases cristalinas mais prováveis para a seqüência de picos obtidos na contagem de eventos, dentre esses se selecionou aqueles que podem fazer parte da constituição do concreto, da cal e de seu correspondente compósito, composição 11D.

3.5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o ensaio de absorção de água por imersão (Abs_{cp}), foram empregados 3 cp's para cada uma das 7 composições, para a idade de 28 dias, conforme definido na norma NBR 9778. [50]

Que é fornecida pela fórmula:

$$Abs_{Cp} = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100$$

Onde:

M_{sat} = massa do cp saturado Unidade: %

M_s = massa do cp seco em estufa

3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

3.6.1 MÉTODO ESTATÍSTICO DE WEIBULL

Para o tratamento dos dados deste trabalho relativos à resistência à compressão empregou-se o método de estatística de Weibull, uma vez que os compósitos trabalhados possuem características cerâmicas.

A dispersão nos valores de resistência mecânica dos materiais cerâmicos está relacionada com o fato de os mesmos apresentarem defeitos aleatórios. A existência de falhas críticas na região de máxima solicitação mecânica é o que determina a resistência mecânica de um material. Para caracterizar a resistência

mecânica de maneira bem definida e obter uma maior confiabilidade dos resultados, há a necessidade da utilização de tratamentos estatísticos. O modelo estatístico aplicável aos materiais cerâmicos que tem se mostrado bastante adequado é a Estatística de Weibull (ZANOTTO, 1991).

Uma corrente é tão forte quanto mais forte for o seu elo mais fraco, ou seja, uma corrente não pode ser mais forte que seu elo mais fraco; e é nessa mesma linha de pensamento que a Estatística de Weibull é baseada. Nos materiais cerâmicos, o elo mais fraco seria equivalente à região que contém a maior falha; há um aumento na resistência com a diminuição do número de cp's testados.

O módulo de Weibull é um critério importante na determinação da confiabilidade de materiais cerâmicos. Consiste em tratar estatisticamente os valores de resistência mecânica permitindo relacionar a probabilidade acumulada de fratura do material à resistência mecânica, conforme Equação 1:

$$P = 1 - \exp\left\{-V/V_0 \left[(\sigma - \sigma_u)/\sigma_0\right]^m\right\} \quad \text{[Equação 1]}$$

Sendo: P = probabilidade de fratura

V = volume ensaiado do material

V_0 = volume padrão

m = módulo de Weibull

σ = tensão de ruptura do material

σ_0 = parâmetro de ajuste

σ_u = tensão abaixo do qual a probabilidade de fratura é zero

A equação 1 pode ser simplificada se considerarmos: (1) $\sigma_u = 0$; e (2) que para uma amostragem com volume constante ($V/V_0 = 1$).

- $m \cdot \ln \sigma_0$

$$P = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right\} \quad \text{[Equação 2]}$$

Para determinar a probabilidade de fratura (P) devem ser feitos N testes e os valores de tensão de ruptura ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \dots, \sigma_N$) devem ser numerados em ordem crescente. A equação para a estimativa dos parâmetros de Weibull é a seguinte:

$$P_i = i/(N+1) \quad \text{[Equação 3]}$$

Sendo: i a posição amostral.

As constantes m e σ_0 são conhecidos como parâmetros de Weibull e estes parâmetros determinam a distribuição da tensão de ruptura. A equação 3 pode ser resolvida, e o resultado é uma reta, com $\ln[\ln[1/(1-P)]]$ na ordenada e $\ln \sigma$, na abscissa. A equação da reta é dada por:

$$\ln[\ln(1/1-P)] = -m \cdot \ln \sigma_0 + m \cdot \ln \sigma \quad \text{[Equação 4]}$$

Portanto, pela regressão linear dos pontos experimentais determinam-se os valores de m e σ_0 , como pode ser visto na FIGURA 9.

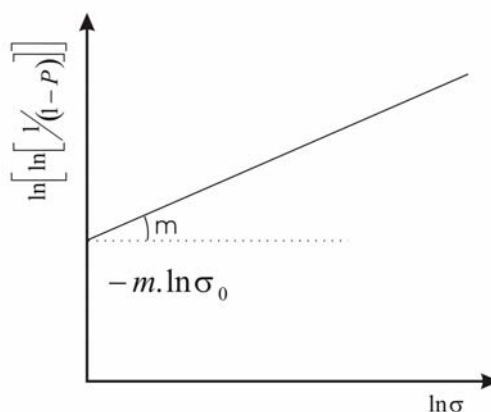


FIGURA 9 – MODELO ESQUEMÁTICO DO DIAGRAMA DE WEIBULL.

Quanto maior o valor de m , menos dispersos são os valores de resistência mecânica, ou seja, tem-se um material mais homogêneo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Nas TABELA 10 e TABELA 11, estão os resultados do ensaio de Fluorescência de Raios-X dos RCD e Resíduos de Produção de Cal; e os resultados do ensaio por Espectrofotometria de Absorção Atômica, respectivamente.

TABELA 10 – RESULTADOS DO ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X DOS RESÍDUOS DE CONCRETO E RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL.

ELEMENTO	RESÍDUOS DE CONCRETO		RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL	
	(%)	Erro	(%)	Erro
SiO ₂	52,97	0,1	2,82	0,02
CaO	20,59	0,06	47,69	0,07
Al ₂ O ₃	8,04	0,03	0,25	0,008
Fe ₂ O ₃	3,51	0,03	0,24	0,008
MgO	2,97	0,02	33,10	0,06
K ₂ O	2,38	0,01	0,05	0,002
SO ₃	2,19	0,02	0,03	0,002
Na ₂ O	0,71	0,01	-	-
TiO ₂	0,64	0,01	0,04	0,003
Sr	0,33	0,003	0,03	0,001
Ba	0,20	0,002	-	-
P ₂ O ₅	0,15	0,005	0,02	0,001
MnO	0,08	0,004	-	-
Zr	0,07	0,001	-	-
Cl	0,04	0,002	-	-
Cr	0,03	0,002	-	-
Zn	0,01	0,001	-	-
Rb	0,01	0,001	-	-
Perda ao Fogo	5,10	-	15,74	-
Ni	-	-	0,01	0,001
Total	100	-	100	-

Conforme a TABELA 10, neste resíduo de produção de cal o teor total de SiO₂ e dos outros elementos: Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, SO₃, TiO₂, Sr, P₂O₅ e perda ao fogo é igual a 19,29%, i.e. muito mais do que os 12%; estabelecidos pela NBR 6453:2003. Este material é classificado como resíduo de produção de cal, e não pode ser usado como ligante pela construção civil tradicional no Brasil.

TABELA 11 – RESULTADOS DO ENSAIO POR ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL.

Parâmetros	% em peso
CaO	42,9
MgO	32,5
RI + SiO ₂	21,63
Ferro	0,20
Al	0,42
Mn	0,03
K	0,09
Na	0,012
Perda ao fogo	0,16
UMIDADE	2,76
Total	100

Na TABELA 11, este resíduo apresenta 21,63% de SiO₂, 0,42% de Al, 0,03% de Mn, 0,09% de K e 0,012% de Na; resultando em 22,37%, que excedem os 12% estabelecidos na NBR 6453:2003.

4.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

Foram ensaiados 6 cp's por composição trabalhada. Seqüencialmente estão os gráficos do ensaio de resistência à compressão para as composições: 5D, 7D, 9D, 10D, 11D, 12D e 13D. Na TABELA 12 é fornecido um resumo dos resultados do ensaio de resistência à compressão. Os valores obtidos neste ensaio para todos os cp's encontram-se disponíveis no Apêndice 1.

Tendo em vista os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão das composições trabalhadas, a composição 11D foi definida como ótima para a realização dos ensaios citados a seguir; pois na moldagem dos cp's das composições 12D e 13D ocorria muita perda de água (tendo em vista as porcentagens definidas para a hidratação destas composições); o que demandava a repetição das cargas aplicadas aos cp's no momento de sua compactação, após a saída da água em excesso, até a estabilização da carga.

TABELA 12 – RESUMO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – MPa.

Composição	Parâmetros Estatísticos	Resistência x Idade (MPa)					
		3dias	7dias	14dias	28dias	60dias	90dias
5D	Média	7,27	8,89	8,88	10,13	12,33	13,84
	Desvio Padrão	0,58	0,92	1,33	1,33	1,03	0,71
7D	Média	9,04	9,11	9,61	10,96	13,01	16,31
	Desvio Padrão	1,34	1,86	1,51	2,37	1,61	1,42
9D	Média	8,53	9,94	11,06	11,66	15,71	18,58
	Desvio Padrão	1,43	1,72	0,80	1,27	1,00	2,65
10D	Média	12,71	14,88	14,76	15,48	21,42	22,14
	Desvio Padrão	2,68	1,00	1,16	2,17	1,90	2,00
11D	Média	15,91	18,29	19,72	18,35	24,12	26,03
	Desvio Padrão	1,57	1,32	2,75	2,46	1,32	3,41
12D	Média	16,49	18,10	19,69	21,10	26,07	27,46
	Desvio Padrão	2,08	1,23	2,31	1,78	2,60	1,83
13D	Média	15,12	16,47	20,51	19,50	25,18	28,97
	Desvio Padrão	4,48	3,99	1,96	3,01	4,37	3,25

Observando os gráficos da distribuição de Weibull, FIGURAS 10, 11, 12, 13, 14 e 15 relativos às idades de 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias, respectivamente, para as 7 composições verificam-se que as retas deslocam-se para a direita, no eixo das abscissas ($\ln \sigma$). Com o passar do tempo ocorre o aumento da resistência nos cp's.

4.2.1 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 3 dias

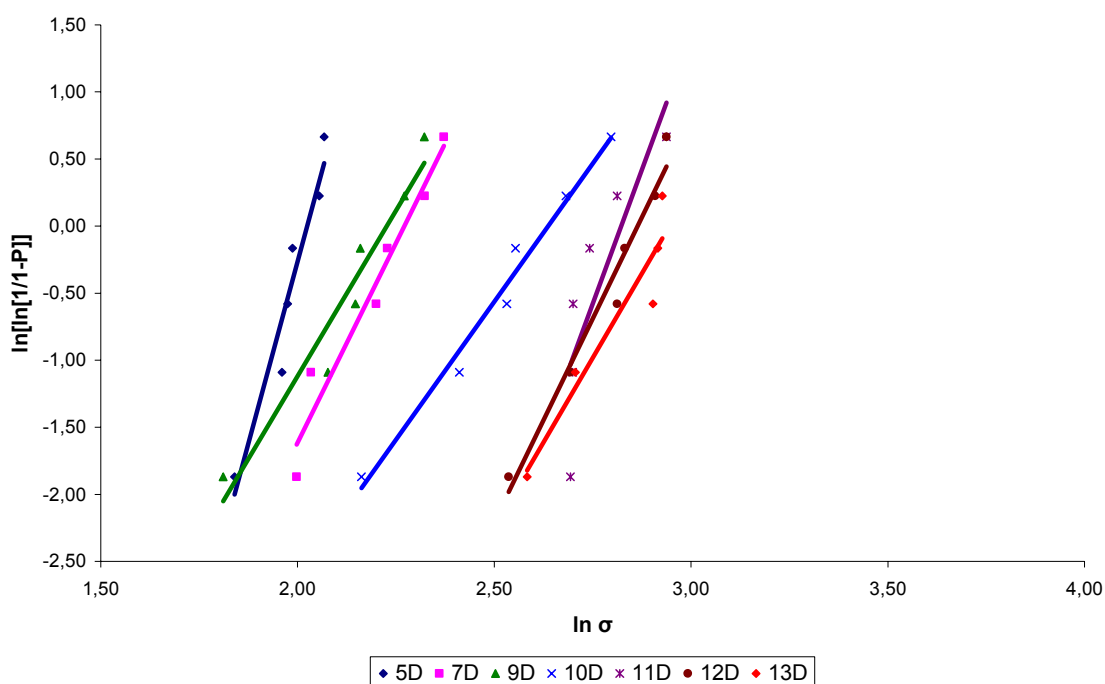


FIGURA 10 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 3 DIAS.

4.2.2 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 7 dias

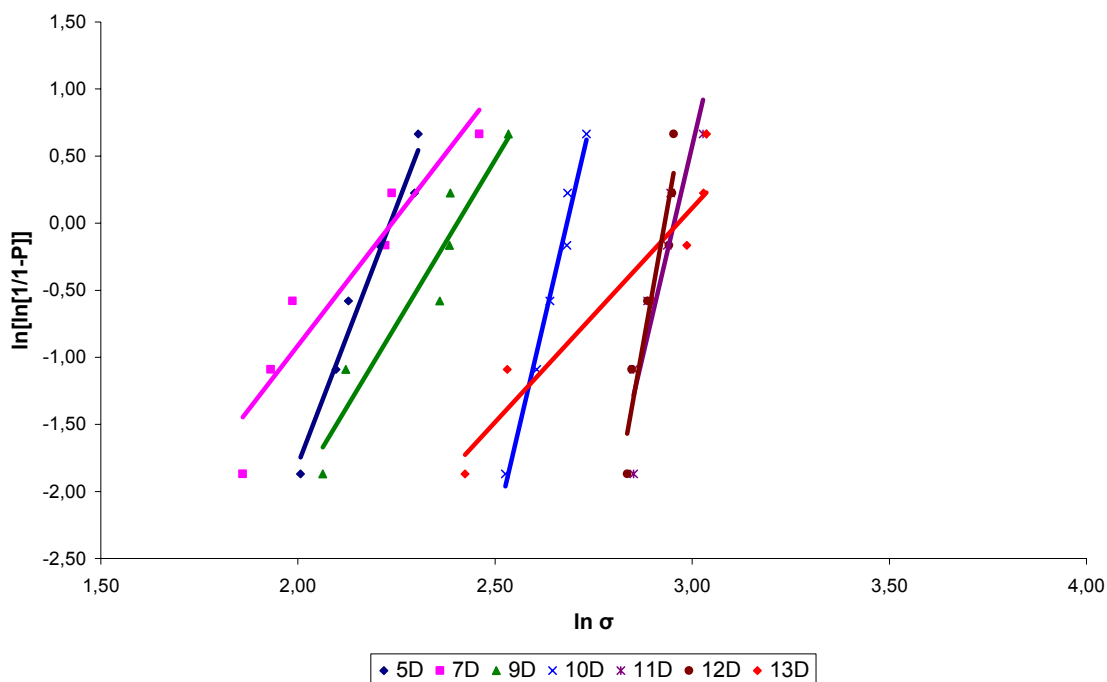


FIGURA 11 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 7 DIAS.

4.2.3 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 14 dias

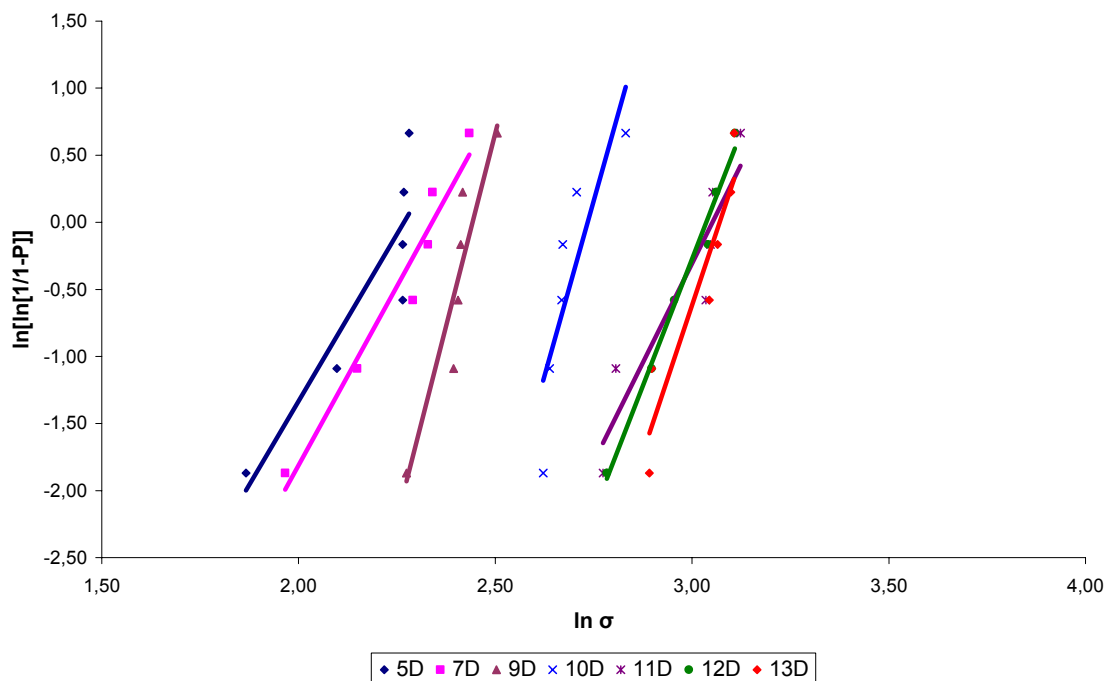


FIGURA 12 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 14 DIAS.

4.2.4 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 28 dias

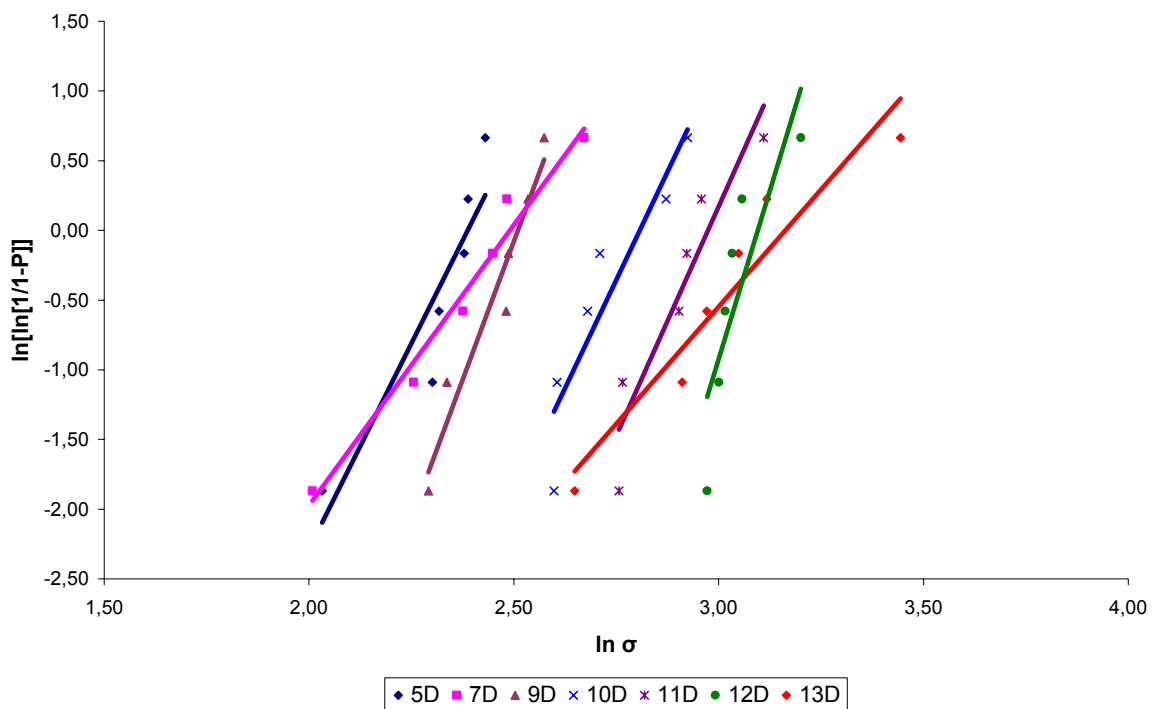


FIGURA 13 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 28 DIAS.

4.2.5 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 60 dias

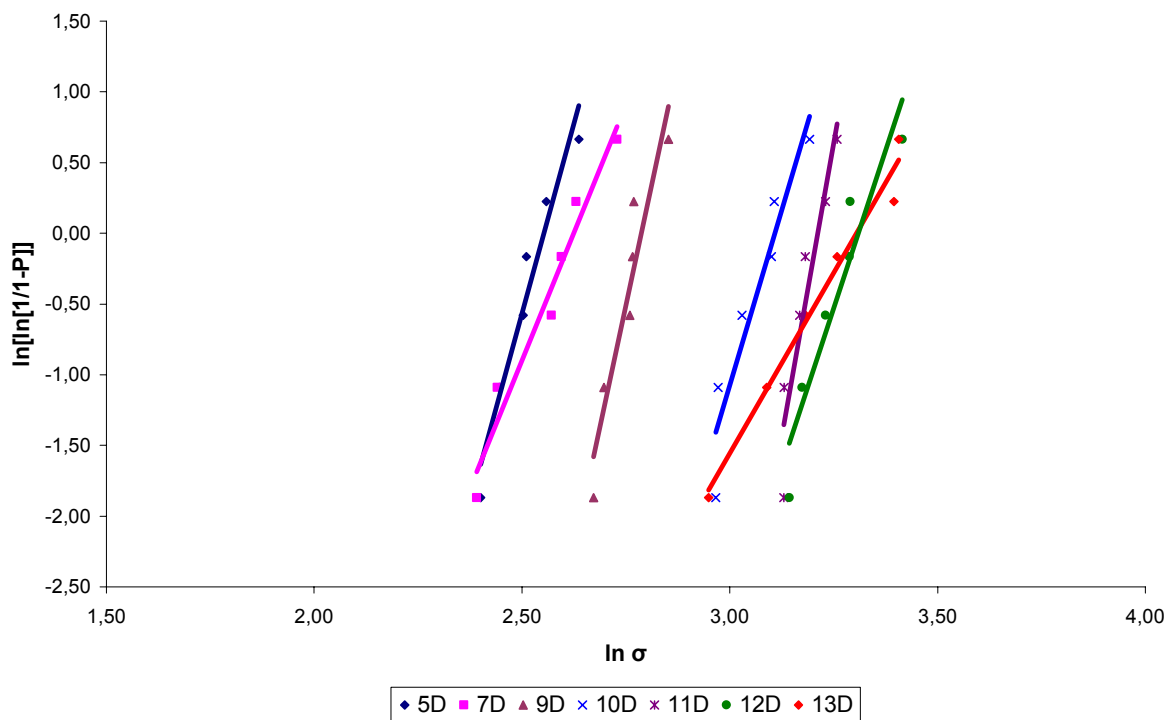


FIGURA 14 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 60 DIAS.

4.2.6 Média da Resistência à Compressão das 7 Composições – 90 dias

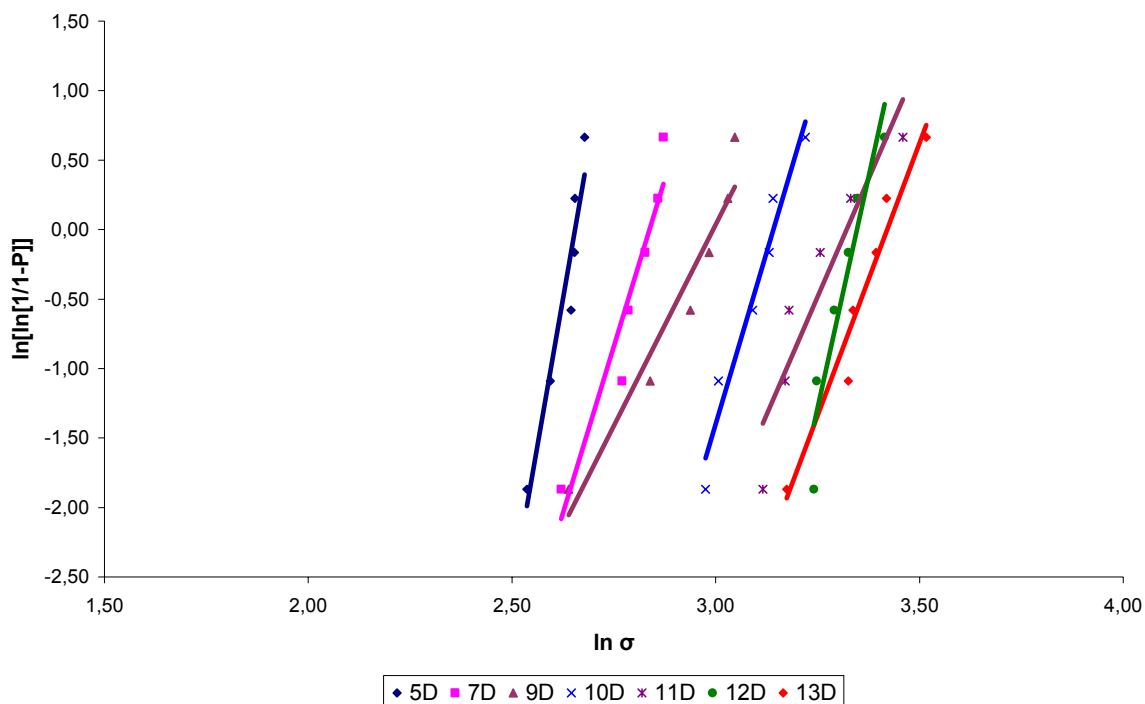


FIGURA 15 – GRÁFICO DE WEIBULL DAS 7 COMPOSIÇÕES – 90 DIAS.

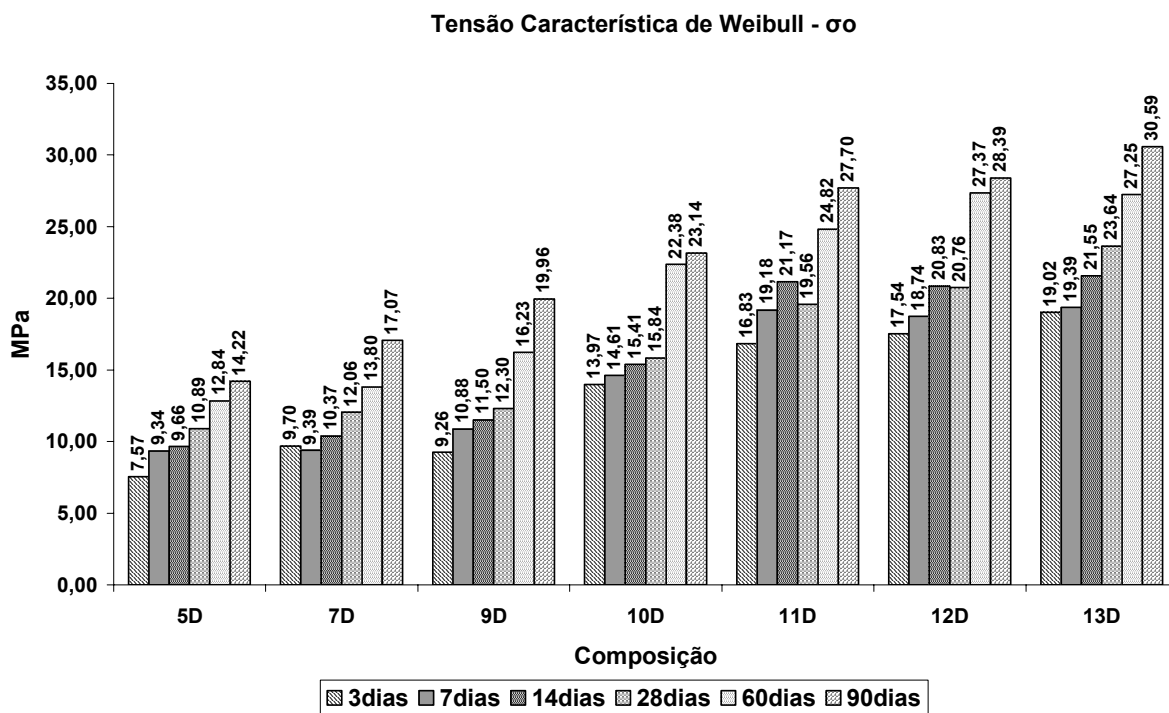


FIGURA 16 – TENSÃO CARACTERÍSTICA DE WEIBULL – RESISTÊNCIA x COMPOSIÇÃO.

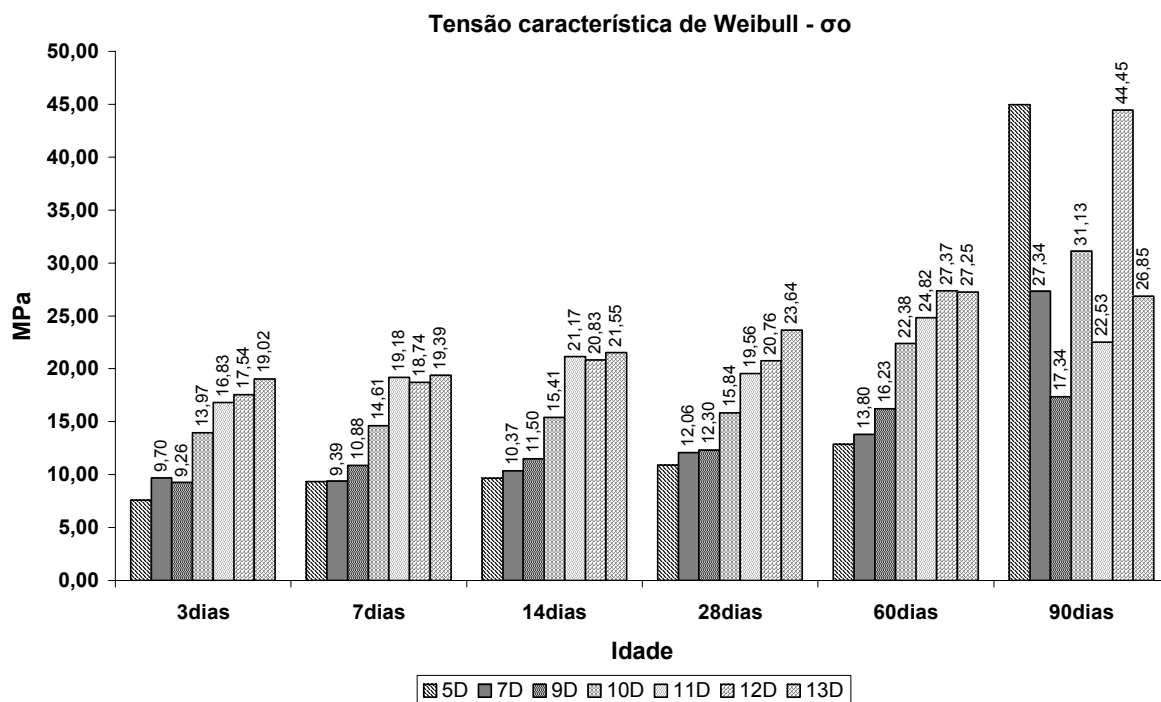


FIGURA 17 – TENSÃO CARACTERÍSTICA DE WEIBULL – RESISTÊNCIA x IDADE.

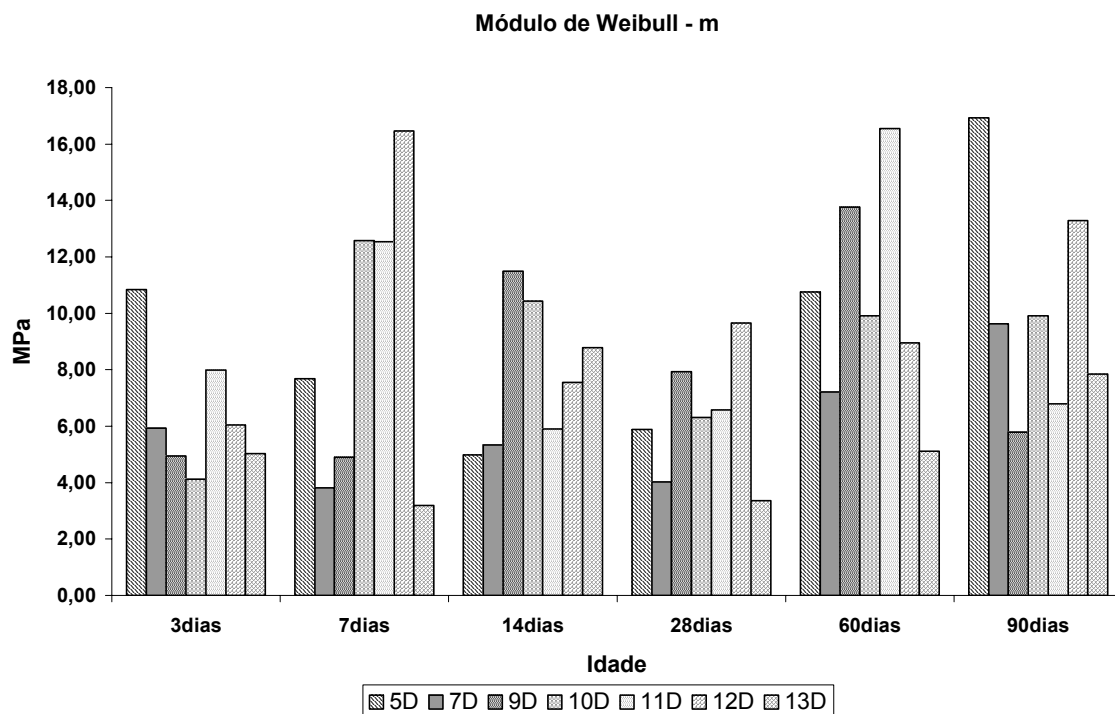


FIGURA 18 – MÓDULO DE WEIBULL - RESISTÊNCIA x IDADE.

O gráfico, resistência x composição, na FIGURA 16, demonstra que o aumento da resistência é diretamente proporcional ao aumento do percentual de

resíduo de produção de cal nas composições tanto quanto o aumento de suas idades.

O gráfico, resistência x idade, na FIGURA 17, evidencia que a composição 11D é a que possui a menor variabilidade nas 6 idades trabalhadas com (7.9, 12.5, 5.9, 6.6, 16.5 e 6.8%), em relação às composições 12D e 13D; que tiveram a adição de maior percentual de água e resíduo de produção de cal em suas composições; comprovando ser a composição ótima.

Segundo Weibull, quanto maior o valor de m , menos dispersos são os valores de resistência mecânica, ou seja, tem-se um material mais homogêneo. De acordo com esta afirmação, o gráfico da FIGURA 18, demonstra que a composição 12D apresenta menos dispersão nos valores de resistência mecânica.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão estão apresentados na TABELA 13. Os valores obtidos neste ensaio para todos os cp's encontram-se disponíveis no Apêndice 2.

TABELA 13 – RESUMO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.

Composição	Parâmetros Estatísticos	Idade 28 dias		Cálculos Abs _{cp} Úmido (%)
		Peso seco após 72:00 hrs (g)	Peso úmido após 5:00 hrs de fervura (g)	
5D	Média	13,298	14,9568	12,47
	Desvio Padrão	0,025	0,0114	
7D	Média	13,300	14,8638	11,76
	Desvio Padrão	0,028	0,0383	
9D	Média	13,281	14,8165	11,56
	Desvio Padrão	0,020	0,0203	
10D	Média	13,292	14,8211	11,50
	Desvio Padrão	0,053	0,0677	
11D	Média	13,295	14,8910	12,00
	Desvio Padrão	0,046	0,0458	
12D	Média	13,116	14,8197	12,99
	Desvio Padrão	0,194	0,2418	
13D	Média	13,514	14,9167	10,38
	Desvio Padrão	0,332	0,2631	

Na FIGURA 19 está demonstrado que a composição 12D e a 13D tiveram o maior e menor percentuais de absorção de água respectivamente. Comparando os resultados obtidos com os resultados de outros pesquisadores da área e as normas brasileiras, não se pode afirmar que as composições trabalhadas não possam vir a ser utilizadas na construção civil.

Segundo a NBR 8953, os valores máximos permitidos para a absorção média em blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural é 10%, o que não significa que a composição 12D esteja reprovada em comparação com esta norma.

Com uma alta taxa de porosidade e absorção de água, é evidente que a permeabilidade, de concretos confeccionados com agregados reciclados, seja influenciada por esses fatores, pois em geral, 3/4 dos concretos são compostos por agregados (NEVILLE, 1997).

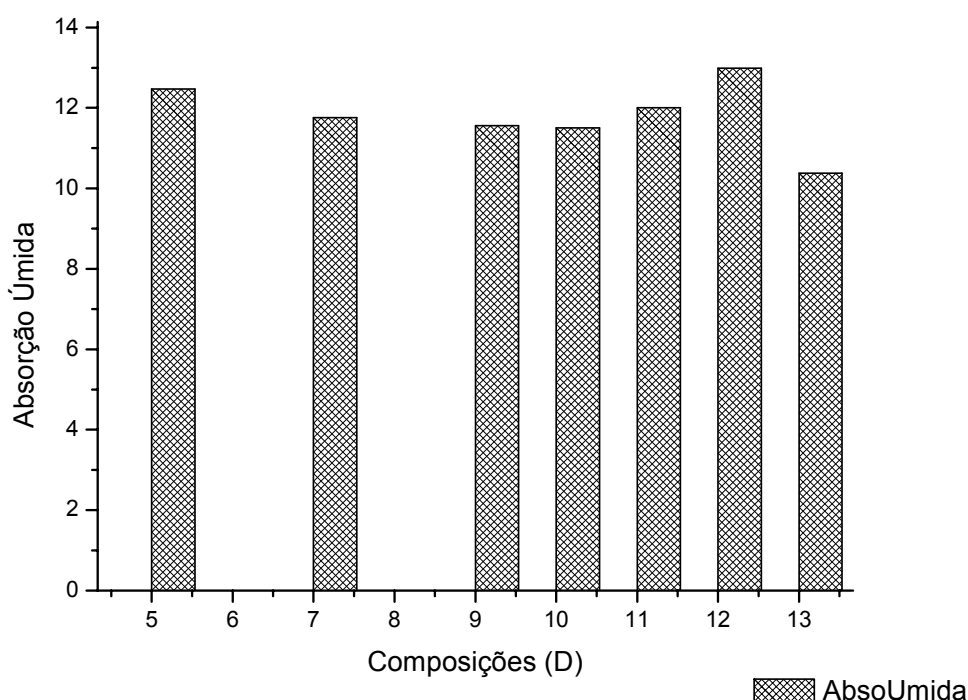


FIGURA 19 – GRÁFICO ABSORÇÃO x COMPOSIÇÃO.

Materiais com elevados índices de absorção interferem nas propriedades do estado fresco e endurecido de concretos e argamassas, quando não previamente

saturados. Uma proposta de normalização brasileira (LIMA, 2000) indica aplicações em que os valores limites de absorção de água podem ser superiores a 17%. Tais aplicações são em contra-pisos, blocos, etc.

4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Foram analisadas as seguintes amostras separadamente: resíduo de concreto, resíduo de produção de cal secos e composição 11D seca, 3 dias, 28 dias, e 90 dias. Os difratogramas completos encontram-se disponíveis nos Anexos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

4.4.1 RX do Resíduo de Concreto Seco

Estudando a composição mineralógica das misturas iniciais secas dos resíduos através do método de DRX verifica-se a presença dos seguintes grupos de minerais:

- componentes usuais de agregados de resíduos de concreto - Quartzo (SiO_2), Microclina (KAlSi_3O_8), Ortoclásio (KSi_3AlO_8), Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Silicato de Cálcio (Ca_2SiO_4); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- produtos de hidratação - Afillita $\text{Ca}_3(\text{SiO}_3\text{OH})_2 2\text{H}_2\text{O}$, C-S-H – Silicato de Cálcio $\text{Ca}_4\text{Si}_5\text{O}_{13.5}(\text{OH})_2$ e Hidrato de Silicato de Cálcio ($\text{Ca}_{1.5} \text{SiO}_{3.5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$), Ettringita – $\text{Ca}_6 (\text{Al} (\text{OH})_6)_2 (\text{SO}_4)_3 (\text{H}_2\text{O})_{25.7}$;
- minerais ligantes, como Hidróxido de Cálcio – Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$; Brownmillerita (Bw) $\text{Ca}_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2 \text{O}_5$, Gesso (Gy)- $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$.

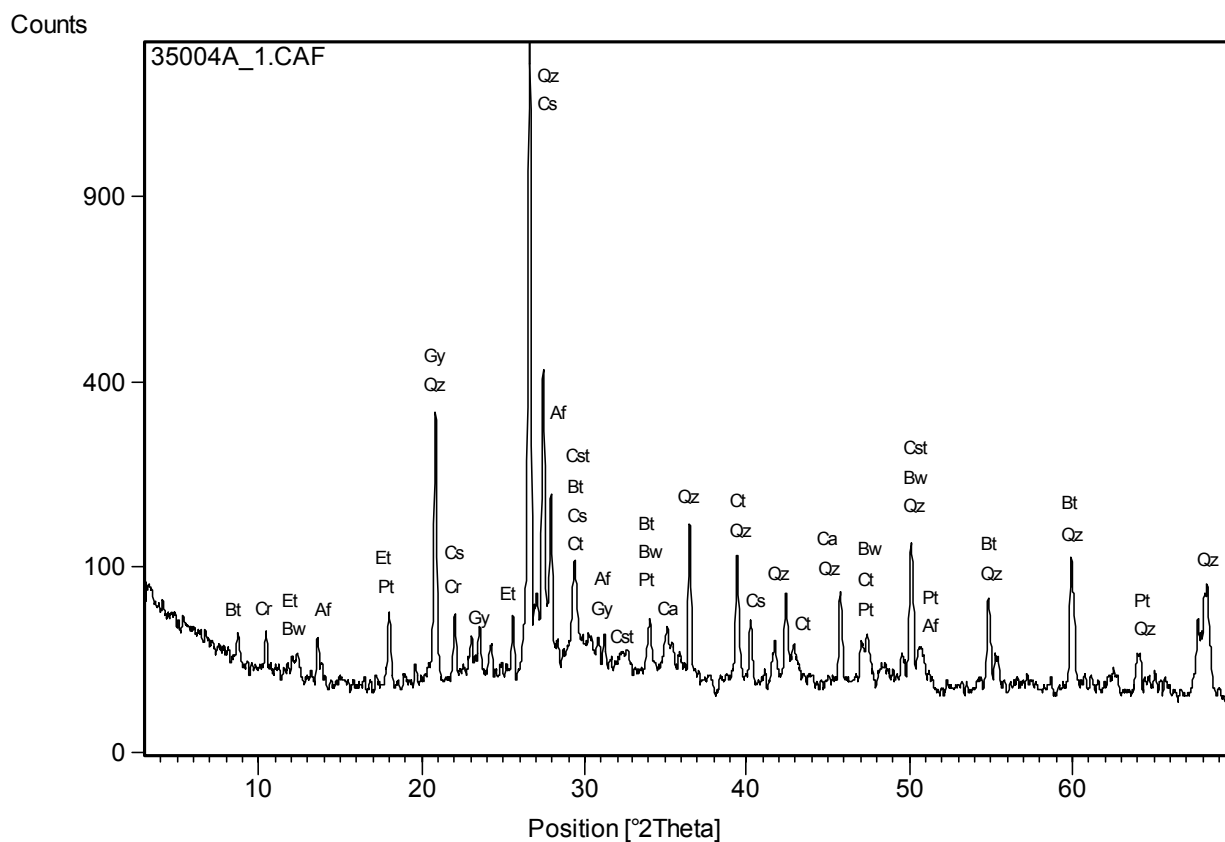


FIGURA 20 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO RESÍDUO DE CONCRETO.

Legenda figura 20

Minerais	Fórmula Química
Quartzo (Qz)	Si O_2
Portlandita (Pt)	Ca (OH)_2
Calcita (Ct)	Ca CO_3
Silicato de Cálcio Hidratado (Ca)	$\text{Ca}_4 \text{ Si}_5 \text{ O}_{13,5} (\text{ OH })_2$
Brownmillerita (Bw)	$\text{Ca}_2 (\text{ Al, Fe }^{+3})_2 \text{ O}_5$
Silicato de Cálcio (Cs)	$\text{Ca}_2 \text{ SiO}_4$
Gesso (Gy)	$\text{Ca SO}_4 \cdot 1/2 \text{ H}_2\text{O}$
Ettringita (Et)	$\text{Ca}_6 (\text{ Al (OH)}_6)_2 (\text{ S O}_4)_3 (\text{ H}_2 \text{ O })_{25,7}$
Silicato de Cálcio Hidratado (Cst)	$\text{Ca}_{1,5} \text{ SiO}_{3,5} \cdot x \text{ H}_2\text{O}$
Biotita (Bt)	$\text{K}_2 (\text{ Fe}_{2,786} \text{ Mg}_{2,321} \text{ Ti}_{0,550}) (\text{ Al}_{2,413} \text{ Si}_{5,587} \text{ O}_{20}) (\text{ OH })_4$
Afwillita (Af)	$\text{Ca}_3 (\text{ SiO}_3 \text{ OH })_2 \cdot 1/2 \text{ H}_2\text{O}$
Cordierita (Co)	$\text{Mg}_2 \text{ Si}_5 \text{ Al}_4 \text{ O}_{18}$

4.4.2 RX do Resíduo de Produção de Cal Seco

Estudando a composição mineralógica dos resíduos de produção de cal através do método de DRX verifica-se a presença dos seguintes grupos de minerais: Portlandita - Ca(OH)_2 , Periclásio – MgO , Calcita - $\text{Ca(CO}_3\text{)}$ - Carbonato de Cálcio e Magnésio – Dolomita - $(\text{Ca, Mg}) \text{CO}_3$, Quartzo - SiO_2 .

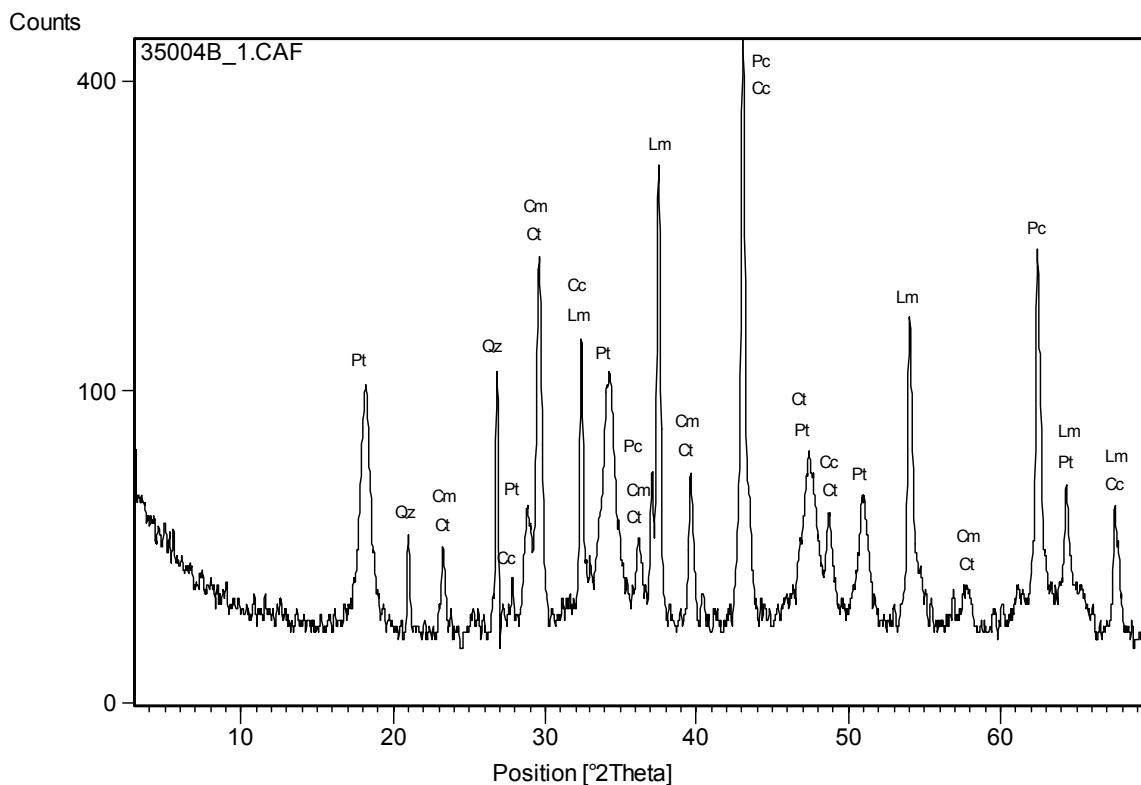


FIGURA 21 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO RESÍDUO DE PRODUÇÃO DE CAL

Legenda figura 21

Minerais	Fórmula Química
Cal (Lm)	CaO
Periclásio (Pc)	MgO
Portlandita (Pt)	Ca(OH)_2
Calcita (Ct)	CaCO_3
Quartzo (Qz)	SiO_2
Carbonato de Cálcio e Magnésio (Cm)	$(\text{Ca, Mg})\text{CO}_3$
Carbeto de Cálcio (Cc)	CaC_2

Obs: O carbeto de cálcio tem origem da queima do calcário com a utilização de madeira.

4.4.3 RX da Composição 11D – Seca

No difratograma da FIGURA 22, observa-se a presença de:

- minerais iniciais de agregados graúdos e miúdos: Quartzo (SiO_2), Microclina (KAlSi_3O_8), Ortoclásio (KSi_3AlO_8), Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Silicato de Cálcio (Ca_2SiO_4)
- produtos de hidratação: Afwillita $\text{Ca}_3(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, C-S - Silicato de Cálcio $\text{Ca}_4\text{Si}_5\text{O}_{13,5}(\text{OH})_2$, C-S-H - Silicato de Cálcio Hidratado ($\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$)
- materiais aglomerantes como: Cal (CaO), Periclásio (MgO), Hidróxido de Cálcio- Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

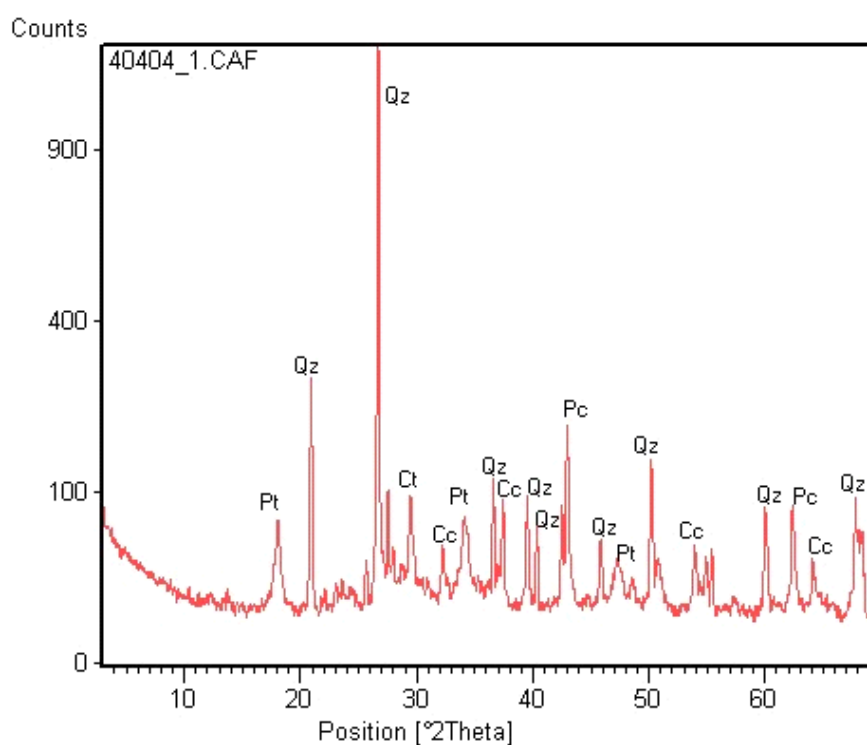


FIGURA 22 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D SECA.

Legenda figura 22

Nome	Fórmula Química	Nome	Fórmula Química
Quartzo (Qz)	SiO_2	Portlandita, (Pt)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Periclásio, (Pc)	MgO	Calcita, (Ct)	CaCO_3
Calcia (Cc)	CaO		

4.4.4 RX da Composição 11D – 3 dias

No difratograma da FIGURA 23 observa-se a presença de:

- minerais iniciais de agregados graúdos e miúdos: os minerais anteriormente citados no difratograma da amostra 11D Seca.
- produtos de hidratação: os minerais anteriormente citados no difratograma da amostra 11D Seca e Tobermorita ($\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$) – com $d = 3,1865; 2,6288; 1,8179; 1,7981$ e $1,6041 \text{ \AA}$.
- Ancerita – $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$ – com $d = 2,8977; 1,8182$ e $1,4524 \text{ \AA}$.

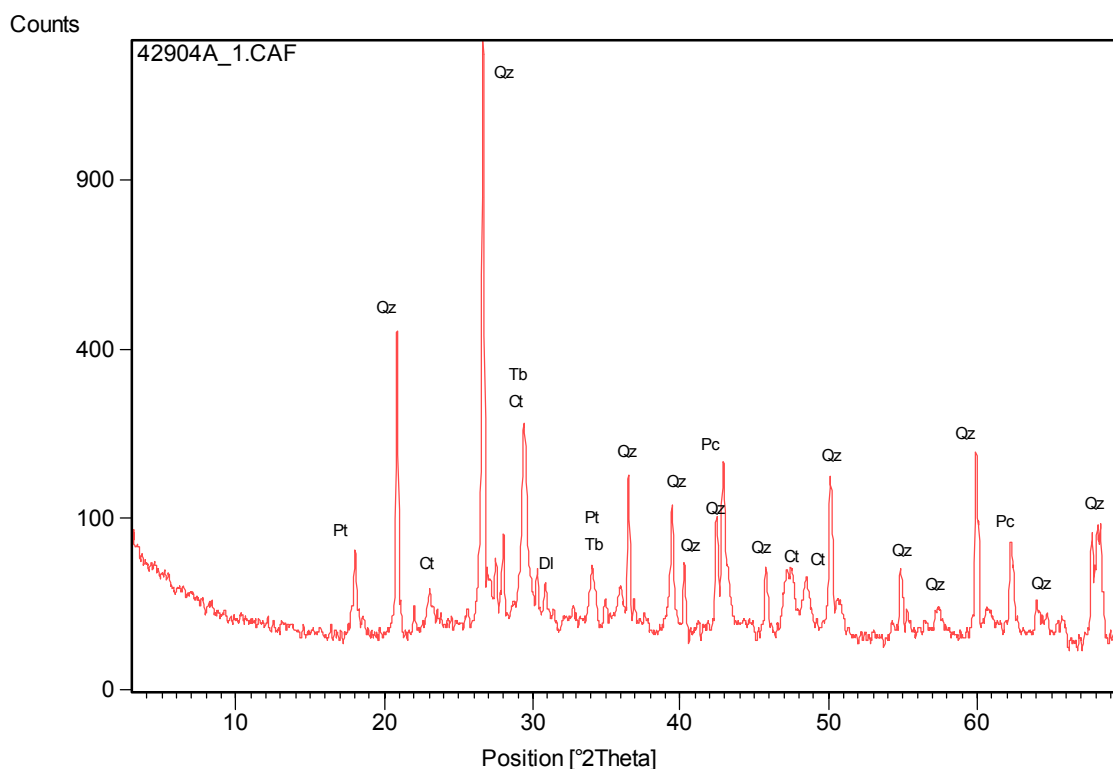


FIGURA 23 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D – 3 DIAS.

Legenda figura 23

Nome	Fórmula Química	Nome	Fórmula Química
Periclásio, (Pc)	MgO	Quartzo (Qz)	Si O_2
Portlandita, (Pt)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Tobermorita, (Tb)	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$
Calcita, (Ct)	Ca CO_3	Silicato de Cálcio	Ca_2SiO_4
Ancerita (DI)	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})(\text{CO}_3)_2$		

4.4.5 RX da Composição 11D – 28 dias

No difratograma da FIGURA 24 observa-se a presença de:

- de minerais iniciais de agregados graúdos e miúdos: os minerais anteriormente citados no difratograma da amostra 11D Seca.
- de produtos de hidratação: os minerais anteriormente citados no difratograma da amostra 11D Seca e Calcita $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ – com $d = 3,8520; 3,0321; 2,4943; 2,2805; 2,1047; 1,9165; 1,8741$ e $1,6042 \text{ \AA}$.
- Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – com $d = 2,4038; 1,8184$ e $1,7930 \text{ \AA}$.

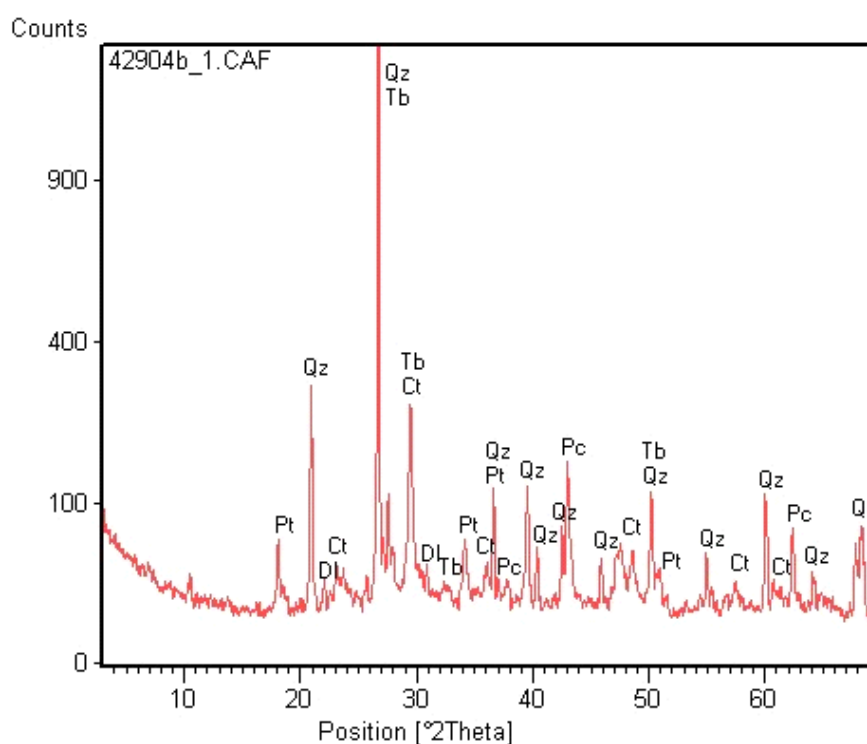


FIGURA 24 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA COMPOSIÇÃO 11D – 28 DIAS.

Legenda figura 24

Nome	Fórmula Química	Nome	Fórmula Química
Quartzo (Qz)	Si O_2	Portlandita, (Pt)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Calcita, (Ct)	Ca CO_3	Tobermorita, (Tb)	$\text{Ca}_5 \text{Si}_6 \text{O}_{16}(\text{OH})_2$
Periclásio, (Pc)	Mg O	Dolomita (Dl)	$\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$

4.4.6 RX da Composição 11D – 90 dias

No difratograma da FIGURA 25 observa-se que:

- repetem-se todos os minerais anteriormente citados nos difratogramas da composição 11D Seca, e nas idades de 3 e 28 dias.

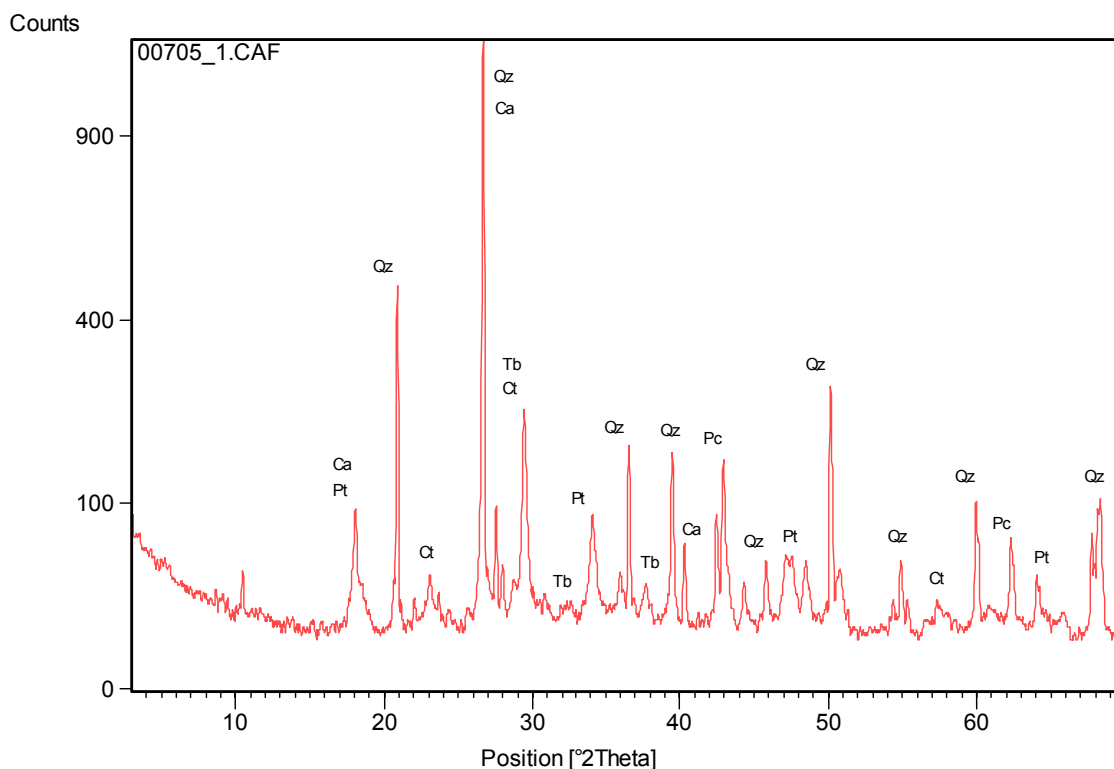


FIGURA 25 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS DA COMPOSIÇÃO 11D – 90 DIAS.

Legenda figura 25

Nome	Fórmula Química
Quartzo (Qz)	Si O ₂
Calcita (Ct)	Ca CO ₃
Periclásio (Pc)	Mg O
Portlandita (Pt)	Ca (OH) ₂
Silicato de Cálcio (Ca)	Ca ₂ SiO ₄
Tobermorita (Tb)	Ca ₅ Si ₆ O ₁₆ (OH) ₂
Dolomita (DI)	Ca Mg (CO ₃) ₂

4.4.7 Processos Físico-Químicos de Endurecimento dos Corpos-de-Prova

A interpretação dos difratogramas de raios X das amostras com grande quantidade de componentes minerais, não é exata, para alguns picos. Mas, não obstante desta imparcial dificuldade e possíveis imprecisões pode-se explicar a mudança de intensidade dos picos de maiores transformações, as quais acontecem durante a hidratação das composições e fortalecimento dos cp's.

A mais importante informação é fornecida pela comparação dos difratogramas de raios X das amostras: 11D Seca, 3, 28 e 90 dias de hidratação, verificamos que desaparecem durante os primeiros 3 dias: cal, portlandita, crescendo carbonatos (calcita, dolomita, ancerita), crescendo também silicatos de cálcio hidratados – CSH. Isto significa que, todos os processos de endurecimento de materiais podem ser explicados pela mais importante razão do aparecimento, crescimento, fortalecimento e o aperfeiçoamento de estruturas cristalinas de Carbonatos de Cálcio, Magnésio e Ferro i.e, Calcita, Dolomita, Ancerita e também silicatos de cálcio hidratado – CSH.

Este processo é possível porque se tem o desaparecimento dos picos dos seguintes minerais: Portlandita – com $d = 3,1042 \text{ \AA}$ e da Cal com $d = 2,7770 \text{ \AA}$.

Outra comprovação desta idéia é o crescimento da intensidade dos picos da calcita – com $d = 3,8560$ e $2,4949 \text{ \AA}$ com o passar do tempo, que aparece sem coincidência com os picos de outros minerais, sendo por isso não visível.

Na TABELA 14 é possível verificar o desaparecimento de alguns picos de cal, que resultam da coincidência com outros picos de outros minerais como:

- o pico $2,40 \text{ \AA}$ com pico de Ortoclásio KSi_3AlO_8 (o qual não pode dissolver-se em ambiente de cura alcalina e quase seca) e no 28º dia com aparecimento de Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Durante os primeiros 3 dias de hidratação da cal a intensidade do pico $2,40 \text{ \AA}$ diminui de, 5,22 a 3,80% por causa do processo de hidratação da cal, e depois aumenta só por causa do aparecimento e crescimento da Dolomita;
- o pico $1,45 \text{ \AA}$ também com Ortoclásio KSi_3AlO_8 , Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e Ancerita $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$. A intensidade do pico cai de 1,80 até 0,83% no 3º

dia e a 0,78% no 28º dia. O crescimento da estrutura cristalina de Ancerita ocorre muito mais devagar em comparação com a Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Exceto, durante os processos de hidratação e de endurecimento dos cp's observa-se na TABELA 14 o crescimento dos picos dos seguintes minerais:

- CSH - $\text{CaO SiO}_2 \text{H}_2\text{O}$ – 3,24 – 2,62 – 2,45 – 2,28 – 2,12 – 1,97 – 1,81 Å;
- Dolomita $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$ – 2,40 – 1,81 – 1,79 – 1,54 Å;
- Ancerita $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$ – 1,45 Å;
- Tobermorita $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$ – 3,18 – 2,62 – 2,10 – 1,60 Å;
- Calcita CaCO_3 – 2,28 – 1,87 – 1,60 Å;
- Afwillita $\text{Ca}_3(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 1,48 Å.

O crescimento de todos estes sistemas cristalinos pode contribuir com o aumento da resistência das amostras de materiais.

Porém, é de conhecimento a presença de novas formações amorfas, as quais também podem fortalecer os materiais. Entre estas podem estar carbonatos amorfos, especialmente nas primeiras etapas de hidratação da cal. Além disso, a resistência dos materiais pode crescer por causa da síntese de outros tipos em novas formações amorfas, anteriormente estudadas por MYMRIN, 1968.

Ele estudou misturas hidratadas de escórias siderúrgicas e solos argilosos com crescimento de até 50 MPa ou mais; sem visível mudança dos picos cristalinos nos difratogramas de raios X.

Nas bases de dados de muitos métodos de pesquisa MYMRIN, 1968 explicou o evento de endurecimento de materiais por meio da transição de soluções coloidais de baixa densidade em gel; depois do crescimento da densidade do colóide transformando-se em gel. Com o passar do tempo ocorre o envelhecimento do gel (evento de sinereses¹ do gel), e transição para um material com propriedades similares a uma rocha no estado amorfo com alta resistência – 50 MPa ou mais.

Outros autores, como MEHTA e MONTEIRO, 1994, mencionam o Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H) como responsável pela constituição de 50 a 60% do

¹ Sinerese – É a expulsão da água, decorrente da aproximação das moléculas devido à formação e endurecimento de gel e redução de volume.

volume de sólidos de uma pasta de cimento Portland completamente hidratado, sendo por isso o mais importante na determinação das propriedades da pasta.

A morfologia do C-S-H varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino. Devido às suas dimensões coloidais e à tendência a aglomerar, os cristais de C-S-H puderam ser observados somente com o advento do microscópio eletrônico. O material é freqüentemente citado como C-S-H gel em literatura tradicional. A estrutura cristalina interna do C-S-H também permanece não totalmente distinguível. Ela foi anteriormente assumida como semelhante à do mineral tobermorita; por isto, foi às vezes denominada gel de tobermorita.

Estruturas amorfas parecidas têm algumas rochas naturais, como a calcedônia, a cornalina, opala, etc.

Tudo que foi dito anteriormente pode ser visualizado na microscopia eletrônica de varredura (Figuras 29, 30, 31, 32 e 34).

Cristais inicialmente pequenos de carbonatos existentes nos resíduos crescem com o passar do tempo, formando aglomerados, que resultam em maior resistência.

Minerais de carbonatos estão presentes nos difratogramas na mistura inicial seca nos estados amorfos e cristalinos, e por isso o método de Difractometria de Raios X não pode identificar estados amorfos e quantidades menores que a sensibilidade do método (mais ou menos 5%) não permitindo a identificação dos picos destes minerais.

Porém é visível a existência de 3 minerais de carbonatos nos difratogramas de 3, 28 e 90 dias: a Calcita $\text{Ca}(\text{CO}_3)$; Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ e Ancerita – $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$.

A diferença de crescimento da intensidade dos picos de carbonatos representa muito pequeno aumento de carbonatos cristalinos, por exemplo, no pico $d = 3,8560 \text{ \AA}$ tem-se o aumento de intensidade do material seco de $I = 0,52\%$. O mesmo pico com 3 dias tem $I = 1,22\%$, aos 28 dias $I = 1,36$ e aos 90 dias $I = 1,59\%$, significa que o aumento ao longo dos 90 dias é $I = 1,09\%$, este pequeno aumento de cristais de carbonatos não pode explicar o aumento da resistência dos materiais durante 90 dias até 33,6 MPa para um dos cp's ensaiados (com valor médio de 29 MPa), na composição 13D.

O mesmo pode ser demonstrado no pico com $d = 2,4949 \text{ \AA}$, na amostra seca tem-se $I = 0,44\%$, nos 90 dias tem-se $I = 1,42\%$ com diferença entre eles de $0,98\%$. Isto é demonstrado nos 2 picos citados acima, que este pequeno aumento de quantidade e aperfeiçoamento de cristais de carbonatos (com a diminuição dos defeitos cristalinos) não pode explicar o aumento da resistência dos materiais durante 90 dias até $33,6 \text{ MPa}$ (com valor médio de 29 MPa), na composição 13D.

Se não são os cristais os responsáveis para este elevado crescimento de resistência, a única razão para explicação é o crescimento de novas formações amorfas, que pode ser visualizada nas fotos de microscopia eletrônica de varredura (Figuras 29, 30, 31, 32 e 34), especialmente, nas maiores ampliações (3.000 , 5.000 e $8.000x$).

TABELA 14-COMPARAÇÃO DE ALTERAÇÕES DE DRX ANTES E DURANTE A HIDRATAÇÃO DA COMPOSIÇÃO 11D.

Seca (404-04)			3 dias (429-A)			28 dias (429-B)			90 dias (705-05)		
d, Å	Int., %	Identificado como	d, Å	Int., %	Identificado como	d, Å	Int. %	Identificado como	d, Å	Int., %	Identificado como
4,9046	3,95	Portlandita; Tb	4.9170	3.28	Portlandita; Tb	4.9009	2.97	Portlandita; Tb	4.9082	5.89	Portlandita; Tb
4,2464	21,11	Q; Microclina; Ortoclásio	4.2577	32.74	Q; Microclina; Ortoclásio	4.2455	18.82	Q; Microclina; Ortoclásio	4.2520	40.67	Q; Microclina; Ortoclásio
3,8560	0,52	Calcita	3.8641	1.22	Calcita	3.8520	1.36	Calcita	3.8524	1.59	Calcita
3,3400	100,0	Q; Microclina; C-S	3.3465	100.0	Q; C-S	3.3396	100.0	Q; C-S; Tb	3.3427	100.0	Q; C-S; Tb
3,2448	6,61	Microclina Ortoclásio; CSH	3.2420	2.01	Microclina Ortoclásio; CSH	3.2375	4.82	Microclina Ortoclásio; CSH	3.2387	5.43	Microclina Ortoclásio; CSH
3,1865	1,72	Afwillita	3.1878	5.66	Tb	3.1853	1.57	Tb	3.1888	1.79	Tb
3,1042	0,70	Portlandita									
3,0314	4,87	Calcita; Microclina C-S; C-S-H	3.0357	12.69	Calcita; C-S	3.0321	13.17	Calcita; C-S; Tb	3.0345	13.94	Calcita; C-S; Tb
2,8960	0,81	C-S	2.8977	1.14	Ancerita; C-S	2.8986	1.20	Ancerita;	2.8971	1.28	Ancerita;
2,7770	1,93	Cal									
2,6288	3,74	Portlandita; CSH	2.6304	1.94	Portlandita; Tb; CSH	2.6241	2.31	Portlandita; Tb; CSH	2.6268	5.14	Portlandita; Tb; CSH
2,4949	0,44	Calcita	2.4952	0.96	Calcita	2.4943	1.17	Calcita	2.4932	1.42	Calcita
2,4574	7,38	Q; CSH; Portlandita	2.4598	11.21	Q; CSH; Portlandita	2.4558	7.91	Q; CSH; Portlandita	2.4575	13.28	Q; CSH Portlandita
2,4042	5,22	Cal; Ortoclásio	2,4038	3,80	Ortoclásio	2,4038	4,13	Dolomite Ortoclásio	2,4045	5,25	Dolomite Ortoclásio
2,2803	6,62	Q; C-S; Calcita; CSH; Afwillita	2.2838	6.85	Q; C-S; Calcita CSH	2.2805	6.12	Q; CSH; Calcita	2.2808	12.40	Q; C-S; Calcita CSH
2,2364	4,14	Q; Ortoclásio; C-S; CSH	2.2379	2.74	Q C-S CSH	2.2344	2.41	Q; CSH	2.2363	3.08	Q; C-S CSH
2,1292	6,31	Q; Ortoclásio; CSH; Afwillita	2.1282	6.45	Q; CSH	2.1263	3.80	Q; CSH	2.1268	6.82	Q; CSH
2,1060	12,55	Periclásio; Microclina Ortoclásio; Afwillita	2.1086	10.22	Calcita; Periclásio; Tb	2.1047	8.85	Calcita; Periclásio; Tb	2.1062	11.49	Calcita; Periclásio; Tb

Seca (404-04)			3 dias (429-A)			28 dias (429-B)			90 dias (705-05)		
d, Å	Int., %	Identificado como	d, Å	Int., %	Identificado como	d, Å	Int. %	Identificado como	d, Å	Int., %	Identificado como
1,9794	2,85	Q; Microclina Ortoclásio; C-S CSH; Afwillita	1.9801	2.61	Q; C-S CSH	1.9783	1.80	Q; C-S CSH	1.9805	2.81	Q C-S CSH
1,9233	1,36	Portlandita; Calcita Microclina Ortoclásio Afwillita	1.9206	1.60	Calcita C-S	1.9165	1.98	Calcita; Portlandita C-S; Tb	1.9272	2.41	Calcita Portlandita C-S; Tb
1,8759	0,50	Calcita; C-S	1.8767	1.33	Calcita C-S	1.8741	1.87	Calcita	1.8780	1.95	Calcita C-S
1,8179	8,74	Q; Ortoclásio CSH	1.8182	11.71	Q Tb Ancerita CSH	1.8184	5.96	Q; Tb Dolomita Ancerita CSH	1.8178	24.80	Q; Tb Dolomita Ancerita CSH
1,7981	1,35	Q; Portlandita Microclina; Ortoclásio Afwillita	1,7975	1,21	Portland; Tb; Dolomita	1.7930	1.23	Portland; Tb; Dolomita	1.7967	1.81	Q; Portland. Dolomita
1,6733	1,90	Q; Ortoclásio	1.6723	3.18	Q	1.6722	2.26	Q	1.6713	3.41	Q
1,6041	0,10	Q; Calcita Ortoclásio; CSH Afwillita	1.6032	0.50	Q Calcita Tb	1.6042	0.55	Q; Calcita Tb	1.6050	0.67	Q; Calcita Tb
1,5408	5,53	Q; Microclina	1.5417	15.21	Q; Microclina; Dolomita	1.5408	7.08	Q; Microclina; Dolomita	1.5413	7.79	Q; Microclina Dolomita
1,4890	4,78	Periclásio; Ortoclásio Afwillita	1.4898	3.32	Periclásio; Ortoclásio Afwillita	1.4892	3.10	Periclásio; Ortoclásio Afwillita	1.4889	4.05	Periclásio; Ortoclásio Afwillita
1,4526	1,80	Q; Cal; Ortoclásio; Ancerita	1.4524	0.83	Q; Ortoclásio; Portlandita Ancerita	1.4515	0.78	Q; Ortoclásio; Portlandita Ancerita	1.4512	1.31	Q; Ortoclásio; Portlandita Ancerita
1.3818	6.06	Q	1.3818	6.06	Q	1.3825	2.89	Q	1.3819	5.86	Q
1.3748	5.73	Q	1.3748	5.73	Q	1.3746	5.70	Q	1.3744	5.71	Q
1.3716	5.43	Q	1.3716	5.43	Q	1.3722	3.05	Q	1.3717	9.02	Q

LEGENDA:

Q = Quartzo (SiO ₂)	Portlandita = Ca(OH) ₂	Ortoclásio = KSi ₃ AlO ₈	Dolomita = Ca Mg (CO ₃) ₂
Tb = Tobermorita Ca ₅ Si ₆ O ₁₆ (OH) ₂	Microclina = KAlSi ₃ O ₈	Calcita = CaCO ₃	Ancerita = Ca(Mg,Fe)(CO ₃) ₂
C-S = Silicato de Cálcio Ca ₂ SiO ₄	C-S-H = Silicato de Cálcio Hidratado Ca ₂ SiO ₄ H ₂ O	Periclásio = MgO	Afwillita = Ca ₃ (SiO ₃ OH) ₂ 2H ₂ O

4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Foram analisadas as seguintes amostras separadamente: resíduo de concreto, resíduo de produção de cal e composição 11D em 3, 28, 60 e 90 dias.

Na TABELA 15 são fornecidas as amostras analisadas frente às ampliações obtidas.

TABELA 15 – AMOSTRAS ANALISADAS X AMPLIAÇÕES OBTIDAS.

Amostra analisada	Ampliações obtidas
Resíduo de concreto seco	50, 1000 e 3000x
Resíduo de produção de cal seco	50, 200, 950 e 3000x
Composição 11D 3 dias	50, 1000, 3000 e 5000x
Composição 11D 28 dias	50, 200, 1000, 3000, 5000 e 5500x
Composição 11D 60 dias	35, 300, 1000 e 3000X
Composição 11D 90 dias	300, 1000, 3000, 4000, 8000 e 8500x

As micrografias obtidas e mais representativas nas ampliações citadas na TABELA 15 são fornecidas na seqüência para cada uma das amostras analisadas:

4.5.1 Resíduos de Concreto Seco

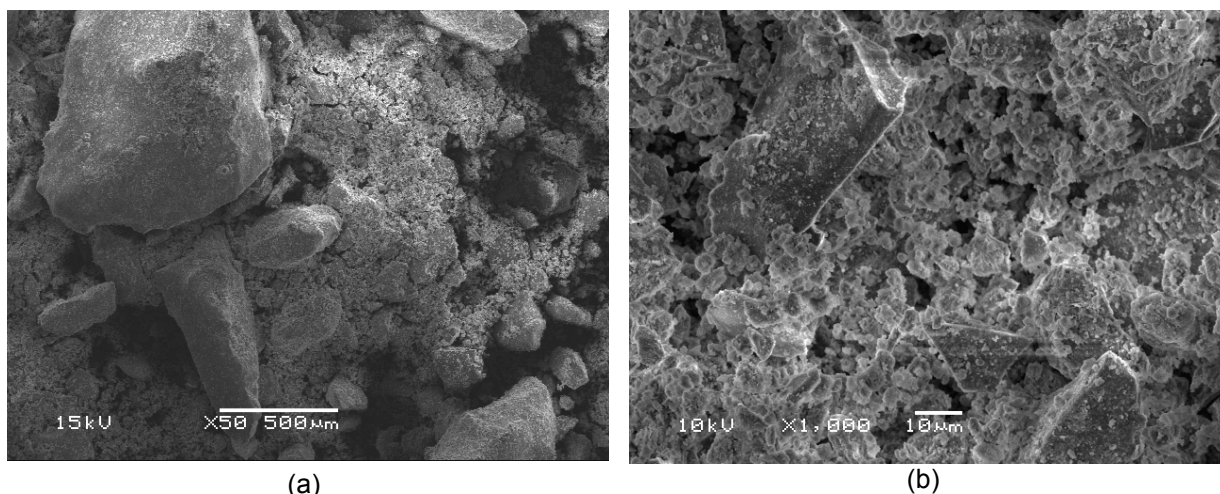


FIGURA 26 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CONCRETO SECO 50X (a) e 1.000x (b).

Pode-se notar que na FIGURA 26 na ampliação 50x(a), tem-se uma amostra de grande diferença na sua granulometria, os grãos maiores podem ser agregados

grãos e os menores de agregado miúdo (areia e brita moídos). Com a presença do produto de hidratação do cimento, os 3 componentes do concreto são visíveis.

Na ampliação 1.000x, nas FIGURA 26 (b) e FIGURA 27 (a) pode-se ver a estrutura do concreto, com grãos de agregados miúdos (areia) e grãos (brita) de maior tamanho. Toda a estrutura é ligada pelo produto de hidratação do cimento Portland. Nestas fotos não estão visíveis formas cristalinas na superfície fotografada e sim amorfas. Estas formas estão mais visíveis na FIGURA 27 (a) e (b).

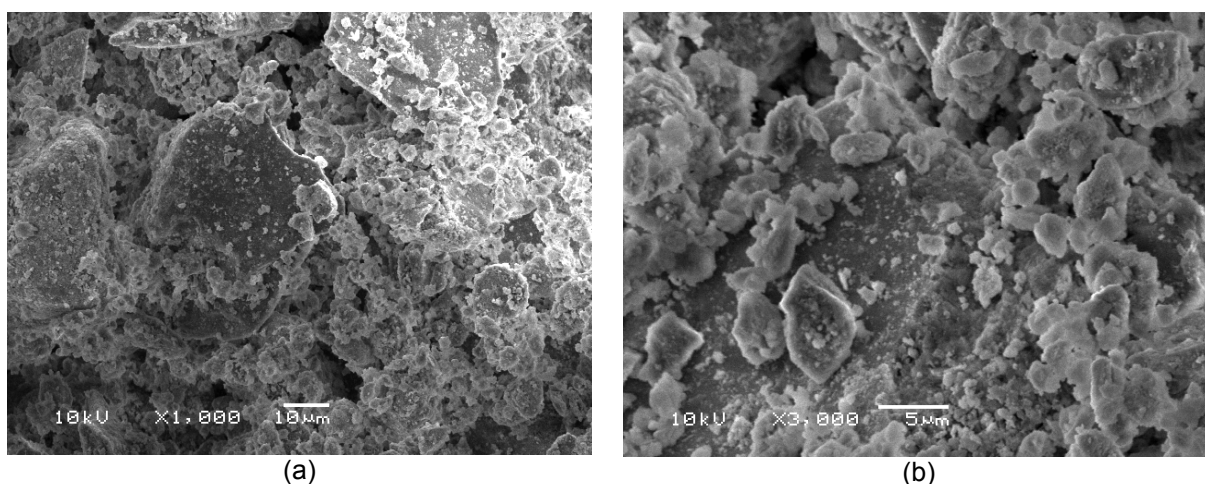


FIGURA 27—MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CONCRETO SECO 1.000X(a) e 3.000x(b).

Na ampliação 3.000x(b) na FIGURA 27 não é visível na superfície nenhuma forma cristalina. Aparentemente as formações amorfas são as mesmas para todos os tamanhos de grãos.

4.5.2 Resíduos de Produção de Cal Seco

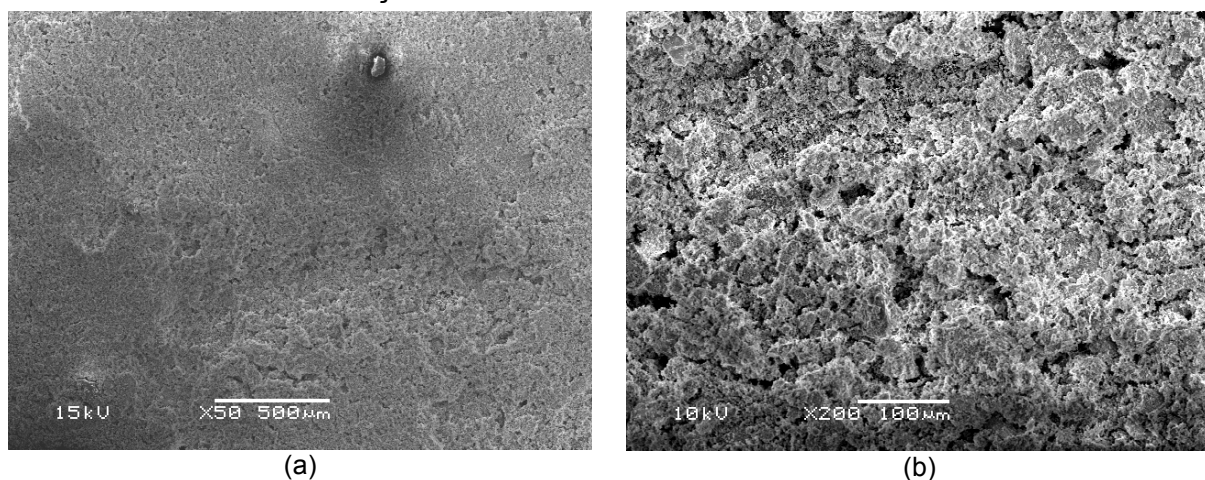


FIGURA 28 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 50x(a) e 200x(b).

Na ampliação 50x(a) na FIGURA 28, pode-se ver que a superfície é bastante lisa, uniforme, sem elevações, com elevada rede de poros irregulares, já na ampliação 200x(b) estes poros são mais visíveis e suas formas irregulares. Partículas não possuem formas cristalinas muito visíveis, com extremidades assimétricas.

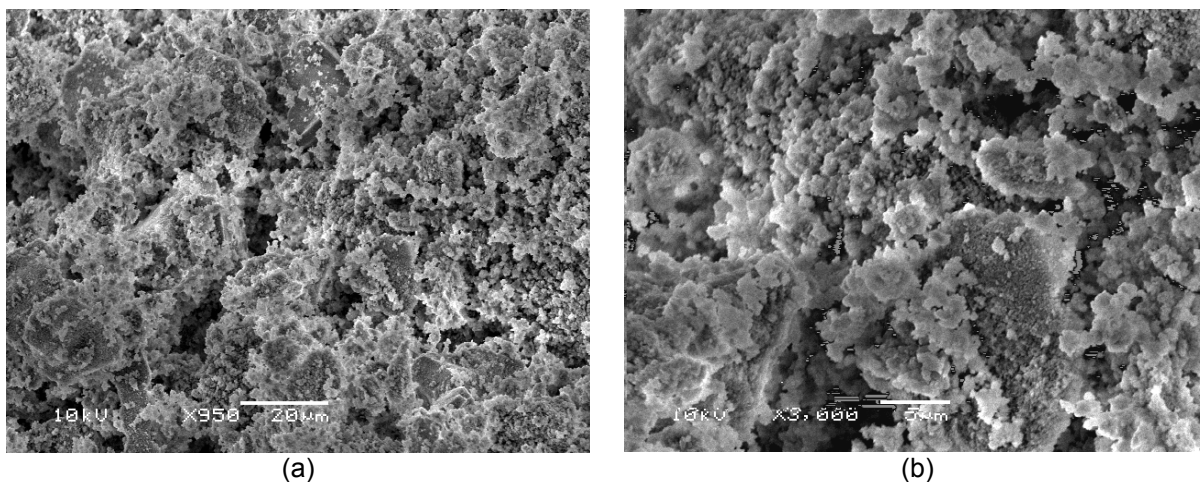


FIGURA 29 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 950x(a) e 3.000x(b).

Estas formas assimétricas são mais visíveis nas ampliações 950x(a), e especialmente, em 3000x(b), na FIGURA 29. Sendo que na ampliação 3.000x (Figuras 29b, 30a e 30b), todas as formações são parecidas com as amorfas.

Provavelmente, por isso nos difratogramas de Raios X da mistura seca não são visíveis picos de carbonatos. Mas não se pode afirmar com certeza a não existência de formas microcristalinas internas a estas formações amorfas. A possível explicação desta idéia é que os resíduos de produção de cal ficando a céu aberto, são hidratados pelas chuvas e umidade do ar, transformando-se em Ca(OH)_2 e pela ação do CO_2 do ar, transformando-se em CaCO_3 . Porém a sensibilidade do método de DRX (mais ou menos 5%) não permite a identificação dos picos destes minerais. Podendo existir muitos mais minerais com estruturas cristalinas (Calcita, Dolomita, Ancerita, etc).

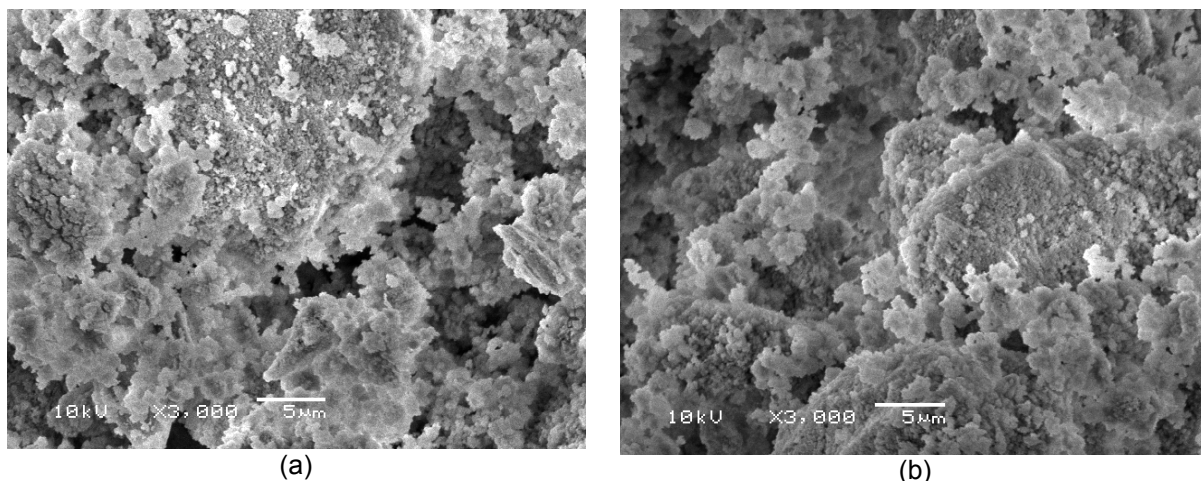


FIGURA 30 – MICROGRAFIAS DO RESÍDUO DE CAL SECO 3.000x (a) e (b).

4.5.3 Composição 11D 3 dias

Na ampliação 50x, FIGURA 31(a), é visível a forma mais compacta, sem grande rede de poros, e tem-se a impressão que esta forma é sólida, sem separações entre diferentes pedaços.

Já na ampliação 1.000x FIGURA 31(b) pode-se ver que existem grandes diferenças entre os agregados, no centro da foto nota-se um agregado de tamanho maior, rodeado por materiais aglomerantes, que durante os ensaios de resistência à compressão irão fraturar na zona matriz (fronteira entre agregado graúdo e pasta de resíduos de concreto e de cal). Nas regiões circuladas não é visível a presença de fraturas. Nas outras regiões existem fraturas, porém existem aglomerações ligando a pasta com o agregado maior.

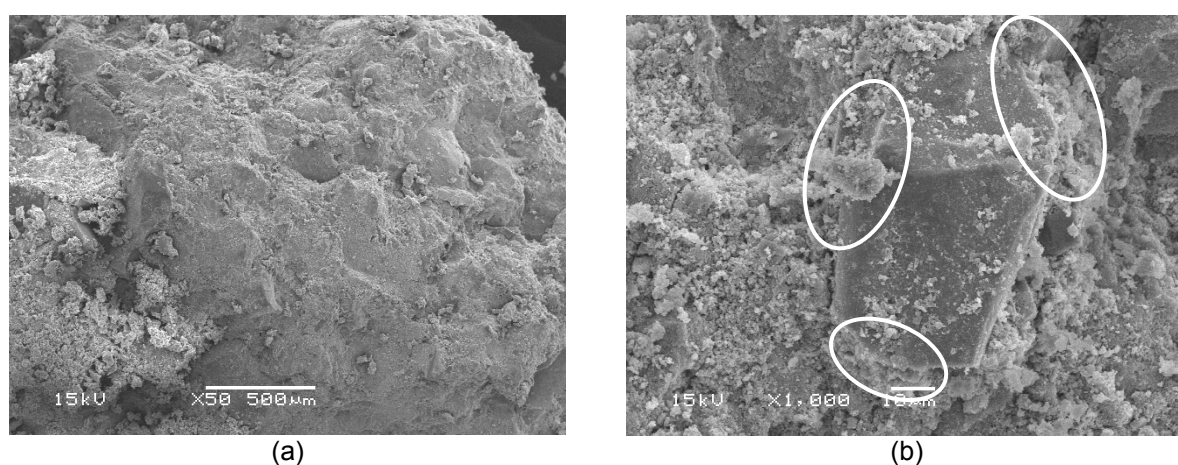


FIGURA 31 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 3 DIAS – 50x (a) e 1.000x (b).

Nas ampliações 3.000x(a) e 5.000x(b), FIGURA 32 as regiões circuladas demonstram o contato das partículas de um grão maior com a pasta de cimento antigo, presente no resíduo de concreto e cal. Significando que quanto maior o contato entre eles maior a resistência do material.

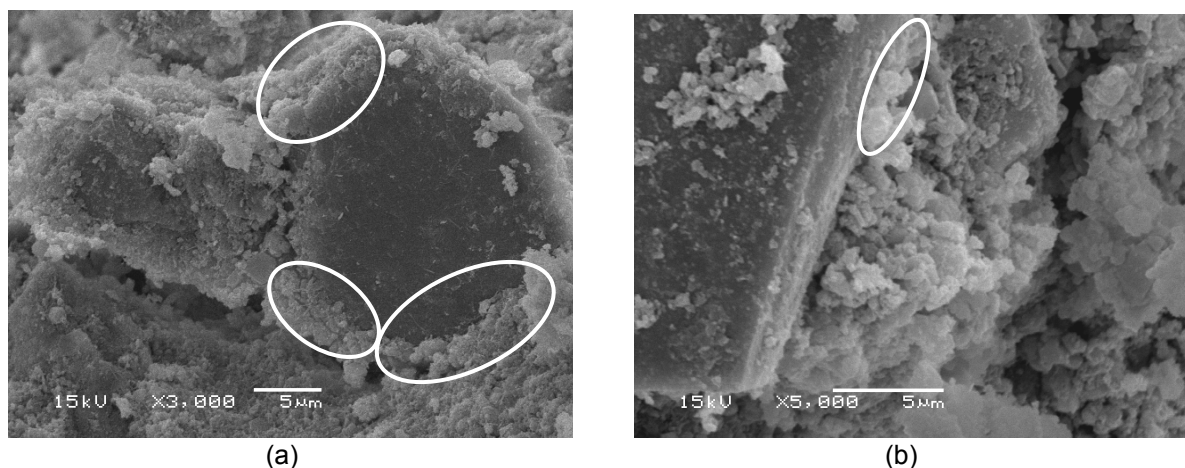


FIGURA 32 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 3 DIAS – 3.000x(a) e 5.000x(b).

4.5.4 Composição 11D 28 dias

Nas ampliações 50x(a) e 200x(b), FIGURA 33 toda a extensão da foto representa um monólito compacto, como concreto, sem grandes poros.

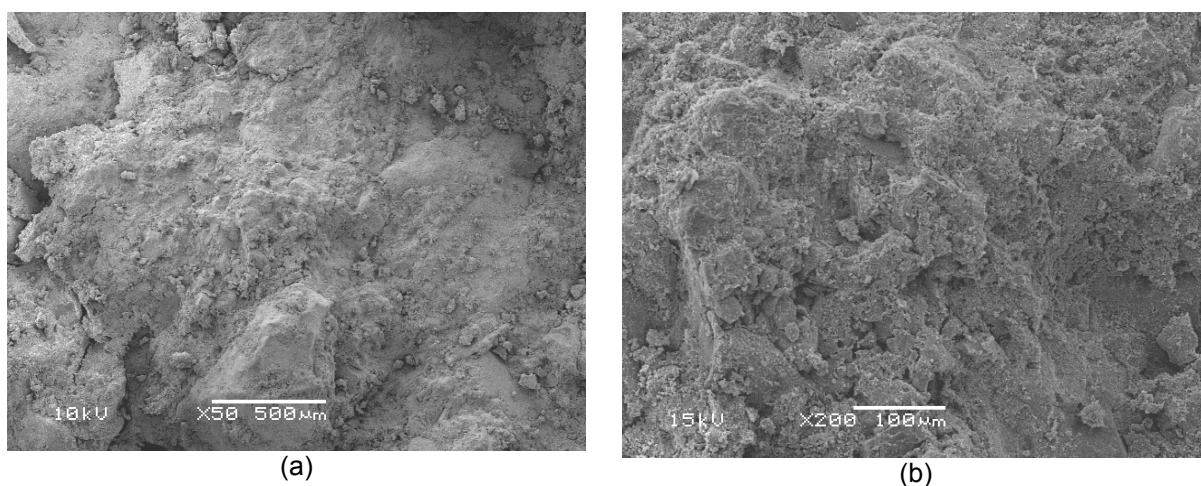


FIGURA 33 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 50x (a) e 200x (b).

Já na FIGURA 34, com ampliações de 1.000x(a) e 3.000x(b), pode-se ver a presença de poros, com diferentes tamanhos e pela primeira vez a presença de cristais com formas parecidas, em forma de drusas (aglomerações) de cristais, muito semelhantes aos carbonatos, que coincidem com os resultados de DRX; onde são fornecidos os teores de carbonatos presentes.

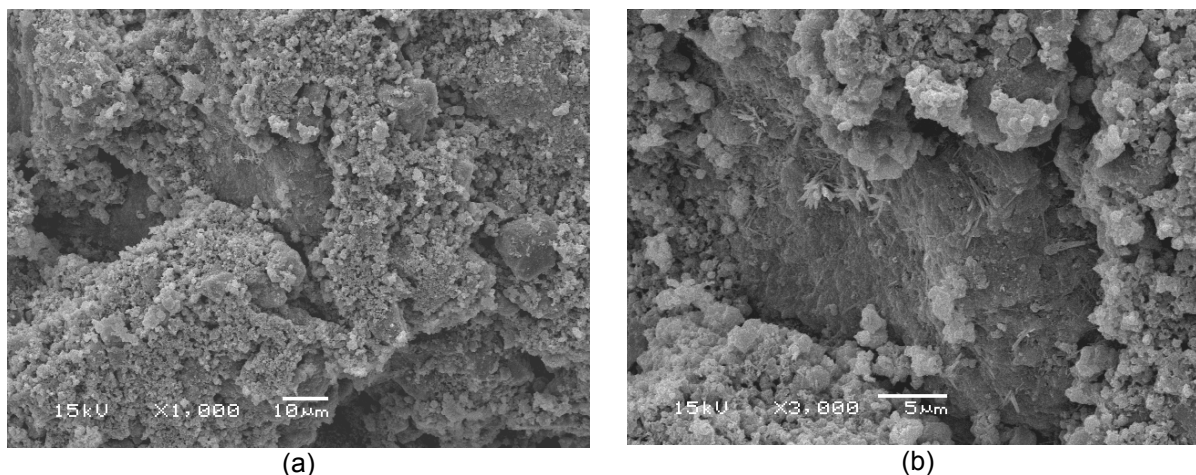


FIGURA 34 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 1.000x(a) e 3.000x(b).

Estas drusas (aglomerações) cristalinas são mais visíveis na ampliação 5.500x, na FIGURA 35(b). Quase todo o restante são formas amorfas, as mais visíveis foram circuladas nas ampliações 5.000x(a) e 5.500x(b) na FIGURA 35.

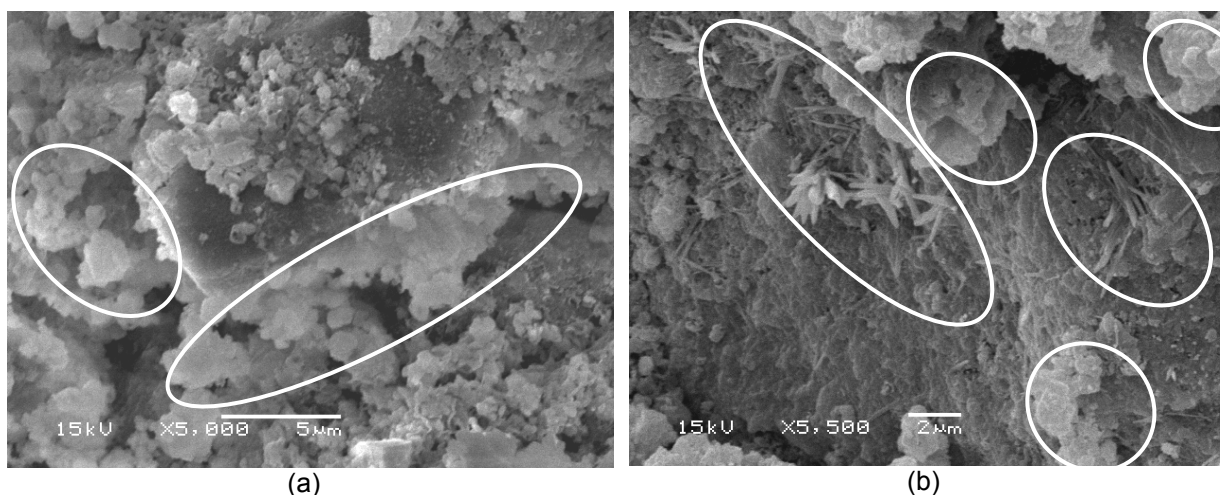


FIGURA 35 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 28 DIAS – 5.000x(a) e 5.500x(b).

4.5.5 Composição 11D 60 dias

Na ampliação 35x(a), na FIGURA 36, observa-se que as amostras estão mais compactas (média das resistências = 24 MPa). Na região circundada na ampliação

35x, provavelmente, tem-se a marca de um pedaço de agregado que foi arrancado, durante a preparação da amostra.

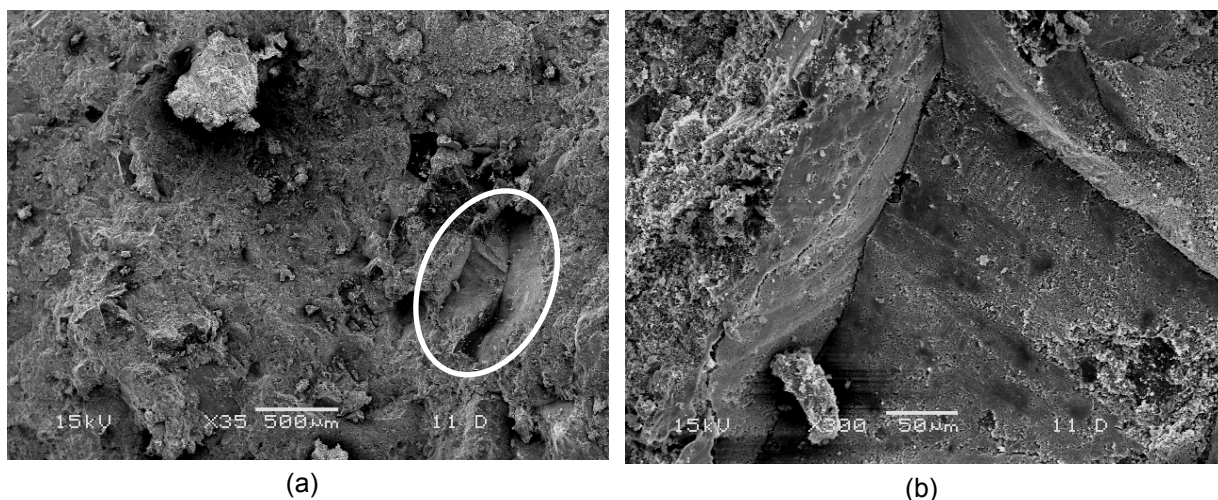


FIGURA 36 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 60 DIAS 35x (a) e 300x (b).

Na ampliação 300x, na FIGURA 36(b) e 1.000x, na FIGURA 37(a) estão visíveis esta marca, pelas paredes inclinadas e profundidade, demonstrando que o material tem maior resistência (média das resistências = 24 MPa).

Na ampliação 1.000x, na FIGURA 37(a) existe a presença de poros de cal hidratada com cimento antigo (resíduos de concreto), que é visível na ampliação 3.000x, na FIGURA 37(b).

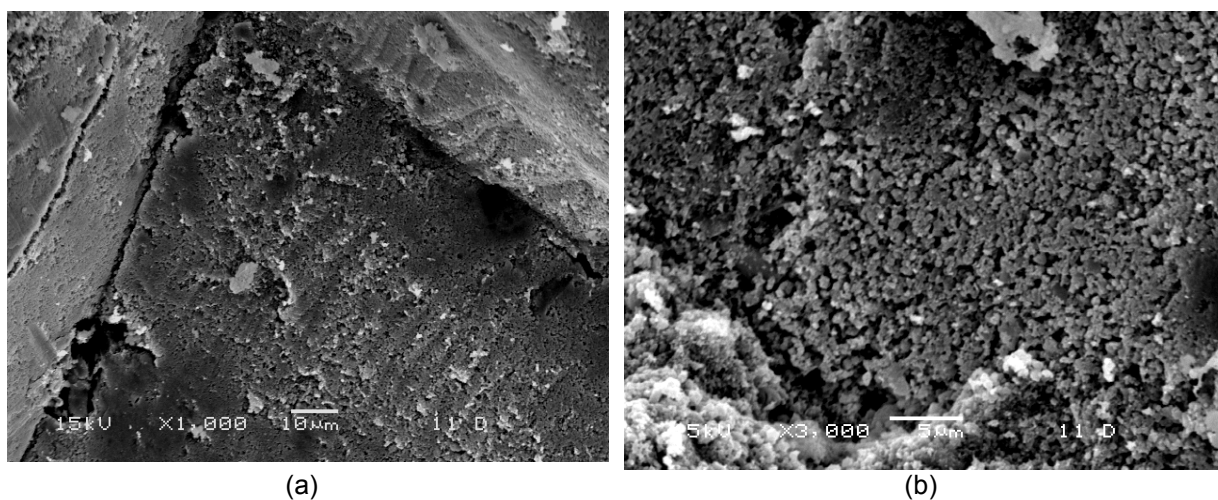


FIGURA 37 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 60 DIAS 1.000x(a) e 3.000x(b).

4.5.6 Composição 11D 90 dias

Na ampliação 300x(a) e 1.000x(b), na FIGURA 38, observa-se que as amostras são muito densas, muito compactas, e praticamente não existem limites entre os agregados.

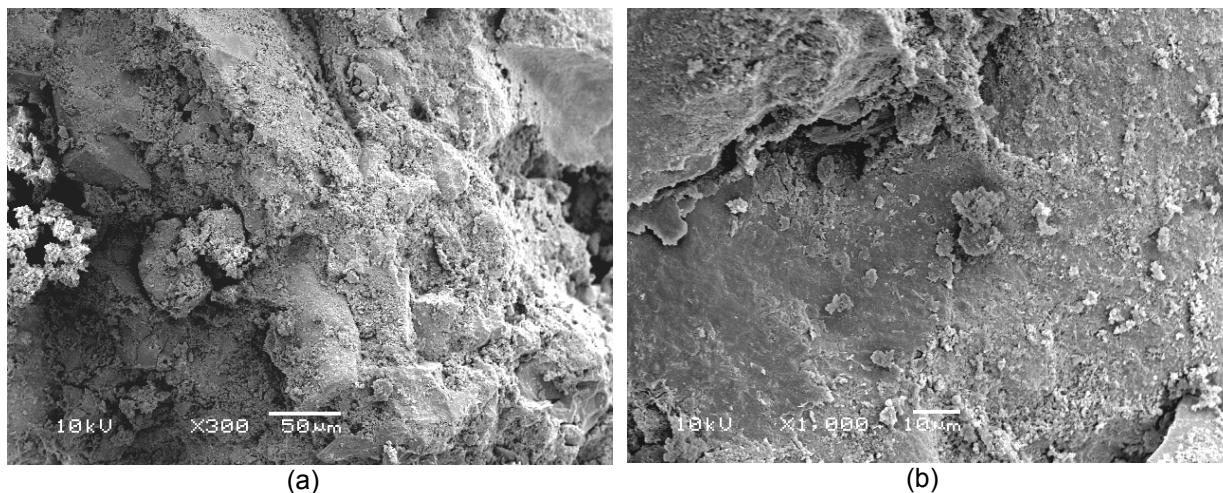


FIGURA 38 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 300x(a) e 1.000X(b).

Comparando-se as ampliações de 3.000x, nas FIGURA 37(b) e FIGURA 39(a), (60 e 90 dias respectivamente) observa-se que a superfície das amostras é muito plana e densa com a impressão de grande dureza, conforme o valor médio dos resultados dos ensaios de resistência à compressão: 24 e 26 MPa, respectivamente.

Na ampliação 4.000x, na FIGURA 39(b) a superfície é semelhante à vítrea, as formações que ficam na superfície também são semelhantes a partículas vítreas.

Pode-se ver também alguns pontos de estruturas cristalinas, conforme circundado na FIGURA 39(b).

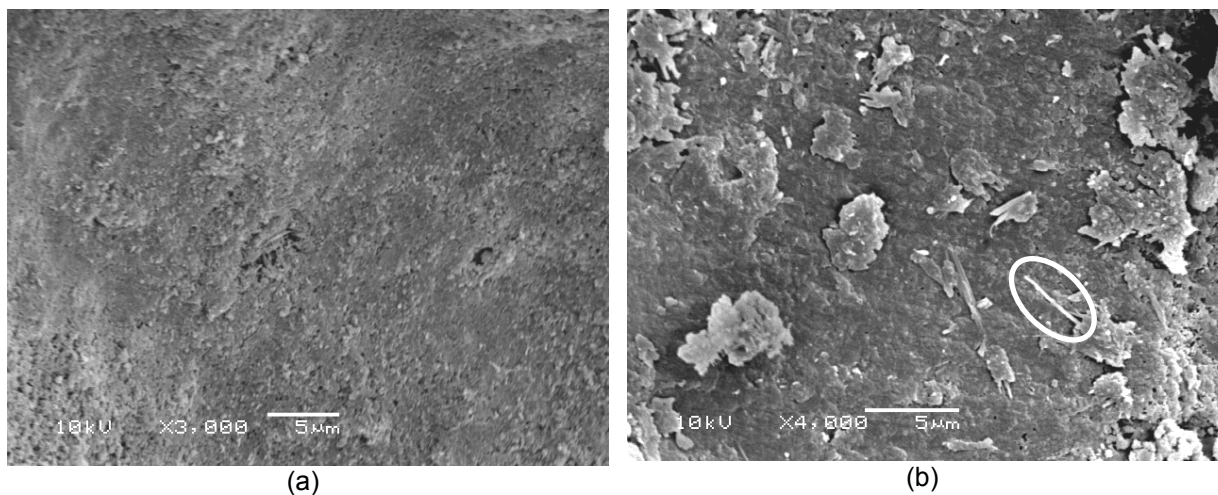


FIGURA 39 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 3.000x(a) e 4.000X(b).

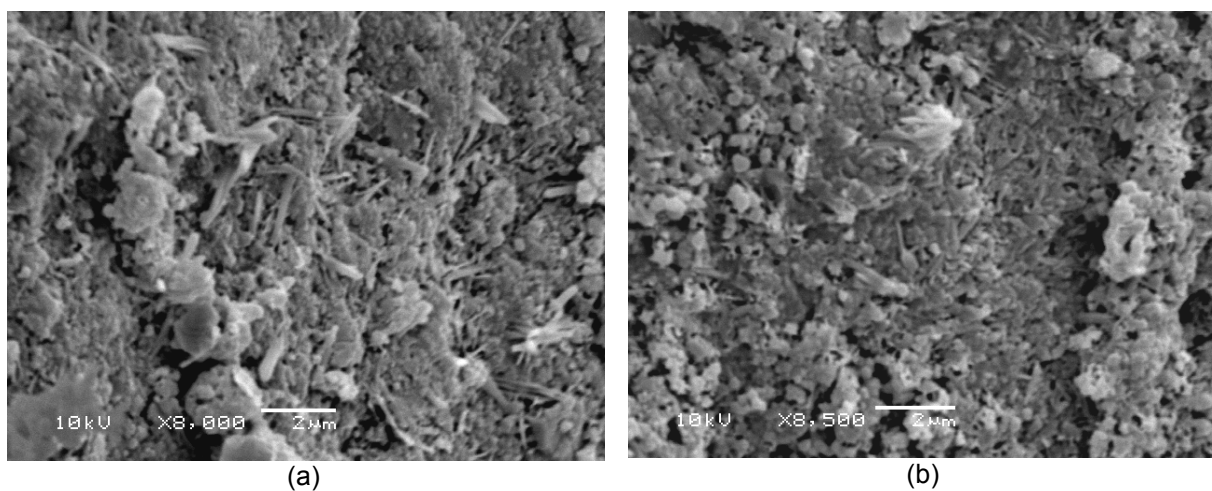


FIGURA 40 – MICROGRAFIAS DA COMPOSIÇÃO 11D 90 DIAS – 8.000x (a) e 8.500X (b).

Nas ampliações 8.000x(a) e 8.500x(b), na FIGURA 40, existem muitos cristais e drusas (aglomerações) de cristais em poucos pontos como representado na FIGURA 40(b).

5 CONCLUSÕES

1. A realização deste trabalho confirma experimentalmente a possibilidade de obtenção de um novo material para construção civil com sua utilização como matéria-prima em diferentes composições de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal.

2. Todas as composições destes resíduos são demonstradas por suas propriedades mecânicas (resistência à compressão simples e absorção de água) suficientes e comparáveis com os critérios das NBR 7173, NBR 9778 e NBR 8953. As melhores propriedades mecânicas foram obtidas com a composição 13D (60% de resíduos de concreto e 40% de resíduos de produção de cal) o valor médio da resistência é de 29 MPa e 10,38% de absorção de água.

Entretanto a composição 11D (70% de resíduos de concreto e 30% de resíduos de produção de cal) apresentou uma média de resistência à compressão de 26 MPa a 90 dias e 12 % de absorção de água.

3. Por meio dos métodos DRX e MEV ficou demonstrado, que em consequência da hidratação das composições iniciais ocorreram os seguintes processos:

- transformação completa da Cal (CaO) e parcialmente de Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em forma de diferentes carbonatos, como Calcita CaCO_3 , Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ e Ancerita $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$. Porém, a síntese de carbonatos é em pequena quantidade, pois a diferença de crescimento da intensidade dos picos de Calcita entre as composições seca e a hidratada durante 90 dias flutua nos limites de 0,98% até 1,09%. Foi impossível avaliar quantitativamente o crescimento da Dolomita e Ancerita por causa da coincidência de seus picos com os picos de outros minerais. Porém, tão pequeno crescimento de cristais de carbonatos não pode explicar o aumento da resistência dos materiais durante 90 dias até 29 MPa da composição 13D;

- também o crescimento de formas cristalinas de Tobermorita $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$, Afwillita $\text{Ca}_3(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de Silicato de Cálcio Hidratado (CSH) $\text{CaO SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$;

- o crescimento de novas formações amorfas, as quais foram impossíveis de se detectar com o método de DRX, que podem ser visualizadas nas imagens de microscopia eletrônica de varredura, especialmente, nas maiores ampliações (3.000, 5.000 e 8.000x).

A síntese destes três grupos de novas formações pode explicar o crescimento de resistência das amostras das composições de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal.

4. A maior importância para a utilização dos resultados obtidos neste projeto pode ser para o meio ambiente, tendo em vista os elevados números de geração destes resíduos anteriormente citados e a real possibilidade de reduzir significativamente os depósitos de resíduos de produção de cal atualmente existentes.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Realizar os ensaios de Resistência à Tração nos corpos-de-prova;
- 2) Trabalhar com um maior número de corpos-de-prova para conferir maior confiabilidade nos resultados;
- 3) Testar novas composições, com outros tipos de RCD;
- 4) Realização de outros ensaios para caracterização da matéria-prima quando esta for de origem desconhecida como, por exemplo: massa específica real, área específica, determinação da atividade pozolânica, etc.
- 5) Ensaio de alteração na expansão-contração dos corpos-de-prova;
- 6) Fazer Análise Química Elementar com EDS na Microscopia Eletrônica de Varredura nas amostras ensaiadas;
- 7) Realizar a Análise Térmica Diferencial (ATD) para a composição ótima;
- 8) Estudo da viabilidade econômica.
- 9) Levantamento da eficiência econômica do material.

GLOSSÁRIO

- 1) Agregados Reciclados – é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construções que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura ou outras obras de engenharia. (PIGRCC, 2004)
- 2) Área de Destinação de Resíduos – são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos. (PIGRCC, 2004)
- 3) Área de Transbordo – são áreas destinadas ao armazenamento temporário de resíduos da construção civil. (PIGRCC, 2004)
- 4) Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.
- 5) Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.
- 6) Bota-fora – áreas públicas ou privadas para disposição de resíduos predominantemente inertes que absorvem principalmente os resíduos da construção e demolição.
- 7) Classificação dos resíduos: Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, segundo a Resolução 307 de 5 de julho de 2002, da seguinte forma:
I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.
- 8) Entulho – a parcela mineral proveniente dos resíduos provenientes das atividades de construção e demolição. (LEVY, 1997). Esta definição não considera atividades envolvidas em obras de arte, como construções de estradas. (HONG KONG POLYTECHNIC, 1993)
- 9) Geradores – são pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos da construção. (PIGRCC, 2004)
- 10) Gerenciamento de Resíduos – é o sistema de gestão que visa reduzir ou reciclar resíduo, incluindo planejamento, responsabilidade, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos. (PIGRCC, 2004)
- 11) Reciclagem – é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. (PIGRCC, 2004)

12) Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo. (PIGRCC, 2004).

13) Resíduos da Construção e Demolição (RCD) – são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (PIGRCC, 2004)

REFERÊNCIAS

- [1] ALTHEMAN, D. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Confeccionado com Entulho de Construção Civil**. Relatório Final das Atividades de Iniciação Científica, apresentado a FAPESP, agosto de 2002. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Faculdade de Engenharia Civil – FEC. Departamento da Construção Civil.
- [2] ÂNGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos reciclados de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [3] BODI, J. **Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação**. In: **Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental**, 1997, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1997. 76 p. p. 56-59.
- [4] CALLISTER Jr, W. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**, 5ª. Ed. Editora LTC, 2002.
- [5] CAMPINAS, Secretaria de Serviços Públicos / Secretaria da Administração. **Campinas: a gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Campinas, 1996. 224p. ISBN 85-86223-01-8.
- [6] CINCOTTO, A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. A Construção, São Paulo: PINI, n 1855, p. 27-30, ago, 1983.
- [7] Organizado por: CASSA, J. C. S., CARNEIRO, A. P. e BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção**. Salvador, Editora da UFBA, Caixa Econômica, 2001.
- [8] CONCRETE. **Concrete re-cycled. Crushed concrete as aggregate**. London, v. 27, n. 3, p. 9-13, may/ jun. 1993.
- [9] GAVILAN, R.M.; BERNOLD, L.E. **Source evaluation of Solid Waste in Building Construction**. *Journal of Construction Engineering and Management*. P. 536-552, dez., 1994.
- [10] GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2ª. Ed. – São Paulo: Pini, 2002.
- [11] HANSEN, T. C.; NARUD, H. **Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate**. *Concrete International*. Design and construction, v. 5, n.7, p.79-83, 1983.
- [12] HANSEN, T. C.; BOEGH, E. **Elasticity and shrinkage of recycled-aggregate concrete**. *ACI Journal*, v.82, n.56p. 648-652, 1985.

- [13] HANSEN, T. C. **Recycled concrete aggregate and fly ash produce concrete without strength cement**. Cement and Concrete Research, v. 20, n.3, p. 355-356, 1990.
- [14] HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: Spon, 1992.
- [15] CHEN, H.J.; YEN, T.; LIA, T.P., HUANG, Y.L. **Determination of dividing strength and its relation to the concrete strength in lightweight aggregate concrete**. Department of Civil Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung 40227, Taiwan. Elsevier, Cement and Concrete Composites.
- [16] HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.
- [17] JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Universidade de São Paulo, 2000, 102p.
- [18] JOHN, V. M; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos na construção**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP (PCC USP), 2001.
- [19] JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas**. 2000.
- [20] LAGUETTE, M. J. **Reciclaje: la clave para la conservación de recursos**. CONSTRUCTION PAN-AMERICANA, julho 1995.
- [21] LEVY, S. M.; HELENE, P.R.L. **Reciclagem de Entulhos na Construção Civil a Solução Política e Ecologicamente Correta**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1º Goiânia, Brasil. Agosto 1995 Anais. Goiânia, Pp 315-325.
- [22] LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil**. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 138-148.
- [23] LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. 1997, 146 p.
- [24] LIMA, J. A. R. **Proposição de diretores e elaboração de textos básicos para normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**, 1999. 240p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidades de São Paulo, São Carlos, 1999.

- [25] LIMA, J.A.R. **Aggregate obtained from C&D waste recycling – Proposition of specification for use in concrete**. 2000. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice, São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.
- [26] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Estrutura, Propriedades e Materiais**. PINI. São Paulo, 1994.
- [27] MIRANDA, L.F.R **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, 2000. 155p.Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [28] MYMRIN, V.A., **Synthesis of five main mono-minerals of Portland Cement**. Report of the Research Department of Geology Faculty, Moscow State University of Lomonosow (MGU), 7.1967 - 12.1968.
- [29] MYMRIN, V.A., **Influencia do tratamento de água em campo magnético para hidratação de monos-minerais de cimento Portland**. Relatório do Projeto da Universidade Federal de Moscou (MGU), 7.1968 -12.1969.
- [30] NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Tradução Salvador E. Giamusso. 2ª. edição. São Paulo: PINI, 1997.
- [31] OFFERMANN, E.H. **O futuro da reciclagem de entulho de construção** (Tradução). Hochschuljournal Essen, n. 52, 1987.
- [32] PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 12ª. edição. Editora Globo, 1993.
- [33] PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 2ª. edição. Editora Globo, 1976.
- [34] PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Universidade de São Paulo, 1999, 189p.
- [35] PINTO, T.P. **Reaproveitamento de resíduos de construção**. Revista Projeto, n.98, p. 137-138, 1987.
- [36] REBELO, A. M. A.; GUIMARÃES, S. B.; NETO, J. M. R. **A Exploração Mineral e o Desenvolvimento Paranaense: O Setor de Calcário na Região Metropolitana de Curitiba**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 53, p. 13-26, 2003. Editora UFPR.
- [37] RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, DE 05 DE JULHO DE 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Publicada no DOU de 17 de julho de 2002
- [38] SALES, A.; CORDEIRO, J. S.; SOUZA, F. R. **Estudo da resistência à compressão e da absorção de água em concretos produzidos com a adição conjunta de resíduos de construção e demolição e lodos de estações de**

tratamento de água. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 31-40, abr./jun. 2004.

[39] SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, F. **Recycling of masonry rubble: recycling of demolished concrete and masonry.** Editado por T. C. Hansen. Londres: Spon, 1992. Part 2.

[40] SENDEL, S., TOPÇU, I.B. **Properties of concrete produced with waste concrete aggregate.** Civil Engineering Department, Osmangazi University, Turkey, 2003.

[41] SILVA, C.R. **Cais Aditivadas com Pozolanas e Cimento Portland,** Dissertação de Mestrado, CCT/DEQ/UFPB, Campina Grande-PB, 1992.

[42] SOUSA, J.G. G. de. **Contribuição ao Estudo da Relação entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto – Aplicação ao Uso de Entulho como Agregado Reciclado.** Brasília: Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. 2001. 142p.

[43] ZANOTTO, E.D., MIGLIORE, A. R. Jr., **Propriedades Mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução**”. Cerâmica, v.37, n.247, p.07-16, 1991.

[44] ZORDAN, S. E. **Reciclagem de Entulho da Indústria da Construção Civil.** Revisão do trabalho: A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto, 1997.

[45] ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil.** Ficha Técnica. PCC/USP, 1998.

[46] ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto.** Campinas: Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.

[47] V SBTA – **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas,** São Paulo, 2003. Anais. Coordenação. M.A. Cincotto, V.M.John.

[48] VALVERDE, F.M. **Agregados para Construção Civil.** Balanço Mineral Brasileiro DNPM/MME. Brasília, DF, 2001.

[49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738.** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.

[50] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739.** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

[51] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453.** Cal virgem para construção civil – Requisitos.

[52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7173**. Concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência.

[53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural.

[54] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica.

[55] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**. Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da retração de água.

[56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.

[57] PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Curitiba – Regulamento**. Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Curitiba, novembro de 2004.

[58] UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Curso de Engenharia Civil **Gerenciamento de Resíduos Sólidos - MERCADO DA RECICLAGEM** (Trabalho 2). 2001.

[59] (<http://www.votorantim-cimentos.com/produtos/cal.shtml>)

APÊNDICE 1
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

TABELA A 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Resistência à Compressão nas Idades	Composição						
	5D	7D	9D	10D	11D	12D	13D
3 dias	7,809	10,021	6,468	9,987	13,970	14,073	7,157
	7,202	9,927	9,626	7,627	12,215	12,641	18,238
	7,902	7,916	8,147	11,363	12,311	14,206	18,680
	6,293	8,274	9,659	10,790	12,919	14,554	14,963
	7,100	9,060	9,784	10,894	11,033	13,378	18,457
	7,296	8,139	9,631	10,151	11,543	14,215	13,240
7 dias	10,721	11,710	11,401	14,463	13,399	17,660	11,292
	7,645	9,220	10,383	11,979	15,321	15,953	20,670
	9,026	10,637	8,573	9,533	13,081	16,199	16,036
	7,369	8,906	7,142	10,759	13,885	13,747	17,408
	10,211	6,896	10,268	11,566	10,923	16,885	12,566
	9,287	7,288	9,876	7,451	11,479	17,432	20,821
14 dias	8,663	12,594	11,216	12,027	15,905	17,102	22,361
	6,117	10,868	12,239	9,886	17,323	14,002	21,432
	8,558	9,881	9,718	10,342	15,794	21,053	18,017
	7,985	10,096	11,078	12,609	14,835	19,756	18,121
	10,195	8,337	11,154	13,113	14,470	18,874	22,153
	9,693	7,869	10,958	11,958	15,945	20,689	20,991
28 dias	12,858	14,611	16,971	15,030	22,199	19,596	22,580
	8,693	13,542	14,423	14,591	19,419	20,225	14,127
	11,144	16,096	14,458	17,669	24,334	25,026	18,376
	12,580	15,694	13,759	18,612	22,354	23,121	21,087
	16,392	14,005	14,987	13,540	19,523	22,896	21,310
	14,617	15,358	13,988	13,431	20,680	21,993	19,518

Resistência à Compressão nas Idades	Composição						
	5D	7D	9D	10D	11D	12D	13D
60 dias	15,524	20,642	21,166	22,421	26,007	24,045	30,164
	14,877	17,316	22,728	15,888	24,086	22,545	29,806
	14,864	16,970	16,553	18,232	23,774	27,974	25,994
	14,790	18,010	16,020	18,581	22,869	31,805	21,943
	16,647	17,930	20,796	19,246	22,691	25,962	19,097
	18,786	18,855	21,054	15,743	25,288	23,823	24,107
90 dias	18,342	18,937	16,175	21,266	26,850	25,550	28,116
	12,634	19,166	22,401	20,106	30,421	30,394	23,904
	16,969	18,183	19,195	19,523	23,900	25,726	30,547
	16,950	16,215	18,122	20,768	26,791	27,796	33,660
	15,929	19,090	20,921	24,542	25,300	28,449	29,765
	18,091	17,034	21,354	20,407	23,184	26,856	27,801

APÊNDICE 2
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

TABELA A 2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

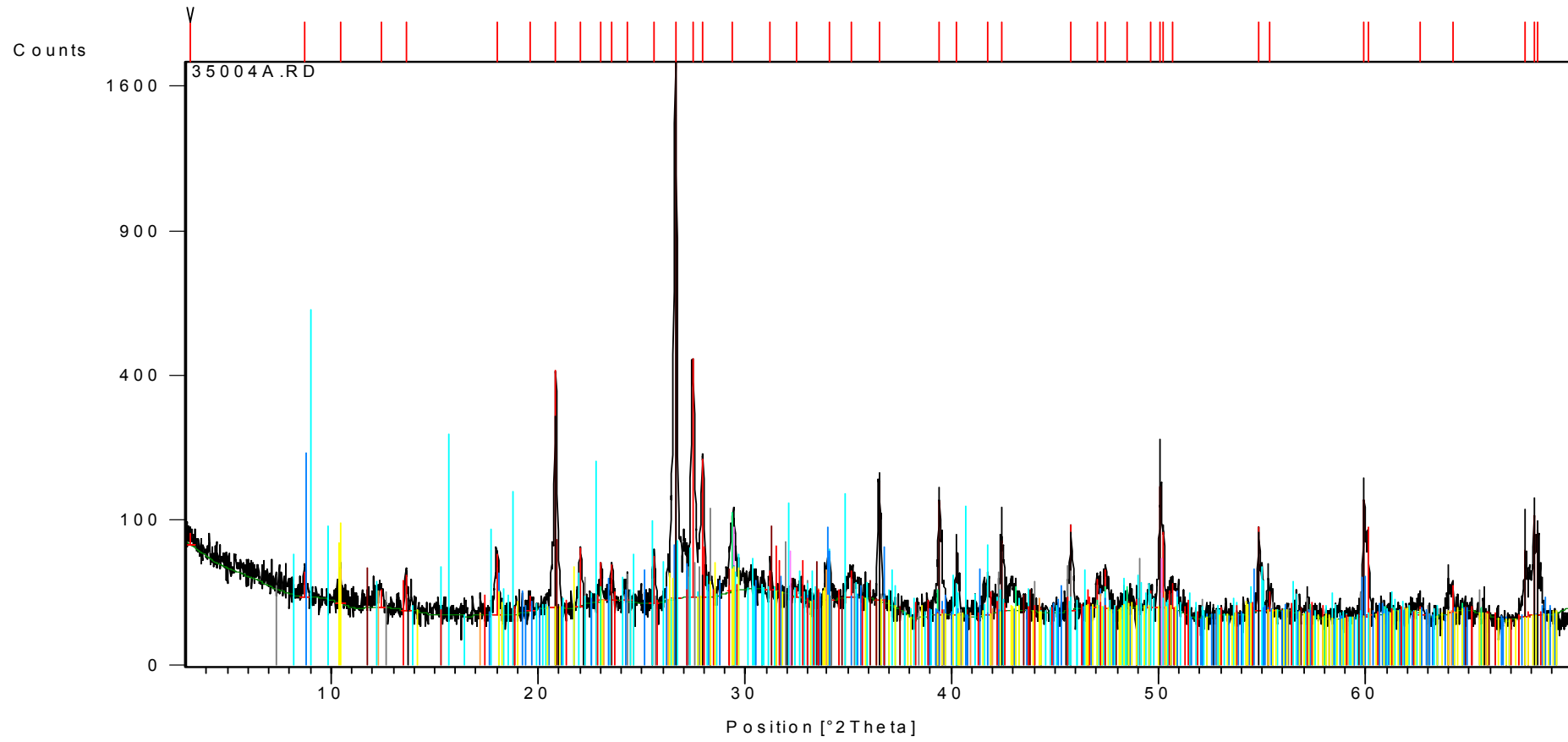
Composição	Absorção (21/02/05 à 21/03/05 = 28 dias)									
	P. inicial seco (antes estufa) - 21/03	24:00 hrs - 22/03	48:00hrs - 23/03	72:00hrs - 24/03	P. úmido (1/3 de água) - 4:00 hrs - 28/03	(2/3 de água) - 8:00 hrs - 28/03	P. absorção total - 24:00 hrs - 29/03	48:00 hrs - 30/03	72:00 hrs - 31/03	Após 5:00 hrs de fervura - 01/04
5D	13,5100	13,3439	13,3406	13,3236	14,8902	14,9381	14,9677	14,9619	14,9677	14,7462
	13,4834	13,2967	13,2919	13,2747	14,8888	14,9161	14,9577	14,9493	14,9577	14,6562
	13,5083	13,3120	13,3077	13,2949	14,8861	14,9112	14,945	14,9547	14,945	13,9329
Média	13,501	13,318	13,313	13,298	14,888	14,9218	14,9568	14,9553	14,9568	14,9568
Desvio Padrão	0,015	0,024	0,025	0,025	0,002	0,0021	0,0143	0,0063	0,0114	0,0114
7D	13,5371	13,3359	13,3369	13,3251	14,8491	14,8688	14,9077	14,9041	14,9077	14,1812
	13,5002	13,2773	13,2828	13,2702	14,7843	14,8069	14,8373	14,8379	14,8373	14,3395
	13,5242	13,3095	13,3126	13,3059	14,8013	14,8161	14,8463	14,8450	14,8463	14,3004
Média	13,5205	13,308	13,311	13,300	14,8116	14,8116	14,8306	14,8638	14,8623	14,8638
Desvio Padrão	0,019	0,029	0,027	0,028	0,0336	0,0336	0,0334	0,0383	0,0363	0,0383
9D	13,5124	13,3060	13,3012	13,3012	14,7577	14,7710	14,7988	14,7998	14,7988	14,3336
	13,5030	13,2652	13,2614	13,2614	14,7720	14,7857	14,8121	14,8190	14,8121	14,3973
	13,5007	13,2820	13,2799	13,2799	14,8077	14,8092	14,8386	14,8413	14,8386	14,1755
Média	13,5054	13,284	13,281	13,281	14,7791	14,7791	14,7886	14,8165	14,8200	14,8165
Desvio Padrão	0,006	0,021	0,020	0,020	0,0258	0,0258	0,0193	0,0203	0,0208	0,0203
10D	13,5536	13,3519	13,3509	13,3509	14,8505	14,8663	14,8966	14,9032	14,8966	14,4123
	13,4740	13,2464	13,2472	13,2472	14,7267	14,7420	14,7659	14,7794	14,7659	14,3154
	13,4854	13,2745	13,2770	13,2770	14,7615	14,7721	14,8009	14,8084	14,8009	14,2398
Média	13,5043	13,291	13,292	13,292	14,7796	14,7796	14,7935	14,8211	14,8303	14,8211
Desvio Padrão	0,043	0,055	0,053	0,053	0,0638	0,0638	0,0648	0,0677	0,0647	0,0677
11D	13,4772	13,2713	13,2717	13,2717	14,8582	14,8738	14,8984	14,9154	14,8984	14,3904
	13,5704	13,3459	13,3480	13,3480	14,8908	14,9038	14,9326	14,9436	14,9326	14,3827
	13,4724	13,2597	13,2651	13,2651	14,7935	14,8086	14,8420	14,8512	14,8420	14,2252
Média	13,5067	13,292	13,295	13,295	14,8475	14,8475	14,8621	14,8910	14,9034	14,8910
Desvio Padrão	0,055	0,047	0,046	0,046	0,0495	0,0495	0,0487	0,0458	0,0474	0,0458

Composição	Absorção (21/02/05 à 21/03/05 = 28 dias)									
	P. inicial seco (antes estufa) - 21/03	24:00 hrs - 22/03	48:00hrs - 23/03	72:00hrs - 24/03	P. úmido (1/3 de água) - 4:00 hrs - 28/03	(2/3 de água) - 8:00 hrs - 28/03	P. absorção total - 24:00 hrs - 29/03	48:00 hrs - 30/03	72:00 hrs - 31/03	Após 5:00 hrs de fervura - 01/04
12D	13,3785 13,4962 13,1004	13,1769 13,2616 12,8867	13,1813 13,2692 12,8971	13,1813 13,2692 12,8971	14,7723 15,0252 14,5374	14,7822 15,0278 14,5442	14,8199 15,0614 14,5778	14,8332 15,0750 14,5936	14,8199 15,0614 14,5778	14,5068 14,4980 13,9351
Média	13,3250	13,108	13,116	13,116	14,7783	14,7783	14,7847	14,8197	14,8339	14,8197
Desvio Padrão	0,203	0,197	0,194	0,194	0,2440	0,2440	0,2418	0,2418	0,2407	0,2418
13D	13,5412 13,4844 13,0756	13,3512 13,2719 12,8801	13,3574 13,2772 12,8877	13,3638 13,2837 13,8942	15,0369 15,0075 14,5689	15,0467 15,0137 14,5800	15,0843 15,0523 14,6135	15,1007 15,0706 14,6384	15,0843 15,0523 14,6135	14,8872 14,4790 14,0243
Média	13,3671	13,168	13,174	13,514	14,8711	14,8711	14,8801	14,9167	14,9366	14,9167
Desvio Padrão	0,254	0,252	0,251	0,332	0,2621	0,2621	0,2604	0,2631	0,2587	0,2631

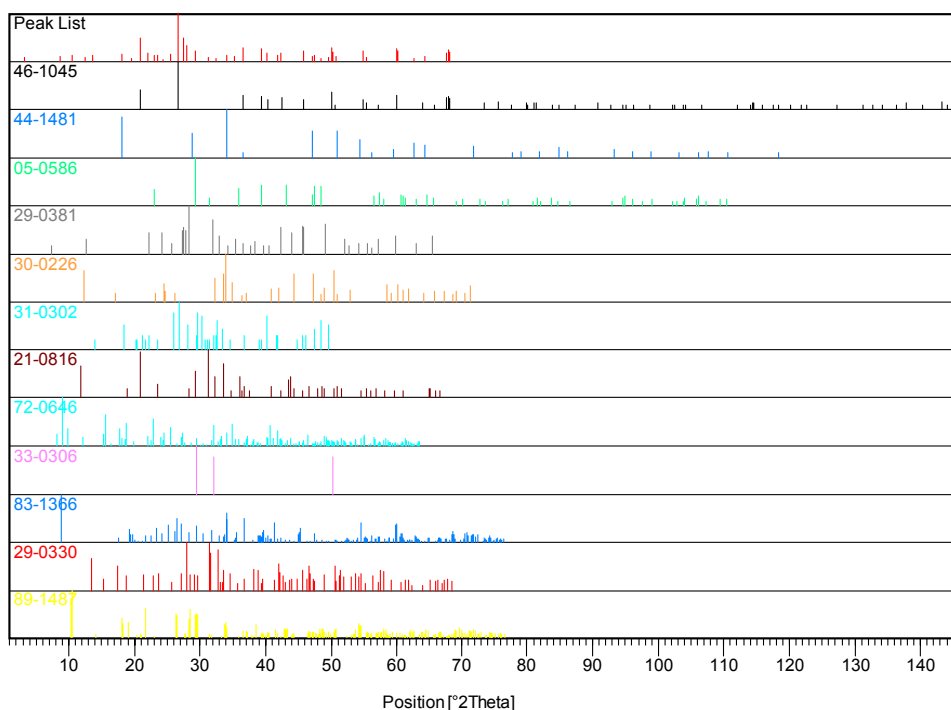
ANEXOS

- ANEXO 1 – Difratoograma de Raio X do Resíduo de Concreto Seco
- ANEXO 2 - Difratoograma de Raio X do Resíduo de Produção de Cal Seco
- ANEXO 3 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D Seca
- ANEXO 4 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 3 dias
- ANEXO 5 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 28 dias
- ANEXO 6 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 90 dias
- ANEXO 7 – Abstract e Aceite do Abstract Enviado para Congresso
- ANEXO 8 – Depósito do Pedido de Patente

ANEXO 1 – Difratoograma de Raio X do Resíduo de Concreto Seco



Plot of Identified Phases



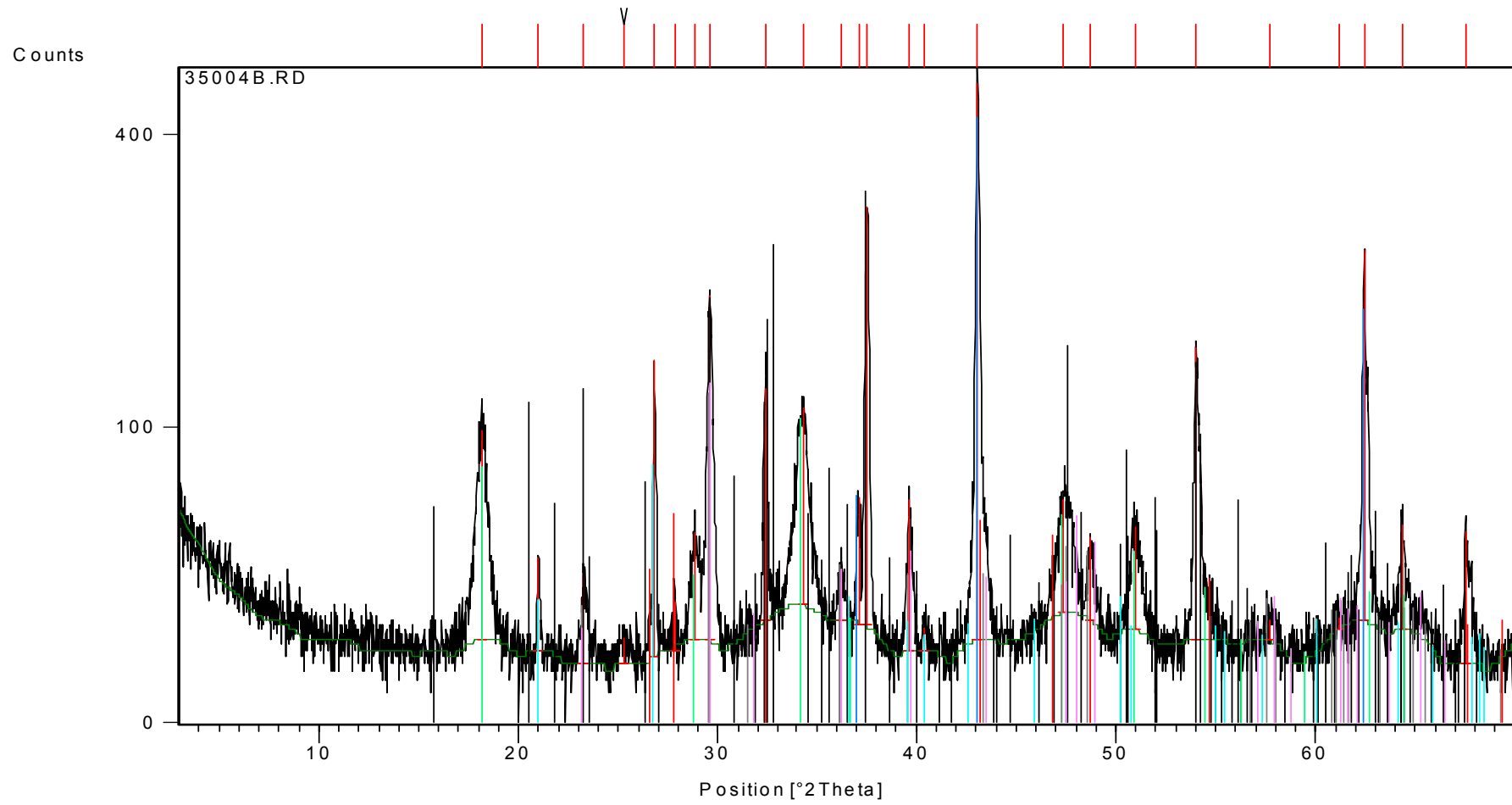
Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	46-1045	72	Quartz, syn	-0,031	0,999	Si O ₂
*	44-1481	22	Portlandite, syn	0,059	0,023	Ca (O H) ₂
*	05-0586	23	Calcite, syn	-0,040	0,049	Ca C O ₃
*	29-0381	9	Calcium Silicate Hydroxide	-0,029	0,054	Ca ₄ Si ₅ O _{13.5} (O H) ₂
*	30-0226	7	Brownmillerite, syn	0,106	0,013	Ca ₂ (Al , Fe +3) ₂ O ₅
*	31-0302	10	Calcium Silicate	-0,070	0,030	Ca ₂ Si O ₄
*	21-0816	7	Gypsum	0,160	0,037	Ca S O ₄ !2 H ₂ O
*	72-0646	4	Ettringite	-0,058	0,334	Ca ₆ (Al (O H) ₆) ₂ (S O ₄) ₃ (H ₂ O) _{25.7}
*	33-0306	22	Calcium Silicate Hydrate	0,107	0,037	Ca _{1.5} Si O _{3.5} !x H ₂ O
*	83-1366	16	Biotite	0,029	0,110	K ₂ (Fe _{2.786} Mg _{2.321} Ti _{0.550}) (Al _{2.413} Si _{5.587} O ₂₀) (O H) ₄
*	29-0330	Unmatched Strong	Afwillite	-0,082	0,025	Ca ₃ (Si O ₃ O H) ₂ !2 H ₂ O
*	89-1487	12	Cordierite	-0,005	0,045	Mg ₂ Si ₅ Al ₄ O ₁₈

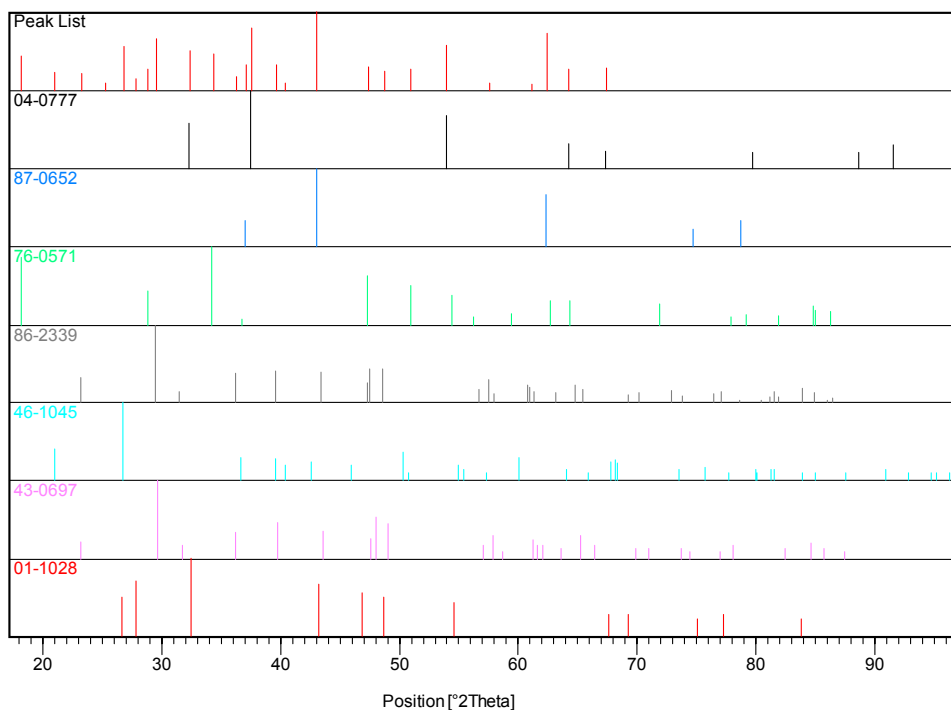
Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
3,1839	13,66	0,3936	27,74996	0,78	0,4000	Pico não considerado
8,7169	19,64	0,1181	10,14448	1,13	0,1200	83-1366
10,4495	26,04	0,0984	8,46599	1,49	0,1000	89-1487
12,4256	11,09	0,4723	7,12370	0,64	0,4800	30-0226
13,6259	24,53	0,0984	6,49875	1,41	0,1000	29-0330
18,0538	45,97	0,1181	4,91362	2,64	0,1200	44-1481; 72-0646; 89-1487
19,6100	8,36	0,1574	4,52705	0,48	0,1600	83-1366
20,8410	400,57	0,0787	4,26236	22,99	0,0800	46-1045; 21-0816; 89-1487
22,0324	49,37	0,0984	4,03449	2,83	0,1000	72-0646
23,0486	30,51	0,0787	3,85886	1,75	0,0800	05-0586; 30-0226; 89-1487
23,5634	27,79	0,1181	3,77570	1,60	0,1200	31-0302; 21-0816; 29-0330
24,3319	2,23	0,1181	3,65817	0,13	0,1200	29-0381; 30-0226; 72-0646; 83-1366
25,5863	38,51	0,1181	3,48160	2,21	0,1200	29-0381; 72-0646; 29-0330
26,6249	1742,21	0,1574	3,34809	100,00	0,1600	46-1045; 31-0302; 83-1366; 89-1487
27,4657	427,44	0,1771	3,24748	24,53	0,1800	29-0381; 72-0646
27,9228	179,48	0,0984	3,19536	10,30	0,1000	29-0381; 29-0330; 89-1487
29,3745	79,30	0,1181	3,04066	4,55	0,1200	05-0586; 31-0302; 21-0816; 72-0646; 33-0306; 83-1366; 29-0330; 89-1487
31,2118	15,02	0,1574	2,86574	0,86	0,1600	05-0586; 31-0302; 21-0816
32,4490	6,23	0,6298	2,75925	0,36	0,6400	31-0302
34,0935	26,04	0,1968	2,62982	1,49	0,2000	44-1481; 29-0381; 30-0226; 72-0646; 83-1366; 89-1487
35,1679	20,53	0,2362	2,55191	1,18	0,2400	83-1366
36,5205	138,27	0,0984	2,46043	7,94	0,1000	46-1045; 44-1481; 29-0381; 30-0226; 21-0816; 89-1487
39,4226	115,70	0,0787	2,28574	6,64	0,0800	46-1045; 05-0586; 31-0302; 72-0646; 83-1366; 29-0330; 89-1487
40,2660	48,25	0,1181	2,23979	2,77	0,1200	46-1045; 29-0381; 31-0302; 72-0646; 83-1366; 89-1487
41,7649	25,01	0,1181	2,16281	1,44	0,1200	31-0302; 72-0646; 83-1366; 29-0330; 89-1487
42,4037	59,29	0,0787	2,13170	3,40	0,0800	46-1045; 29-0381; 21-0816; 72-0646; 83-1366; 29-0330; 89-1487
45,7683	79,69	0,0720	1,98087	4,57	0,0600	46-1045; 29-0381; 31-0302; 21-0816; 72-0646; 29-0330
47,0423	18,63	0,1574	1,93175	1,07	0,1600	44-1481; 05-0586; 30-0226; 72-0646; 29-0330; 89-1487
47,4189	28,33	0,1574	1,91728	1,63	0,1600	05-0586; 31-0302; 72-0646; 83-1366; 29-0330; 89-1487
48,4507	5,66	0,4723	1,87884	0,33	0,4800	05-0586; 30-0226; 31-0302; 21-0816; 72-0646; 83-1366; 89-1487
49,5834	10,13	0,1574	1,83854	0,58	0,1600	31-0302; 72-0646; 83-1366; 89-1487
50,1108	136,04	0,0960	1,81891	7,81	0,0800	46-1045; 72-0646; 33-0306; 89-1487
50,2556	68,00	0,0720	1,81852	3,90	0,0600	
50,6826	16,50	0,2880	1,79972	0,95	0,2400	46-1045; 21-0816; 83-1366; 29-0330; 89-1487
54,8495	76,11	0,0960	1,67244	4,37	0,0800	46-1045; 72-0646
55,3909	11,42	0,1920	1,65737	0,66	0,1600	46-1045; 29-0381; 21-0816; 83-1366; 29-0330; 89-1487
59,9279	118,54	0,0960	1,54228	6,80	0,0800	46-1045; 29-0381; 72-0646; 83-1366; 89-1487
60,1067	78,49	0,0720	1,54194	4,51	0,0600	
62,6374	4,49	0,4800	1,48192	0,26	0,4000	44-1481; 72-0646; 83-1366; 89-1487
64,1918	17,15	0,1440	1,44974	0,98	0,1200	46-1045; 44-1481; 30-0226; 83-1366; 29-0330; 89-1487
67,7153	51,67	0,0960	1,38262	2,97	0,0800	46-1045; 83-1366; 29-0330; 89-1487
68,1115	94,51	0,0960	1,37554	5,42	0,0800	46-1045; 83-1366; 89-1487
68,2926	72,38	0,0960	1,37574	4,15	0,0800	

ANEXO 2 - Difratoograma de Raio X do Resíduo de Produção de Cal Seco



Plot of Identified Phases



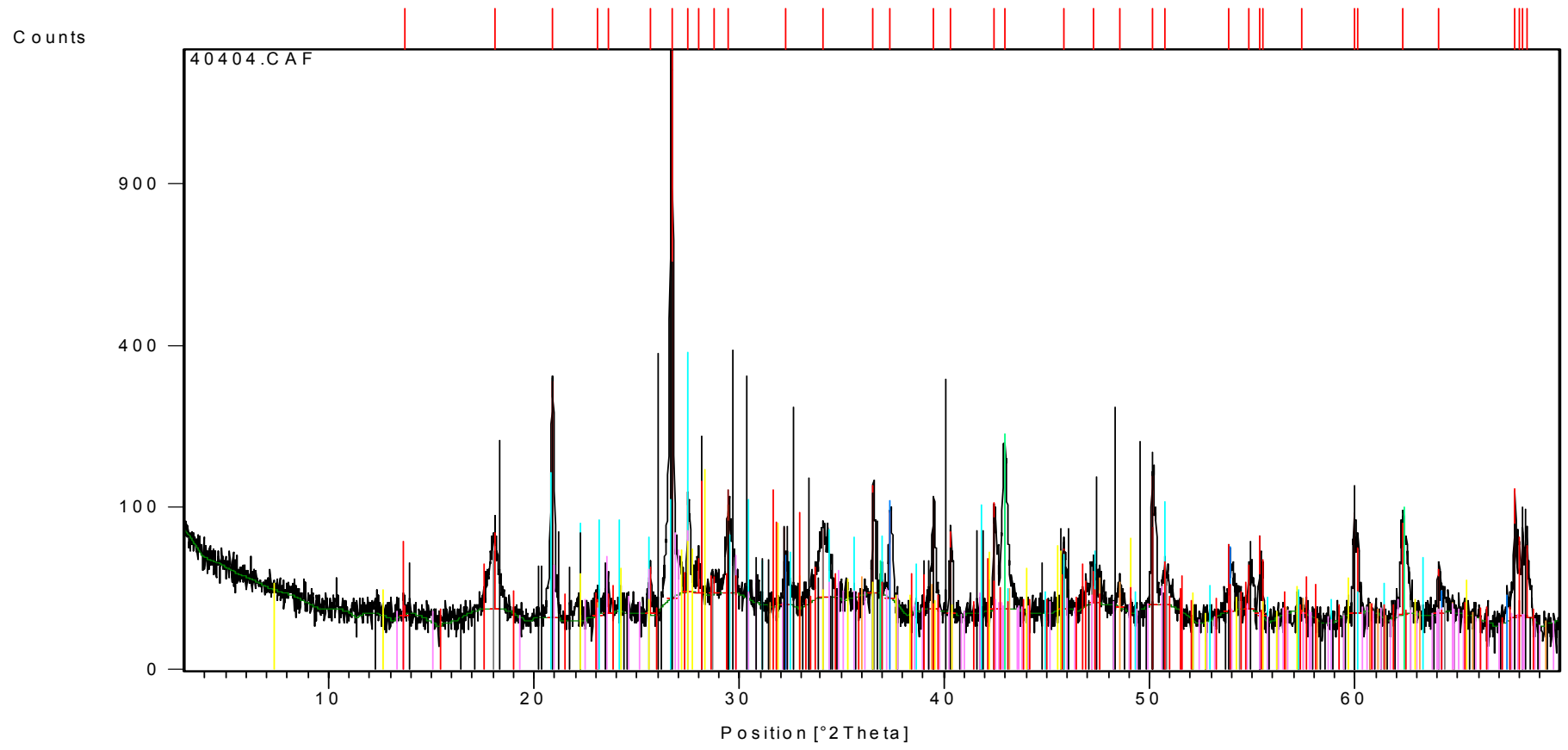
Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	04-0777	64	burnt lime	0,121	0,633	Ca O
*	87-0652	57	Periclase	0,087	0,836	Mg O
*	76-0571	51	Portlandite, syn	0,107	0,182	Ca (O H) ₂
*	86-2339	44	Calcite	0,132	0,237	Ca (C O ₃)
*	46-1045	29	Quartz, syn	0,104	0,143	Si O ₂
*	43-0697	28	Calcite, magnesian	-0,089	0,254	(Ca , Mg) C O ₃
*	01-1028	26	Calcium Carbide	-0,243	0,178	Ca C ₂

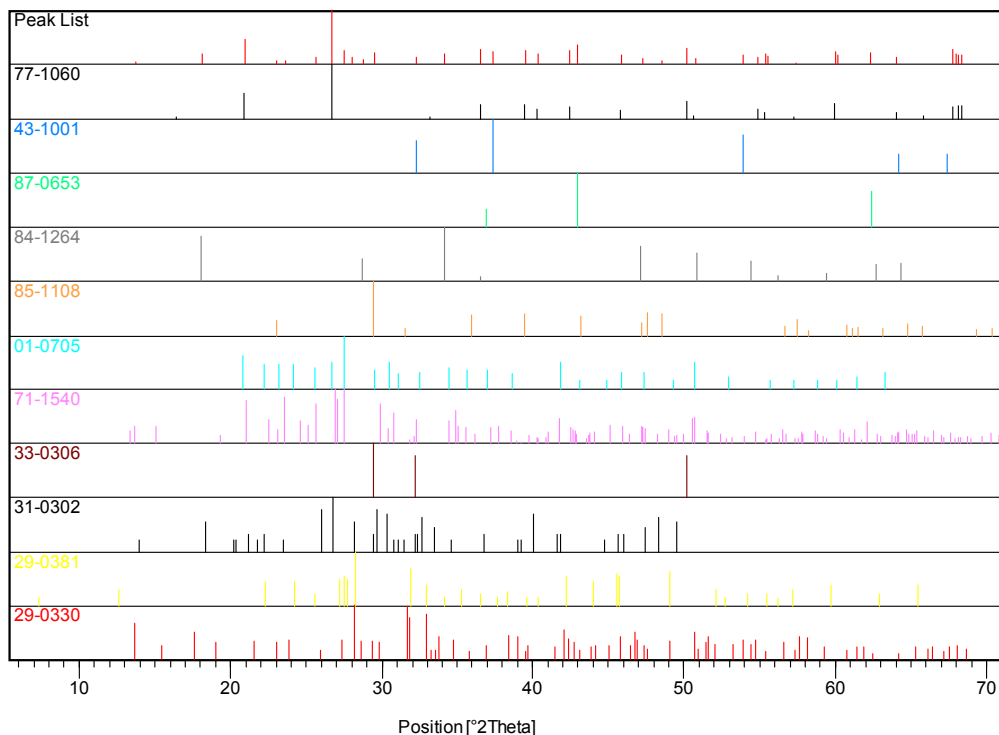
Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
18,2083	90,30	0,1968	4,87226	19,45	0,2000	76-0571
21,0075	25,13	0,1181	4,22896	5,41	0,1200	46-1045
23,2731	20,56	0,1574	3,82215	4,43	0,1600	86-2339; 43-0697
25,2934	4,12	0,7872	3,52125	0,89	0,8000	
26,8184	146,71	0,0984	3,32438	31,60	0,1000	46-1045; 01-1028
27,8450	10,82	0,0787	3,20411	2,33	0,0800	01-1028
28,8087	33,26	0,1574	3,09908	7,16	0,1600	76-0571
29,5634	202,72	0,1181	3,02166	43,66	0,1200	86-2339; 43-0697
32,3916	116,85	0,0787	2,76400	25,17	0,0800	04-0777
34,3278	98,55	0,2755	2,61241	21,23	0,2800	76-0571
36,2677	14,08	0,2362	2,47700	3,03	0,2400	43-0697
37,1191	47,33	0,1574	2,42212	10,19	0,1600	87-0652
37,5093	295,62	0,1378	2,39781	63,67	0,1400	04-0777
39,6594	50,95	0,1574	2,27264	10,97	0,1600	86-2339; 46-1045; 43-0697
40,3773	4,23	0,2362	2,23388	0,91	0,2400	46-1045
43,0487	464,28	0,1771	2,10124	100,00	0,1800	87-0652; 86-2339
47,3580	42,90	0,4723	1,91961	9,24	0,4800	76-0571; 86-2339
48,7327	27,30	0,1968	1,86862	5,88	0,2000	01-1028
50,9573	33,71	0,4723	1,79215	7,26	0,4800	76-0571
53,9978	154,57	0,0984	1,69820	33,29	0,1000	04-0777
57,6743	4,07	0,3936	1,59839	0,88	0,4000	86-2339
61,1972	2,46	0,4723	1,51455	0,53	0,4800	86-2339; 43-0697
62,4469	245,84	0,1574	1,48721	52,95	0,1600	87-0652; 76-0571
64,3287	35,12	0,1181	1,44818	7,56	0,1200	04-0777; 76-0571
67,4993	38,12	0,0960	1,38651	8,21	0,0800	04-0777; 46-1045

ANEXO 3 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D Seca



Plot of Identified Phases



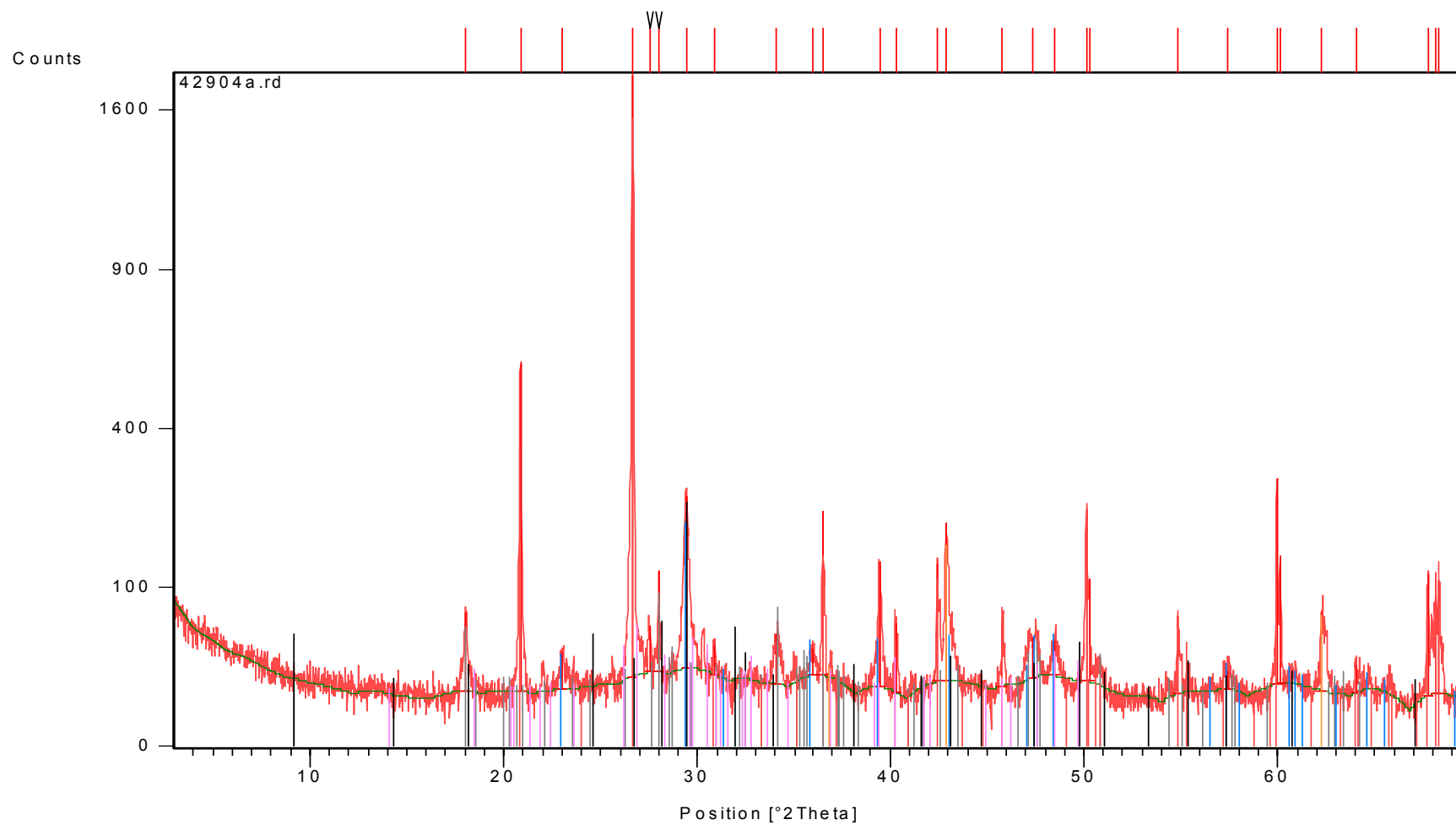
Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	77-1060	74	Silicon Oxide	0,040	0,994	Si O ₂
*	43-1001	48	Lime, syn	0,033	0,061	Ca O
*	87-0653	47	Periclase	-0,097	0,134	Mg O
*	84-1264	38	Calcium Hydroxide	-0,035	0,037	Ca (O H) ₂
*	85-1108	30	Calcium Carbonate	-0,037	0,055	Ca C O ₃
*	01-0705	22	Microcline	0,069	0,246	K Al Si ₃ O ₈
*	71-1540	18	Orthoclase	-0,033	0,034	K Si ₃ Al O ₈
*	33-0306	34	Calcium Silicate Hydrate	0,098	0,068	Ca _{1.5} Si O _{3.5} !x H ₂ O
*	31-0302	9	Calcium Silicate	-0,085	0,418	Ca ₂ Si O ₄
*	29-0381	4	Calcium Silicate Hydroxide	-0,069	0,089	Ca ₄ Si ₅ O _{13.5} (O H) ₂
*	29-0330	Unmatched Strong	Afwillite	0,090	0,077	Ca ₃ (Si O ₃ O H) ₂ !2 H ₂ O

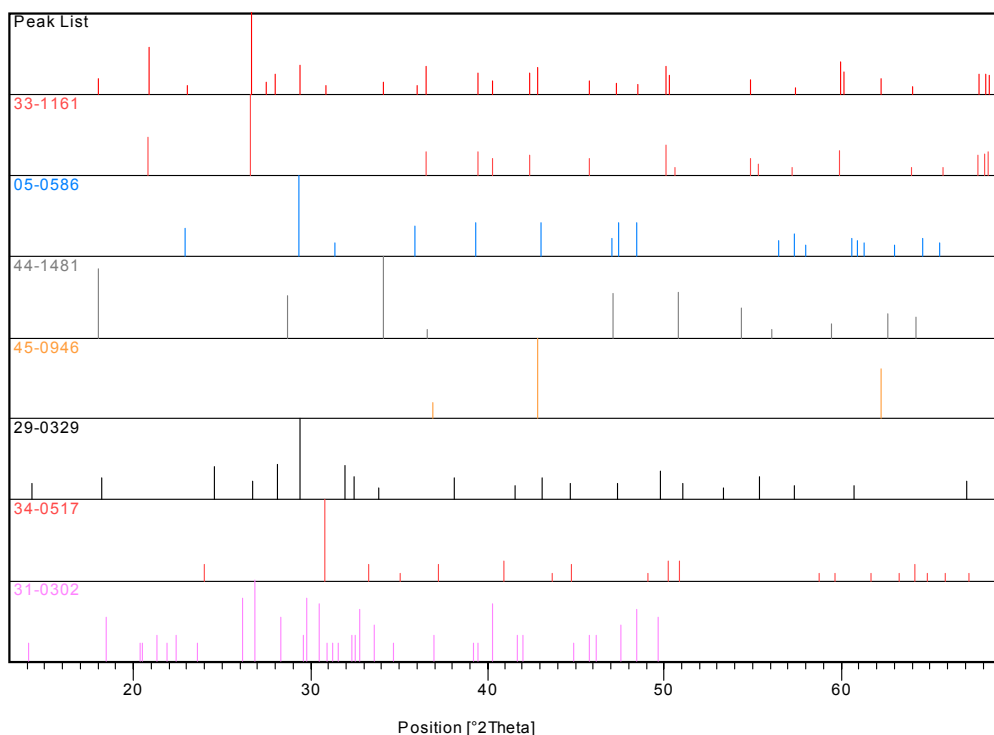
Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
13,7007	4,27	0,4723	6,46344	0,30	0,4800	71-1540; 29-0330
18,0871	57,12	0,2755	4,90465	3,95	0,2800	84-1264
20,9197	305,57	0,1378	4,24649	21,11	0,1400	77-1060; 01-0705; 71-1540
23,0656	7,56	0,1968	3,85605	0,52	0,2000	85-1108; 01-0705; 71-1540; 29-0330
23,6434	9,32	0,2362	3,76311	0,64	0,2400	71-1540; 31-0302; 29-0330
25,6470	27,86	0,1574	3,47349	1,92	0,1600	01-0705; 71-1540; 29-0381
26,6904	1447,42	0,1378	3,34002	100,00	0,1400	77-1060; 01-0705; 31-0302
27,4887	95,73	0,0984	3,24482	6,61	0,1000	01-0705; 71-1540; 29-0381
28,0017	24,92	0,1181	3,18653	1,72	0,1200	29-0330
28,7601	10,09	0,2362	3,10420	0,70	0,2400	84-1264
29,4658	70,42	0,1378	3,03145	4,87	0,1400	85-1108; 01-0705; 33-0306; 31-0302
32,2353	27,97	0,2362	2,77704	1,93	0,2400	43-1001; 01-0705; 71-1540; 33-0306; 31-0302
34,1066	54,14	0,1968	2,62884	3,74	0,2000	84-1264; 29-0381
36,5670	106,82	0,0787	2,45741	7,38	0,0800	77-1060; 84-1264; 29-0381
37,4050	75,61	0,0984	2,40426	5,22	0,1000	43-1001; 71-1540
39,5204	95,85	0,0787	2,28031	6,62	0,0800	77-1060; 85-1108; 31-0302; 29-0381; 29-0330
40,3296	59,95	0,0787	2,23641	4,14	0,0800	77-1060; 71-1540; 31-0302; 29-0381
42,4546	91,34	0,0984	2,12926	6,31	0,1000	77-1060; 71-1540; 29-0381; 29-0330
42,9465	181,70	0,1771	2,10600	12,55	0,1800	87-0653; 01-0705; 71-1540; 29-0330
45,8438	41,21	0,1968	1,97942	2,85	0,2000	77-1060; 01-0705; 71-1540; 31-0302; 29-0381; 29-0330
47,2613	19,72	0,3936	1,92331	1,36	0,4000	84-1264; 85-1108; 01-0705; 71-1540; 29-0330
48,5298	7,27	0,2362	1,87596	0,50	0,2400	85-1108; 31-0302
50,1846	126,44	0,1181	1,81791	8,74	0,1200	77-1060; 71-1540; 33-0306
50,7758	19,52	0,3936	1,79813	1,35	0,4000	77-1060; 84-1264; 01-0705; 71-1540; 29-0330
53,8911	45,87	0,0720	1,69990	3,17	0,0600	43-1001; 71-1540; 29-0330
54,8680	27,52	0,1574	1,67331	1,90	0,1600	77-1060; 71-1540
55,3729	55,78	0,0720	1,65787	3,85	0,0600	77-1060; 71-1540; 29-0381; 29-0330
55,5252	34,47	0,0720	1,65779	2,38	0,0600	
57,3967	1,42	0,3840	1,60413	0,10	0,3200	77-1060; 85-1108; 71-1540; 29-0381; 29-0330
59,9904	80,02	0,1440	1,54082	5,53	0,1200	77-1060; 01-0705
60,1320	44,33	0,0960	1,54135	3,06	0,0800	
62,3032	69,19	0,2880	1,48906	4,78	0,2400	87-0653; 71-1540; 29-0330
64,0495	26,06	0,1440	1,45261	1,80	0,1200	77-1060; 43-1001; 71-1540; 29-0330
67,7783	113,47	0,0960	1,38148	7,84	0,0800	77-1060; 71-1540; 29-0330
67,9575	55,64	0,0960	1,38170	3,84	0,0800	
68,1479	48,47	0,0960	1,37489	3,35	0,0800	77-1060; 71-1540; 29-0330
68,3545	48,46	0,0960	1,37464	3,35	0,0800	

ANEXO 4 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 3 dias



Plot of Identified Phases



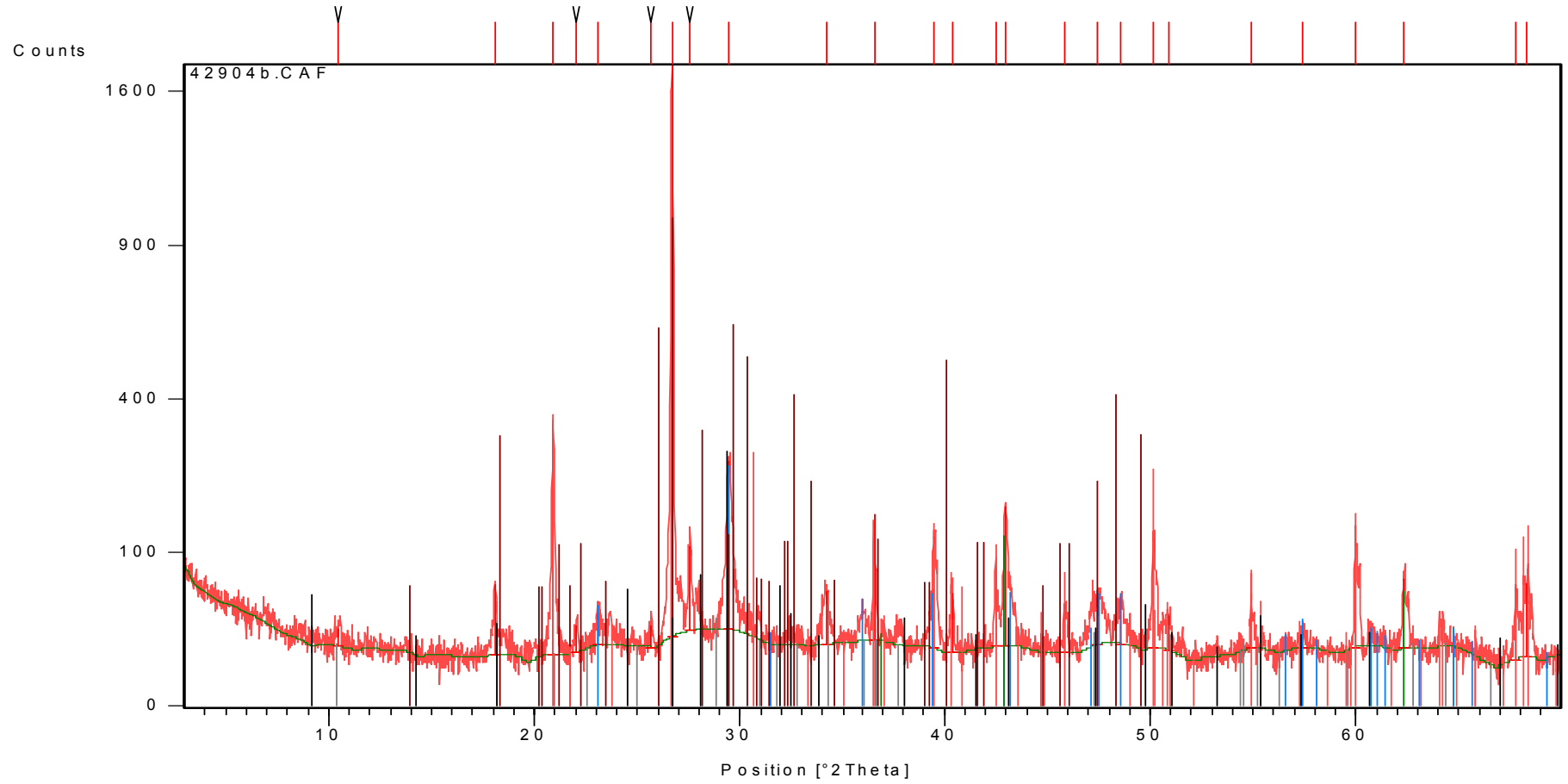
Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	33-1161	79	silica	-0.024	0.856	Si O ₂
*	05-0586	37	Calcite, syn	-0.079	0.097	Ca C O ₃
*	44-1481	25	Portlandite, syn	0.023	0.034	Ca (O H) ₂
*	45-0946	53	Periclase, syn	-0.057	0.079	Mg O
*	29-0329	20	tobermorite, 9A	-0.192	0.117	Ca ₅ Si ₆ O ₁₆ (O H) ₂
*	34-0517	12	Dolomite, ferroan	-0.057	0.007	Ca (Mg , Fe) (C O ₃) ₂
*	31-0302	12	Calcium Silicate	0.056	0.021	Ca ₂ Si O ₄

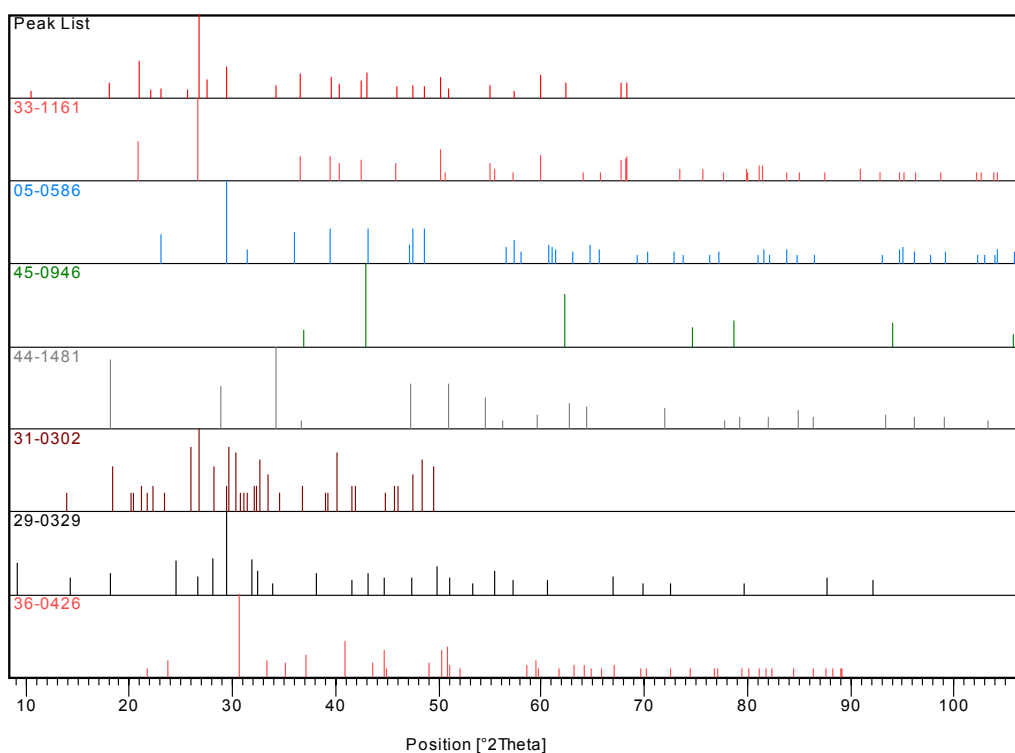
Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
18.0410	57.53	0.1181	4.91707	3.28	44-1481
20.8638	574.05	0.0787	4.25774	32.74	33-1161
23.0166	21.36	0.2362	3.86415	1.22	05-0586
26.6372	1753.24	0.1378	3.34658	100.00	33-1161; 31-0302
27.5129	35.19	0.1181	3.24202	2.01	
27.9902	99.15	0.0590	3.18782	5.66	
29.4228	222.52	0.1378	3.03578	12.69	05-0586; 31-0302
30.8581	20.00	0.2362	2.89777	1.14	34-0517; 31-0302
34.0847	34.07	0.2755	2.63048	1.94	44-1481; 29-0329
35.9938	16.77	0.3149	2.49522	0.96	05-0586
36.5301	196.54	0.0787	2.45981	11.21	33-1161; 44-1481
39.4562	120.03	0.0984	2.28388	6.85	33-1161; 05-0586; 31-0302
40.3006	48.02	0.1968	2.23795	2.74	33-1161; 31-0302
42.4380	113.12	0.0720	2.12829	6.45	33-1161
42.8907	179.21	0.0984	2.10861	10.22	45-0946
45.7851	45.69	0.0720	1.98018	2.61	33-1161; 31-0302
47.3315	28.06	0.6298	1.92062	1.60	05-0586; 31-0302
48.5077	23.33	0.3936	1.87676	1.33	05-0586; 31-0302
50.1293	205.30	0.0960	1.81828	11.71	33-1161; 29-0329; 34-0517
50.2733	93.41	0.0720	1.81792	5.33	
54.8530	55.68	0.0960	1.67234	3.18	33-1161
57.4318	8.81	0.5760	1.60323	0.50	33-1161; 05-0586; 29-0329
59.9496	266.60	0.0960	1.54177	15.21	33-1161
60.1229	126.51	0.0720	1.54156	7.22	
62.2651	58.28	0.1920	1.48988	3.32	45-0946
64.0558	14.61	0.2880	1.45248	0.83	33-1161; 44-1481; 34-0517
67.7598	106.31	0.0960	1.38182	6.06	33-1161
68.1477	100.44	0.0960	1.37489	5.73	33-1161
68.3294	95.26	0.1200	1.37168	5.43	33-1161

ANEXO 5 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 28 dias



Plot of Identified Phases



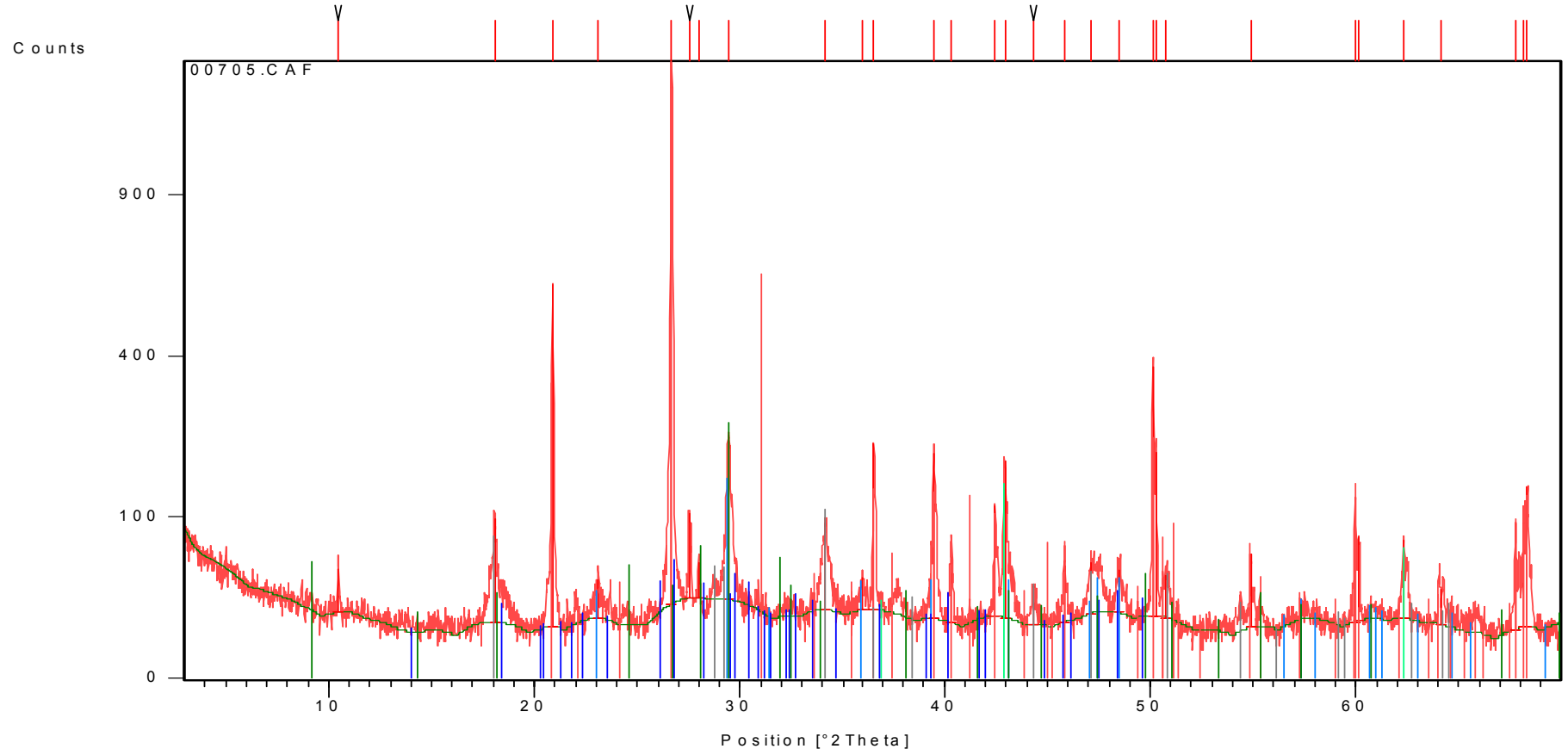
Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	33-1161	74	silica	0.023	0.910	Si O ₂
*	05-0586	49	Calcite, syn	0.032	0.125	Ca C O ₃
*	45-0946	47	Periclase, syn	0.005	0.061	Mg O
*	44-1481	19	Portlandite, syn	0.159	0.016	Ca (O H) ₂
*	31-0302	8	Calcium Silicate	-0.088	0.566	Ca ₂ Si O ₄
*	29-0329	15	tobermorite, 9A	-0.228	0.142	Ca ₅ Si ₆ O ₁₆ (O H) ₂
*	36-0426	2	Dolomite	-0.268	0.143	Ca Mg (C O ₃) ₂

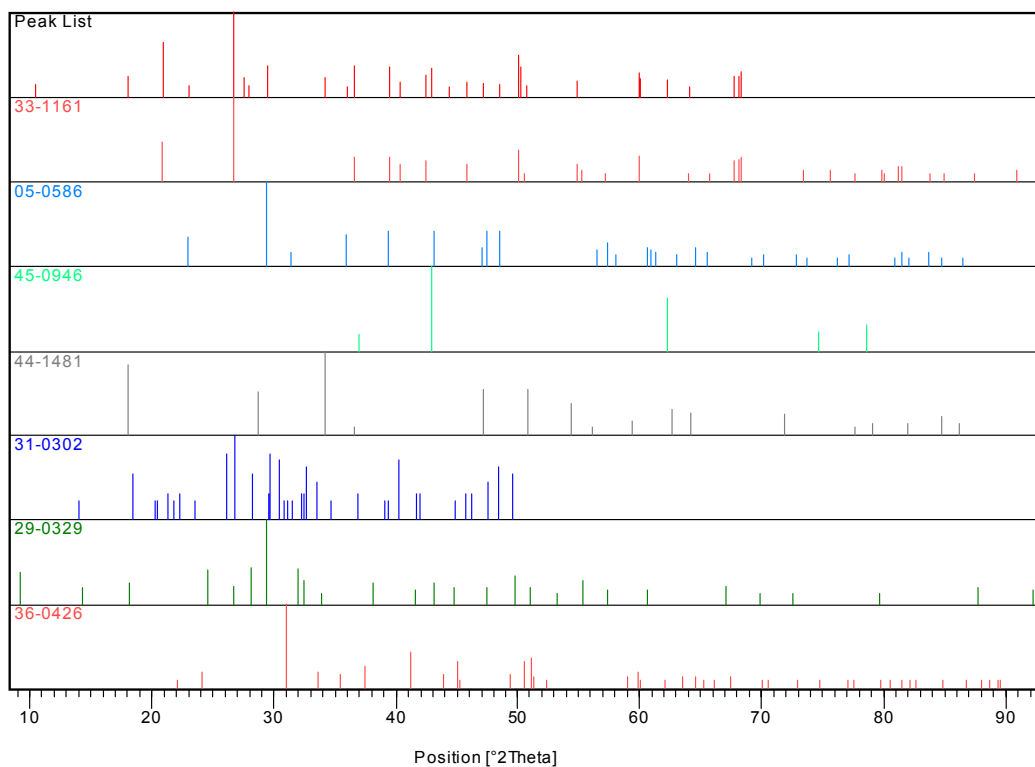
Peak List

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
10.4635	9.85	0.2362	8.45472	0.57	
18.1008	51.35	0.1574	4.90096	2.97	44-1481; 29-0329
20.9242	325.60	0.0984	4.24559	18.82	33-1161
22.0267	15.06	0.2362	4.03553	0.87	
23.0897	20.11	0.2362	3.85209	1.16	05-0586
25.6693	13.01	0.2362	3.47053	0.75	
26.6937	1730.14	0.1181	3.33962	100.00	33-1161; 31-0302; 29-0329
27.5518	83.37	0.1181	3.23753	4.82	
29.4586	227.83	0.1968	3.03217	13.17	05-0586; 31-0302; 29-0329
34.1696	39.91	0.1968	2.62414	2.31	44-1481
36.5914	136.83	0.0787	2.45583	7.91	33-1161; 44-1481; 31-0302
39.5157	105.91	0.0984	2.28057	6.12	33-1161; 05-0586
40.3665	41.69	0.1574	2.23445	2.41	33-1161
42.4776	65.73	0.0720	2.12639	3.80	33-1161
42.9734	153.14	0.1574	2.10474	8.85	05-0586; 45-0946; 29-0329
45.8702	31.10	0.1574	1.97834	1.80	33-1161; 31-0302
47.4390	34.18	0.6298	1.91652	1.98	05-0586; 44-1481; 31-0302; 29-0329
48.5806	32.32	0.3149	1.87412	1.87	05-0586
50.1683	103.11	0.0984	1.81847	5.96	33-1161; 36-0426
50.9297	21.28	0.3149	1.79305	1.23	44-1481; 29-0329; 36-0426
54.9063	39.05	0.1574	1.67223	2.26	33-1161
57.4434	9.55	0.4723	1.60426	0.55	33-1161; 05-0586; 29-0329
59.9889	122.41	0.1200	1.54086	7.08	33-1161
62.3516	53.66	0.1181	1.48926	3.10	45-0946
67.7816	50.02	0.1574	1.38257	2.89	33-1161
68.2953	52.83	0.3840	1.37228	3.05	33-1161

ANEXO 6 - Difratoograma de Raio X da Composição 11D – 90 dias



Plot of Identified Phases



Identified Patterns List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	33-1161	82	silica	0.003	1.011	Si O ₂
*	05-0586	34	Calcite, syn	-0.047	0.088	Ca C O ₃
*	45-0946	49	Periclase, syn	-0.013	0.089	Mg O
*	44-1481	38	Portlandite, syn	0.036	0.063	Ca (O H) ₂
*	31-0302	8	Calcium Silicate	-0.007	0.022	Ca ₂ Si O ₄
*	29-0329	22	tobermorite, 9A	-0.200	0.154	Ca ₅ Si ₆ O ₁₆ (O H) ₂
*	36-0426	1	Dolomite	0.088	0.417	CaMg (CO ₃) ₂

Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
10.4757	28.74	0.1181	8.44489	1.99	
18.0737	85.11	0.1181	4.90825	5.89	44-1481; 29-0329
20.8921	587.62	0.0984	4.25205	40.67	33-1161
23.0874	23.00	0.2362	3.85247	1.59	05-0586
26.6687	1444.94	0.1378	3.34270	100.00	33-1161; 31-0302; 29-0329
27.5412	78.48	0.0787	3.23875	5.43	
27.9809	25.90	0.1181	3.18885	1.79	29-0329
29.4355	201.45	0.2362	3.03450	13.94	05-0586; 31-0302; 29-0329
34.1334	74.29	0.1968	2.62684	5.14	44-1481
36.0234	20.57	0.2362	2.49324	1.42	05-0586
36.5653	191.92	0.0787	2.45752	13.28	33-1161; 44-1481
39.4760	179.22	0.0720	2.28088	12.40	33-1161; 05-0586; 31-0302
40.3311	44.47	0.1181	2.23632	3.08	33-1161; 31-0302
42.4677	98.52	0.0720	2.12687	6.82	33-1161
42.9412	166.09	0.0787	2.10625	11.49	45-0946
44.3239	21.14	0.2362	2.04370	1.46	
45.8161	40.61	0.1181	1.98055	2.81	33-1161; 31-0302
47.1601	34.84	0.2362	1.92720	2.41	05-0586; 44-1481
48.4728	28.17	0.3149	1.87803	1.95	05-0586; 31-0302
50.1408	358.28	0.0720	1.81789	24.80	33-1161
50.2801	179.17	0.0720	1.81769	12.40	
50.7713	26.19	0.2880	1.79679	1.81	33-1161; 44-1481; 36-0426
54.8899	49.23	0.0960	1.67131	3.41	33-1161
59.9680	112.57	0.0960	1.54134	7.79	33-1161; 36-0426
60.1312	63.87	0.0960	1.54137	4.42	
62.3071	58.47	0.1440	1.48898	4.05	45-0946
64.1166	18.91	0.2880	1.45125	1.31	33-1161; 44-1481
67.7544	84.66	0.0960	1.38191	5.86	33-1161
68.1714	82.48	0.1200	1.37447	5.71	33-1161
68.3235	130.32	0.1200	1.37178	9.02	33-1161

ANEXO 7 – Abstract e Aceite do Abstract Enviado para Congresso

**New construction material from wastes of concrete,
plaster and lime production**

V. Mymrin, S. Correa, Federal University of Parana, Curitiba, Brazil.

It was newly developed and patented in Brazil new construction materials from concrete and plaster production wastes with utilization of lime production wastes as a binding component. Lime waste was characterized by high excess of SiO_2 , Al_2O_3 , CaCO_3 , etc. content and therefor can not conform to market lime demands for its binding properties. Uni-axial strength of the 28-days-old samples increased in dry air condition till 30,2 MPa. It can be regulated by change of lime waste quantity content. Water absorption of materials under study depends of its density. Materials with density valor 2.4g/cm^3 has 3.9% absorption rate, materials with density 1.9g/cm^3 has 8.7% absorption rate value. The materials demonstrate high water resistance property. XRD analysis show the growing up of carbonates minerals like usual plaster new formations. SEM micrographs also demonstrate the growing up of typical set of carbonate minerals crystal forms, usually mainly responsible for the strengthening of the plaster materials. The studying of new materials properties is continued.

Your paper no. 731; New Construction Material from Wastes of Concrete, Plaster and Lime Production

[New Construction Material from Wastes of Concrete, Plaster
and Lime Production](#)

V. Mymrin (Sp), S. Correa, Federal University of
Parana, Curitiba (Brazil)

Dear Mrs. Mymrin,

thank you for submitting an abstract to the EUROMAT Congress 2005. More than 1900 abstracts have been submitted so far. You will find the list of presentations, the current country statistics and further information on the web: www.euromat2005.fems.org.

Due to this large number of abstracts the evaluation process and hence author confirmation will require another 2-3 weeks.† Please excuse any inconvenience related to this delay.

If you have any questions, please do not hesitate to contact us through euromat@fems.org. Please refer to the above title of your presentation and your abstract number for any further correspondence.

Best regards

EUROMAT 2005 Congress office

c/o DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR MATERIALKUNDE.EV
Senckenberganlage 10
D-60325 Frankfurt am Main

Email: euromat@fems.org
Internet: ww.euromat2005.fems.org
Phone: +49-69-75306-747
Fax: +49-69-75306-733

ANEXO 8 – Depósito do Pedido de Patente

DATA - DEPR
26 JUN 1997 000100

Protocolo

Número (21)

DEPÓSITO

Pedido de Patente ou de
Certificado de Adição



PI0500826-3

depósito / /

: data de depósito)

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial:

O requerente solicita a concessão de uma patente na natureza e nas condições abaixo indicadas:

1. Depositante (71):

1.1 Nome: SANDRA MARA CORRÊA

1.2 Qualificação: MESTRANDA 1.3 CGC/CPF: 697.197.059-49

1.4 Endereço completo: RUA LAMENHA LINS, 277 - AP. 306 - CENTRO - CURITIBA - PR

1.5 Telefone: (41) 3016-2643

FAX:

 continua em folha anexa**2. Natureza:** 2.1 Invenção 2.1.1. Certificado de Adição 2.2 Modelo de Utilidade

Escreva, obrigatoriamente e por extenso, a Natureza desejada: **INVENÇÃO**

3. Título da Invenção, do Modelo de Utilidade ou do Certificado de Adição (54):
COMPÓSITOS DE CONCRETO A BASE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DE
CONCRETO E RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL

 continua em folha anexa

4. Pedido de Divisão do pedido n.º , de .

5. Prioridade Interna - O depositante reivindica a seguinte prioridade:

N.º de depósito Data de Depósito (66)

6. Prioridade - o depositante reivindica a(s) seguinte(s) prioridade(s):

País ou organização de origem	Número do depósito	Data do depósito

 continua em folha anexa**7. Inventor (72):**

Assinale aqui se o(s) mesmo(s) requer(em) a não divulgação de seu(s) nome(s)
(art. 6º § 4º da LPI e item 1.1 do Ato Normativo nº 127/97)

7.1 Nome: VSÉVOLOD MYMRINE

7.2 Qualificação: D.SC., PH.D.

Formulário 1.01 - Depósito de Pedido de Patente ou de Certificado de Adição (folha 1/2)

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)