



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE
DE ARGAMASSAS E CONCRETOS COM ISOLADORES
ELÉTRICOS DE PORCELANA**

MARCO ANTONIO CAMPOS

**Campinas
2011**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

MARCO ANTONIO CAMPOS

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS E CONCRETOS COM
ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA**

Tese apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon

**Campinas
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C157a Campos, Marco Antonio
Análise microestrutural e das propriedades mecânicas
e de durabilidade de argamassas e concretos com
isoladores elétricos de porcelana / Marco Antonio
Campos. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Vladimir Antonio Paulon.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Concreto. 2. Argamassa. 3. Agregados (materiais
de construção). 4. Porcelana. 5. Resíduos industriais . I.
Paulon, Vladimir Antonio. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Microstructural analysis and of mechanical and durability
properties of mortars and concretes with porcelain electric
insulator

Palavras-chave em Inglês: Concrete, Mortar, Aggregates (building materials),
Porcelain, Factory waste

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: André Munhoz de Argollo Ferrão, José Gilberto Dalfré
Filho, André Luiz Bortolacci Geyer, José Marques Filho

Data da defesa: 22-11-2011

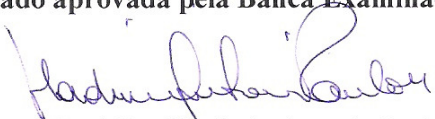
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

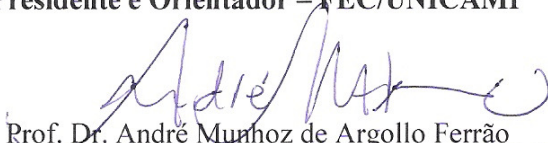
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**ANÁLISES MICROESTRUTURAL E DAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS E
CONCRETOS COM ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA**

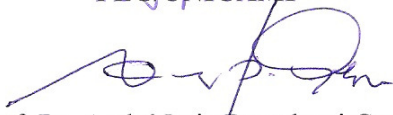
Marco Antonio Campos

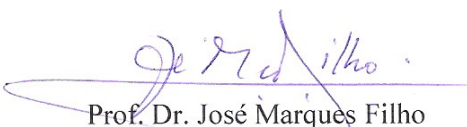
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon
Presidente e Orientador – FEC/UNICAMP


Prof. Dr. André Munhoz de Argollo Ferrão
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer
UFG


Prof. Dr. José Marques Filho
UFPR

Campinas, 22 de Novembro de 2011.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais,
Antenor e Vanda, e ao meu irmão
Carlos, pelo incentivo a minha carreira
acadêmica.

Agradecimentos

A Deus e aos meus santos de devoção por ter me dado saúde e ensinamentos para persistir em meus objetivos, mesmo na presença de adversidades, que não foram poucas; por terem orientado o meu caminho durante as decisões tomadas e, proporcionarem excelentes oportunidades durante toda a vida.

Aos meus pais e ao meu irmão, a quem devo todo o esforço e sacrifício para que hoje eu atingisse mais este objetivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon, pelo apoio e orientação desde o meu Mestrado, que se mostrou ao longo destes anos de convivência um grande amigo e incentivador, além de profissional extremamente competente, indicando os melhores caminhos a serem seguidos, tanto profissional como acadêmico.

Aos professores que colaboram para minha formação: Profs. Drs. Ana Lucia Rodrigues Silva, André Munhoz de Argollo Ferrão, José Gilberto Dalfré Filho, Paulo Sergio Franco Barbosa, Rosely Ferreira dos Santos, Yvone de Faria Lemos de Lucca.

Aos Profs. Drs. Armando Lopes Moreno Junior; Gladis Camarini e Newton de Oliveira Pinto Junior pelo incentivo e cooperação para execução dos ensaios no Laboratório de Estruturas e Materiais – FEC-UNICAMP.

Agradecimento especial ao corpo técnico do Laboratório de Estruturas e Materiais – FEC-UNICAMP: Ademir de Almeida; Fabio de Souza, Luciano Passos, Marçal, Marcelo Ramos e Rodolfo Bonamigo pela amizade formada ao longo destes seis anos de convivência. Todos

sempre dispostos a me ajudar, encaixando meus ensaios ao concorrido cronograma do laboratório, contribuindo durante as moldagens e principalmente na realização dos ensaios mecânicos.

A Central Analítica do Instituto de Química da Unicamp, em especial o Técnico de Laboratório Daniel Razzo, por realizar minhas imagens MEV/EDS com atenção e rapidez, além de todo pessoal da administração: Daniela, Sabrina e Ivan.

A Secretária do Departamento de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais-DRHEA-FEC Rosana Kelly, pela amizade e disposição no atendimento as minhas solicitações.

A Secretária de Apoio a Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento do DRHEA-FEC Miriam Beluci Miguel Luz pelo apoio a minha pesquisa e pela amizade que se formou nestes anos de convivência.

A Secretaria de Pós-Graduação da FEC, Paula, Celma, Diego, Dirce, Eduardo, Denilza, Jéssica, sempre dispostos a colaborar. Obrigado pelo auxílio nas dúvidas e prazos.

A Coordenadora da Pós-Graduação Profa. Dra. Maria Cecilia Amorim Teixeira da Silva, por buscar sempre o melhor, para minha tese e para o programa de pós-graduação.

A direção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC-UNICAMP, Profs. Drs. Paulo Sergio Franco Barbosa e Marina Sangoi de Oliveira Ilha, pela dedicação nas funções, buscando sempre aperfeiçoar o programa de pós-graduação.

A Biblioteca da Área de Engenharia- BAE da Unicamp, pelo apoio na revisão bibliográfica, através das citações, empréstimos de livros, ficha catalográfica e boa vontade sempre a me atender.

A todos os funcionários da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC-UNICAMP pela amizade ao longo dos anos de convivência: Carlão e Trinchinato – DRHEA; Aroldo - Maquetaria; Margarita – DES; Eliete, Patrícia, Paulo, Tania - Informática;

Edmilson - Diretoria; Jonas, Antonio Carlos, Isabel, Ondina, Saul, Sandra, Natacha, Andréa, Joel e Alberto – Gestão de Facilidades; Benigna e Rosangela – Graduação; Dulcinéia, David, Carolina, Cleberson, Wagner, Floriano e Edimilson – Finanças e Compras.

Ao Jornal da Unicamp, por divulgar nossas pesquisas desenvolvidas na universidade, em especial aos jornalistas Antoninho Perri, Carmo Gallo e Raquel Santos.

Aos professores que participaram da banca de qualificação e de defesa que com suas experiências contribuíram para o aprimoramento desta tese: Profs. Drs. Ana Paula e Angela Masuero – UFRGS; André Argollo, Armando Moreno e Gilberto Dalfré – FEC-Unicamp; André Geyer – UFG; José Marques- UFPR; Jefferson Libório – USP/São Carlos.

Agradecimento especial a Profa. Dra. Ana Elisabete, PUC-CAMPINAS, pelo auxílio e apoio na realização deste trabalho.

A Cerâmica Santa Terezinha – CST, em especial ao Sr. Humberto Barbato Neto, presidente, e ao Eng. Marcos Lacerda, pela amizade e atenção, por acreditar nesta pesquisa sempre participando com a doação dos materiais, produzindo peças especiais para o trabalho, além dos esclarecimentos técnicos das propriedades do isoladores.

A Cimento Holcim, em especial a Eng. Naguisa Tokudome e ao Sr. Francisco Mezzalira pela doação do cimento utilizado nesta pesquisa.

A RheoSet Aditivos para Concreto em especial os Engs. Roberto Thomas e Hideo Utida pela amizade, doação do aditivo para a pesquisa e auxílio na determinação do teor do mesmo.

Aos colegas de Pós-graduação pelo apoio e amizade nestes anos: Adriana Ambrósio, Andrea Manami, Eduardo Quitete, Fabrício Bassani, Giocondo, João Braz, Matheus Sant’Anna, Paulo Roberto - Paulinho, Vivian Hackbart.

A todos que de alguma forma colaboraram para a perfeita realização deste trabalho e eu tenha cometido o lapso de aqui não ter citado.

*Vejo em cada pedra que encontro no
caminho a possibilidade de ao
contorná-la descobrir novos rumos e
ao escalá-la vislumbrar novos
horizontes.*

Resumo

CAMPOS, MARCO ANTONIO. ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS E CONCRETOS COM ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 197 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2011.

Pesquisas para utilização de materiais reciclados e/ou inservíveis da construção civil em seus insumos, concretos e argamassas, é prática recorrente há seis décadas no mundo. No Brasil este uso vem ganhando destaque a cerca de vinte anos principalmente com os entulhos de construção e da cerâmica vermelha. Há uma lacuna a ser preenchida pela cerâmica branca, em especial pelos isoladores elétricos de porcelana, pois seu passivo nacional anual é de 25.000 toneladas proveniente sobretudo da substituição de peças obsoletas. O objetivo deste trabalho foi comprovar a utilização desta porcelana em concretos e argamassas através de sua incorporação com diferentes graus de moagem, variando de granulometria similar ao cimento até aos agregados, miúdo e grão, além do estudo referente a influência da camada de esmalte externa aos isoladores através de ensaios mecânicos, de durabilidade e de imagens por MEV e EDS. Para a adição da cerâmica ao cimento nos teores em massa de 5%, 10%, 25%, 50% e 70%, nas argamassas a melhora nos resultados dos ensaios realizados comprovam sua atividade pozolânica e sua potencialidade de uso. Nos ensaios dos concretos com isoladores de porcelana substituindo o agregado miúdo comum ou ambos os agregados, nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%, os aumentos de resistências à compressão simples e à tração por compressão diametral obtidos foram superiores a 50% quando comparados aos valores do concreto de referência. A influência da camada de esmalte superficial dos isoladores não foi constada nos ensaios realizados, sendo este mais um fator pró-utilização desta porcelana. As melhoras conferidas às argamassas e aos concretos, quando moldados com agregados ou aglomerantes cerâmicos em suas propriedades mecânicas e de durabilidade acompanhadas dos ensaios de imagens comprovam a utilização dos isoladores elétricos de porcelana nos insumos da construção civil oferecendo com isso às indústrias cerâmicas uma alternativa de uso a esta porcelana e diminuindo a produção de cimento e a extração dos agregados.

Palavras Chave: porcelana, concreto, argamassa, materiais alternativos, isolador elétrico de porcelana.

Abstract

CAMPOS, MARCO ANTONIO. MICROSTRUCTURAL ANALYSIS AND OF MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF MORTARS AND CONCRETES WITH PORCELAIN ELECTRIC INSULATOR. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 197 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2011.

Researches for using recycled materials and/or useless for civil building in input, concretes and mortars, is a practice used for six decades in the world. In Brazil this use is standing out for about 20 years mainly with the construction waste and the red ceramic. There is a gap to be fulfilled by the white ceramic especially by the porcelain electric insulators, because of its national passive which is of 25,000 tons proceeded from the substitution of obsolete parts. The purpose of this work is to confirm the utility of this porcelain in concretes and mortars through its incorporation with different degrees of grinding, varying its grinding similar to cement till the aggregates, tiny and great, besides the study referring to the external enamel surface influence to isolators through mechanical test, durability and by SEM and EDS images. Increasing the ceramic to cement in the mass theors of 5%, 10%, 25%, 50% and 70%in the mortar, the improvement in the test results performed, confirm its pozzolanic activity and its potential use. In the concrete test with porcelain insulator substituting the tiny common aggregate or both the aggregates, in theors of 25%, 50%, 75% and 100%, the increase in resistance to compressive strength and traction by diametral compression obtained were superior to 50% when compared to the value of the referenced concrete. The influence of the superficial enamel of the insulator was not noticed in the performed tests, therefore being this one more factor for the use of this porcelain. The improvements noticed to the mortars and the concretes, when molded with aggregates or ceramic waste in their mechanical properties and durability followed by image test, confirm the utility of porcelain electric insulator in the input of civil construction offering with this to the ceramic industries an alternative of use to this porcelain and decreasing the cement production and the extraction of aggregates

Keywords: porcelain, concrete, mortar, alternative materials, porcelain electric insulator.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 – Descarte de isoladores elétricos de porcelana inservíveis na natureza.....	03
Figura 4.1 – EDS cimento Portland CPV.....	32
Figura 4.2 – EDS porcelana fina.....	33
Figura 4.3 – Agregado comum, areia (a), e alternativo, porcelana miúda (b).....	34
Figura 4.4 – Imagens MEV: Agregado comum (a) e porcelana miúda (b).....	34
Figura 4.5 – Distribuição granulométrica agregados miúdos.....	35
Figura 4.6 – EDS agregado miúdo comum, areia.....	37
Figura 4.7 – EDS agregado miúdo alternativo, porcelana miúda.....	37
Figura 4.8 – Agregado graúdo comum brita (a) e MEV brita (b).....	38
Figura 4.9 – Agregado graúdo alternativo, porcelana graúda.....	38
Figura 4.10 – MEV porcelana graúda sem esmalte (a) e MEV porcelana graúda com esmalte (b)..	39
Figura 4.11 – Distribuição granulométrica agregados graúdos.....	39
Figura 4.12 – EDS agregado graúdo comum, brita.....	41
Figura 4.13 – EDS agregado graúdo alternativo, porcelana graúda.....	42
Figura 4.14 – Organograma da pesquisa desenvolvida.....	44
Figura 5.1 – Retirada do molde para o traço A 70 (a) e para o traço Ref. A (b).....	52
Figura 5.2 – Resistência à compressão simples – argamassa com porcelana fina.....	54
Figura 5.3 – Resistência à compressão diametral – argamassa com porcelana fina.....	56
Figura 5.4 – Resistência à tração na flexão – argamassa com porcelana fina.....	58
Figura 5.5 – Quantidade de água absorvida – argamassa com porcelana fina.....	59
Figura 5.6 – Índice de Capilaridade – argamassa com porcelana fina.....	60
Figura 5.7 – Ascensão capilar – argamassa com porcelana fina.....	60
Figura 5.8 – Observação microfissuras, 180 dias, argamassa Ref. A (a) e A 25 (b).....	61
Figura 5.9 – Quantidade de etringita, idade 180 dias, no traço A 10 (a) e em maior quantidade no A 25 (b).....	62
Figura 5.10 – Formação de etringita secundária, 180 dias de idade, traço A 50 (a) e ampliação interna do poro (b).....	62
Figura 5.11 – Formação do CSH sobre o agregado (a) e detalhe do CSH (b), ambos no traço referência, e formação do CSH na zona de transição agregado-pasta para os traços de argamassa denominados A 25 (c) e A 50 (d), com 180 dias.....	63
Figura 5.12 – Possível transformação da etringita em monossulfato para o traço A 50 (a) e A 70 (b) e na argamassa A 70 (c) e detalhe do monossulfato no	

traço A 70 (d) com idade de 180 dias.....	64
Figura 5.13 – Carbonatação argamassas com adição de porcelana ao cimento – 180 dias.....	65
Figura 5.14 – Resistência à compressão simples – Influência esmalte.....	68
Figura 5.15 – Resistência à compressão diametral – Influência esmalte.....	69
Figura 5.16 – Isoladores elétricos de porcelana especiais, a direita sem esmalte e a esquerda com esmalte (a) e corpos-de-prova extraídos para ensaio de MEV/EDS (b).....	70
Figura 5.17 – Zona de transição, 7 dias, traço sem esmalte (a) e argamassa com esmalte (b).....	71
Figura 5.18 – Evolução produtos hidratação do cimento, 112 dias de idade, traço sem esmalte (a) e com esmalte (b).....	71
Figura 5.19 – Formação de produtos hidratados do cimento sobre o agregado traço sem esmalte, idade de 56 dias.....	72
Figura 5.20 – Formação de produtos hidratados do cimento sobre o agregado traço com esmalte, 112 dias.....	72
Figura 5.21 – Carbonatação, 112 dias, traço sem esmalte (a) e com esmalte (b).....	73
Figura 5.22 – Resistência à compressão simples – substituição agregado miúdo.....	77
Figura 5.23 – Resistência à compressão diametral – substituição agregado miúdo.....	79
Figura 5.24 – Módulo de elasticidade – substituição agregado miúdo.....	81
Figura 5.25 – Índice de capilaridade – substituição agregado miúdo.....	82
Figura 5.26 – Quantidade de água absorvida – substituição agregado miúdo.....	83
Figura 5.27 Ascensão capilar – substituição agregado miúdo.....	84
Figura 5.28 – Zona de transição, aos 28 dias de idade, traço C 50 (a) e C 75 (b).....	85
Figura 5.29 – Ocorrência de vazios capilares na zona de transição agregado-pasta aos 7 dias, traços de concreto C 50 (a), C 75 (b) e Ref. C (c), e aos 365 dias para o traço Ref. C (d).....	86
Figura 5.30 – Preenchimento do vazio capilar no concreto C 50, com idade de 56 dias.....	87
Figura 5.31 – Formação do hidróxido de cálcio (H) no concreto C 25 (a), aos 7 dias de idade, e C 75, com idade de 28 dias, (b).....	87
Figura 5.32 – Preenchimento de vazios por CSH, idade de 56 dias, no traço C 25 (a) e C 75 (b).....	88
Figura 5.33 – Crescimento de hidróxido de cálcio (H) sobre o agregado, traço C 25 (a) e de CSH no traço C 50 (b), ambos aos 56 dias de idade.....	88
Figura 5.34 – Formação de monossulfato hidratado (MS) no concreto C 100, aos 28 dias de idade, (a) e C 75, com 112 dias de idade (b).....	89
Figura 5.35 – Formação similar a etringita concreto C 25 (a) e (b) com idade de 28 dias, Ref. C, 7 dias de idade, (c) e C 50, aos 28 dias de idade, (d).....	89
Figura 5.36 – Carbonatação traço C 25 (a) e traço C 75 (b), aos 28 dias de idade.....	91
Figura 5.37 – Carbonatação traço Ref. C (a), C 25 (b), C 75 (c) e concreto C 100 (d), com 365 dias de idade.....	91
Figura 5.38 – Resistência à compressão simples – substituição agregados miúdo e graúdo.....	94
Figura 5.39 – Resistência à compressão diametral – substituição agregados miúdo e graúdo.....	96
Figura 5.40 – Módulo de elasticidade – substituição agregados miúdo e graúdo.....	98
Figura 5.41 – Índice de capilaridade – substituição agregados miúdo e graúdo.....	99
Figura 5.42 – Quantidade de água absorvida – substituição agregados miúdo e graúdo.....	100
Figura 5.43 – Ascensão capilar – substituição agregados miúdo e graúdo.....	101
Figura 5.44 – Zona de transição concretos C 75,75 (a), (b), (c) e C 100,100 (b),	

aos 7 dias de idade.....	102
Figura 5.45 – Formação de CSH na matriz da pasta de cimento concreto C 25,25, aos 28 dias de idade, (a) e C 75,75, com 112 dias de idade, (b).....	103
Figura 5.46 – Formação CSH sobre o agregado de porcelana concreto C 25,25, aos 7 dias de idade, superfície rugosa (a) e esmaltada (b).....	103
Figura 5.47 – Vazios capilares concreto C 25,25 aos 28 dias (a) e C 75,75 aos 112 dias de idade (b).....	104
Figura 5.48 – Formação hidróxido de cálcio (CH) na zona de transição, concreto C 100,100 (a) e sobre o agregado de porcelana, traço C 75,75 (b), ambas observações aos 56 dias de idade.....	104
Figura 5.49 – Formação monossulfato concreto C 75,75, 7 dias de idade, (a) e Ref. C, com idade de 56 dias, (b).....	105
Figura 5.50 – Carbonatação traço, aos 28 dias, C 25,25 (a) e traço C 100,100 (b).....	106
Figura 5.51 – Carbonatação, para idade de 365 dias, traço C 25,25 (a), traço C 50,50 (b), traço C 75,75 (c) e C 100,100 (d).....	107

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 4.1 – Caracterização física cimento.....	31
Tabela 4.2 – Caracterização química cimento.....	32
Tabela 4.3 – Distribuição granulométrica agregados miúdos.....	35
Tabela 4.4 – Análise petrográfica agregados miúdos.....	36
Tabela 4.5 – Caracterização agregados graúdos.....	40
Tabela 4.6 – Características aditivo hiperplastificante.....	43
Tabela 4.7 – Quantidade de materiais traços de argamassa: adição da porcelana ao cimento.....	45
Tabela 4.8 – Ensaio realizados: argamassa com adição da porcelana ao cimento.....	45
Tabela 4.9 – Quantidade de materiais traços de argamassa: influência da camada de esmalte.....	46
Tabela 4.10 – Ensaio realizados argamassa: influência da camada de esmalte.....	46
Tabela 4.11 – Quantidade de materiais traços de concreto com porcelana.....	48
Tabela 4.12 – Ensaio realizados traços concreto com porcelana.....	48
Tabela 5.1 – Valores ensaio <i>flow table</i>	51
Tabela 5.2 – Resultados ensaios argamassa com adição de porcelana no estado endurecido.....	53
Tabela 5.3 – Resultados ensaios argamassa influência da camada de esmalte.....	67
Tabela 5.4 – Resultados ensaio abatimento concreto.....	75
Tabela 5.5 – Resultados ensaios traços de concreto com porcelana miúda.....	76
Tabela 5.6 – Resultados ensaios traços de concreto com porcelana miúda e graúda.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Entidades

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentada

Ensaaios

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

EDS – Espectroscopia de energia Dispersiva

Elementos Químicos

Al – Alumínio

Au – Ouro

Ca – Cálcio

Fe – Ferro

K – Potássio

Pd – Paládio

Si – Silício

Abreviaturas ensaios MEV

Ag – Agregado

E – Etringita

CH – Hidróxido de cálcio

CSH – C-S-H

MF – Microfissuras

MS – Monossulfato

Pa – Pasta

VC – Vazio Capilar

Nomenclaturas Traços de Argamassa

Ref. A – Traço de argamassa referência

A 5 – Traço de argamassa com 5% de porcelana fina

A 10 – Traço de argamassa com 10% de porcelana fina

A 25 – Traço de argamassa com 25% de porcelana fina

A 50 – Traço de argamassa com 50% de porcelana fina

A 70 – Traço de argamassa com 70% de porcelana fina

Nomenclaturas Traços de Concreto

Ref. C – Traço de concreto referência

C 25 – Traço de concreto com 25% de porcelana miúda

C 50 – Traço de concreto com 50% de porcelana miúda

C 75 – Traço de concreto com 75% de porcelana miúda

C 100 – Traço de concreto com 100% de porcelana miúda

C 25,25 – Traço de concreto com 25% de porcelana miúda e graúda

C 50,50 – Traço de concreto com 50% de porcelana miúda e graúda

C 75,75 – Traço de concreto com 75% de porcelana miúda e graúda

C 100,100 – Traço de concreto com 100% de porcelana miúda e graúda

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	01
1.1 APRESENTAÇÃO.....	01
1.2 OBJETIVOS.....	06
1.2.1 Objetivo Geral.....	06
1.2.2 Objetivo Específico.....	06
CAPÍTULO 2: AGREGADOS CERÂMICOS.....	09
2.1 O SETOR CERAMISTA.....	09
2.2 ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA.....	10
2.2.1 Definições.....	10
2.2.2 Composição Química.....	11
2.2.3 Processo de Fabricação.....	12
2.2.4 Classificação quanto à reciclagem e reutilização dos isoladores de porcelana.....	13
CAPÍTULO 3: CONCRETO E ARGAMASSA COM PORCELANA.....	15
3.1 CONCRETO COM PORCELANA.....	15
3.2 ARGAMASSA COM PORCELANA.....	28
CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	31
4.1.1 Aglomerantes: Cimento Portland e Porcelana Fina.....	31
4.1.2 Agregados Miúdos: Areia e Porcelana Miúda.....	34
4.1.3 Agregados Graúdos: Brita e Porcelana Graúda.....	38
4.1.4 Aditivo Hiperplastificante.....	42
4.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS.....	44
4.2.1 Ensaios de Argamassa.....	45
4.2.2 Ensaios de Concreto.....	47
CAPÍTULO 5: RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	51
5.1 ENSAIOS COM ARGAMASSA.....	51
5.1.1 Ensaio de Argamassa com Adição de Porcelana ao Cimento Portland.....	51
5.1.1.1 Resistência à Compressão Simples.....	54

5.1.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	55
5.1.1.3 Resistência à Tração na Flexão.....	57
5.1.1.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade.....	58
5.1.1.5 Ensaios de Imagens MEV.....	61
5.1.1.6 Ensaios de Carbonatação.....	64
5.1.2 Ensaio de Argamassa: Influência da Camada de Esmalte.....	66
5.1.2.1 Resistência à Compressão Simples.....	67
5.1.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	69
5.1.2.3 Ensaios de Imagens MEV/EDS.....	70
5.1.2.4 Ensaios de Carbonatação.....	73
5.2 ENSAIOS COM CONCRETO.....	75
5.2.1 Ensaio de Concreto com Porcelana Miúda – Substituição do Agregado Miúdo.....	75
5.2.1.1 Resistência à Compressão Simples.....	77
5.2.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	79
5.2.1.3 Módulo Estático de Elasticidade à Compressão.....	80
5.2.1.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade.....	82
5.2.1.5 Ensaios de Imagens MEV.....	85
5.2.1.6 Ensaios de Carbonatação.....	90
5.2.2 Ensaio de Concreto com Porcelana Miúda e Graúda – Substituição dos Agregados Miúdo e Graúdo.....	92
5.2.2.1 Resistência à Compressão Simples.....	93
5.2.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	96
5.2.2.3 Módulo Estático de Elasticidade à Compressão.....	97
5.2.2.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade.....	98
5.2.2.5 Ensaios de Imagens MEV.....	101
5.2.2.6 Ensaios de Carbonatação.....	106
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES.....	109
6.1 ENSAIOS COM ARGAMASSA.....	110
6.2 ENSAIOS COM CONCRETO.....	112
6.3 CONTINUIDADE DA PESQUISA.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
APÊNDICE A - Ensaios EDS – Influência Camada de Esmalte.....	125
APÊNDICE B - Ensaios EDS – Concreto com Agregado de Porcelana Miúdo.....	133
APÊNDICE C - Ensaios EDS – Concreto com Agregados de Porcelana Miúdo e Graúdo.....	171

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Na construção civil brasileira recente, o que mais tem ganho destaque é a questão referente à sustentabilidade, sendo uma de suas principais preocupações a diminuição das perdas, tanto nas indústrias de base como nos canteiros de obra, sendo fato marcante a reutilização de vários materiais de construção, ou não, denominados materiais alternativos. Uma das maneiras para esta indústria se tornar mais sustentável é com a utilização de resíduos, pois há a dificuldade e inexistência de locais apropriados para a destinação destes resíduos sem comprometer o ambiente.

A atual necessidade de gerenciar estes resíduos tem exigido ações específicas destinadas a prevenir sua geração, tais como a promoção de sistemas de recuperação de recursos (reutilização e reciclagem) como forma de explorar e aproveitá-los, que de outra forma seriam perdidos, reduzindo o uso de matérias-primas e contribuindo para a economia e uso racional dos recursos naturais.

Como destaque tem-se a reutilização de materiais poucos comuns em concretos e argamassas caso da borracha dos pneus e dos entulhos da construção e de pavimentação asfáltica em substituição aos agregados, além da utilização de polozanas via cinza volante e filer, além das escórias de alto forno e cinza de casca de arroz como material pozolânico de adição ao cimento. A utilização destes materiais alternativos tende também a ser uma forma de reutilizá-los, pois, quase sempre, estes são descartados na natureza sem nenhum tipo de preocupação com os danos resultantes deste descarte indevido.

Entretanto, esta preocupação ambiental ficou mais latente nos últimos sessenta anos. Na Europa, em 1951, foi publicada a norma alemã DIN 4163 – Concreto com resíduos de tijolos - especificação para produção e utilização (tradução livre), publicação formada principalmente para a reutilização dos escombros decorrentes da Segunda Guerra Mundial (SENTHAMARAI; DEVADAS MANOHARAN; GOBINATH, 2011).

No Brasil o descarte de resíduos da construção civil possui duas faces bem distintas, uma onde o poder público e/ou as empresas privadas se preocupam em realizar seu descarte corretamente com a adoção de medidas de reciclagem e correta armazenagem e a outra com o descarte irregular.

O uso de agregados alternativos é um passo natural para solucionar parte do esgotamento dos agregados naturais, e quando processado a partir de resíduos pode ser uma solução viável, pois o principal objetivo da reutilização de um material é minimizar o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente.

A indústria da construção civil, especialmente a de concreto, é tal que os resíduos cerâmicos podem ser hoje usados com segurança sem a necessidade de mudanças na produção e aplicação do processo, desde que tomadas as devidas cautelas. A porcentagem de substituição dos agregados comuns por resíduos cerâmicos varia entre 20% a 50%, principalmente, mas há casos que recomendam a substituição total dos agregados (FRANCK *et al.*, 2004; CAMPOS, 2009).

Os isoladores elétricos de porcelana após sua substituição muitas vezes são descartados na natureza em meio a entulhos conforme mostrado na figura 1.1. Esta substituição dos isoladores ocorre em média a cada dez anos devido ao desgaste e a dificuldade em substituir a parte metálica interna ao corpo cerâmico. Assim, foi constatado que empresas sucateiras comprem estes isoladores de porcelana inservíveis apenas com a intenção de aproveitar os metais para a reciclagem, não tendo o corpo cerâmico nenhuma utilidade ou reaproveitamento.

Esta porcelana é durável e altamente resistente a agentes químicos, biológicos e à forças de degradação física. A proposta de sua utilização em concretos e argamassas tem a intenção de melhorar suas diversas propriedades além da redução de custos, já que são constituídos

basicamente por *Si* (*silício*) e *Al* (*alumínio*) elementos responsáveis pela hidraulicidade potencial conferindo melhorias ao índice de atividade pozolânica quando utilizados em concretos e argamassas (JOHN; CINCOTTO; SILVA; 2003).



Figura 1.1 – Descarte de isoladores elétricos de porcelana inservíveis na natureza.

A elaboração de uma metodologia para a reciclagem destes isoladores de porcelana, moagem em granulometria aos agregados comuns, areia e brita, e sua posterior utilização na construção civil, mesmo que em quantidades inferiores ao consumo de agregados no Brasil, em especial em concretos e argamassas, tende a diminuir o descarte destes na natureza e consequentemente preservar a extração dos agregados.

A moagem em partículas inferiores a 75 µm confere a esta porcelana maior atividade pozolânica, podendo ocorrer a utilização desta como adição pozolânica ao cimento Portland. Estas ações já deveriam estar implantadas, pois a Lei Federal nº 10.257 (BRASIL, 2001) que criou o Estatuto das Cidades determinou novas diretrizes para o desenvolvimento sustentável das cidades, com destaque para a gestão dos resíduos sólidos.

No ano de 2002 foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – a Resolução nº 307 de 05/07/2002 (BRASIL, 2002) que definiu as responsabilidades e deveres, tornando obrigatória em todos os municípios do país e no Distrito Federal a implantação pelo poder público local de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil, como forma de eliminar os impactos ambientais decorrentes do descontrole das atividades relacionadas à geração, transporte e destinação desses materiais.

A Resolução nº 307 também determina para os geradores a adoção, sempre que possível, de medidas que minimizem a geração de resíduos e sua reutilização ou reciclagem; ou, quando for inviável, que eles sejam reservados de forma segregada para posterior utilização (CAIXA, 2005).

A partir do último levantamento da produção nacional de isoladores de porcelana realizado pela Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2003) a produção brasileira atualmente é estimada em 30.000 toneladas ao ano e as indústrias cerâmicas, ao seguir a Resolução nº 307, teriam que “receber” esta quantidade anual de isoladores e realizar ações para sua reutilização.

Esta porcelana por ser um material nobre e de grande quantidade na cidade de Pedreira-SP, distante 40 km de Campinas-SP, já que concentra 80% da produção nacional conforme informações das próprias cerâmicas ali instaladas, teria um passivo anual de cerca de 25.000 toneladas de isoladores necessitando de melhor e correta destinação.

Como não há local apropriado para armazenar toda esta porcelana nem investimentos públicos ou privados que garantam uma metodologia para seu reaproveitamento, este trabalho comprovou, através de ensaios laboratoriais, que é possível e real a reutilização dos isoladores

elétricos de porcelana, pois, apenas com uma simples moagem esta cerâmica pode substituir os agregados em concretos e argamassas e também ser uma adição pozolânica ao cimento.

Sua camada de esmalte superficial atribuída, por inúmeros estudos anteriores, como a principal desvantagem de sua utilização. Após estudos comparativos de propriedades mecânicas contendo estes isoladores, com e sem a camada de esmalte, comprovaram não haver influência desta camada superficial.

Há sim, uma possível influência desta camada para isoladores de granulometria superior a 19 mm devido ao processo de fabricação destes isoladores, que os tornam em formato lamelares quando moídos nestas dimensões.

A reutilização da porcelana, que por ter maior ação pozolânica conforme sua granulometria, possui vantagens econômicas quanto a redução na produção de clínquer (menor consumo de energia); vantagens ambientais com a redução das emissões de CO₂ e reutilização dos isoladores descartados na natureza; vantagens técnicas de elevação dos valores das propriedades mecânicas, resistência à expansão devido à presença de cal livre, sulfatos e álcalis, resistência à ação da água pura e ácido, redução do calor de hidratação e aumento da impermeabilidade, reduzindo a porosidade, além de menores tempos de início e fim de pega do concreto (JUAN *et al.*, 2010).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar uma metodologia de reciclagem de isoladores elétricos de porcelana que permita a utilização desta porcelana em substituição aos agregados comuns, areia e brita, em concretos e argamassa, e também como adição pozolânica ao cimento Portland. Investigando, sobretudo o efeito da camada de esmalte externa a estes isoladores e seu comportamento nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos e argamassas. Sendo uma solução ao passivo de isoladores de porcelana que aumenta a cada ano.

1.2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar e comparar as propriedades dos agregados comuns, areia e brita, aos isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar a estes agregados. Determinando em seguida dosagens de concretos com diferentes teores de substituição dos agregados pela porcelana moída.

Comparar os traços de concreto com porcelana a um traço referência nas propriedades de estado plástico: abatimento, e no estado endurecido: resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo estático de elasticidade à compressão, absorção de água por capilaridade e resistência à carbonatação, em diferentes idades.

Estudar o comportamento da zona de transição agregado matriz pasta de cimento através da análise de imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) além do tipo e quantidade de material que compõem estes concretos através do ensaio de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

Analisar a atividade pozolânica destes isoladores de porcelana finamente moídos quando adicionados ao cimento Portland e sua posterior utilização em argamassas, com estudos nas propriedades mecânicas e de durabilidade como: resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, absorção de água por capilaridade e resistência à carbonatação, além da análise de imagens por MEV sempre comparando as argamassas com porcelana a um traço de referência.

Verificar o efeito, ao longo do tempo, da camada superficial de esmalte dos isoladores elétricos de porcelana na resistência à compressão simples, na resistência à tração por compressão diametral e na resistência à carbonatação em corpos-de-prova de argamassa e a interferência deste esmalte na formação dos produtos de hidratação do cimento na zona de transição agregado-pasta em argamassas através da análise de imagens por MEV e ensaios de EDS.

CAPÍTULO 2: AGREGADOS CERÂMICOS

2.1 O SETOR CERAMISTA

No Brasil o uso da cerâmica vermelha é mais difundido em decorrência da utilização do tijolo de barro comum, dos blocos e telhas cerâmicas e das placas impermeabilizantes, pisos e azulejos, ao passo que a utilização da cerâmica branca fica mais evidenciada nas peças sanitárias.

Os isoladores elétricos de porcelana possuem uma pequena participação na produção brasileira de cerâmica cerca de 30.000 toneladas/ano (ABCERAM, 2003), com 80% da produção brasileira concentrada na cidade de Pedreira-SP, distante 40 km da cidade de Campinas-SP, que também possui grande quantidade de cerâmicas produtoras de porcelana doméstica (porcelana de mesa), de produção mais artesanal e pouco automatizada, tornando a cidade conhecida como a “Capital da Porcelana”.

A mão-de-obra utilizada para produção dos isoladores é mais qualificada quando comparada à porcelana doméstica, havendo também uma produção mais automatizada com grandes fornos de queima e rigoroso controle de qualidade do produto acabado (SOUZA, 2003).

2.2 ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA

2.2.1 Definições

Os isoladores de porcelana são materiais cerâmicos classificados como cerâmica branca por serem feitos com pó de argila branca, caulim quase puro (VAN VLACK, 1973). Estes isoladores possuem um corpo de massa branca constituído basicamente de argilas, vermelha e branca (caulim) com baixo teor de ferro para não comprometer suas funções isoladoras, quartzo e feldspato, recobertos por uma camada vítrea de esmalte.

Possuem elevado ponto de fusão, sendo manufaturados a frio na forma plástica e sofrendo processo de queima variável de acordo com o isolador a uma temperatura de até 2.000°C (SCHMIT, 1979; ABCERAM, 2002).

Os isoladores atuam como suportes mecânicos e ao mesmo tempo na isolação das principais estruturas e equipamentos elétricos de qualquer instalação estando, muitas vezes, sujeitos a cargas mecânicas contínuas de mais de meia tonelada de peso, sendo capazes de suportar continuamente os campos elétricos aos quais estão expostos e suas perturbações pré-definidas.

Devem suportar distúrbios meteorológicos (chuvas, vendavais, granizo) dentro de seus limites de projeto; ataques por contaminantes (sal, maresia, poluição) e por fungos nas regiões de alta umidade, e; ainda a situações de vandalismo, pois são alvos de tiros por armas de fogo apenas por diversão (ISOLADORES SANTANA; 2011).

Mamede Filho (1994) destaca que estes isoladores elétricos são elementos sólidos com propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços produzidos pelos condutores metálicos. Cabe a estes isoladores a função de isolar os condutores que estão submetidos a uma diferença de potencial em relação à estrutura de suporte ou em relação a outro condutor.

Estes isoladores são divididos conforme sua função isolante em dois grupos: **isolamento não regenerativo**: o dielétrico (material isolante caracterizado por oferecer resistência à passagem da corrente, comparativamente ao valor intrínseco correspondente dos materiais condutores) não se recupera após uma solicitação elétrica superior à suas características fundamentais, e; **isolamento auto-regenerativo**: o dielétrico tem a capacidade de se recuperar após a ocorrência de uma solicitação elétrica superior.

Os isoladores de porcelana são utilizados em três etapas das instalações elétricas: transmissão, distribuição e, subestações e instalações industriais, porém com divisão em duas categorias: **isoladores de apoio** são aqueles em que se apóiam os condutores fixos rigidamente usados em barramento de subestações e painéis metálicos, ou através de laços pré-formados que permite um pequeno deslocamento durante o ciclo de carga utilizados em redes de distribuição, e; **isoladores de suspensão** estes são fixados à estrutura e permitem seu livre deslocamento em relação a vertical, são os isoladores de disco muito comuns em linhas de transmissão (MAMEDE FILHO, 1994).

2.2.2 Composição Química

A composição química dos isoladores elétricos de porcelana varia de acordo com sua utilização, os mais comuns são chamados de isoladores de quartzo e são compostos por aproximadamente: 30% de caulim e argila, 30% de feldspato e 40% de quartzo. Esta composição é variável conforme sua utilização, por exemplo: um isolador para subestações elétricas recebe a substituição de alumina ao quartzo, recebendo o nome de isolador de alumina.

Estes teores básicos de matérias-primas podem sofrer mudanças dependendo das condições elétricas ou dielétricas, mecânicas e térmicas exigidas do isolador. As novas porcentagens destas substâncias são determinadas com base no triângulo de composição da porcelana onde, por exemplo: aumentando o teor de quartzo o isolador será mais resistente às altas temperaturas, com uma maior resistência mecânica e menor rigidez dielétrica; uma maior quantidade de feldspato aumentará o comportamento isolante, isto é, valores de rigidez dielétrica e fator de perdas entre outros, e; elevando a quantidade de caulim e argila, tem-se um isolador mais resistente aos choques térmicos, porém com menor rigidez dielétrica.

Outras substâncias também são adicionadas na composição desta porcelana, porém com teores reduzidos, como: hidróxido de ferro, silicato de cálcio, silicato de magnésio e alguns ácidos, influenciando diretamente na qualidade dielétrica e mecânica dos isoladores (SCHMIT, 1979; MAMEDE FILHO, 1994; ABCERAM, 2002).

2.2.3 Processo de Fabricação

O processo de fabricação é dividido em três etapas: fabricação da porcelana crua; extrusão, calibração e torneação, e; vitrificação e sinterização.

- **Fabricação da porcelana crua:** a homogeneização, por via úmida, das matérias-primas dos isoladores é realizada em cilindro rotativo horizontal seguida por prensagem para retirada da água em excesso da massa facilitando a moldagem.

- **Extrusão, Calibração e Torneação:** dependendo do tipo de isolador a ser fabricado as etapas são de extrusão e torneação onde após a compactação da massa em forma cilíndrica esta é torneada em isoladores tipo pilar, bucha, roldanas, suportes cilíndricos para chaves seccionadoras e chaves fusíveis. Já na produção dos isoladores como discos de suspensão, isoladores pino e dielétricos para montagem de suportes tipo pedestal e multicones tem-se no seu processo fabril a

etapa da calibração onde prensas rotativas moldam a massa com o formato externo do isolador através de moldes de gesso, passando em seguida por uma queima prévia a baixas temperaturas, havendo a perda de cerca de 15% da água ainda existente.

- **Vitrificação e Sinterização:** comum a todos tipos de isoladores a peça de porcelana recebe por imersão a aplicação de somente e apenas uma camada de esmalte sintético nas cores marrom ou branca com espessura variável de 0,3 a 0,07 mm propiciando ao isolador uma camada extremamente lisa, impedindo a retenção de partículas e líquidos e facilitando sua limpeza pela chuva. A sinterização é a queima por 24 horas em fornos especiais com temperaturas variando entre 1.300 °C a 2.000 °C, dependendo do tipo de isolador e ocorrendo aqui todas suas reações químicas. Todos os isoladores são submetidos a avaliação superficial e dimensional, resistência a choques térmicos, ensaios de resistência mecânica (torção, flexão, tração - pressão interna), rigidez dielétrica, estanqueidade para então serem comercializados (VAN VLACK, 1973; MAMEDE FILHO, 1994; ISOLADORES SANTANA; 2011).

2.2.4 Classificação quanto à reciclagem e reutilização dos isoladores de porcelana

De acordo com a definição na Resolução nº 307 do CONAMA, Brasil (2002), os rejeitos de isoladores elétricos de porcelana provenientes do descarte do material inservível ou do controle de qualidade no processo fabril são classificados como resíduos de Classe A (componentes cerâmicos), devendo ser destinados na seguinte forma: *“deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura”* (BRASIL, 2002).

CAPÍTULO 3: CONCRETO E ARGAMASSAS COM PORCELANA

3.1 CONCRETO COM PORCELANA

A principal reutilização dos isoladores de porcelana, segundo seus fabricantes, se resume a sua própria cadeia produtiva com até 3% desta porcelana substituindo a argila e também na indústria de tijolos refratários com substituição de 5% da argila. A moagem destes isoladores em granulometria similar a argila é fator preponderante na sua utilização devido a sua elevada dureza. A opção por uma moagem de maior granulometria, isto é, similar aos agregados, graúdo e miúdo, comuns, é uma opção para a utilização destes isoladores.

O processo de moagem da porcelana permite obter uma granulometria controlada e similar aos agregados comuns, além da similaridade da composição química destes agregados de porcelana com os agregados comuns, areia e brita, são citados por Franck *et al.* (2004) como fatores iniciais para a utilização destes isoladores na construção civil, e seu posterior uso em artefatos de concreto ou em concreto compactado por rolo, sempre comparando a um traço referência concretos com agregados de porcelana em teores de substituição de 25%, 50%, 75% e 100% e dimensão máxima de 19,0 mm.

Também observaram estes autores nos ensaios de concreto no estado fresco, abatimento por tronco de cone, que os traços com mais de 50% de porcelana moída apresentaram diminuição da trabalhabilidade e dificuldade de adensamento. Para os ensaios de resistência à compressão simples, a incorporação de porcelana resultou em decréscimo na resistência em comparação ao traço referência, com a ruptura ocorrendo principalmente na face vidrada dos isoladores que

substituíram o agregado graúdo, além da diminuição da massa específica do concreto de cerca de 10% para os traços com porcelana que também apresentaram absorção de água em conformidade com a norma brasileira.

A faixa de substituição dos agregados por porcelana proposto pelos autores foi estabelecida entre 20 e 50%. Alguns aspectos negativos para a utilização destes isoladores são: a potencial reatividade da porcelana, devido a presença de material cimentante à base de enxofre; incidência de ruptura na região polida da superfície vidrada e eventual expansão dimensional das peças de concreto com porcelana, além do problema da oxidação das armaduras (FRANCK *et al.*, 2004).

O trabalho de Costa; Martins; Baldo (2004a) ilustra a substituição total do agregado graúdo comum por resíduos de louça sanitária de dimensão característica máxima entre 4,8 e 9,4 mm, em concretos de traço 1:2,5:3,5. Nos ensaios de resistência à compressão simples o traço com porcelana obteve resultados superiores ao referência, citando os autores até a utilização deste em concretos estruturais. Na análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura não observaram nenhum efeito visível do esmalte cerâmico na concentração e distribuição dos produtos de hidratação.

Pelo fato da porcelana sanitária conter sílica tanto na fase vítrea do corpo cerâmico como no esmalte, não houve o impedimento da funcionalidade do agregado graúdo no concreto. Como conclusão pró utilização da porcelana sanitária destacam os autores que o aumento da resistência à compressão do concreto reciclado foi resultado da menor relação água/aglomerante e do melhor adensamento, quando da utilização da cerâmica (COSTA; MARTINS; BALDO, 2004a).

Em Senthamarai; Devadas Manoharan (2005) a substituição total do agregado graúdo por isoladores de porcelana, de dimensão máxima de 20 mm, em concretos com diferentes consumos de cimento e relação água/cimento resultou em concretos mais fluidos, isto é, quanto maior o teor de porcelana maior o abatimento do concreto. Nos ensaios de resistência à compressão simples os valores obtidos nos traços com porcelana foram poucos inferiores a

referência, para os demais ensaios de resistência à compressão diametral, à tração na flexão e módulo de elasticidade o aumento do teor de porcelana também resultou na diminuição para os concretos com maiores teores de porcelana em comparação ao traço de referência, com agregados comuns.

Mesmo com os valores inferiores obtidos nos ensaios de propriedades mecânicas dos concretos com isoladores de porcelana em comparação aos traços referência destacam os autores o emprego de isoladores de porcelana como uma alternativa de substituição aos agregados comuns e consequentemente resultando em concretos passíveis de serem utilizados na construção civil (SENTHAMARAI; DEVADAS MANOHARAN, 2005).

A substituição do agregado graúdo comum por resíduos cerâmicos, provenientes de azulejos e peças sanitárias de porcelana, é tema de pesquisa de Abdullah *et al.* (2006) onde foram estudados traços de concreto com cerâmica e diferentes relações água/cimento comparando-as a concretos com agregados comuns. Quanto a caracterização do agregado graúdo cerâmico observaram os autores similaridades nas propriedades permitindo sua utilização.

Destacam também os autores a maior capacidade de absorção de água da cerâmica, fato este que não interferiu no abatimento dos traços de concreto no estado fresco. Verificaram os autores que as densidades dos concretos com agregados cerâmicos eram similares aos traços convencionais além dos resultados de resistência à compressão simples permitindo sua utilização em bancos e mesas de concreto fixando um teor de substituição do agregado graúdo comum por resíduos cerâmicos entre 85 e 100% (ABDULLAH *et al.*, 2006).

O envelhecimento acelerado do concreto com isoladores de porcelana, de granulometria inferior a 19 mm, substituindo os agregados é tema de pesquisa de Portella *et al.* (2006). Com a incorporação desta porcelana para a confecção de artefatos de concreto conseguiram os autores reduzir em 5% o consumo de cimento. Em razão desta porcelana possuir baixa porosidade e elevado módulo de elasticidade há interferência nos ensaios de resistência à compressão simples e diametral, à tração na flexão e no módulo de elasticidade, independente do tipo de cimento utilizado.

Com o aumento da idade dos concretos ocorreram nos ensaios de capilaridade aumento da absorção de água acarretando em perda da massa dos concretos. Quanto aos ensaios de expansibilidade do concreto, os traços que continham porcelana de face esmaltada e base de enxofre apresentaram expansões maiores que os concretos de porcelana sem esmalte e enxofre.

Com conclusões negativas da utilização dos isoladores de porcelana destacam os autores, Portella *et al.* (2006), que o esmalte superficial das saias da porcelana com enxofre, de moagem e separação mais onerosa, e a própria porcelana podem ser potencialmente reativos com os cimentos comumente usados, produzindo reações expansivas, trincas e diminuição da resistência mecânica final dos concretos, além da possível reatividade dos materiais compostos dos isoladores de porcelana, como o quartzo, feldspato e caulim.

Outro fator relevante contra a utilização de isoladores de porcelana em concreto refere-se ao quartzo, pois quando este é incorporado ao concreto tende a causar reações químicas expansivas, como: o aumento de volume sob condições especiais de umidade e temperatura, criando tensões internas e sua posterior fissuração; perda da monoliticidade. Há também a potencialização da reação álcali-agregado em decorrência de ser um mineral reativo que ocorre em condições especiais de exposição do concreto e sem as devidas medidas de mitigação.

As expansões químicas são relativas a camada superficial de esmalte e o enxofre utilizado como agente cimentante nas porcelanas, sendo esta expansão fator preponderante nas obras de concreto armado, pois as medidas do potencial de corrosão da armadura foram efetivas na identificação de mecanismos de deterioração da estrutura.

A expansão dimensional e a reatividade potencial são fatores importantes que devem ser levados em conta no dimensionamento de uma estrutura de concreto, assim, os autores recomendam testes preliminares e de dosagens para utilização de concretos com adições de isoladores de porcelana (PORTELLA *et al.*, 2006).

Em Santolaia *et al.* (2007) são utilizados isoladores elétricos de porcelana, de granulometria entre 19 e 6,3 mm, em substituição parcial do agregado graúdo em concretos, nos teores de 10%, 20%, 30% e 40%, comparando seus resultados a um traço referência. Em relação

aos ensaios dos concretos no estado endurecido, os resultados não foram lineares em relação ao teor de porcelana e resistências obtidas, pois o traço com 10% de porcelana apresentou resistência à compressão simples superior ao traço referência.

Já nos ensaios de resistência à tração na flexão, todos os traços com porcelana apresentaram maiores resistências que o traço referência. Durante a realização dos ensaios mecânicos observaram os autores, maiores incidências das fraturas na face esmaltada dos isoladores, entretanto, estes recomendam a substituição de 10% do agregado graúdo comum por isoladores de porcelana para um concreto sem fins estruturais (SANTOLAIA *et al.*, 2007).

O trabalho de Lintz *et al.* (2008) baseou-se também no estudo das propriedades mecânicas do concreto, no estado fresco e endurecido com substituição do agregado graúdo, de dimensão máxima de 19 mm, por isoladores elétricos de porcelana moídos, nos teores em massa de 10, 20, 30, 40 e 50%.

Em relação a caracterização inicial dos agregados comuns e de porcelana observaram estes autores o baixo índice de absorção de água da porcelana, com sua utilização pode-se diminuir a quantidade de água no concreto, resultando em menor consumo de cimento. Esta menor capacidade de absorção de água da porcelana resultou em maiores abatimentos dos concretos no estado fresco.

Já nos ensaios dos concretos no estado endurecido, realizados aos 28 dias, observaram os autores, que a resistência à compressão simples para o traço com 10% de porcelana foi superior a obtida pelo concreto referência. Para os ensaios de resistência à compressão diametral e à tração na flexão todos os traços com porcelana apresentaram resultados inferiores em relação ao referência.

Analizando os resultados dos ensaios de capilaridade, devido a baixa absorção de água da porcelana, os traços com maiores teores resultaram em menor capilaridade frente ao concreto referência. Assim, segundo os autores, isoladores elétricos de porcelana podem substituir o agregado graúdo comum em concretos sem fins estruturais (LINTZ *et al.*, 2008).

Na pesquisa de Campos (2009) a utilização dos isoladores elétricos de porcelana foi em substituição aos agregados, gráúdo, de dimensão máxima de 19 mm, e miúdo, com dimensão máxima de 4,8 mm, em concretos e argamassas, nos teores em massa de 25%, 50%, 75% e 100%. Em relação a caracterização dos agregados de porcelana observou o autor a baixa capacidade de absorção de água da porcelana influenciando também na capilaridade dos concretos.

Nos ensaios de abatimento dos concretos todos os traços, independente do teor de porcelana apresentaram *Slump* zero, porém, os concretos estavam adensáveis. Outro ensaio realizado no estado fresco mediu o tempo de início e fim de pega dos concretos sendo que quanto maior o teor de porcelana, menores foram os tempos de início e fim de pega.

Para os traços de concreto de cura submersa e com substituição do agregado miúdo obteve o autor aumento na resistência à compressão simples, na resistência à tração na compressão diametral e à tração na flexão, melhoras atribuídas a uma possível atividade pozolânica da porcelana. Nos ensaios de módulo de elasticidade os valores obtidos nos concretos com porcelana foram inferiores quando comparados ao traço referência.

Para os traços de concreto curados ao ar livre a melhora nos resultados ocorreu apenas na resistência à compressão diametral, nos demais ensaios mecânicos os valores ficaram abaixo em relação ao concreto referência. O teor de substituição do agregado miúdo por porcelana proposto pelo autor é superior a 50%, que é aliado à vantagem econômica da moagem desta cerâmica frente à extração da areia na natureza.

Independentemente do tipo de cura, em relação a substituição do agregado gráúdo, exceção dos ensaios de capilaridade onde os traços com porcelana apresentaram melhores resultados que o traço referência, todos os concretos com porcelana resultaram em valores inferiores quando comparados a referência, fato atribuído a baixa aderência do agregado com a pasta em razão de seu formato lamelar, sua grande área esmaltada e também pela sua maior granulometria. Um teor de substituição de 25 a 50% do agregado gráúdo por isoladores de porcelana foi recomendado pelo autor já que sua moagem é mais econômica que a extração da brita (CAMPOS, 2009).

A pesquisa de Guerra *et al.* (2009) baseou-se na utilização da porcelana proveniente de peças sanitárias e sua utilização em concretos através da análise de diversos traços de concreto com substituições parciais, de 3% a 9%, do agregado graúdo comum pela porcelana. No ensaio de abatimento para os traços de concreto com porcelana os valores foram ligeiramente superiores ao traço referência, porém não houve uma relação direta entre o teor de porcelana e o abatimento nos concretos.

Em relação aos ensaios no estado endurecido, com exceção do traço com 3% de porcelana, em todos os demais teores de substituição houve melhora nos valores de resistência à compressão simples e à compressão diametral quando comparados ao concreto referência. O destaque dos ensaios mecânicos ficou para a resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos com aumento de resistência da ordem de 20% para os traços com porcelana frente ao referência.

Concluem os autores que dentro dos limites estabelecidos na pesquisa, os concretos com porcelana substituindo parcialmente o agregado graúdo é tecnicamente viável, e tem a vantagem significativa de reciclagem de resíduos da indústria de construção em sua composição, não foram analisados nesta pesquisa os custos da reintrodução desta porcelana na indústria do concreto (GUERRA *et al.*, 2009).

O trabalho de Huang; Dong; Burdette (2009) analisou a incorporação de resíduos cerâmicos, provenientes da indústria automotiva, no cimento Portland e a utilização desta cerâmica em pavimentos de concretos. Em relação a utilização da cerâmica em substituição ao cimento o teor ótimo apresentado pelos autores é de até 10% em razão da melhora deste teor nas propriedades de resistência à compressão simples.

Este teor deve ser acompanhado de aditivo redutor de água, em razão da maior capacidade de absorção de água pela cerâmica, para se ter uma trabalhabilidade do concreto com cerâmica similar ao traço referência. Já na utilização de pavimento de concreto o teor de substituição do agregado miúdo destacado pelos autores em razão da melhora dos resultados foi

de 15% também de decorrência da melhora nas propriedades mecânicas (HUANG; DONG; BURDETTE, 2009).

Em relação aos estudos do efeito da utilização da cerâmica vermelha, sua composição mineralógica é similar a da cerâmica branca, sendo que sua cor é dada em função da elevada quantidade de óxido de ferro (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2010).

Na substituição do cimento por resíduos de cerâmica vermelha, da região de Salvador-BA, para a produção de concretos os estudos de Freire *et al.* (2010) pretende reduzir significativamente o consumo de energia e as emissões de CO₂ resultantes do processo fabril da indústria do cimento. Este resíduo cerâmico possui propriedade pozolânica, ou seja, reage com o Ca(OH)₂ decorrente da reação de hidratação do cimento formando mais produtos de hidratação, responsável pela resistência e durabilidade dos concretos ou argamassas.

Para os ensaios de consistência da argamassa foi observado pelos autores que o aumento do teor de substituição do cimento por cerâmica reduz seu índice de consistência, ensaio de *flow-table*. Nos ensaios de resistência à compressão simples nas argamassas os resultados foram inferiores em até 25% quando comparados ao traço referência, diminuição esta resultante do baixo nível de pozolanicidade da argila decorrente de tempo insuficiente no forno de calcinação ou até mesmo falta de uniformidade da temperatura do mesmo. Os traços com cerâmica também apresentaram acréscimo na porosidade total da mistura devido a um menor volume de hidratos formados.

Mesmo com o aumento da porosidade nos traços com maiores teores de substituição do cimento pelo resíduo cerâmico a absorção de água nestes traços foi inferior comparada a referência, pois a quantidade de cerâmica que não reagiu associada com os hidratos formados promoveu um maior refinamento da estrutura de poros, aumentando a densidade de poros menores, estando estes melhor distribuídos e menos conectados entre si, dificultando a penetração da água. O teor ótimo de substituição do cimento Portland pela cerâmica proposto pelos autores foi de 20%.

Para o traço de concreto com a cerâmica substituindo o cimento o índice de consistência deste concreto foi inferior ao traço referência, decorrente da maior área específica do resíduo cerâmico em relação ao cimento. Nos ensaios mecânicos os valores das propriedades medidas foram similares ao traço referência já que não houve contribuição pozolânica significativa na matriz, até a idade de ensaio, 28 dias, realizada pelo autor.

Resultados similares foram obtidos quanto ao índice de vazios e absorção por imersão do concreto com o resíduo cerâmico em comparação a referência, ao passo que a diminuição da absorção por sucção capilar foi constatada. Assim concluem os autores que o resíduo cerâmico pode substituir parcialmente o cimento Portland na produção de concretos, melhorando sua durabilidade, sem prejudicar seu desempenho mecânico (FREIRE *et al.*, 2010).

A Espanha, por ser a líder mundial da produção de porcelana sanitária, possui vários trabalhos que tratam do reaproveitamento destes resíduos cerâmicos destacando Juan *et al.* (2010). A moagem desta porcelana resulta num agregado de granulometria similar ao agregado gráúdo comum, com maior capacidade de absorção de água, que não influenciou o adensamento do concreto, formato lamelar e elevada resistência mecânica permitindo sua utilização em concretos. Devido a densidade da porcelana ser inferior em relação ao agregado comum o concreto produzido com a cerâmica será mais leve que o convencional.

Em relação as propriedades dos concretos no estado endurecido os traços com porcelana apresentaram resistência à compressão simples e à tração na flexão superiores a referência, sendo esta melhoria atribuída pelos autores como decorrência da maior superfície da porcelana, em razão de seu formato lamelar, havendo com isso maior adesão do agregado com a pasta na zona de transição.

Analizando os concretos por difração de raios X não observaram, os autores, efeitos negativos da incorporação de cerâmica nos produtos da hidratação do cimento, podendo segundo os autores a porcelana substituir o agregado gráúdo comum em concretos estruturais em razão de seus resultados obtidos (JUAN *et al.*, 2010).

A substituição do cimento Portland por resíduos cerâmicos foi a maneira encontrada, por Pacheco-Torgal; Jalali (2010), para sua reutilização, pois anualmente milhares de toneladas de argila calcinada são descartadas na natureza em decorrência das desconformidades do processo fabril das indústrias cerâmicas. A cerâmica finalmente moída, $<75\text{ }\mu\text{m}$, foi utilizada substituindo 20% do cimento em concretos resultando na redução de 7,5% de seu custo final. Também foram moldados concretos utilizando agregados miúdos e graúdos cerâmicos, com superfície saturada seca, em substituição aos comuns.

Como resultados principais da substituição de 20% do cimento pelo pó cerâmico na resistência à compressão simples nas idades iniciais de ensaio ocorreram maiores diferenças entre o traço referência e o traço com cerâmica, próximo a 25% aos 7 dias, mas ao final da idade de ensaio esta diferença estava menor, cerca de 10% aos 90 dias, devido segundo os autores pela atividade pozolânica tardia da cerâmica.

Devido a maior capacidade de absorção de água pela porcelana, esta quando utilizada em substituição ao cimento, resultou em aumento de 5% na absorção de água em relação ao concreto referência, a permeabilidade ao ar do concreto com cerâmica foi de até 12% superior a referência. O concreto produzido com cerâmica branca possui maior resistência a penetração de cloretos, conforme os ensaios realizados pelos autores, relacionado a microestrutura mais densa resultante da reação entre o pó cerâmico e o hidróxido de cálcio, gerando um C-S-H secundário.

Quanto a substituição dos agregados comuns por cerâmica os resultados destes concretos resultaram na elevação da resistência à compressão simples principalmente devido a utilização da cerâmica com superfície saturada seca da cerâmica proporcionando água para a hidratação do cimento.

Para o agregado cerâmico miúdo esta melhora na resistência é obtida a partir de 14 dias, já para o agregado cerâmico graúdo esta melhora passa a ocorrer após 28 dias. O índice de absorção de água e de permeabilidade ao ar dos concretos com cerâmica foram inferiores em comparação com o traço referência. Quanto ao ensaio de ataque por cloretos a menor granulometria dos agregados cerâmicos resultou na melhoria do desempenho do concreto.

Como conclusões principais do trabalho os resultados mostram que o concreto com pó cerâmico substituindo o cimento Portland, embora tenha uma pequena perda de resistência à compressão simples, possui potencial para aumentar a durabilidade devido às suas propriedades pozolânicas.

Resultados também mostram que a substituição do agregado miúdo pela cerâmica é uma opção possível, porque não houve perda de resistência à compressão simples e obteve-se um superior desempenho de durabilidade. Para a substituição do agregado graúdo pela cerâmica os resultados ficaram aquém do concreto de referência quanto a absorção e permeabilidade de água. Destacam os autores que a melhor substituição ocorre para o agregado miúdo (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2010).

O trabalho de Suzuki; Meddah; Sato (2009) destaca a utilização de agregados graúdos cerâmicos japoneses como forma de eliminar a retração autógena, consequente do endurecimento, em concretos de alto desempenho moldados com baixa relação água/cimento de 0,15. No ensaio de resistência à compressão simples, nas idades iniciais de ensaio, até 7 dias, os traços com menores quantidades de cerâmica apresentaram resistência similar ao traço referência, sendo que aos 28 dias de idade, em todos os traços de concreto com cerâmica, a resistência obtida foi superior em relação ao referência.

Esta melhoria na resistência com o aumento da idade de ensaio é explicada pelos autores devido a maior absorção de água por parte do agregado cerâmico em comparação ao agregado comum, então esta água absorvida vai ao longo do tempo sendo “liberada” e utilizada na hidratação do cimento, formando C-S-H nos poros do concreto.

Nos ensaios de resistência à tração na flexão, propriedade ligada a retração autógena do concreto, o aumento da resistência com a idade dos concretos com cerâmica foi inferior em comparação a referência devido, segundo os autores, a menor resistência da zona de transição agregado cerâmico-pasta.

Para os ensaios de módulo de Young do concreto, a superfície do agregado cerâmico interferiu nos resultados, como já era esperado pelos autores, ocorrendo a diminuição do valor

deste módulo com o aumento do teor de cerâmica e aumento da idade de ensaio. Na retração autógena do concreto, os traços com teores superiores a 20% de cerâmica apresentaram, no início das medições, maiores expansões que diminuíram com o aumento das idades de ensaio. Esta retração foi atribuída ao tipo de cimento utilizado e a formação da portlandita pelas reações pozolânicas do concreto, ao passo que a utilização do agregado cerâmico com superfície seca saturada, pré-saturado, reduz, segundo os autores, esta retração.

Como conclusões principais deste trabalho os autores citam a utilização dos agregados cerâmicos pré-saturados que “liberam” água para a hidratação do cimento resultando com isso aumento da resistência à compressão simples e diminuição da retração, sendo possível a utilização deste agregado em concretos de alto desempenho (SUZUKI; MEDDAH; SATO, 2009).

Outro estudo que trata da utilização de isoladores elétricos de porcelana em concreto é de autoria de Senthamarai; Devadas Manoharan; Gobinath (2011), que avaliou a durabilidade de concretos com agregados graúdos desta porcelana, de dimensão máxima de 20 mm. Foram moldados e comparados os resultados de concretos com cerâmica e convencional quanto a diferentes relações água/cimento, quantidades de cimento e agregado miúdo.

Em relação ao ensaio de absorção de água destacam estes autores o aumento da quantidade de água absorvida com o aumento da relação água/cimento, além dos traços com porcelana apresentarem maior absorção em relação aos traços de concreto convencionais, devido ao aumento de vazios nos traços com porcelana em razão da elevação da relação água/cimento.

Já nos ensaios de sorvidade do concreto, isto é, capilaridade do concreto por sucção num primeiro instante a água preenche os poros maiores, sendo que com o transcorrer do ensaio a água passa a preencher os poros pequenos. A sorvidade é menor em concretos de baixa relação água/cimento, observações também válidas para os ensaios de difusão de cloretos.

Para os autores há influência da textura da porcelana na zona de transição agregado-pasta influenciando diretamente nas questões relacionadas a permeabilidade dos concretos onde

nos concretos com porcelana tem-se uma maior porosidade na zona de transição, além das interconexões entre os poros dos concretos.

Como conclusões principais da utilização do agregado graúdo cerâmico este atende principalmente as questões dos ensaios de permeabilidade, pois nas propriedades analisadas os resultados foram similares aos concretos convencionais e em atendimento as normas (SENTHAMARAI; DEVADAS MANOHARAN; GOBINATH, 2011).

3.2 ARGAMASSA COM PORCELANA

O trabalho de Costa; Martins; Baldo (2004b) investigou a viabilidade da reciclagem primária de rejeitos da indústria de louça sanitária, porcelana sanitária, como agregado em substituição parcial, 50%, ou total da areia, em argamassas de revestimento e assentamento, comparando-os a um traço de argamassa de referência. Nos ensaios de resistência à compressão simples das argamassas, observaram os autores que os traços com adição da louça sanitária moída apresentaram resultados superiores quando comparado com a argamassa referência.

Nos ensaios de análise térmica, estes autores, constataram que a perda de massa é menor nas argamassas com porcelana moída. Nas observações microscópicas verificaram que não existem diferenças básicas na ancoragem dos produtos de hidratação e carbonatação sobre os agregados, independentemente do agregado ser a areia comum ou louça sanitária moída. Mesmo com a porcelana moída podendo apresentar face esmaltada, esta não causou nenhum efeito negativo ao desenvolvimento da resistência mecânica e nenhum eventual produto desta reação se tornou visível.

Assim, a conclusão principal dos autores refere-se a viabilidade da utilização da louça sanitária moída em substituição à areia comum, em argamassa de assentamento e revestimento, pois a mesma apresentou propriedades compatíveis com a areia, e também por possuir um baixo custo de reciclagem. Observaram os autores, até a idade estudada, que também não ocorreu nenhuma reação adversa que provocasse danos microestruturais durante o envelhecimento. Tendo também a argamassa com a porcelana sanitária moída apresentado carbonatação mais intensa que a argamassa com areia comum (COSTA; MARTINS; BALDO, 2004b).

O trabalho de Campos (2009) realizou um estudo da substituição do agregado miúdo, areia, em argamassas. A substituição da areia pela porcelana miúda, nos teores de 25, 50, 75 e 100%, mostrou que a mesma oferece inúmeros benefícios em comparação ao agregado comum: granulometria controlada, permitindo melhor adensamento; baixa capacidade de absorção de água, reduzindo o consumo de cimento; ausência de materiais orgânicos, massas específicas e unitárias similares ao agregado comum, além de sua utilização preservar a extração do agregado comum e evitar sua disposição indiscriminada na natureza. A moagem por ser mais econômica que a extração do agregado comum na natureza é outro diferencial para seu emprego.

Nos ensaios de resistência à compressão simples os maiores valores de resistência medidos foram obtidos para os traços com teores de porcelana superiores a 50% em massa do agregado miúdo comum. Para os ensaios de absorção de água por capilaridade o aumento da substituição por porcelana resultou em menores índices de capilaridade e altura da ascensão capilar quando em comparação a argamassa de referência.

Quanto aos ensaios realizados com argamassa destaca o autor que apesar da face esmaltada ter interferido nos ensaios de concreto, com o agregado graúdo, numa menor granulometria este esmalte não causou nenhuma reação adversa na argamassa, já que pela baixa granulometria esta superfície não interferiu na aderência do cimento com o agregado (CAMPOS, 2009).

Em estudos referente a substituição dos agregados por resíduos de cerâmica vermelha, independentemente esta é benéfica já que a areia pode conter materiais orgânicos e o material cerâmico ao ser queimado extingue qualquer tipo deste material (COSTA; MARTINS; BALDO, 2006a).

Porém, os resíduos de cerâmica vermelha são mais porosos, resultando em maior capacidade de absorção de água, Costa *et al.* (2005), que a areia, tendo muitas vezes que aumentar a relação água/cimento para manter a consistência próxima do traço referência, mantendo a mesma relação água/cimento as argamassas com cerâmica vermelha apresentam

índices de consistência inferiores quando comparados ao referencial (SANTANA; LIMA; COSTA, 2007).

Conforme os ensaios de resistência à compressão simples de argamassas com resíduos cerâmicos vermelhos realizados por Costa *et al.* (2005), Costa; Martins; Baldo (2005), Costa; Martins; Baldo (2006a), Santana; Lima; Costa (2007), Costa; Martins; Baldo (2008) as argamassas com cerâmica apresentaram valores superiores a referência, isto pode ser explicado pelo melhor arranjo dos grãos (adensamento) e pela atividade pozolânica deste material com a presença do cimento/cal, (COSTA; MARTINS; BALDO, 2007 e SILVA; BRITO; VEIGA, 2009), diminuindo assim, o índice de vazios, o teor de ar e a retenção de água (COSTA; MARTINS; BALDO, 2008).

Em relação a capacidade de aderência da argamassa com resíduos cerâmicos esta aumenta com a elevação da idade de ensaios, além de apresentar maior aderência que as argamassas referência, segundo Costa *et al.* (2005), Costa; Martins; Baldo (2006b), Silva; Brito; Veiga (2009). A face esmaltada do material cerâmico, caso das placas cerâmicas de revestimento, não apresentou nenhum efeito negativo tanto em relação a resistência de aderência como a resistência à compressão simples, podendo ser utilizado, segundo a metodologia dos autores Costa *et al.* (2005), Costa; Martins; Baldo (2005), Costa; Martins; Baldo (2007), Costa; Martins; Baldo (2008).

Para a capacidade de absorção de água por imersão, quanto maior sua idade de ensaio menores foram seus índices, conforme Costa; Martins; Baldo (2005) e Silva; Brito; Veiga (2009). Entretanto, argamassas produzidas com cerâmica vermelha apresentam absorções superiores ao traço referência, fato explicado pela maior porosidade da cerâmica vermelha quando comparados a outros tipos de cerâmicas e ao agregado comum (COSTA; MARTINS; BALDO, 2006b).

Outro material cerâmico utilizado em argamassas é a fibra cerâmica, conforme pesquisa de Ma; Zhu; Tan (2005). Esta fibra cerâmica tem alto módulo de elasticidade e é utilizada em fornos do tipo arco e de olaria, pois é um ótimo isolador térmico, podendo também ser utilizada em argamassas convencionais.

CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Todos os materiais empregados nesta pesquisa passaram por um processo de caracterização físico e químico. Sendo divididos em aglomerantes (cimento Portland e porcelana fina), agregados miúdos (areia e porcelana miúda) e agregados graúdos (brita e porcelana graúda).

4.1.1 Aglomerantes: Cimento Portland e Porcelana Fina

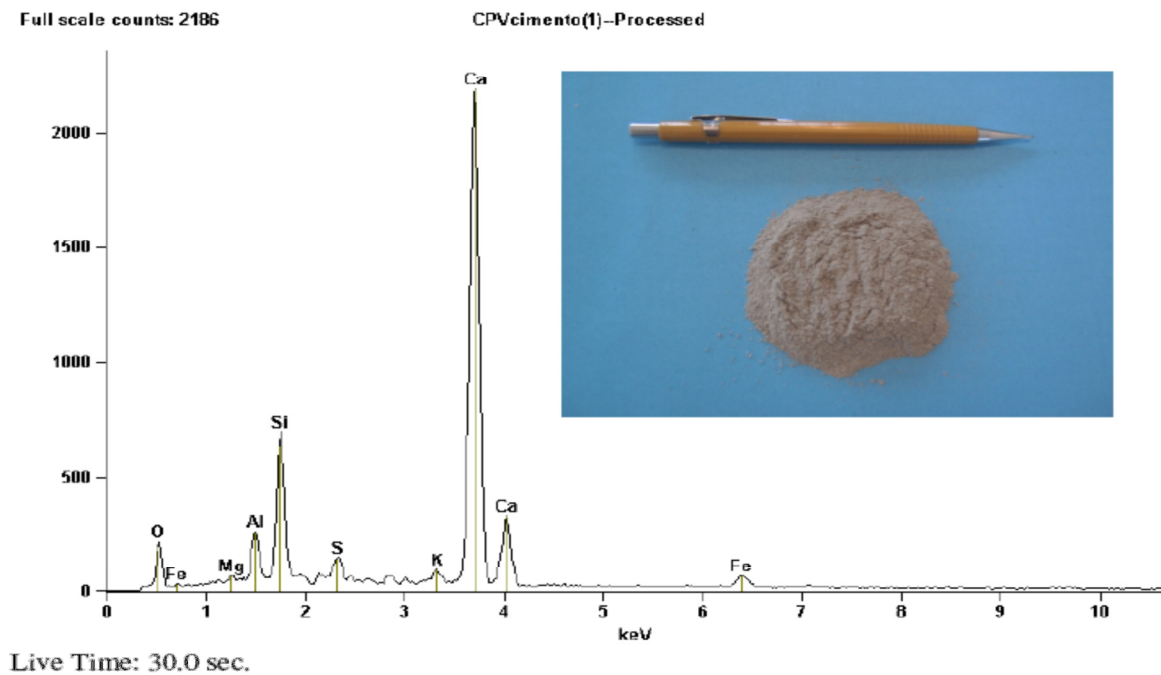
Neste trabalho foi utilizado o cimento Portland CP V ARI (Alta Resistência Inicial) com sua caracterização física apresentada na tabela 4.1 e na tabela 4.2 a caracterização química, ambas realizadas pelo fabricante, já a figura 4.1 ilustra o ensaio de EDS. Este cimento possui uma elevada resistência já nas primeiras idades, atingindo valores de resistência superiores ao longo do tempo em relação aos outros cimentos comercializados no Brasil e por ter uma maior pureza facilita a identificação da possível atividade pozolânica da porcelana.

Tabela 4.1 – Caracterização física cimento.

Análise Física - Cimento CP V		Fabricante
Peneira # 400 (%) - NBR 9202 (1985)		2,0
Blaine (cm ² /g) NBR NM 76 (1998)		4719
Relação água/cimento (%)		29,9
Tempo Pega (min) - NBR NM 65 (1991)	Início	128
	Fim	186
Resistência à Compressão (MPa) - NBR 7215	1 dia	29,4
	3 dias	41,2
	7 dias	45,7
	28 dias	53,2

Tabela 4.2 – Caracterização química cimento.

Análise Química - Cimento CP V	Fabricante
PF 500 °C (%)	0,73
PF 1000 °C (%)	4,15
R. Insol. (%)	0,91
SiO₂ (%)	19,54
SO₃ (%) - NBR NM 11-2 (2004)	2,77
CO₂ (%) - NBR NM 11-2 (2004)	2,93
Al₂O₃ (%) - NBR NM 11-2 (2004)	5,09
FeAl₂O₄ (%) - NBR NM 11-2 (2004)	3,01
CaO (%) - NBR NM 11-2 (2004)	63,85
MgO (%) - NBR NM 11-2 (2004)	0,67
K₂O (%) - ASTM C-114 (2011)	0,77
C₃A teórico (%)	7,63

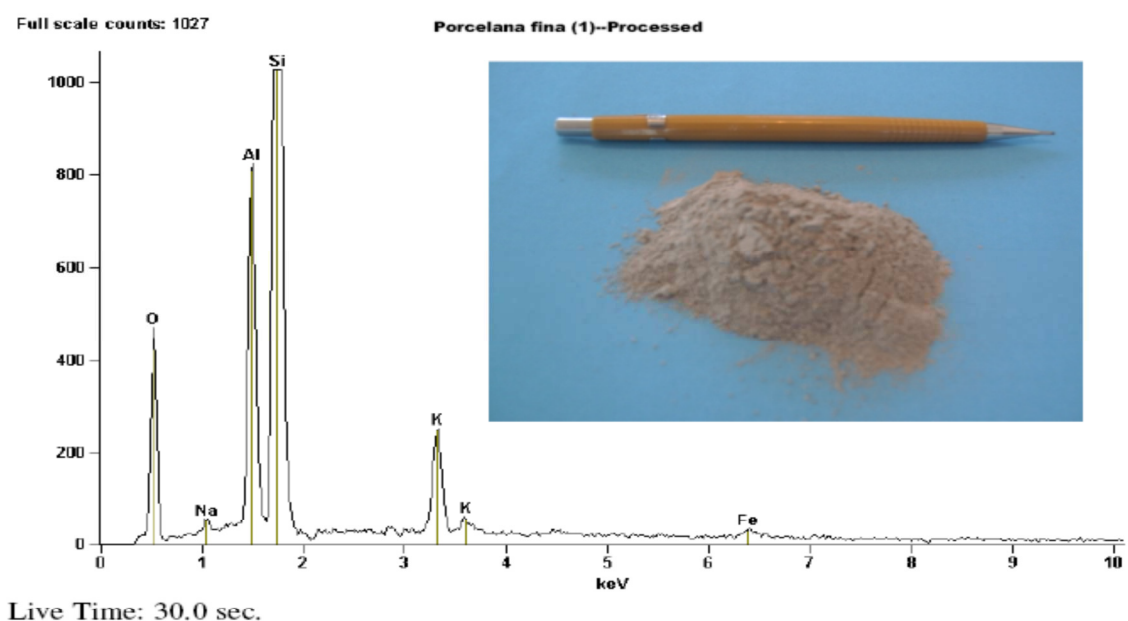


<i>Element</i>	Quantitative Results		CPVcimento(1)--Processed	
	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	1186	36.87	57.96	36.87
<i>Mg</i>	81	0.16	0.17	0.16
<i>Al</i>	1402	2.25	2.10	2.25
<i>Si</i>	5258	7.08	6.34	7.08
<i>S</i>	1036	1.63	1.28	1.63
<i>K</i>	671	0.99	0.64	0.99
<i>Ca</i>	27463	48.21	30.25	48.21
<i>Fe</i>	755	2.81	1.26	2.81
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

Figura 4.1 – EDS cimento Portland CPV.

Como a indústria cerâmica elétrica utiliza até 3% de matéria-prima proveniente de resíduos de isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar a argila foi proposto utilizar este resíduo, aqui denominado porcelana fina, como material pozolânico em adição ao cimento e posterior uso em argamassas.

Esta porcelana fina foi ensaiada quanto a sua atividade pozolânica, conforme a NBR 5752 (1992), atingindo um índice de atividade pozolânica de 0,85. Na figura 4.2 tem-se o ensaio de EDS desta porcelana onde observa-se a grande quantidade de *Si* (silício) e *Al* (alumínio) que possuem hidraulicidade potencial (JOHN; CINCOTTO; SILVA, 2003), todos estes compostos tiveram sua atividade pozolânica ativada termicamente.



Quantitative Results Porcelana fina (1)--Processed				
Element	Net Counts	Weight %	Atom %	Compnd %
O	2730	44.30	58.95	44.30
Na	262	1.10	1.02	1.10
Al	6127	9.82	7.75	9.82
Si	23564	37.87	28.71	37.87
K	2614	5.74	3.12	5.74
Fe	265	1.17	0.44	1.17
Total		100.00	100.00	100.00

Figura 4.2 – EDS porcelana fina.

4.1.2 Agregados Miúdos: Areia e Porcelana Miúda

Os agregados miúdos utilizados nesta pesquisa foram o agregado comum, areia figura 4.3 (a), e alternativo, porcelana miúda, figura 4.3 (b), acompanhados na figura 4.4 de suas respectivas imagens obtidas por Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV). Observa-se pelas imagens MEV que o agregado comum, figura 4.4 (a), possui uma superfície mais polida que o agregado de porcelana, figura 4.4 (b), em decorrência do processo de moagem da cerâmica através de moinho do tipo martelo.

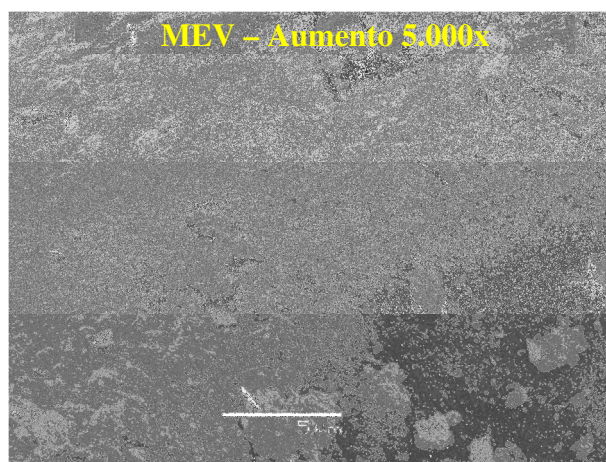


(a)

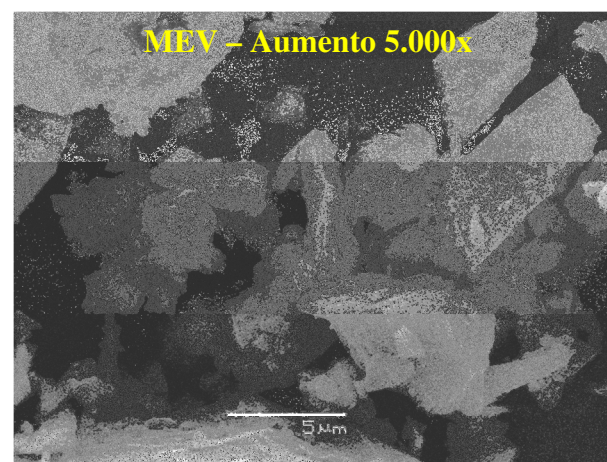


(b)

Figura 4.3 – Agregado comum, areia (a), e alternativo, porcelana miúda (b).



(a)



(b)

Figura 4.4 – Imagens MEV: Agregado comum (a) e porcelana miúda (b).

A atividade pozolânica desta porcelana miúda ensaiada de acordo com a NBR 5752 (1992) atingiu um índice de atividade pozolânica de 0,75 atribuída a ativação térmica da argila que compõem o isolador. Pela porcelana miúda ser um agregado alternativo esta foi caracterizada conforme o recomendado na NBR 15116 (2004).

Para efeito de comparação da real utilização da porcelana o agregado comum também foi caracterizado segundo estas normas com os resultados apresentados na tabela 4.3 para a composição granulometria e respectiva distribuição granulométrica na figura 4.5, conforme a NBR 7211 (2009), na tabela 4.4 tem-se análise petrográfica de ambos os agregados em acordo com a NBR 7389-1 (2009).

Tabela 4.3 – Distribuição granulométrica agregados miúdos.

Abertura das Peneiras (mm)	Agregado Comum (Areia)		Alternativo (Porcelana Miúda)	
	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)
4,75	0	0	0	0
2,36	0	0	0	0
1,18	0	0	13	13
0,6	2	2	18	31
0,3	23	25	17	48
0,15	64	89	17	65
0,075	8	97	30	95
Fundo	3	100	5	100

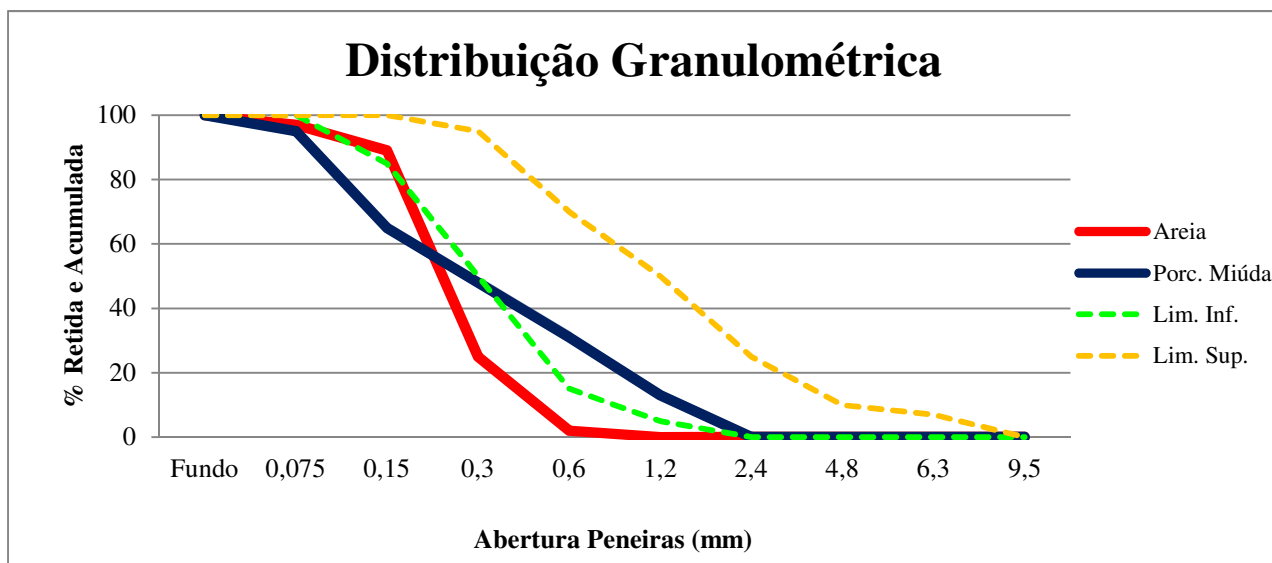


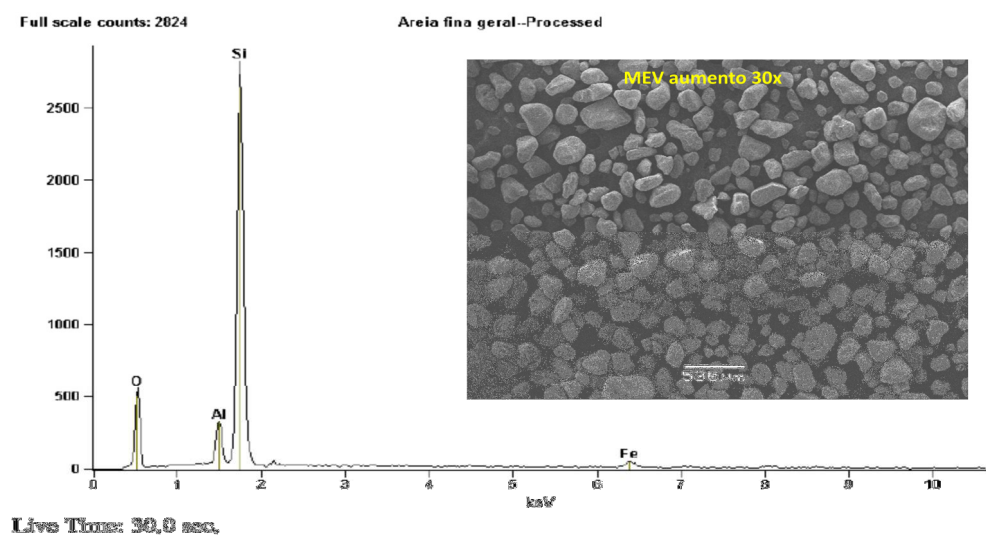
Figura 4.5 – Distribuição granulométrica agregados miúdos.

Tabela 4.4 – Análise petrográfica agregados miúdos.

Ensaio	Agregado comum (areia)	Agregado alternativo (porcelana)
Origem	Analândia-SP	Cerâmica Santa Terezinha
Composição Mineralógica	Inócuos: quartzo, minerais máficos	Isoladores elétricos de porcelana: argila, feldspato e quartzo.
	Friáveis: fragmentos de rocha alterada	
Grau de Esfericidade	Alta	Alta
Grau de Arredondamento	Subarredondado	Subanguloso
Superfície do Grão	Fosco	Fosco
Módulo de Finura	1,16	1,57
Dimensão Máxima (mm) – NBR 7211 (2009)	0,6	1,2
Índice de Atividade Pozolânica (%) – NBR 5752 (1992)	1,0*	0,75
Massa Específica (g/cm³) – NBR NM 52 (2009)	2,63	2,43
Massa Unitária (g/cm³) - NBR NM 45 (2006)	1,48	1,41
Absorção de Água (%) - NBR NM 30 (2001)	0,19	0,05
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)	0	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)	2,85	4,75
Observações Adicionais	Areia natural de formação tipicamente eólica com grãos arredondados e superfície predominantemente polida.	Isoladores de porcelana britados em granulometria similar ao agregado miúdo comum.
Potencialidade de Utilização do Agregado Miúdo	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, como agregado em concretos e argamassas.	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, substituindo o agregado comum no concreto.

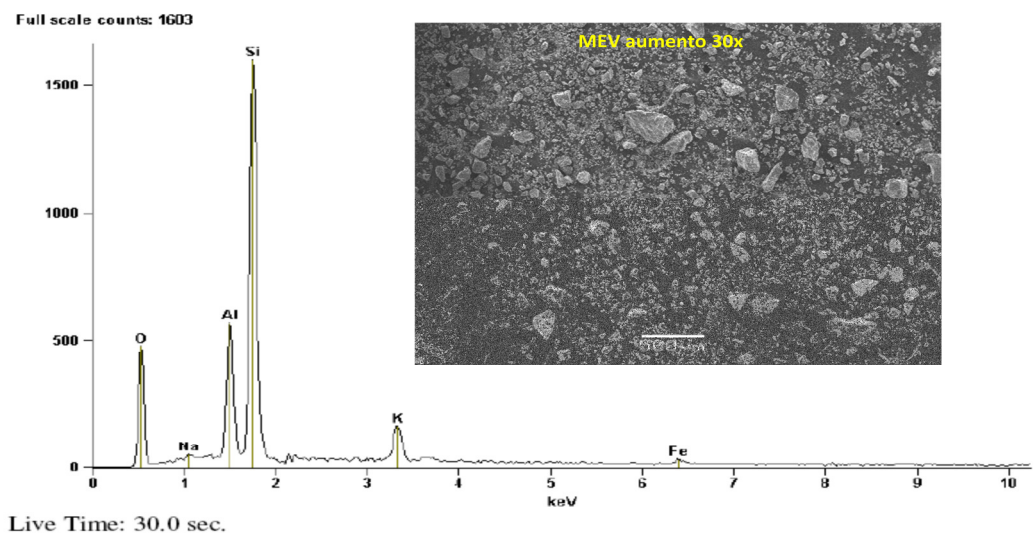
* O índice de atividade pozolânica igual a 1,0 para a areia refere-se a este ser o valor a ser comparado ao obtido pelo agregado alternativo (porcelana).

Na figura 4.6 tem-se a apresentação dos ensaios de EDS do agregado miúdo comum, areia, onde destaca-se a similaridade de seus compostos com a porcelana, com destaque para a presença de *Si* (silício), *Al* (alumínio) e *Fe* (ferro) compostos similares ao encontrados no agregado alternativo. Na figura 4.7 tem-se o EDS do agregado alternativo, porcelana miúda, sendo este constituído basicamente de grande quantidade de SiO_2 e Al_2O_3 compostos que possuem hidraulicidade potencial e que tiveram suas atividades pozolânicas ativada termicamente, além do *K* (potássio) por este ser solúvel pode acarretar problemas de eflorescência ou reação álcali-agregado (JOHN; CINCOTTO; SILVA, 2003).



Element	Quantitative Results		Area fina geral	
	Net Counts	Weight %	Atom %	Compnd %
O	3122	49.43	63.81	49.43
Al	1987	3.82	2.92	3.82
Si	24753	43.71	32.14	43.71
Fe	590	3.04	1.13	3.04
Total		100.00	100.00	100.00

Figura 4.6 – EDS agregado miúdo comum, areia.

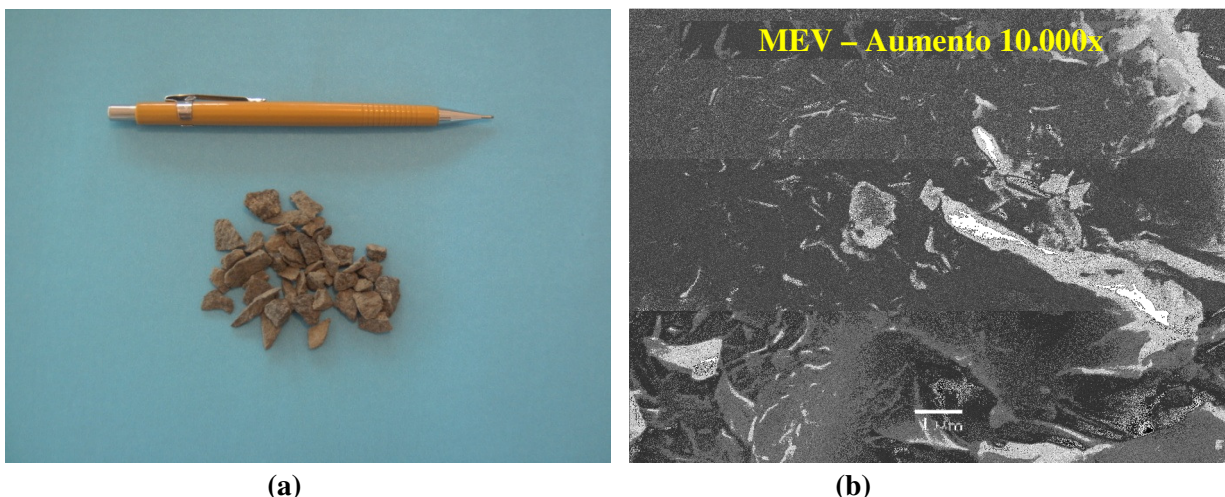


Element	Quantitative Results		Porcelana miuda Geral	
	Net Counts	Weight %	Atom %	Compnd %
O	2923	53.56	67.74	53.56
Na	158	0.96	0.85	0.96
Al	4099	9.15	6.86	9.15
Si	13602	29.58	21.31	29.58
K	1824	5.15	2.67	5.15
Fe	278	1.60	0.58	1.60
Total		100.00	100.00	100.00

Figura 4.7 – EDS agregado miúdo alternativo, porcelana miúda.

4.1.3 Agregados Graúdos

O agregado graúdo comum, brita, figura 4.8, possui uma superfície rugosa, já o agregado alternativo, porcelana graúda, figura 4.9, foi proveniente da moagem de resíduos de isoladores elétricos de porcelana por moinho do tipo martelo possui uma superfície rugosa, figura 4.10 (a), porém, quando o mesmo é analisado pela camada de esmalte externa a superfície é lisa, figura 4.10 (b). Destaca-se que esta superfície com esmalte representou máximo de 20% em relação ao total de agregado alternativo gerado após sua moagem.



(a) (b)
Figura 4.8 – Agregado graúdo comum brita (a) e MEV brita (b).



Figura 4.9 – Agregado graúdo alternativo, porcelana graúda.

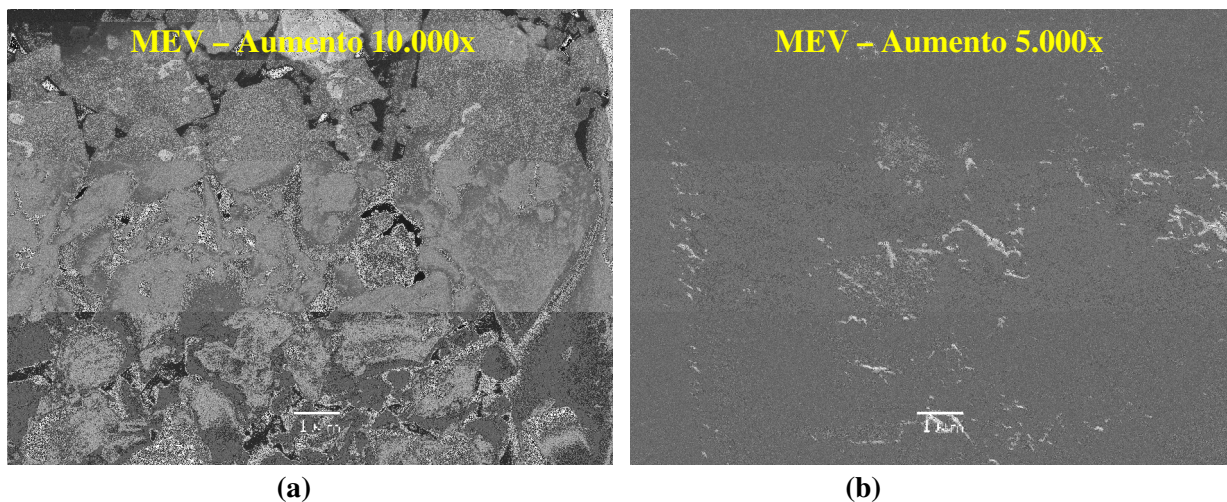


Figura 4.10 – MEV porcelana graúda sem esmalte (a) e MEV porcelana graúda com esmalte (b).

A caracterização física destes agregados graúdos foi realizada inicialmente em acordo com a NBR 15116 (2004) e posteriormente em relação a NBR 7389-2 (2009) precedida de sua análise granulométrica, NBR 7211 (2009), com todos estes dados apresentados na tabela 4.5, além da figura 4.11 com a distribuição granulométrica destes agregados. Analisando a figura 4.11 observa-se que a distribuição granulométrica de ambos os agregados encontra-se abaixo das faixas granulométricas propostas na NBR 7211 (2009), com destaque para a similaridade entre os teores de materiais finos, inferiores a 2,36 mm, que na porcelana pode apresentar-se com um material com atividade pozolânica em decorrência de seus elementos constituintes.

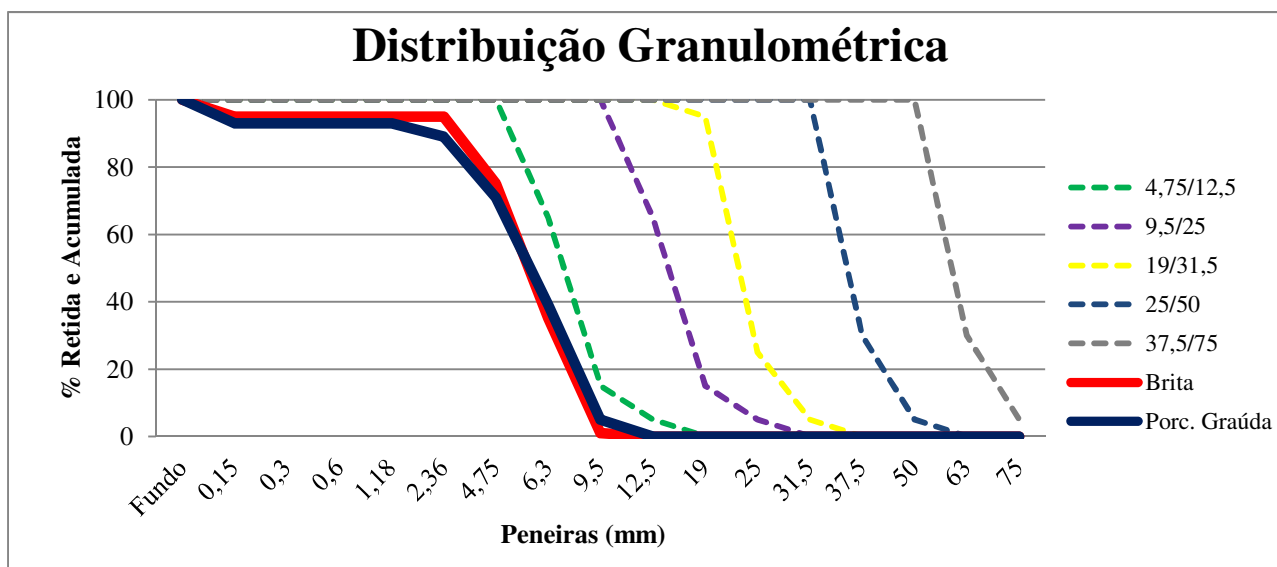


Figura 4.11 – Distribuição granulométrica agregados graúdos.

Tabela 4.5 – Caracterização agregados graúdos.

Abertura das Peneiras (mm)	Agregado Comum (Brita)		Alternativo (Porcelana Graúda)	
	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)
*25,0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0
*12,5	0	0	0	0
9,5	1	1	5	5
*6,3	34	35	34	39
4,75	40	75	32	71
2,36	20	95	18	89
1,18	0	95	4	93
0,6	0	95	0	93
0,3	0	95	0	93
0,15	0	95	0	93
Fundo	5	100	7	100
Origem	Paulínia-SP		Cerâmica Santa Terezinha	
Tipo	Pedra britada		Isoladores de porcelana britados	
Cor	Negra		Beje	
Estrutura	Compacta		Compacta	
Textura	Rugosa		Rugosa	
Formato dos Grãos	Achatados e alongados		Isométricos	
Grau de Alteração	Rocha sã		Isoladores de porcelana	
Composição mineralógica	Feldspato, piroxênio e minerais máficos.		Isoladores elétricos de porcelana: argila, feldspato e quartzo.	
Classificação petrográfica	Rocha Basáltica		Isoladores de porcelana	
Propriedades Físico-mecânicas	Rocha muito coerente		Muito coerente	
Índice de Forma	Lamelar: 5%		Lamelar: 35%	
	Cúbica: 90%		Cúbica: 30%	
	Alongada: 5%		Alongada: 35%	
Módulo de Finura	5,51		5,37	
Dimensão Máxima (mm)	9,5		9,5	
Massa Específica Seca (g/cm³)	2,82		2,44	
Massa Específica Unitária(g/cm³)	2,89		2,45	
Absorção de Água (%) - NBR NM 53 (2009)	0,65		0,08	
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)	0		0	
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)	0,74		1,56	
Observações Adicionais	Não há		Não há	
Potencialidade de Utilização do Agregado Graúdo	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, como agregado para o concreto.		Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, substituindo o agregado comum no concreto.	

Analisando a caracterização física de ambos os agregados destaca-se a baixa capacidade de absorção de água, o baixo teor de material passante na peneira 75 µm e a grande quantidade de

agregado em formato lamelar e alongado do agregado de porcelana, resultante de seu processo fabril e posterior moagem.

O agregado comum, brita, também foi ensaiado por EDS, figura 4.12, assim como o agregado de porcelana, figura 4.13, onde destaca-se nos quatro pontos medidos a presença de *Si* (silício), *Ca* (cálcio), e *Al* (alumínio) já a presença de *Pd* (paládio) e *Au* (ouro) são resultantes dos componentes do preparo da amostra para ensaio.

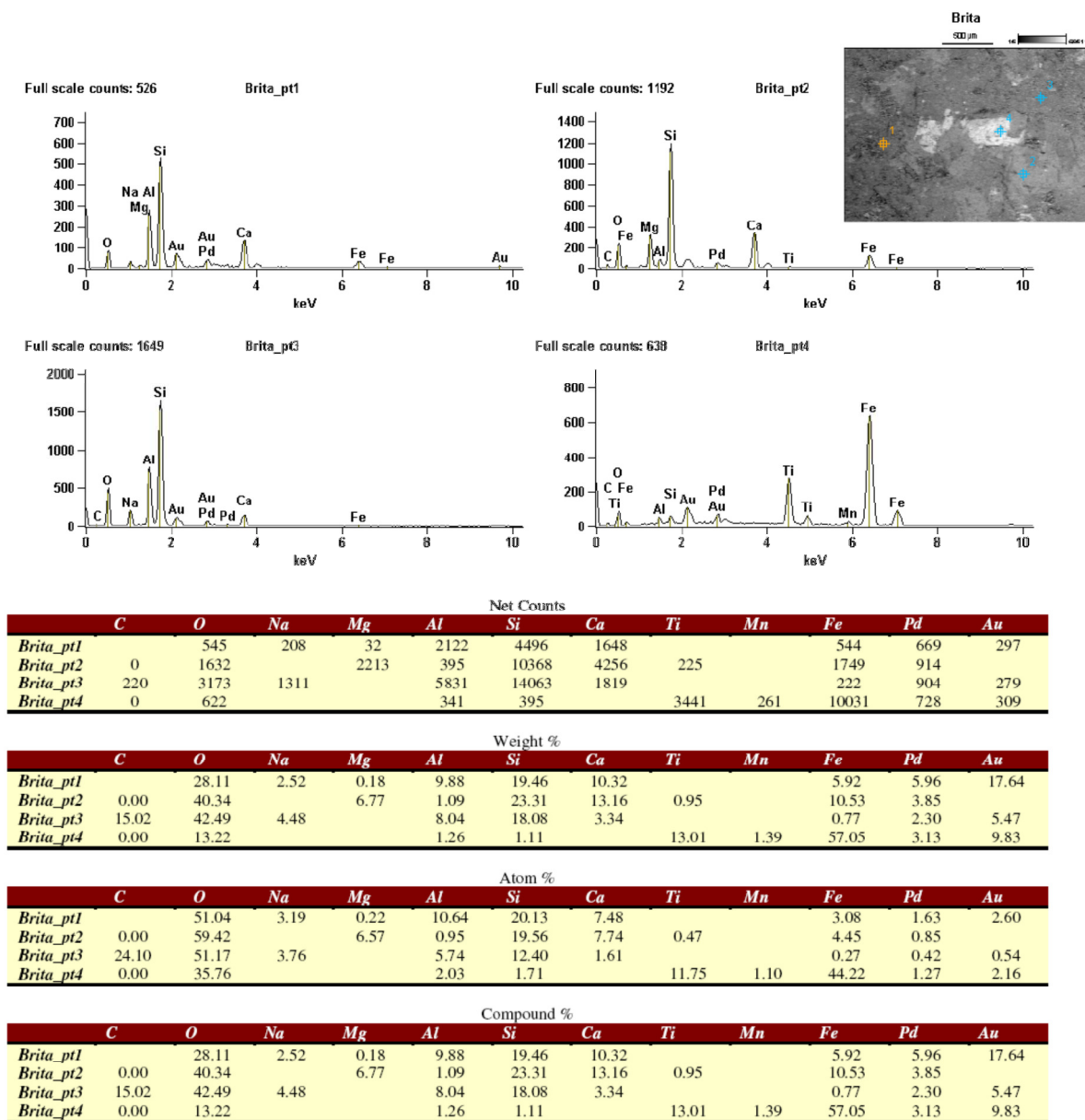
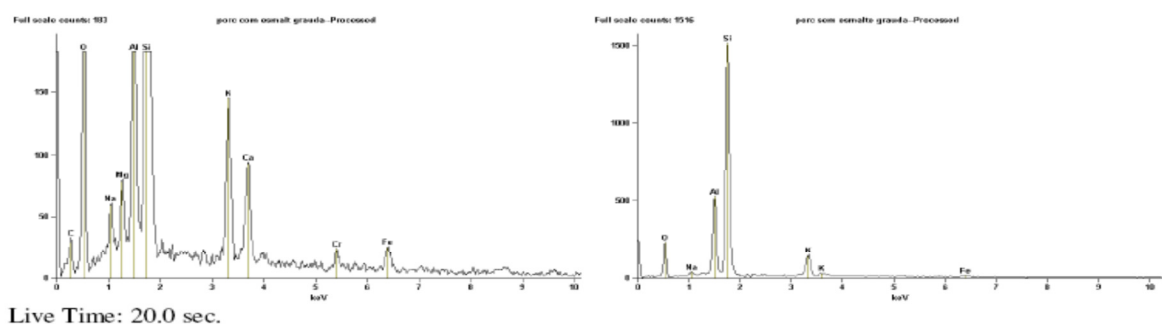


Figura 4.12 – EDS agregado graúdo comum, brita.



Quantitative Results porc com esmalte graúdo--Processed				
Element	Net Counts	Weight %	Atom %	Compnd %
C	414	29.23	40.40	29.23
O	2590	41.78	43.36	41.78
Na	345	1.22	0.88	1.22
Mg	369	0.59	0.40	0.59
Al	2109	2.85	1.76	2.85
Si	15374	18.64	11.02	18.64
K	1469	2.43	1.03	2.43
Ca	803	1.46	0.60	1.46
Cr	199	0.55	0.18	0.55
Fe	350	1.26	0.37	1.26
Total		100.00	100.00	100.00

Quantitative Results porc sem esmalte graúdo--Processed				
Element	Net Counts	Weight %	Atom %	Compnd %
O	1421	42.64	57.33	42.64
Na	174	1.31	1.22	1.31
Al	3764	10.84	8.64	10.84
Si	12915	37.84	28.98	37.84
K	1508	5.95	3.28	5.95
Fe	181	1.43	0.55	1.43
Total		100.00	100.00	100.00

Figura 4.13 – EDS agregado graúdo alternativo, porcelana graúda.

4.1.4 Aditivo hiperplastificante

Para melhorar a trabalhabilidade dos traços de concretos foi adicionado aditivo hiperplastificante nos traços com o intuito de reduzir o consumo de água. Por ser constituído de surfactantes aniônicos de cadeia longa este quando adsorvido nas partículas de cimento diminui consideravelmente a tensão superficial da água circundante elevando a fluidez do sistema (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O aditivo hiperplastificante utilizado nesta pesquisa é constituído de polímeros de éter carboxílico com largas cadeias laterais, seu mecanismo de atuação é de que no começo do

processo de mistura inicia-se o mecanismo de dispersão eletrostática similar ao dos superfluidificantes tradicionais, porém, em seguida, as cadeias laterais, enxertadas à estrutura polimérica principal, geram um efeito dispersante adicional e mais estável nas partículas de cimento, chamado de repulsão estérica. Com este processo obtém-se um concreto fluído com uma grande redução da quantidade de água de amassamento simultaneamente à manutenção de elevada plasticidade ao longo do tempo.

No estado plástico e endurecido o aditivo hiperplastificante, com sua capacidade de reduzir a quantidade de água, confere ao concreto os seguintes benefícios: redução acentuada da água de amassamento para uma mesma consistência; aumento da fluidez com manutenção desta por tempo prolongado; melhora no adensamento e lançamento; elevação das resistências mecânicas iniciais e finais; aumento do módulo de elasticidade; não altera o tempo de pega do cimento; melhora na aderência e textura da superfície do concreto; aumento da coesão do concreto; redução da permeabilidade e das retrações e fissuras de origem plástica; aumento da durabilidade e prolongamento da vida útil das estruturas (RheoSet, 2011a). As características do aditivo hiperplastificante utilizado são apresentadas na tabela 4.6, com base nas informações repassadas pelo fabricante do aditivo.

Tabela 4.6 – Características aditivo hiperplastificante.

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO	
Produto	Tec-Flow 7000
Principais usos	Hiperplastificante para Concreto
INFORMAÇÕES SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA	
Nome Químico	Policarboxilato Modificado
Nº. CAS	-
Faixa de Concentração (%)	40,0
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Estado físico	Líquido
Cor e odor	Castanho claro e odor característico
Peso específico g/cm³	1,095 ± 0,020 g/cm ³
Voláteis (% em peso)	60,0
pH (produto puro)	6,0 ± 1,0
Solubilidade em água	Totalmente solúvel em água

4.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

A metodologia de ensaios baseou-se no estudo de concretos e argamassas com isoladores elétricos de porcelana. Nas argamassas os estudos destacaram a adição de porcelana ao cimento Portland e também na influência da camada de esmalte em suas propriedades mecânicas. Para os concretos a pesquisa focou nas substituições do agregado miúdo comum e dos agregados miúdos e graúdos, conforme o organograma apresentado na figura 4.14.

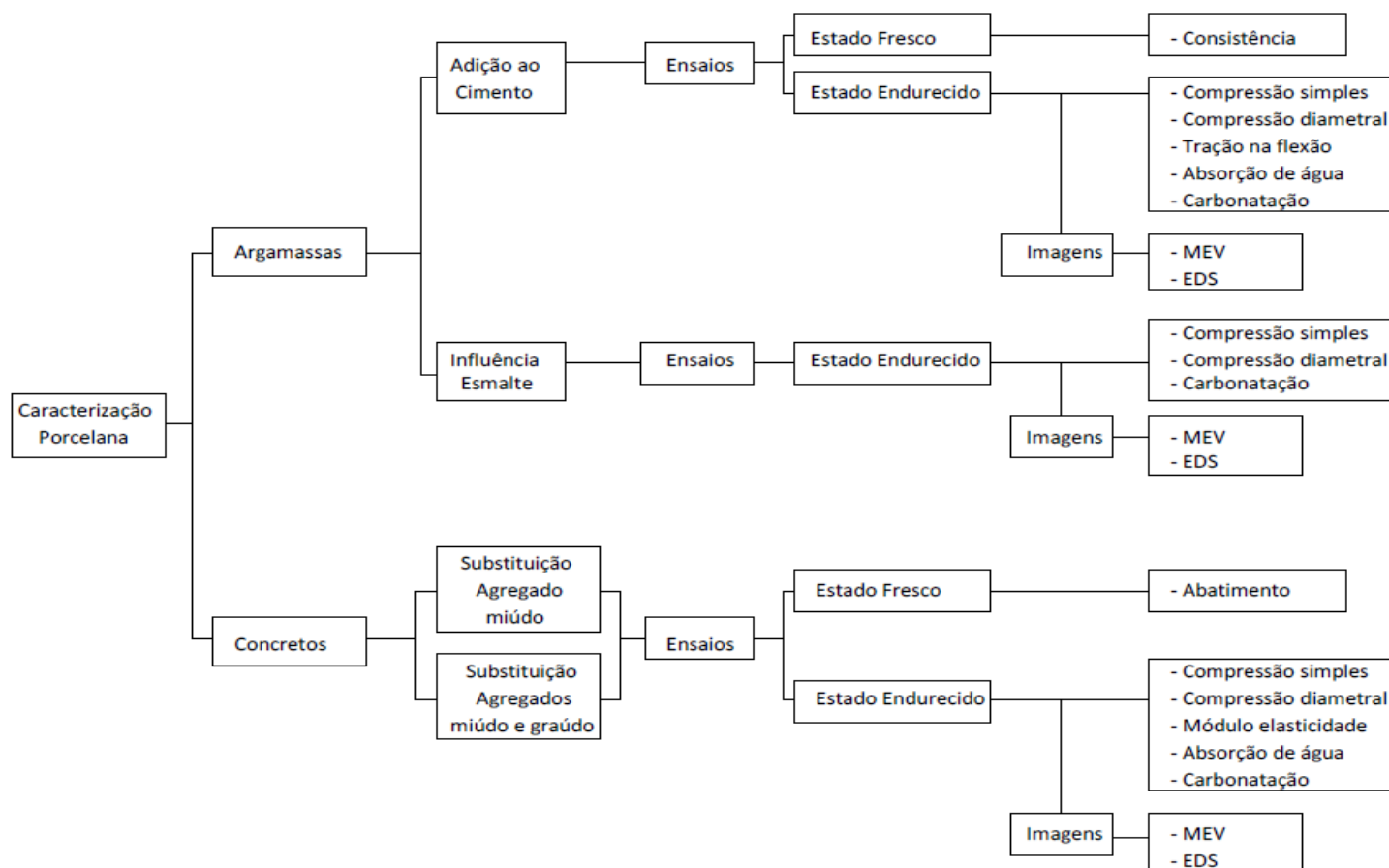


Figura 4.14 – Organograma da pesquisa desenvolvida.

4.2.1 Ensaios de Argamassa

Os ensaios de argamassa foram divididos em duas etapas: adição da porcelana ao cimento Portland, e verificação da influência da camada de esmalte de revestimento dos isoladores. Referente ao estudo da adição de porcelana ao cimento o traço utilizado foi na proporção de 1:2:0,55 (cimento: agregado miúdo: água), que é um traço utilizado em argamassa armada. As quantidades de materiais para o preparo de 1,0 m³ de argamassa com adição de porcelana ao cimento são apresentadas na tabela 4.7. A relação água/cimento foi constante para todos os traços a fim de verificar a influência da adição da porcelana.

Tabela 4.7 – Quantidade de materiais traços de argamassa: adição da porcelana ao cimento.

Quantidade de materiais (kg/m³) traço 1: 2: 0,55					Teor de Adição (%)
Traço	Cimento	Porcelana Fina	Agregado Miúdo	Água	Referência
Ref. A	675,0	-	1350,0	371,25	
A 5	675,0	33,75	1350,0	371,25	5
A 10	675,0	67,50	1350,0	371,25	10
A 25	675,0	168,75	1350,0	371,25	25
A 50	675,0	337,50	1350,0	371,25	50
A 70	675,0	472,50	1350,0	371,25	70

Os ensaios realizados no estado endurecido para todos os traços de argamassa referente a adição de porcelana ao cimento são apresentados na tabela 4.8, onde consta também a idade da realização do ensaio de imagem através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de carbonatação.

Tabela 4.8 – Ensaios realizados: argamassa com adição da porcelana ao cimento.

Ensaios	Idade dos Ensaios			
	7 dias	28 dias	90 dias	180 dias
Resistência à compressão simples - NBR 7215 (1997)				
Resistência à compressão diametral - NBR 7222 (2010)				
Resistência à tração na flexão - NBR 13279 (2005)				
Absorção de água por capilaridade - NBR 9779 (1995)				
Imagens MEV				
Carbonatação				

Quanto aos ensaios referente a influência da camada de esmalte de revestimento externo dos isoladores elétricos de porcelana em suas propriedades mecânicas o traço determinado foi de

1:2:0,55 (cimento: agregado miúdo: água) e moldados dois traços: um contendo apenas o agregado miúdo de porcelana com a camada de esmalte em uma de suas faces, denominado C E, e outro com porcelana sem a camada de esmalte, denominado S E. As quantidades de materiais para o preparo de 1,0 m³ de cada argamassa são apresentadas na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Quantidade de materiais traços de argamassa: influência da camada de esmalte.

Quantidade de materiais (kg/m³) traço 1: 2: 0,55				
Traço	Cimento	Agregado Porcelana		Água
		Com Esmalte	Sem Esmalte	
Com Esmalte (C E)	675,0	1350,0	-	371,25
Sem Esmalte (S E)	675,0	-	1350,0	371,25

Em relação as propriedades mecânicas das argamassas analisadas para verificar a influência desta camada de esmalte, no estado endurecido, estas foram verificadas conforme ensaios e idades apresentados na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Ensaios realizados argamassa: influência da camada de esmalte.

Ensaios	Idade dos Ensaios				
	3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
Resistência à compressão simples - NBR 7215 (1997)					
Resistência à compressão diametral - NBR 7222 (2010)					
Imagens MEV					
Imagens EDS					
Carbonatação					

Todos os traços de argamassa foram moldados em argamassadeira mecânica com o processo de adensamento manual em quatro camadas, com a superfície rasada. Após a moldagem os corpos-de-prova foram mantidos 24 horas em câmara úmida com a superfície protegida por uma placa de vidro plano.

Terminado o período inicial de endurecimento dos corpos-de-prova foram curados imersos em água saturada com cal até 24 horas antes da realização dos ensaios mecânicos, todo o processo de moldagem e cura dos corpos-de-prova de argamassa foi realizado em atendimento a NBR 7215 (1997).

Os ensaios de imagens (MEV/EDS) e de carbonatação foram realizados em corpos-de-prova de argamassa moldados para estes ensaios, não foram reutilizados corpos-de-prova provenientes dos outros ensaios realizados com argamassa no estado endurecido citados na tabela 4.10. Todos os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de MEV/EDS tiveram seu topo cortado e em seguida retirada uma fatia de espessura variável de 0,5 a 1,0 cm.

Estas amostras foram identificadas e posteriormente enviadas ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Central Analítica do Instituto de Química da Unicamp onde foram ensaiadas no equipamento JSM 6360-LV, aceleração de 30KeV, resolução - 3nm, EDS - Noran System Six. Já para o ensaio de carbonatação os corpos-de-prova, com umidade zero, foram rompidos diametralmente e em seguida aplicada solução de fenolftaleína, com concentração de 0,5%.

4.2.2 Ensaios de Concreto

Em relação aos concretos com isoladores elétricos de porcelana foram estudados dois tipos de substituição dos agregados pela porcelana: substituição do agregado miúdo e substituição combinada de ambos os agregados, miúdo e graúdo.

O proporcionamento dos materiais foi calculado segundo o Método IPT-Modificado (Helene, 2005) e assim determinado 1:2:3:0,40:0,016 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água: aditivo hiperplastificante), com consumo de cimento da ordem de 375 kg/m³ de concreto. As quantidades de materiais necessárias para a moldagem de 1,0 m³ de concreto de todos os traços realizados nesta pesquisa são apresentadas na tabela 4.11.

A relação água/aditivo hiperplastificante foi fixada em 0,016 já que nas moldagens preliminares esta foi a relação que permitiu tanto ao traço referência com aos traços com maiores teores de substituição dos agregados manter um abatimento entre $6,0 \pm 2,0$ cm, que é um abatimento comum em concretos usuais em obras não bombeável.

Tabela 4.11 – Quantidade de materiais traços de concreto com porcelana.

Quantidade de Materiais (kg/m³ de concreto) - Traço 1:2:3:0,40:0,016									
Traço	Cimento	Agregado Miúdo		Agregado Graúdo		Água	Aditivo	Teor de Substituição (%)	
		Comum	Porcelana	Comum	Porcelana			Ag. Miúdo	Ag. Graúdo
Ref. C	375,00	750,00	-	1.125,00	-	150,00	2,40	Referência	Referência
C 25	375,00	562,50	187,50	1.125,00	-	150,00	2,40	25	-
C 50	375,00	375,00	375,00	1.125,00	-	150,00	2,40	50	-
C 75	375,00	187,50	562,50	1.125,00	-	150,00	2,40	75	-
C 100	375,00	-	750,00	1.125,00	-	150,00	2,40	100	-
C 25, 25	375,00	562,50	187,50	843,75	281,25	150,00	2,40	25	25
C 50, 50	375,00	375,00	375,00	562,50	562,50	150,00	2,40	50	50
C 75, 75	375,00	187,50	562,50	281,25	843,75	150,00	2,40	75	75
C 100, 100	375,00	-	750,00	-	1.125,00	150,00	2,40	100	100

No estado fresco os traços de concreto foram submetidos ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, *slump test*, conforme a NBR NM 67 (1998). Já os ensaios no estado endurecido foram realizados em conformidade com as normas brasileiras em vigor, sendo que na tabela 4.12 são estes apresentados juntamente com suas respectivas idades.

Tabela 4.12 – Ensaaios realizados traços de concreto com porcelana.

Ensaaios	Idade dos Ensaios (dias)						
	3	7	28	56	112	180	365
Resistência à compressão simples - NBR 5739 (2007)							
Resistência à compressão diametral - NBR 7222 (2010)							
Módulo de elasticidade - NBR 8522 (2008)							
Absorção de água por capilaridade - NBR 9779 (1995)							
Imagens MEV						*	*
Imagens EDS						*	*
Carbonatação							

* Apenas para os traços Ref. C; C 100 e C100,100

Todos os traços de concreto foram preparados em betoneira e os corpos-de-prova com o processo de adensamento mecânico em duas camadas, através de mesa vibratória, com sua superfície rasada. Após a moldagem os corpos-de-prova foram armazenados por 24 horas em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto.

Após o período inicial de endurecimento dos corpos-de-prova foram curados em câmara úmida à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar superior a 95% até 24 horas antes da realização dos ensaios mecânicos. Todo o processo de moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto foi realizado em atendimento a NBR 5738 (2003).

Nos ensaios de imagens (MEV/EDS) e de carbonatação os corpos-de-prova de concreto foram moldados apenas para estes ensaios, não reutilizando corpos-de-prova provenientes dos outros ensaios citados na tabela 4.12. para estes ensaios de MEV/EDS o topo dos corpos-de-prova foram cortados e em seguida extraída uma fatia de espessura variável de 0,5 a 1,0 cm.

Com as amostras identificadas estas foram enviadas ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Central Analítica do Instituto de Química da Unicamp e posteriormente ensaiadas no equipamento JSM 6360-LV. Aceleração de 30KeV, resolução - 3nm, EDS - Noran System Six. Quanto ao ensaio de carbonatação os concretos de umidade zero após rompidos diametralmente foram aspergidos por solução concentrada de 0,5% de fenolftaleína.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS DOS ENSAIOS

5.1 ENSAIOS COM ARGAMASSA

Os ensaios com argamassa foram realizados com o intuito de se comprovar a possível atividade pozolânica da porcelana através de sua adição ao cimento Portland, e a influência da camada de esmalte externa aos isoladores elétricos nas propriedades mecânicas.

5.1.1 Ensaio de Argamassa com Adição de Porcelana ao Cimento Portland

No estado fresco as argamassas foram ensaiadas quanto a sua consistência através do ensaio de *flow table* NBR 13276 (2005), tendo na tabela 5.1 as dimensões desta consistência.

Tabela 5.1 – Valores ensaio *flow table*.

Traços	Dimensões (mm)
Ref. A	284 X 290
A 5	292 X 293
A 10	277 X 280
A 25	283 X 285
A 50	255 X 253
A 70	230 X 233

Observou-se que com o aumento da adição de porcelana fina, teores superiores a 50%, ocorreram diminuições das dimensões medidas, resultando numa argamassa mais “seca” não

acarretando com isso perda de plasticidade no adensamento das argamassas. Na figura 5.1 (a) logo após a retirada do molde da argamassa com 70% de porcelana fina, A 70, esta pouco abateu.

Já para os teores de adição de até 25% as dimensões foram próximas as medidas no traço referência, apresentando no instante da retirada do molde metálico um abatimento considerável da argamassa Ref. A, figura 5.1 (b), em comparação aos traços com maiores teores de porcelana fina.

A coloração das argamassas também foi diferente: aquelas com maiores teores de porcelana apresentaram uma coloração mais “amarronzada”, devido a quantidade de cerâmica lembrando com isso uma argamassa com saibro, figura 5.1 (a), e as argamassas com baixos teores de porcelana uma cor mais acinzentada, similar as argamassas comuns de obra, figura 5.1(b).



Figura 5.1 – Retirada do molde para o traço A 70 (a) e para o traço Ref. A (b).

A diminuição da dimensão do espalhamento nas argamassas foi atribuída ao aumento do teor de material fino, já que o teor de adição de porcelana foi de até 70% em relação a massa do cimento, diminuição também observada em Freire *et al.* (2010). Observa-se também não haver uma relação entre a quantidade de porcelana fina adicionada com a dimensão obtida no ensaio de *flow table*, pois o comportamento das dimensões não foi linear em razão do teor de porcelana.

Alguns autores como Gonçalves *et al.* (2003); Huang; Dong; Burdette (2009); Pacheco-Torgal; Jalali (2010) também destacam que a diminuição da consistência das argamassas com

cerâmica adicionada ao cimento pode ser contornada com a adoção de aditivos, principalmente pelo fato da cerâmica, quando do tipo vermelha, apresentar uma maior capacidade de absorção de água em comparação ao aglomerante comum.

No estado endurecido as argamassas com adição de porcelana ao cimento Portland foram ensaiadas quanto as suas resistências à compressão simples (NBR 7215:1997) e à tração na compressão diametral (NBR 7222:2010), resistência à tração na flexão (NBR 13279:2005) e absorção de água por capilaridade (NBR 9779:1995). Na tabela 5.2 tem-se a média de 4 corpos-de-prova ensaiados para cada idade e traço e o desvio padrão médio para todos os corpos-de-prova e idades ensaiadas.

Tabela 5.2 – Resultados ensaios argamassa com adição de porcelana no estado endurecido.

Ensaio	Idade	Traço					
		Ref. A	A 5	A 10	A 25	A 50	A 70
Resistência à Compressão Simples (MPa) – NBR 7215 (1997)	7 dias	37,8	31,5	37,9	31,8	30,1	27,7
	28 dias	50,4	47,6	49,0	47,1	44,4	46,3
	90 dias	51,9	47,7	49,8	47,7	48,1	48,7
	180 dias	50,6	49,8	51,9	49,2	58,1	59,8
Desvio Padrão Médio (MPa)		2,0	4,0	4,4	2,8	2,1	2,1
Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa) – NBR 7222 (2010)	7 dias	3,15	2,67	4,01	2,78	3,96	3,35
	28 dias	3,44	3,75	4,55	3,50	4,75	5,34
	90 dias	3,84	4,23	4,70	4,08	4,88	5,40
	180 dias	4,63	5,26	4,63	4,32	4,61	5,43
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,55	0,39	0,59	0,28	0,56	0,59
Resistência à Tração na Flexão - Prismáticos (MPa) – NBR 13279 (2005)	7 dias	4,84	4,70	4,98	5,27	5,73	5,52
	28 dias	4,82	5,65	4,98	4,73	4,56	5,08
	90 dias	6,80	6,96	5,93	5,85	4,87	5,87
	180 dias	7,13	7,13	5,90	5,81	5,03	5,81
Desvio Padrão Médio (MPa)		1,25	0,65	0,92	0,90	0,58	0,81
Índice de Capilaridade (g/cm²) – NBR 9779 (1995)	28 dias	0,152	0,167	0,158	0,157	0,148	0,164
	90 dias	0,441	0,307	0,353	0,338	0,187	0,134
	180 dias	0,340	0,335	0,939	1,207	1,042	1,239
Desvio Padrão Médio (g/cm²)		0,102	0,119	0,046	0,081	0,084	0,061
Altura Ascensão Capilar (cm) – NBR 9779 (1995)	28 dias	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1
	90 dias	3,9	3,4	3,1	2,9	2,4	1,9
	180 dias	2,3	2,2	5,1	6,0	5,8	6,6
Desvio Padrão Médio (cm)		0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3
Quantidade de Água Absorvida (g) – NBR 9779 (1995)	28 dias	3,0	3,3	3,1	3,1	2,9	3,2
	90 dias	8,6	6,0	6,9	6,6	3,7	2,6
	180 dias	6,7	6,6	18,4	23,7	20,5	24,3
Desvio Padrão Médio (g)		2,0	2,3	0,9	1,6	1,6	1,2

5.1.1.1 Resistência à Compressão Simples

Quanto a resistência à compressão simples dos traços de argamassa com adição de porcelana ao cimento Portland os resultados deste ensaio são apresentados na figura 5.2 onde observa-se que aos 7 dias de idade apenas o traço A 10 apresentou resistência similar a referência, nos demais traços os valores de resistência obtidos no ensaio foram inferiores em até 27% para o traço com 70% de adição de porcelana (A 70), para os demais traços a diferença menor na resistência ficou entre 16% (traços A 5 e A 25) a 20% (traço A 50) quando em comparação à referência.

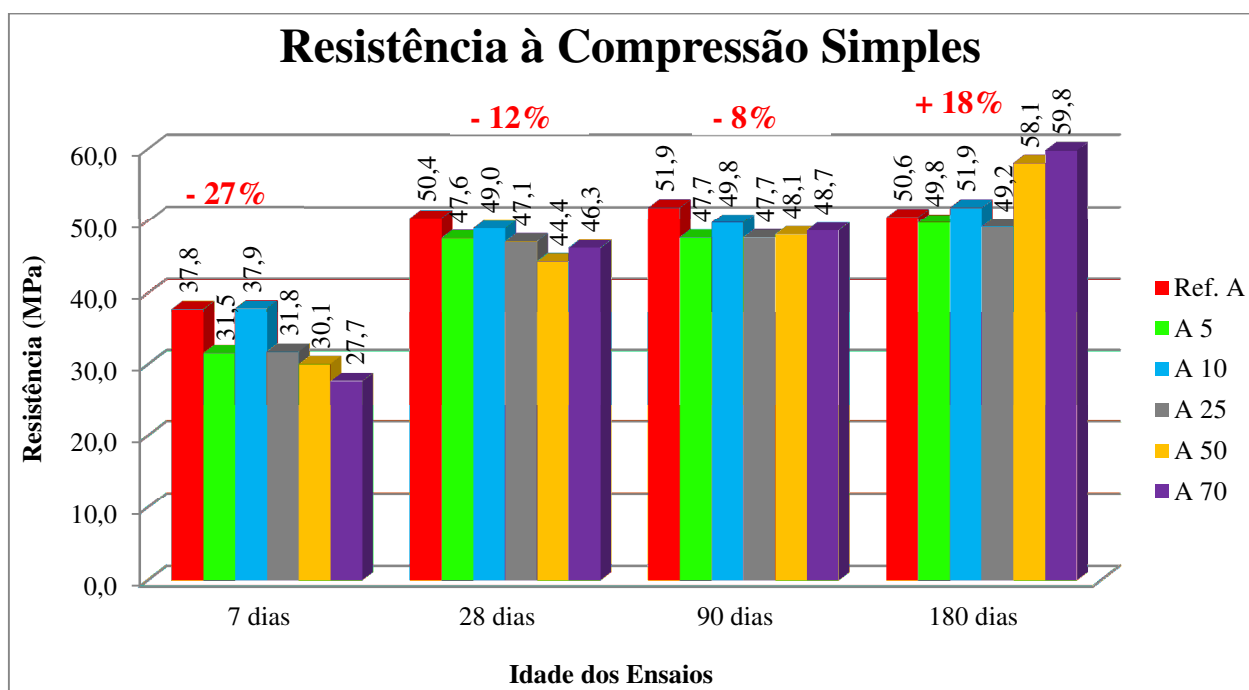


Figura 5.2 – Resistência à compressão simples – argamassa com porcelana fina.

Na idade de 28 dias novamente o traço com 10% de porcelana (A 10) apresentou resistência próxima a do traço referência, entretanto as quedas de resistências foram máximas de 12% para o traço com 50% de porcelana (A 50) ficando os demais com resistências inferiores de 6%, argamassas A 5 e A 25, e de 8% para o traço A 70.

As mesmas observações são válidas para a idade de 90 dias onde novamente o traço A 10 apresentou valor de resistência similar ao traço referência. Porém, a partir desta data a

inferioridade nos valores das resistências nas demais argamassas foi menor ficando cerca de 8% abaixo da resistência do traço referência.

Ao final das idades de ensaios, 180 dias, destacam-se as argamassas A 50 e A 70 que apresentaram uma elevação na resistência de 18% em relação a argamassa referência, aumento este atribuído a elevada quantidade de porcelana e sua atividade pozolânica tardia. Para as demais argamassas os resultados foram similares ao obtido pelo traço Ref. A.

O teor de adição de 10% da porcelana ao cimento apresentou em todas as idades valores de resistência similares a referência, observação também constatada em Huang; Dong; Burdette (2009). Os traços com maiores teores de porcelana apresentaram melhora na resistência a partir de 90 dias, argamassas A 50 e A 70, devido principalmente a atividade pozolânica tardia da porcelana, que mesmo em menor teor de adição também foi observada e destacada em Pacheco-Torgal; Jalali (2010).

5.1.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Em relação aos ensaios de resistência à compressão diametral seus resultados são apresentados na figura 5.3. De início observa-se não haver uma tendência em relação ao teor de porcelana fina adicionada com a idade de ensaio e resistência obtida. Na idade de 7 dias os resultados indicam que as argamassas com adição de 10% (A 10) e 50% (A50) apresentaram aumento de 27% na resistência e o traço com 70% de adição (A70) elevação de 6% quando comparadas ao Ref. A. Os traços com adição de 5% (A 5) e 25% (A 25) resultaram em diminuição da resistência de 15% em relação ao referência.

Para a idade de 28 dias todos os resultados dos traços com adição de porcelana foram superiores a referência na resistência à compressão diametral atingindo a maior resistência o traço A 70 com aumento de 55% em comparação ao referência, nas demais argamassas com porcelana o aumento foi de 9% para o traço A 5, 32% para o A 10, 2% no traço A 25 e 38% para a argamassa A 50.

Aos 90 dias de idade a tendência observada na idade anterior, 28 dias, se repetiu, porém, as elevações na resistência foram de 40% para o traço A 70, de 10% para o A 5, de 22% no traço A 10, 6% na argamassa A 25 e novamente o mais próximo do referência, e aumento de 27% no traço A 50.

Com 180 dias de idade os aumentos de resistência foram inferiores aos observados nas idades anteriores. O traço A 25 resultou numa resistência inferior ao referência de 7%, as argamassas A 10 e A 50 apresentaram valores de resistência similares ao obtido pelo referência. Já o traço A 70 obteve a maior resistência 17% superior ao referência e aumento de 13% para a argamassa A 5.

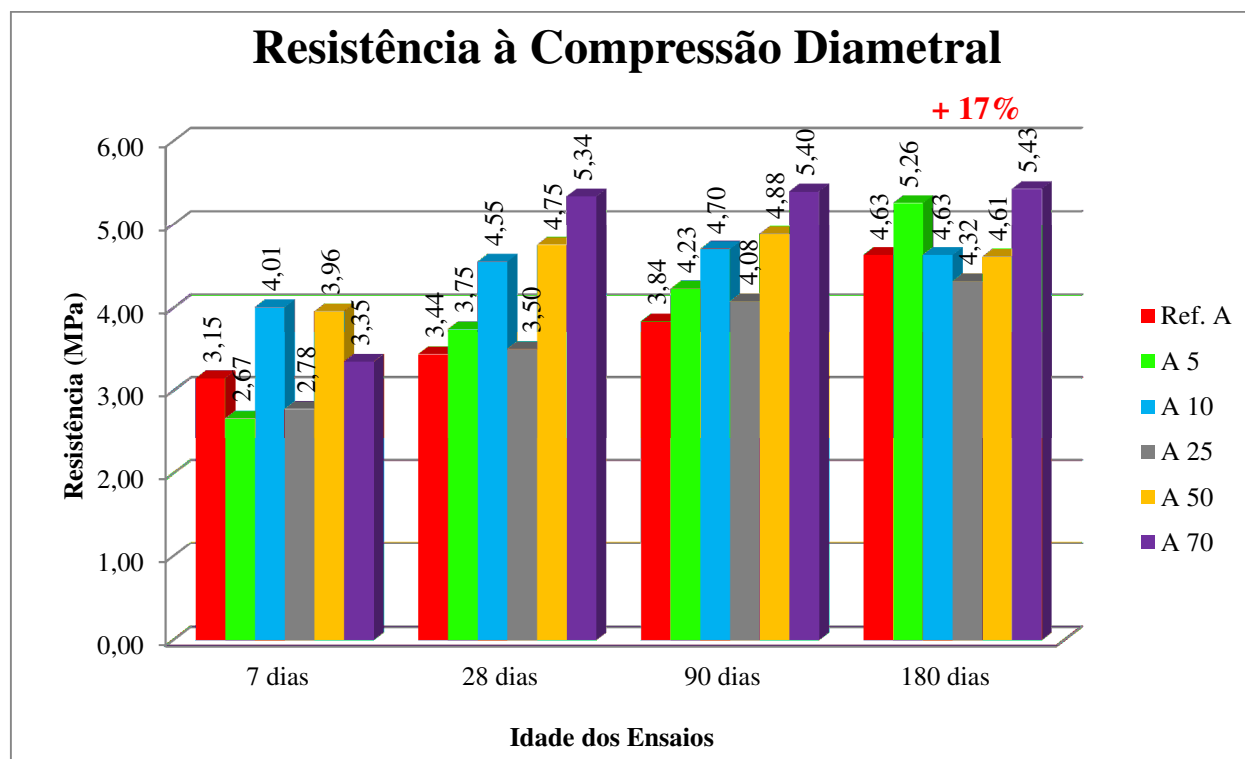


Figura 5.3 – Resistência à compressão diametral – argamassa com porcelana fina.

Analisando o comportamento dos resultados do ensaio de resistência à compressão diametral ao longo das idades observa-se não haver uma relação direta tanto entre o teor de adição de porcelana e elevação na resistência. Ao contrário do constatado no ensaio de resistência

à compressão simples onde os maiores teores de adição, superiores a 10%, apresentaram uma elevação de resistência na idade de 180 dias.

Em relação a compressão diametral após 28 dias de idade os aumentos de resistência destes traços pouco evoluíram quando comparados entre si e com o traço referência, o que permite concluir que a adição de porcelana ao cimento resulta inicialmente em melhora da resistência à compressão diametral quando comparada a argamassas sem a adição da porcelana.

Outro fato também a destacar é em relação a ocorrência de rupturas na face da porcelana citada por Franck *et al.* (2004), Santolaia *et al.* (2007) e Campos (2009), não observada nestes ensaios devido ao grau de moagem da porcelana ser similar ao cimento.

5.1.1.3 Resistência à Tração na Flexão

Quanto aos ensaios de resistência à tração na flexão, figura 5.4, pode-se observar aos 7 dias de idade que todos os traços com adição de porcelana, com exceção do traço A 5, apresentaram resistência superior a argamassa referência de até 18% para o traço A 50. Já aos 28 dias de idade o traço A 10 apresentou um aumento de resistência em comparação a referência de 23%, ao passo que as argamassas A 25 e A 50 apresentaram resistências inferiores de 2% e 5%, respectivamente. Aos 90 dias o traço A 5 apresentou melhora de resistência em relação ao Ref. A, de 2%, apresentando a argamassa A 50 valor 29% abaixo da referência, com os demais traços A 10, A 25 e A 70 similares entre si na resistência e inferior a 13% em relação ao Ref. A.

Com 180 dias de idade o traço A 5 obteve a mesma resistência que a referência, com os demais teores de adição de porcelana fina resultando em valores inferiores e novamente o traço A 50 com decréscimo de 29% em comparação a referência e as argamassas A 10, A 25 e A 70 também similares entre si e inferiores cerca de 18% frente ao traço Ref. A.

Assim como observado nos ensaios de resistência à tração na compressão diametral em relação a resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos o teor de adição de

porcelana e idade de ensaio quando comparando ao traço referência tem-se aos 7 dias de idade argamassas com porcelana de resistência superior.

Com o aumento da idade de ensaio ocorreu a diminuição na elevação da resistência para os traços com porcelana ficando inferiores aos obtidos pelo Ref. A. O teor de adição de 5%, em todas as idades ensaiadas, apresentou valores de resistência similares ao referência com isso pode-se concluir que o aumento de porcelana resulta em diminuição das resistências à tração na flexão e à compressão diametral. Entretanto, este teor de 5% confere melhora nas propriedades mecânicas nas argamassas.

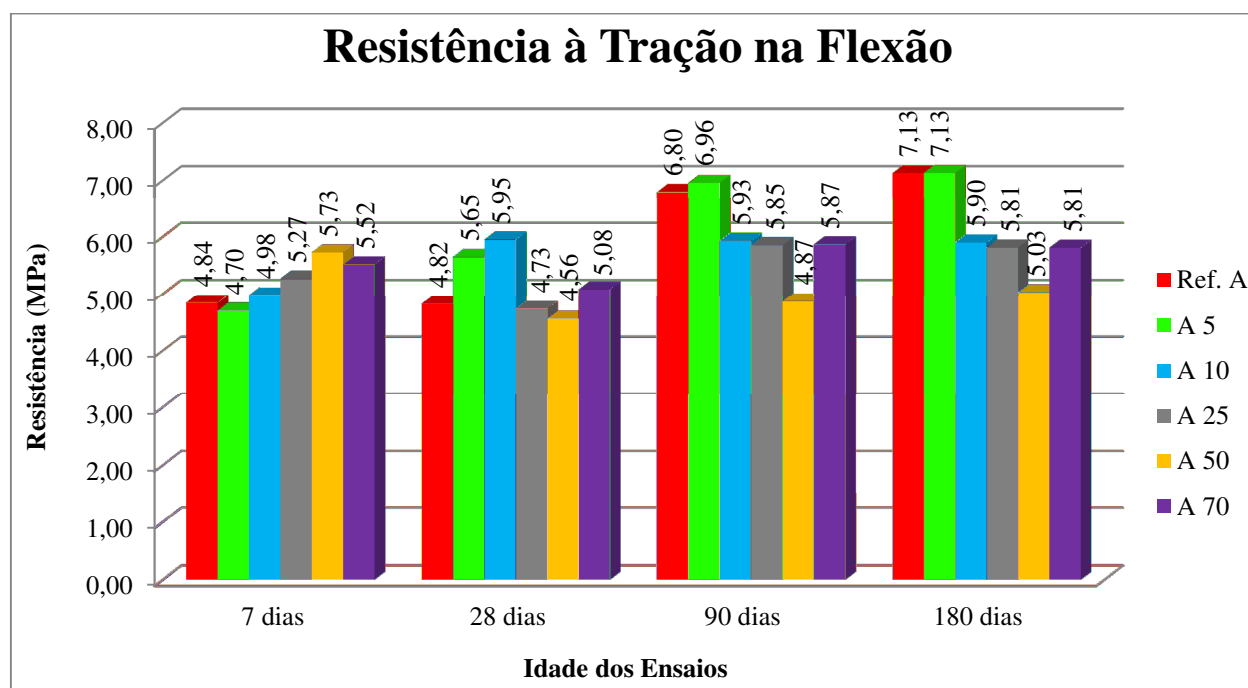


Figura 5.4 – Resistência à tração na flexão – argamassa com porcelana fina.

5.1.1.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados quanto a capacidade de absorção de água - figura 5.5, índice de capilaridade - figura 5.6 e ascensão capilar - figura 5.7, com todas estas propriedades obtidas após 24 horas de ensaio. Os ensaios de capilaridade

podem sofrer variações nos resultados em decorrência, por exemplo, da umidade relativa do ar, do adensamento dos corpos-de-prova entre outros.

O índice de capilaridade é calculado em função da quantidade de água absorvida, portanto, com o aumento da quantidade de água absorvida, em decorrência do aumento da idade de ensaio, o índice de capilaridade também se eleva proporcionalmente. Com isso temos na idade inicial de ensaio, 28 dias, índices capilares, quantidades de água absorvida e ascensões capilares similares entre todas as argamassas independente do teor de adição de porcelana.

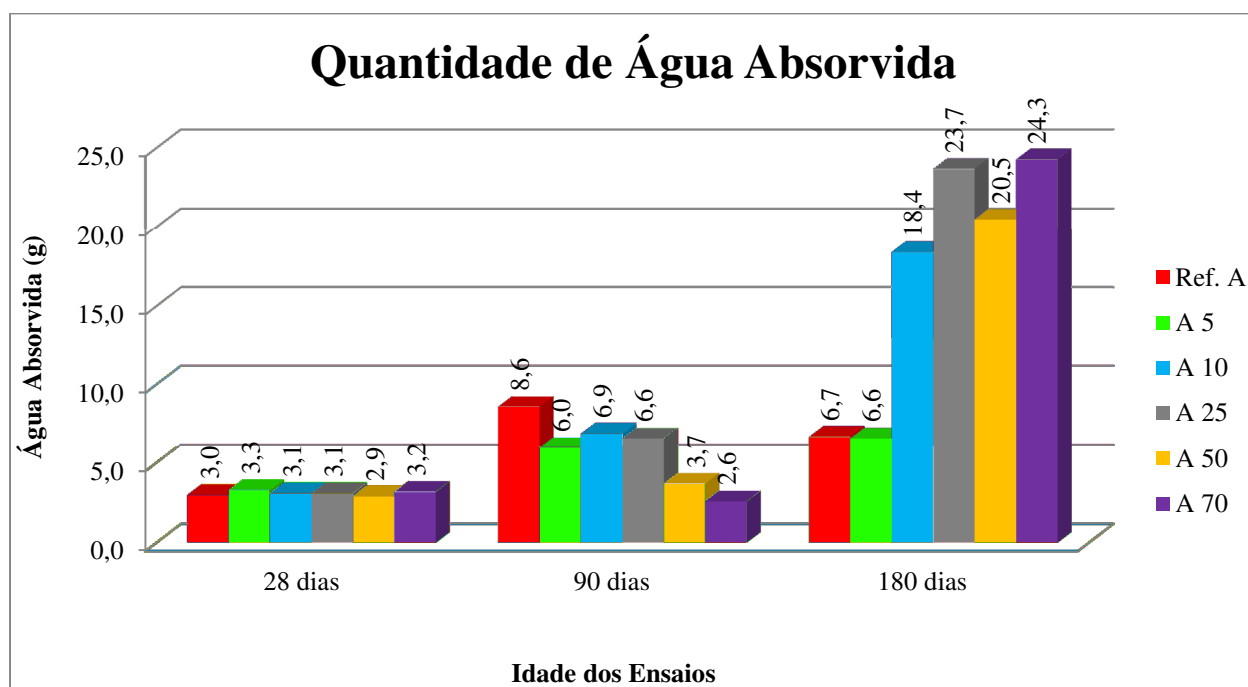


Figura 5.5 – Quantidade de água absorvida – argamassa com porcelana fina.

Porém, com o aumento da idade de ensaio, 90 dias, para todas as propriedades de capilaridade medidas quanto maior o teor de adição de porcelana menores foram os valores obtidos. Entretanto, aos 180 dias de idade quanto maior o teor de porcelana maiores os valores obtidos nos ensaios de capilaridade.

Conforme Mehta; Monteiro (2008) a adição de pozzolana em argamassas e concretos tende a realizar o “refinamento do tamanho do poro”, isto é, os grandes vazios capilares se

transformam em numerosos poros finos. A propagação destes poros finos estabelece interconexões que se tornaram favoráveis ao aumento da permeabilidade da argamassa.

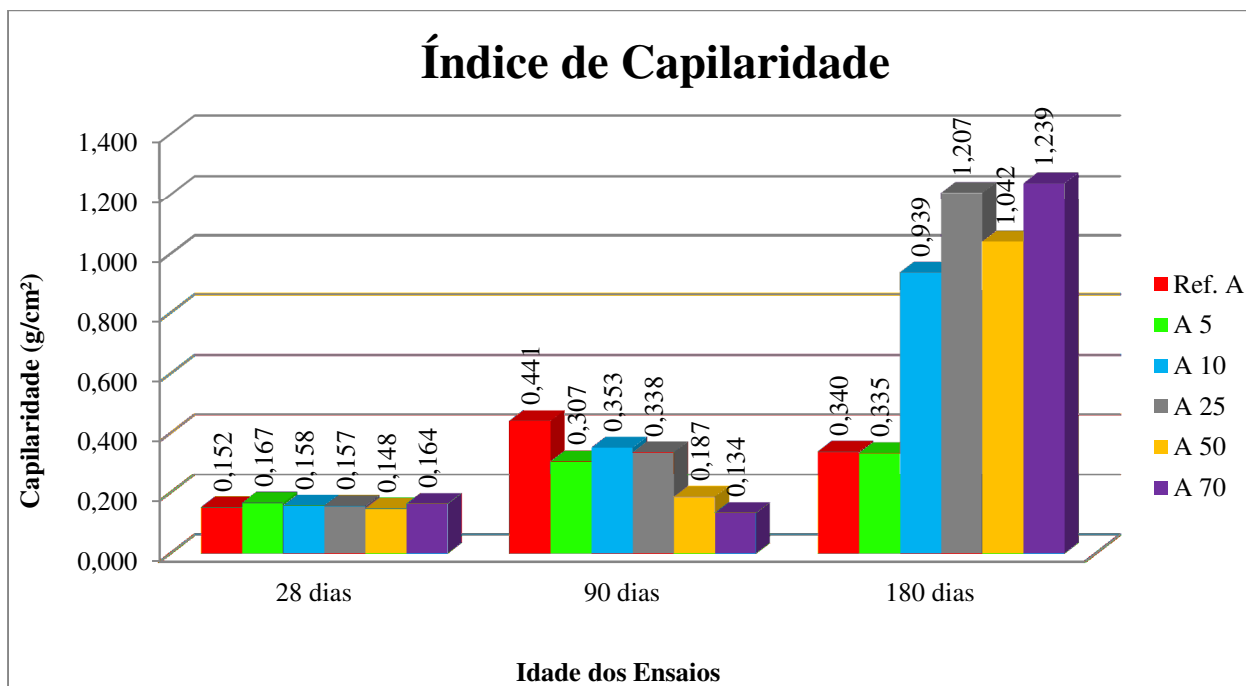


Figura 5.6 – Índice de Capilaridade – argamassa com porcelana fina.

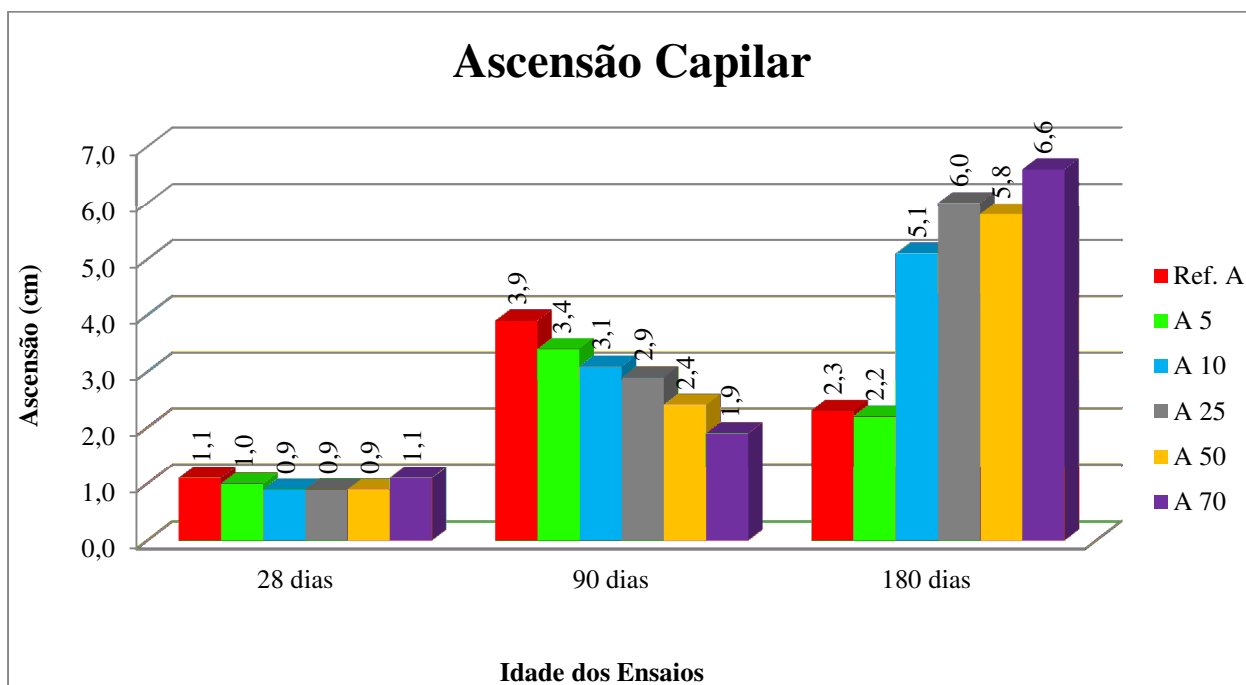


Figura 5.7 – Ascensão capilar – argamassa com porcelana fina.

Observando o relatório em Santolaia *et al.* (2007) e em Campos (2009), além do constante nos tópicos 5.1.2 e 5.2 deste trabalho, onde a ruptura dos corpos-de-prova quando submetidos a tensão ocorrem na zona de transição da porcelana com a pasta percebe-se haver interconexões entre as microfissuras das zonas de transição agregado-pasta o que contribui para o aumento da absorção de água por capilaridade nas argamassas ensaiadas.

O maior teor de porcelana adicionado ao cimento poderá acarretar aumento destas microfissuras que vão se interconectando com o passar das idades de ensaio, aumentando com isso a altura da ascensão capilar e consequente aumento da quantidade de água absorvida e de seu índice de capilaridade.

5.1.1.5 Ensaios de Imagem MEV/EDS

Analisando as imagens dos ensaios de MEV observa-se a grande quantidade de microfissuras (MF) interconectadas entre os agregados (Ag) e rompendo a pasta (Pa), independente do teor de porcelana, conforme a figura 5.8 (a) com o traço referência e na figura 5.8 (b) argamassa A 25. Estas microfissuras são os locais preferenciais da propagação das rupturas quando sob a ação de cargas nos ensaios, além de ser o “caminho” percorrido pela água nos ensaios de absorção de água por capilaridade.

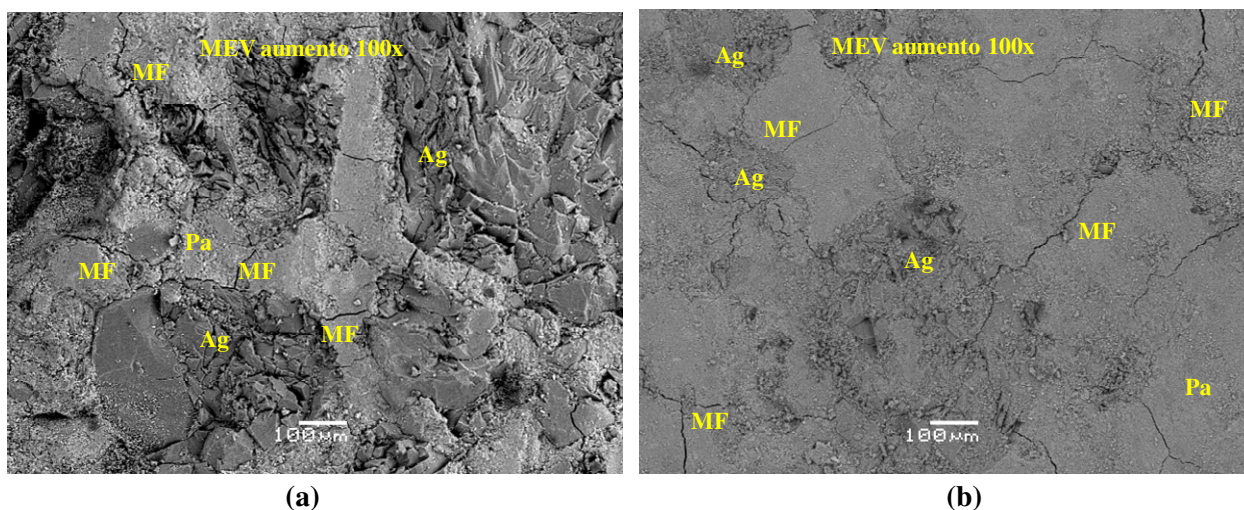


Figura 5.8 – Observação microfissuras, 180 dias, argamassa Ref. A (a) e A 25 (b).

Observa-se haver uma relação entre a quantidade de etringita (E) formada com o teor de porcelana adicionado ao cimento. Na figura 5.9 (a) o traço A 10 possui menor quantidade de etringita que a argamassa A 25, figura 5.9 (b), devido a elevação da relação sulfato/aluminato na fase aquosa durante a primeira hora da hidratação.

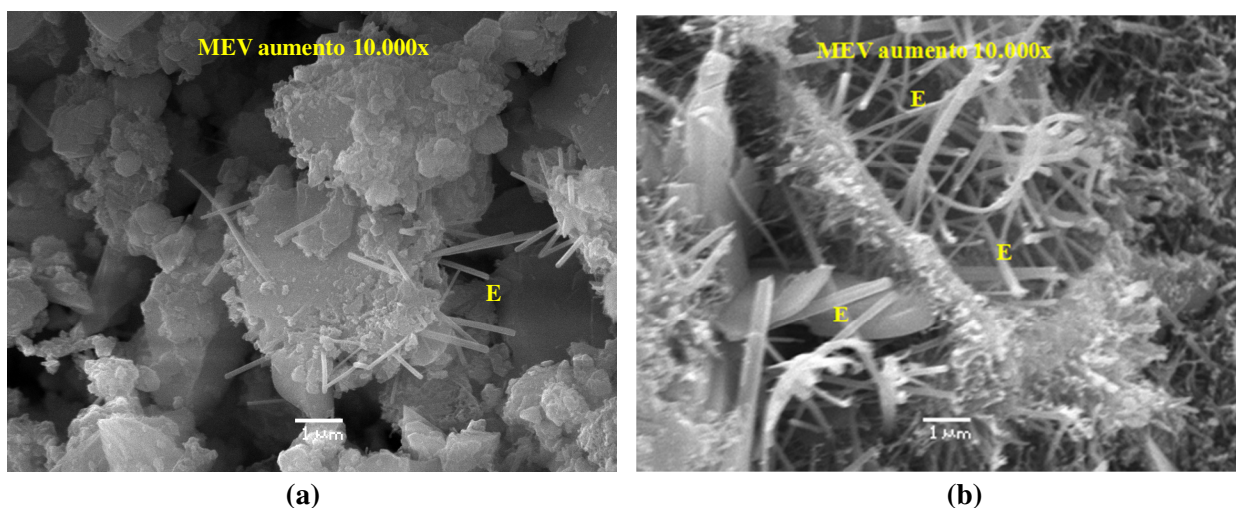


Figura 5.9 – Quantidade de etringita, idade de 180 dias, no traço A 10 (a) e em maior quantidade no A 25 (b).

A possível formação da etringita tardia também foi observada no traço A 50, pois esta etringita se formou nos poros entre o agregado e a pasta, figura 5.10 (a), conforme pode ser observado pela ampliação do poro, figura 5.10 (b).

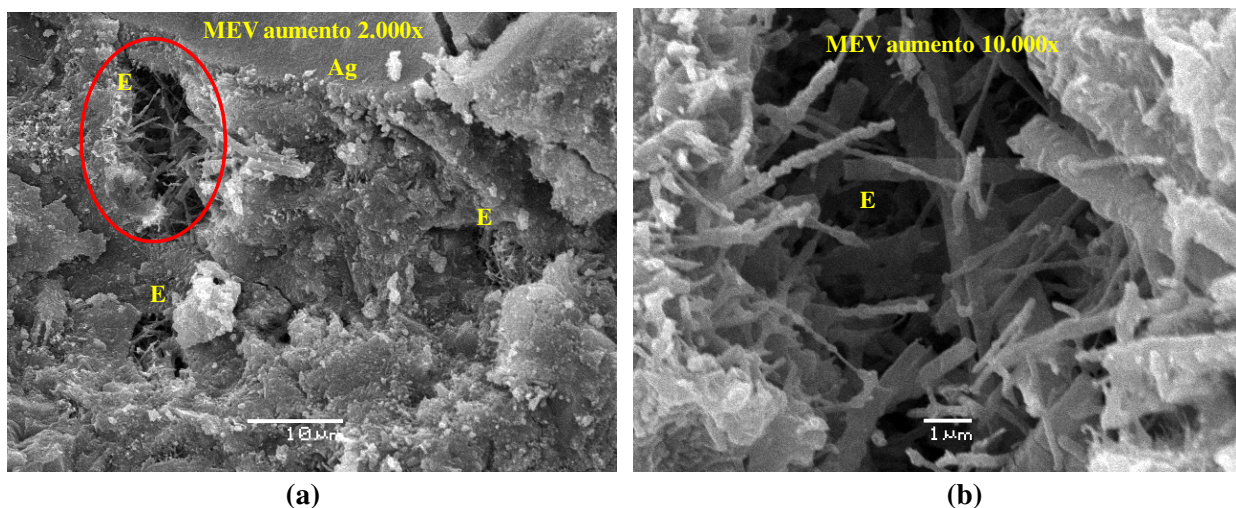


Figura 5.10 – Formação de etringita secundária, 180 dias de idade, traço A 50 (a) e ampliação interna do poro (b).

A formação do CSH também foi observada nos traços de argamassa. No traço referência foi observada a formação do CSH até sobre o agregado (Ag), figura 5.11 (a) e um detalhe do CSH na zona de transição agregado-pasta, figura 5.11 (b), para este mesmo traço. Na figura 5.11 (c) o CSH formou-se na zona de transição agregado-pasta do traço A 25 , fato também observado na argamassa A 50, figura 5.11 (d).

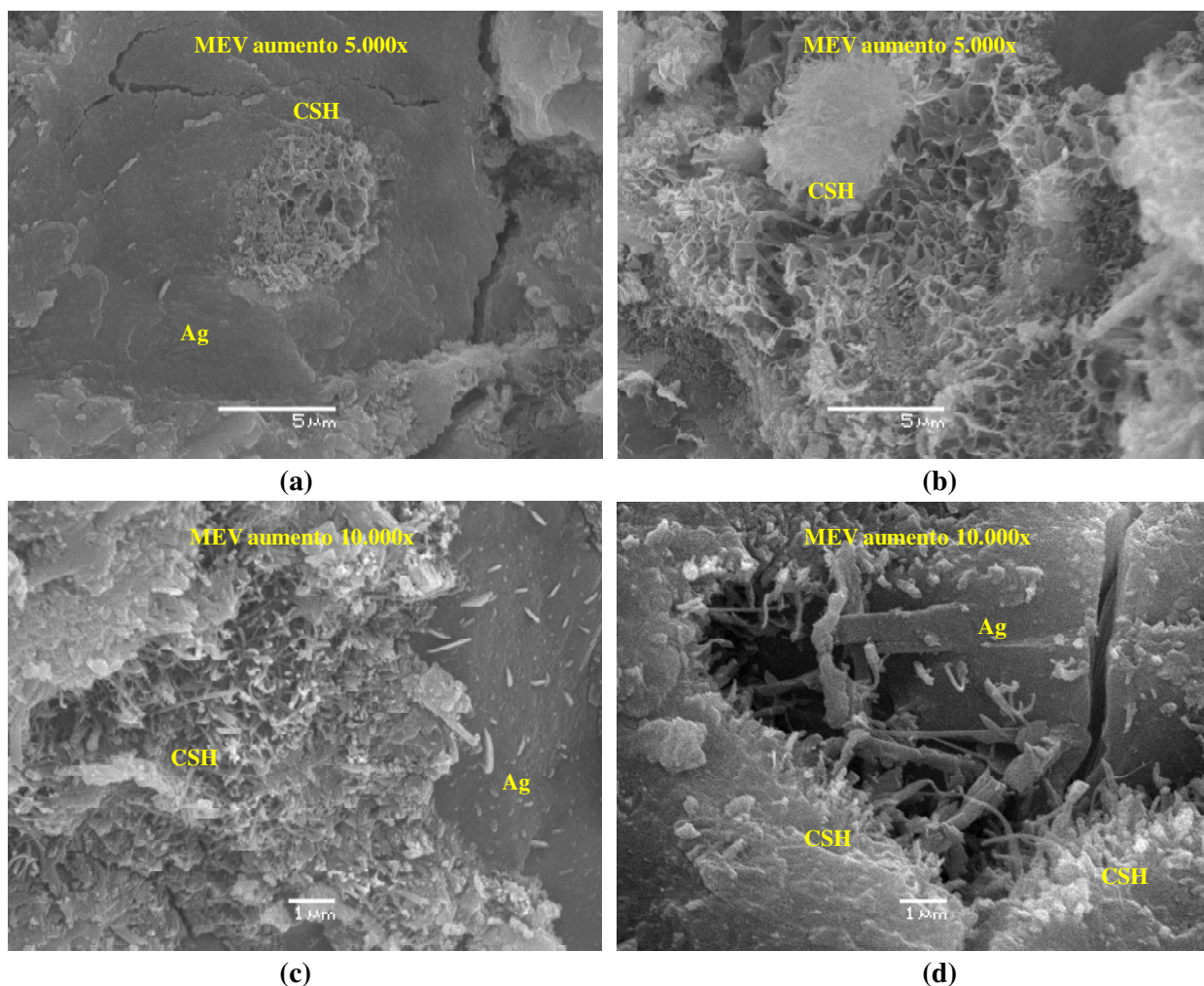


Figura 5.11 – Formação do CSH sobre o agregado (a) e detalhe do CSH (b), ambos no traço referência, e formação do CSH na zona de transição agregado-pasta para os traços de argamassa denominados A 25 (c) e A 50 (d), ambos na idade de 180 dias.

A etringita por ser instável pode esta se transformar em monossulfato. Analisando as imagens do traço A 50 observa-se uma possível transformação da etringita em monossulfato (MS), figura 5.12 (a), observação também válida para a argamassa A 70, figura 5.12 (b). As

figuras 5.12 (c) e 5.12 (d) ilustram a possível transformação desta etringita em monossulfato também para o traço A 70.

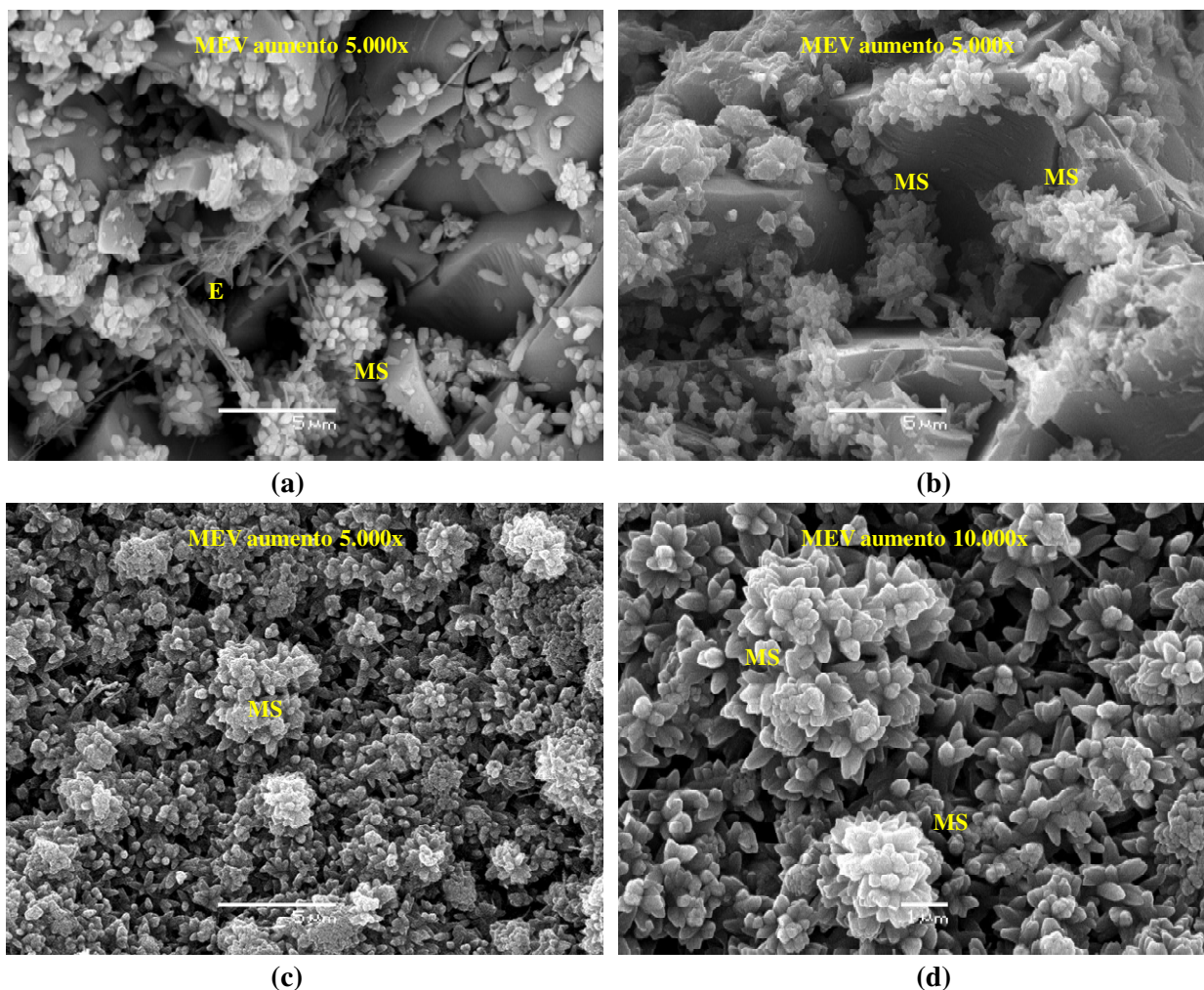


Figura 5.12 – Possível transformação da etringita em monossulfato para o traço A 50 (a) e A 70 (b) e na argamassa A 70 (c) e detalhe do monossulfato no traço A 70 (d) com idade de 180 dias.

5.1.1.6 Ensaios de Carbonatação

O fenômeno da carbonatação pode ser ocasionado pelas reações químicas provenientes da interação entre os principais constituintes presentes na atmosfera, como o CO_2 (gás carbônico) com os produtos da hidratação do cimento, que se encontram no líquido intersticial dos poros. A carbonatação é um fenômeno físico-químico que resulta em mudanças na microestrutura e na

diminuição do pH do concreto, tendo este fenômeno o poder de despassivar o aço utilizado nas estruturas de concreto armado e até mesmo em argamassas armadas, objeto deste estudo, ocasionando a corrosão das armaduras.

Os ensaios de carbonatação das argamassas foram realizados nas idades de 28 dias e 180 dias, figura 5.13, em amostras provenientes apenas do processo de endurecimento, a carbonatação não foi medida pelo método acelerado. Os corpos-de-prova após sua ruptura diametralmente foram aspergidos com fenolftaleína e, para ambas as idades, não foi constada a carbonatação das argamassas, independente do teor de porcelana adicionada.



Figura 5.13 – Carbonatação argamassas com adição de porcelana ao cimento – 180 dias.

A baixa capacidade de absorção de água da porcelana foi fator preponderante para a não constatação da carbonatação nas argamassas, entretanto, até o traço referência não apresentou carbonatação em ambas idades de ensaio. A confirmação da inexistência da carbonatação até a idade final ensaiada, 180 dias, de início é mais um fator pró-utilização da porcelana adicionada ao cimento e posteriormente utilizada na confecção de argamassa armada, pois como a carbonatação implica no processo de oxidação da armadura, esta argamassa é mais resistente a este tipo de ataque o que garantirá maior vida útil a mesma.

Como o intuito da moldagem destas argamassas foi estudar o comportamento da adição de isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar ao cimento Portland, destaca-se como teor ótimo de adição de até 10% em massa do cimento, teor este que conferiu as

argamassas melhorias nas propriedades mecânicas quanto as resistências à compressão diametral, à tração na flexão e similaridade com o traço referente a resistência à compressão simples e absorção de água por capilaridade, além de conferir no estado fresco consistência similar ao referêcia. O teor de adição intermediário, 25%, apresentou valores de propriedades mecânicas muitas vezes inferiores ou ao traço referêcia ou aos demais traços de argamassa com a porcelana.

Apesar dos traços A 50 e A 70 apresentarem uma elevada resistência à compressão simples na idade de 180 dias, os ensaios de absorção de água por capilaridade descartam estes teores de adição devido ao aumento da quantidade de água absorvida, pois se trata de um traço de argamassa armada e uma maior quantidade de água poderia ocasionar a oxidação da armadura. Há também a diminuição do índice de abatimento destas argamassas com a adição destes teores de porcelana, porém, isto é contornado com a adição de aditivo superplastificante aos traços.

5.1.2 Ensaios de Argamassa: Influência da Camada de Esmalte

A fim de comprovar a influência da camada de esmalte que reveste os isoladores elétricos de porcelana nas propriedades mecânicas foram moldados traços de argamassa contendo o agregado miúdo de porcelana com esmalte em uma de suas faces, comparando-o a argamassa com porcelana sem esmalte.

Os ensaios mecânicos foram realizados quanto às resistências à compressão simples (NBR 7215:1997) e à tração por compressão diametral (NBR 7222:2010). A tabela 5.3 apresenta o valor médio de quatro corpos-de-prova ensaiados para cada ensaio e idade, além do desvio padrão médio destes resultados.

Ao contrário dos autores Franck *et al.* (2004); Portella *et al.* (2006); Santolaia *et al.* (2007); Lintz *et al.* (2008) e Campos (2009) que atribuem à camada de esmalte a influência na diminuição dos valores das propriedades mecânicas de seus ensaios, principalmente em relação a resistência à compressão simples, observa-se nesta pesquisa que os resultados obtidos nas

argamassas contendo o agregado com esmalte foram superiores o traço de argamassa sem esmalte.

Tabela 5.3 – Resultados ensaios argamassa influência da camada de esmalte.

Ensaio	Idade	Traço	
		Sem Esmalte	Com Esmalte
Resistência à Compressão Simples (MPa) – NBR 7215 (1997)	3 dias	25,7	30,0
	7 dias	33,3	34,1
	28 dias	38,9	44,7
	56 dias	44,0	47,4
	112 dias	46,1	49,3
Desvio Padrão Médio (MPa)		1,9	2,8
Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa) – NBR 7222 (2010)	7 dias	3,05	3,15
	28 dias	3,56	3,30
	112 dias	4,18	3,94
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,39	0,39

Mesmo não trabalhando com isoladores de porcelana e sim com resíduos de construção contendo material cerâmico com camada de esmalte, o trabalho de Zordan (1997) também destacou que a face polida, esmaltada, da cerâmica afeta negativamente a resistência do concreto, devido a insuficiente aderência deste agregado com a pasta de cimento.

A camada de esmalte influenciou nos resultados do ensaio de resistência à compressão diametral onde esta e a metodologia de ensaio tende a provocar a ruptura nas faces dos agregados devido principalmente a textura de sua superfície, mais lisa que o agregado sem o esmalte, mais rugosa, quando comparados entre si, além da presença em maior quantidade de microfissuras na zona de transição da interface agregado-pasta devido a textura mais lisa da porcelana com esmalte.

5.1.2.1 Resistência à Compressão Simples

Analisando os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, figura 5.14, o traço de argamassa com agregado miúdo com a camada de esmalte apresentou resultados superiores ao traço sem esmalte, independente da idade de ensaio. Na idade inicial, 3 dias, o

aumento da resistência obtida pelo traço com esmalte em comparação a argamassa sem esmalte foi de 17%, aos 7 dias a elevação na resistência ficou em 2%.

Para os ensaios aos 28 dias de idade o aumento foi de 15%, já para as idades mais elevadas, 56 e 112 dias, 8% foi o aumento da resistência do traço com esmalte em relação a argamassa com agregado sem esmalte. Outro destaque é a elevada resistência à compressão simples obtidas pelos traços de argamassa, independente do tipo de agregado miúdo.

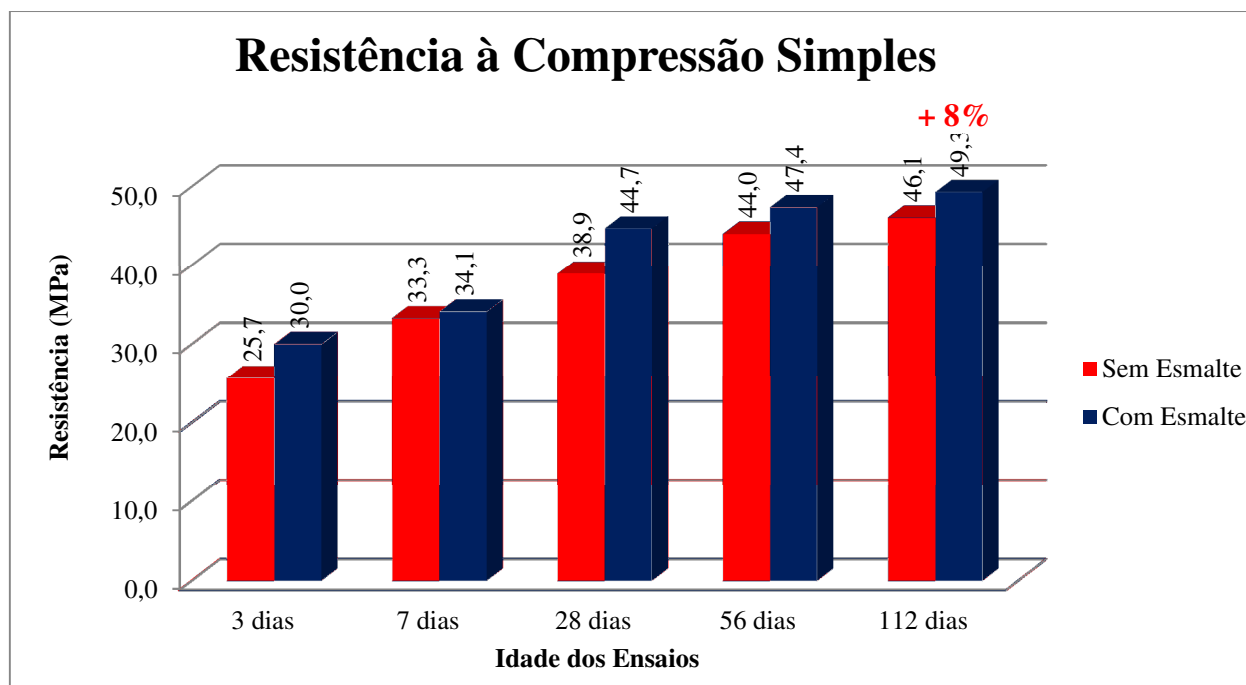


Figura 5.14 – Resistência à compressão simples – Influência esmalte.

Em relação a camada de esmalte dos isoladores de porcelana esta não interferiu nos resultados dos ensaios de resistência à compressão simples conforme era destacada a influência pelos autores Zordan (1997); Franck *et al.* (2004); Santolaia *et al.* (2007); Lintz *et al.* (2008) e Campos (2009).

Esta camada de esmalte pode interferir na resistência quando for de dimensões superiores a 19,0 mm, dimensões das pesquisas dos três últimos pesquisadores citados, devido a grande área superficial esmaltada, porém, nesta pesquisa a dimensão máxima do agregado graúdo ficou em 9,5 mm o que não afetou negativamente o concreto e foi comprovada nesta pesquisa.

5.1.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Ao analisar os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão diametral, figura 5.15, observa-se sim haver uma relação entre o tipo de agregado, com ou sem esmalte, com sua resistência. Analisando os resultados dos traços de argamassa aos 3 dias de idade o traço moldado com agregado contendo a camada de esmalte em sua composição apresentou uma resistência 3% superior ao traço com a porcelana sem esmalte.

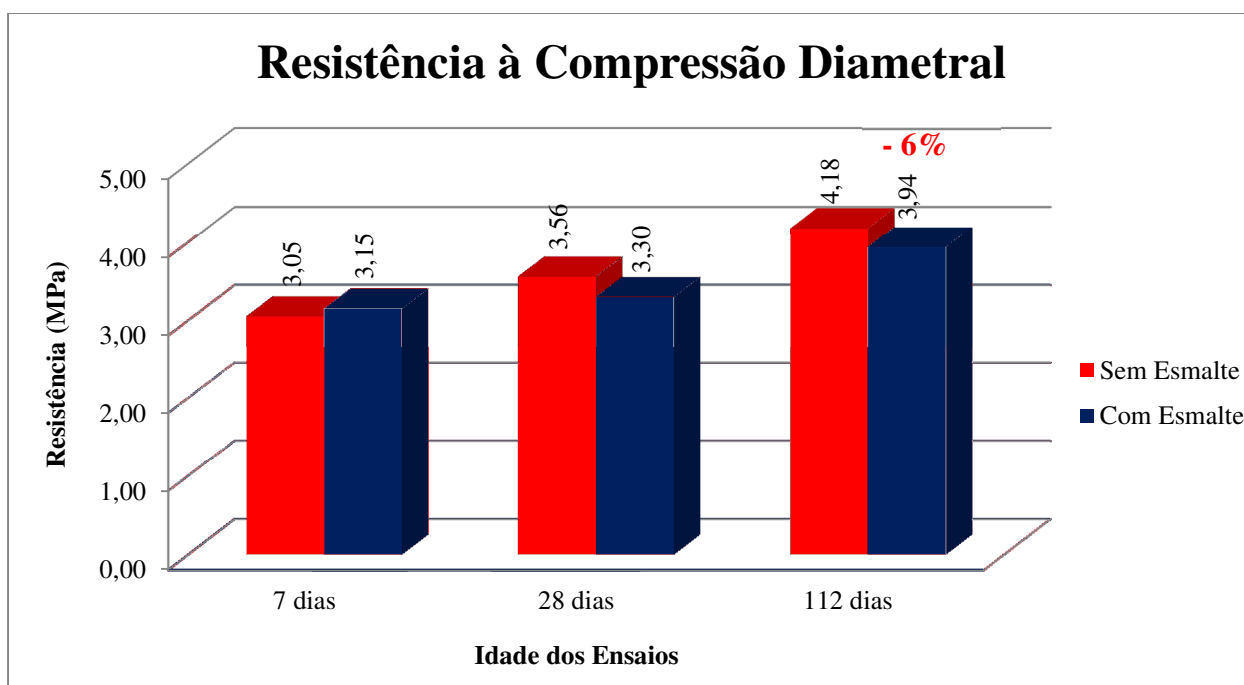


Figura 5.15 – Resistência à compressão diametral – Influência esmalte.

Com o aumento da idade de ensaio os valores obtidos no traço de porcelana com esmalte foram inferiores quando comparados a argamassa sem esmalte tanto para a idade de 28 dias como aos 112 dias a resistência obtida pelos traços com esmalte foi 6% inferior a argamassa sem esmalte.

Devido a metodologia de ensaio observou-se que a ruptura dos corpos-de-prova tende a ocorrer na face do agregado com a pasta. A porcelana com esmalte por ter uma superfície mais polida foi o local onde ocorreram com mais intensidade estas rupturas devido a maior presença de

microfissuras na zona de transição agregado-pasta para este tipo de porcelana, acarretando diminuição nos valores de resistência à tração por compressão diametral medidos.

5.1.2.3 Ensaios de Imagem MEV/EDS

Para a verificação da influência da camada de esmalte foram moldados corpos-de-prova específicos para os ensaios de MEV/EDS, assim foram fabricados isoladores de porcelana especiais, com e sem esmalte, figura 5.16 (a), que foram centralizados nos moldes de argamassa e preenchido o vazio com argamassa de traço 1:2:0,55 (cimento: agregado miúdo comum: água).

Após o período de endurecimento os corpos-de-prova tiveram seu topo cortado e em seguida extraída uma fatia de espessura variável de 5 a 10 mm, figura 5.16 (b), para verificar a influência da camada de esmalte na zona de transição agregado-pasta das argamassas, conforme detalhe.

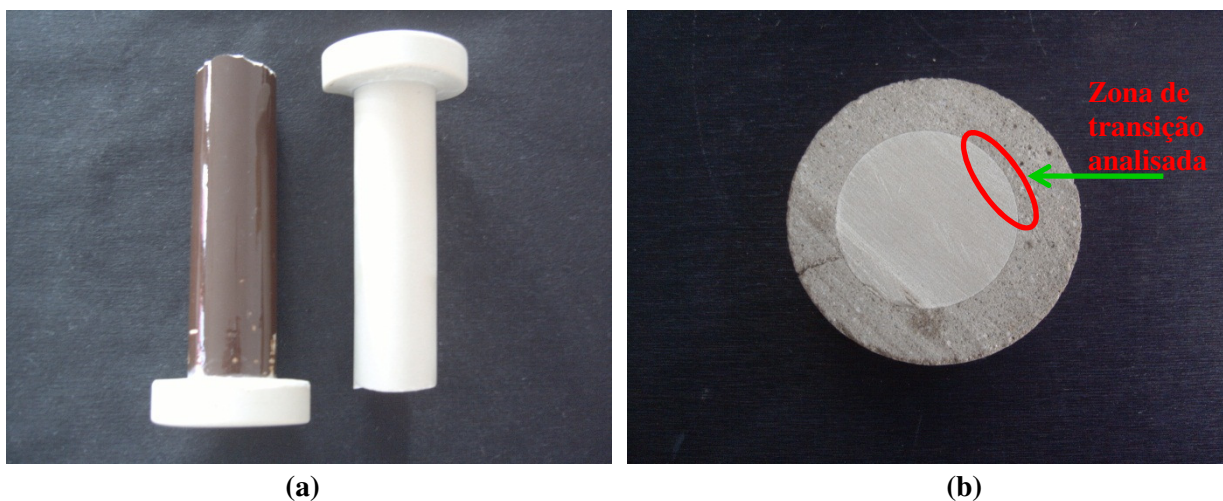


Figura 5.16 – Isoladores elétricos de porcelana especiais, a direita sem esmalte e a esquerda com esmalte (a) e corpos-de-prova extraídos para ensaio de MEV/EDS (b).

Analisando a zona de transição agregado-pasta através dos ensaios de imagens por Microscopia Eletrônica da Varredura (MEV) aos 7 dias de idade observa-se que o vazio capilar (VC), distância média entre o agregado (Ag) e a pasta (Pa), é de 3 μm para o traço moldado com

porcelana sem esmalte (S E), figura 5.17 (a). Já para a argamassa com esmalte (C E), figura 5.17 (b) a distância média ficou em $7\mu\text{m}$.

Esta maior distância é atribuída ao traço com esmalte devido a superfície mais lisa da camada de esmalte. A superfície da porcelana sem esmalte é rugosa e portanto, a pasta se “adere” mais ao agregado diminuindo a distância desta zona de transição agregado-pasta.

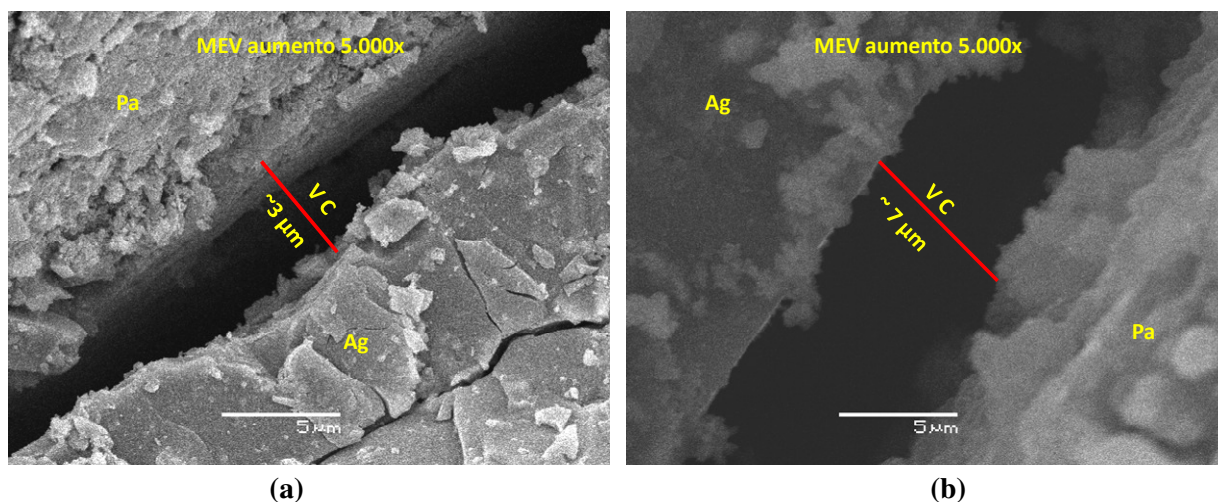


Figura 5.17 – Zona de transição, 7 dias, traço sem esmalte (a) e argamassa com esmalte (b).

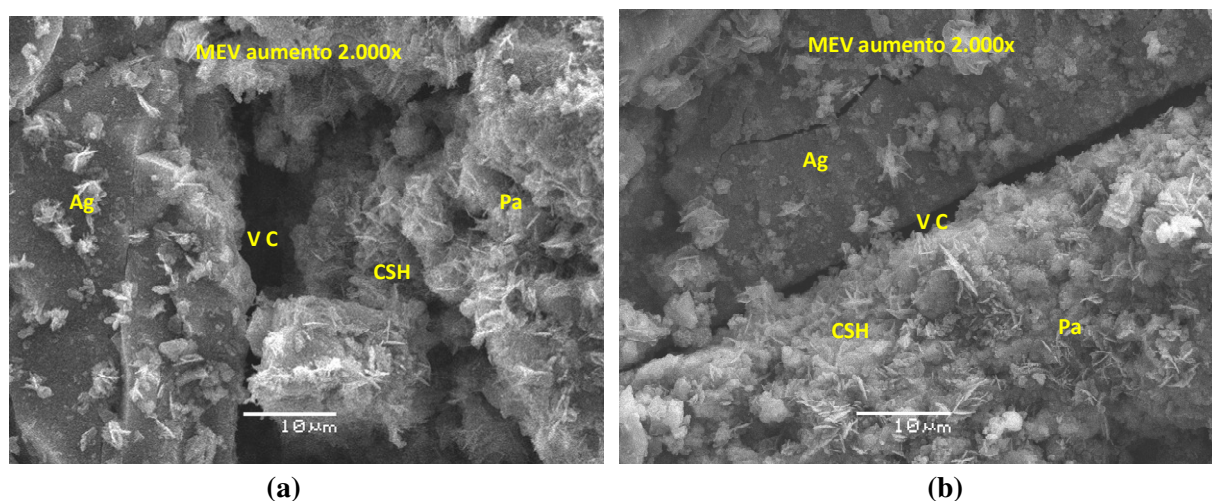


Figura 5.18 – Evolução produtos hidratação do cimento, 112 dias de idade, traço sem esmalte (a) e com esmalte (b).

Para a idade de 112 dias observa-se que os produtos de hidratação do cimento localizados próximos a zona de transição agregado-pasta se desenvolveram diminuindo a

“distância” do vazio capilar na zona de transição, tanto para o traço de argamassa sem esmalte, figura 5.18 (a), como para a argamassa com esmalte, figura 5.18 (b).

Outra observação a destacar nestas imagens refere-se a formação dos produtos da hidratação do cimento sobre o agregado, possivelmente CSH, para ambos os traços de argamassa conforme a figura 5.19, aos 56 dias de idade, para o traço sem esmalte, e figura 5.20, argamassa com esmalte, com idade de 112 dias. Isso fez também que diminuísse a distância média entre o agregado e a pasta, principalmente para a argamassa com esmalte, que passou a ter uma distância média de 2 μm .

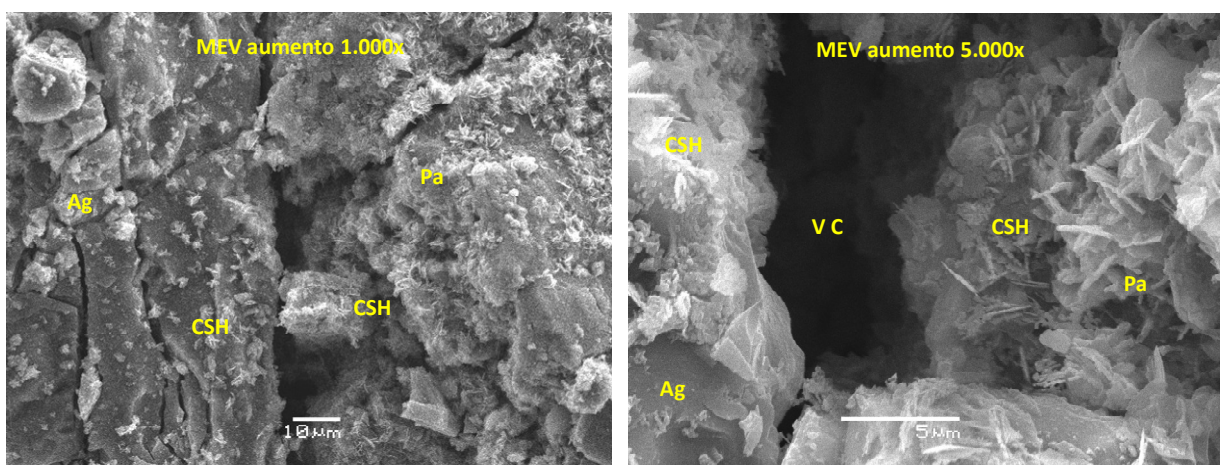


Figura 5.19 – Formação de produtos hidratados do cimento sobre o agregado traço sem esmalte, idade de 56 dias.

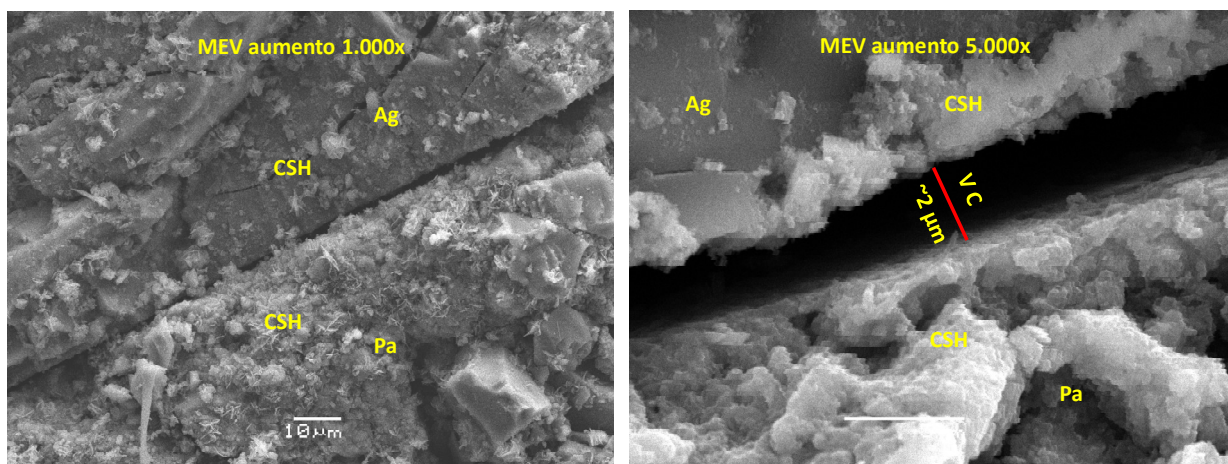


Figura 5.20 – Formação de produtos hidratados do cimento sobre o agregado traço com esmalte, 112 dias de idade.

Analisando os ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), Apêndice A, verificou-se que os elementos constituintes das argamassas foram os mesmos independente desta ser moldada com agregado com ou sem esmalte.

5.1.2.4 Ensaio de Carbonatação

Realizado aos 112 dias de idade, com o intuito de se verificar a possível carbonatação proveniente do processo de endurecimento das argamassas os corpos-de-prova foram rompidos diametralmente e em seguida aplicados solução de fenolftaleína, com concentração de 0,5% de álcool. Não foi observada para nenhum dos traços moldados a ocorrência da carbonatação conforme a figura 5.21 (a) traço de argamassa sem esmalte e na figura 5.21 (b) argamassa com esmalte.



Figura 5.21 – Carbonatação, 112 dias, traço sem esmalte (a) e com esmalte (b).

A porosidade dos agregados miúdos constituintes da amostra é decisiva na carbonatação das amostras e devido a baixa capacidade de absorção de água da porcelana, independente da existência da camada de esmalte da porcelana, a carbonatação não foi constatada nas argamassas moldadas. Este fato confere a porcelana mais um benefício de sua utilização substituindo o agregado comum, pois no caso de utilização destes traços em argamassa armada esta não carbonatação contribuirá para preservação da sua armadura.

Apenas em relação aos ensaios de resistência à compressão diametral é que houve influência da camada de esmalte, pois o traço com esmalte apresentou resistência inferior em relação a argamassa sem esmalte atribuído a superfície mais lisa da porcelana aliada ao tipo de ruptura do corpo-de-prova no ensaio.

Através das análises das imagens de MEV observa-se que apenas na idade inicial de ensaio, 7 dias, é que houve diferença entre a argamassa moldada com porcelana sem esmalte com o traço com esmalte em relação a distância média do vazio capilar na zona de transição agregado-pasta. Nas demais idades analisadas as ocorrências observadas no traço de argamassa sem esmalte são válidas para o traço com esmalte.

Aliado ao fato de ambos os traços não apresentarem reação quanto ao ensaio de carbonatação realizado e a melhora da resistência à compressão simples para o traço com esmalte destaca-se que para o traço moldado e idades e ensaios realizados não houve influência negativa da camada de esmalte da porcelana quando comparada a porcelana sem a camada de esmalte, conforme afirmam os autores Franck *et al.* (2004), Portella *et al.* (2006), Santolaia *et al.* (2007), Lintz *et al.* (2008) e Campos (2009), sendo portanto viável a utilização dos isoladores elétricos de porcelana com a camada de esmalte sem prejuízo as suas propriedades mecânicas e de durabilidade.

5.2 ENSAIOS COM CONCRETO

No estado fresco os traços de concreto foram ensaiados quanto ao seu abatimento, *Slump test*, de acordo com a NBR NM 67 (1998), com seus resultados apresentados na tabela 5.4. Como foi adicionado aditivo hiperplastificante aos traços de concreto com o intuito de reduzir a relação água/cimento e obter um abatimento similar aos concretos convencionais de obra, $6,0 \pm 2,0$ cm, não bombeável.

O traço de concreto referência apresentou um abatimento de 7,0 cm, já para os demais traços, independente do teor de porcelana, o abatimento foi de 8,0 cm, ficando todos os traços dentro do limite estabelecido. O teor de porcelana não influenciou no abatimento conforme o relatado em Franck *et al.* (2004).

Tabela 5.4 – Resultados ensaio abatimento concreto.

Ensaio	Traços								
	Ref. C	C 25	C 50	C 75	C 100	C 25,25	C 50,50	C 75,75	C 100,100
Abatimento (cm)	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0

5.2.1 Ensaio de Concreto com Porcelana Miúda – Substituição do Agregado Miúdo

Os valores dos resultados encontrados para os concretos moldados e ensaiados nas propriedades mecânicas de: resistência à compressão simples – NBR 5739 (2007), resistência à tração por compressão diametral – NBR 7222 (2010), módulo estático de elasticidade à compressão – NBR 8522 (2008), absorção de água por capilaridade – NBR 9779 (1995) e

carbonatação em traços com substituição do agregado miúdo, areia, por isoladores elétricos de porcelana de granulometria similar ao agregado comum são apresentados na tabela 5.5 onde constam a média de quatro corpos-de-prova ensaiados em cada idade, além do desvio padrão médio para cada traço.

Tabela 5.5 – Resultados ensaios traços de concreto com porcelana miúda.

Ensaio	Idade	Traços				
		Ref. C	C 25	C 50	C 75	C 100
Resistência à Compressão Simples (MPa) - NBR 5739 (2007)	3 dias	46,7	51,8	56,3	42,1	47,8
	7 dias	47,0	53,4	59,2	50,9	54,2
	28 dias	59,9	65,0	64,2	73,9	80,3
	56 dias	60,5	66,1	75,4	75,6	81,3
	112 dias	62,9	70,7	77,7	81,9	82,8
	180 dias	68,8	75,1	83,1	86,6	96,5
	365 dias	70,2	84,0	88,2	95,7	107,6
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,8	3,0	2,0	2,7	2,9
Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa) - NBR 7222 (2010)	7 dias	3,53	3,87	4,65	5,53	5,62
	28 dias	3,93	4,49	4,90	5,93	6,31
	56 dias	4,15	4,99	5,06	5,96	6,66
	112 dias	4,21	5,34	5,90	6,37	6,71
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,21	0,19	0,12	0,28	0,38
Módulo Elástico de Elasticidade à Compressão (GPa) - NBR 8522 (2008)	7 dias	39,6	36,5	33,1	28,6	30,7
	28 dias	37,2	38,5	44,4	38,5	43,5
	56 dias	39,8	44,1	37,6	42,5	41,7
	112 dias	37,5	42,2	35,6	39,0	40,1
Desvio Padrão Médio (GPa)		3,9	4,4	3,1	4,3	4,3
Absorção de Água por Capilaridade (g/cm²) - NBR 9779 (1995)	7 dias	0,120	0,110	0,087	0,096	0,084
	28 dias	0,100	0,090	0,077	0,069	0,053
	56 dias	0,116	0,123	0,109	0,087	0,081
	112 dias	0,109	0,130	0,120	0,095	0,080
Desvio Padrão Médio (g/cm²)		0,014	0,014	0,011	0,007	0,007
Quantidade de Água Absorvida (g) - NBR 9779 (1995)	7 dias	9,4	8,6	6,8	7,5	6,6
	28 dias	7,9	7,0	6,1	5,4	4,2
	56 dias	9,1	9,7	8,6	6,8	6,4
	112 dias	8,6	10,2	9,4	7,5	6,3
Desvio Padrão Médio (g)		1,1	1,1	0,8	0,5	0,5
Altura Capilar (cm) - NBR 9779 (1995)	7 dias	1,8	1,3	1,0	0,9	0,4
	28 dias	1,6	1,2	0,8	0,8	0,6
	56 dias	2,1	1,8	1,4	1,3	1,0
	112 dias	1,8	1,6	1,1	1,0	0,9
Desvio Padrão Médio (cm)		0,2	0,2	0,1	1,0	0,2
Carbonatação (mm)	365 dias	2,3	2,0	1,5	1,5	1,0
Desvio Padrão Médio (mm)		0,9	0,6	0,8	0,8	1,1

5.2.1.1 Resistência à Compressão Simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados nas idades de 3, 7, 28, 56, 112, 180 e 365 dias, com os resultados médios destes ensaios apresentados na figura 5.22. Aos 3 dias de idade quando comparados ao traço referência (Ref. C) o traços com 50% (C 50) de substituição do agregado miúdo por porcelana apresentou um valor de resistência 21% superior, já para o traço com teor de substituição de 25% (C 25) a elevação na resistência foi de 10% e de 2% para o concreto com 100% de porcelana miúda (C 100). A exceção quanto ao aumento da resistência em comparação ao traço Ref. C ficou para o concreto com 75% (C 75) de porcelana substituindo o agregado miúdo que apresentou valor 10% inferior.

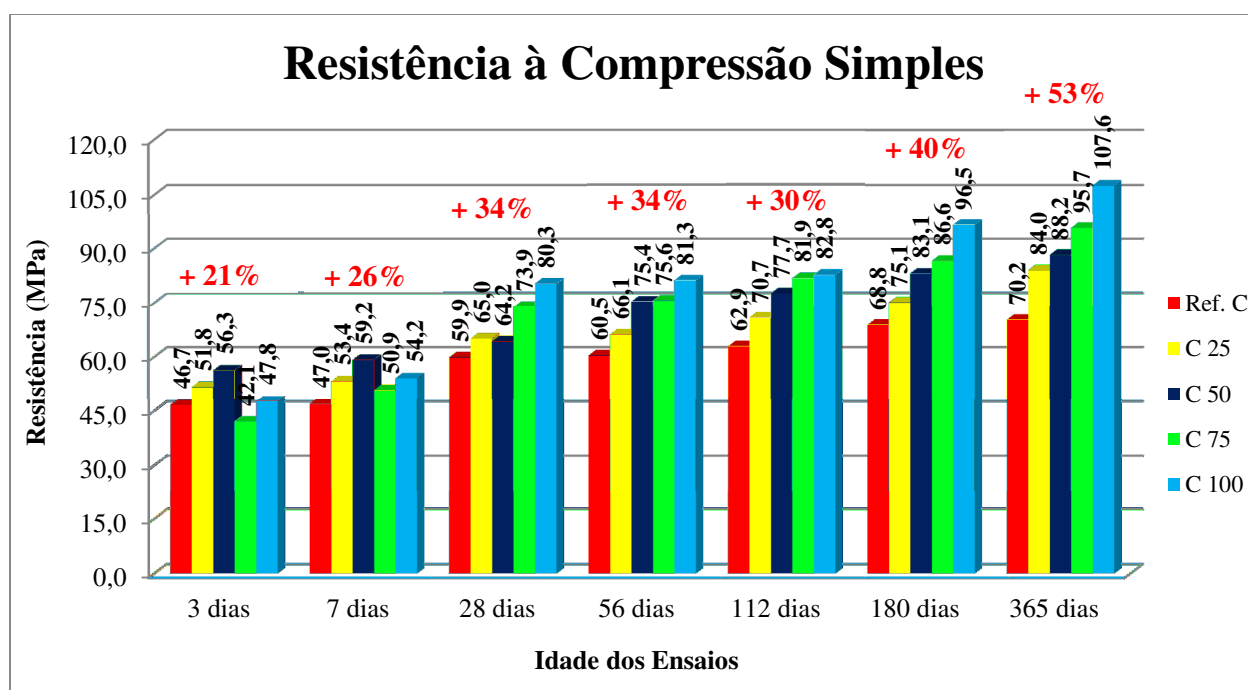


Figura 5.22– Resistência à compressão simples – substituição agregado miúdo.

Já a partir da idade de 7 dias todos os traços de concreto obtiveram resistências superiores ao traço referência. Nesta idade para o traço A 50 sua resistência foi 26% superior, 15% para os traços C 25 e C 100 e de 8% para o concreto C 75 quando comparados ao traço Ref. C. Os resultados dos ensaios de 28 dias de idade seguiram também a melhora da resistência dos

traços com porcelana em relação a referência com elevação de 8% para os concretos C 25 e C 50, 23% para o traço C 75 e de 34% para o traço C 100.

Aos 56 dias de idade o traço C 25 apresentou elevação de resistência de 9%, 25% para os traços C 50 e C 75 e aumento de 34% para o concreto C 100. Com idade de 112 dias os aumentos de resistência para os traços com porcelana quando comparados ao traço referência foram de 12% para o traço C 25, 24% para o C 50 e elevação na resistência de 30% para os concretos C 75 e C 100.

Com 180 dias de idade os aumentos de resistência ficaram em 9% para o traço C 25, 21% no traço C 50, 26% no C 75 e 40% para o concreto C 100. Na idade final de ensaio, 365 dias, as elevações de resistência foram de 20% no traço C 25, 26% para o concreto C 50, de 36% para o C 75 e 53% para o traço C 100 em comparação ao Ref. C. Esta tendência de aumento de resistência em relação ao traço referência também foi observada em Campos (2009), porém, os aumentos foram menores e explicados pelo autor devido a não utilização de aditivo e também o agregado miúdo de porcelana ser de maior granulometria que o aqui utilizado.

Analisando e comparando os traços de concreto contendo porcelana miúda substituindo o agregado miúdo comum, areia, observa-se desde a idade inicial de ensaio, 3 dias, a melhora conferida a estes concretos com a utilização da porcelana e com o aumento da idade de ensaio os traços com maiores teores de porcelana apresentaram maiores resistência à compressão simples, entretanto, não foi possível estabelecer uma relação entre o teor de porcelana com o aumento da resistência e a idade de ensaio.

Pelo fato desta porcelana miúda apresentar um índice de atividade pozolânica de 0,75; ser um material livre de materiais orgânicos; possuir uma granulometria controlada, pois sua obtenção é resultante do processo de moagem de isoladores inteiros e possuir também uma grande quantidade de material com granulometria inferior a 75 μm ; além da baixa capacidade de absorção de água são fatores que conferem aos concretos, quando desta porcelana utilizada, melhor adensamento e maior efeito pozolânico, resultando em maior resistência à compressão simples.

5.2.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral para os traços de concreto com substituição do agregado miúdo comum, areia, por isoladores elétricos de porcelana moídos são apresentados na figura 5.23, onde se observa em todas as idades de ensaio a melhora nos resultados de compressão diametral para os traços com porcelana miúda.

Na idade inicial de ensaio, 7 dias, os aumentos de resistência foram de 10% para o traço C 25, 32% para o traço C 50 e de 58% para os concretos C 75 e C 100. Aos 28 dias de idade as elevações ficaram em 14% traço C 25, 25% traço C 50, 51% traço C 75 e 61% para o concreto C 100. Para a idade de 56 dias os aumentos de resistência ficaram em 22% para os concretos C 25 e C 50, 44% para o traço C 75 e 60% para o C 100. Já aos 112 dias de idade o traço C 25 obteve uma resistência 27% superior a obtida pelo traço Ref. C, ficando o concreto C 50 com aumento de 40%, aumento de 51% para o traço C 75 e 59% para o concreto C 100.

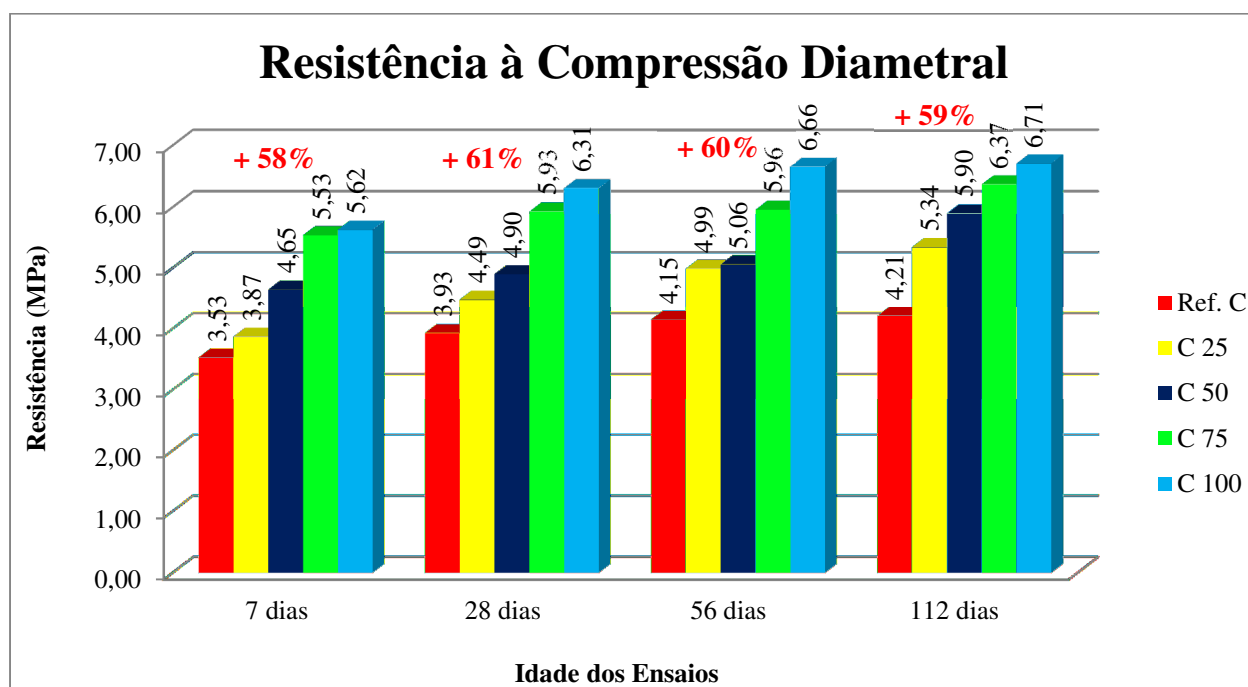


Figura 5.23 – Resistência à compressão diametral – substituição agregado miúdo.

Em Campos (2009) a elevação na resistência à compressão diametral foi de menor intensidade quando em relação ao obtido nesta pesquisa. Maiores resistências aqui são atribuídas as menores granulometrias do agregado miúdo, de porcelana, e do gráudo comum resultando na maior resistência ao esforço de tração a que o corpo-de-prova é submetido, além da utilização de aditivo que permitiu melhor adensamento do concreto.

Os agregados miúdos de porcelana possuem melhor comportamento a resistência à tração por compressão diametral quando comparados ao agregado miúdo comum, areia, devido a sua granulometria mais uniforme e formato similar dos grãos. Para todos os traços de concreto com porcelana seu comportamento à compressão diametral foi superior ao traço referência independente da idade de ensaio, comprovando que a utilização da porcelana confere também aos concretos melhora nesta propriedade.

5.2.1.3 Módulo Estático de Elasticidade à Compressão

O módulo de elasticidade foi realizado e calculado em conformidade com a NBR 8522 (2008), sendo que tensão de ensaio foi de 40% da resistência à compressão do concreto. Na figura 5.24 constam os resultados destes módulos nas diferentes idades de ensaio.

Aos 7 dias de idade todos os traços de concreto com porcelana apresentaram deformação inferiores ao traço referência da ordem de 8% para o traço C 25, 16% para o traço C 50, 28% para o C 75 e de 22% para o concreto C 100.

Com 28 dias de idade os concretos com porcelana apresentaram valores de módulo superiores quando comparados ao traço referência com aumento de 3% para os concretos C 25 e C 75 e de 18% para os traços A 50 e C 100.

Para a idade de 56 dias o traço C 50 resultou em módulo inferior a 6% em relação ao traço Ref. C com os demais traços de concreto com porcelana obtendo módulos superiores a referência com 11% para o concreto C 25 e de 6% para os traços C 75 e C 100. Novamente na

idade de 112 dias o traço C 50 apresentou módulo 5% inferior ao referência, já para o traço C 25 o aumento do módulo em comparação a referência foi de 13%, aumento também medido nos traços C 75 de 4% e de 7% para o concreto C 100.

Pelo método de aquisição de dados recomendado na norma brasileira em vigor, NBR 8522:2008, utilizado neste ensaio é normal haver variação de valores entre as idades ensaiadas para os mesmos traços, pois a aquisição de dados é realizada por extensômetros externos aos corpos-de-prova, passível de interferências devido, por exemplo, ao adensamento do concreto, da presença do agregado graúdo na superfície do corpo-de-prova, além de fatores próprios do concreto como a porosidade e composição da zona de transição agregado-pasta. A medição da deformação deve se realizar no comprimento total dos corpos-de-prova e não em seu comprimento central como é normatizado.

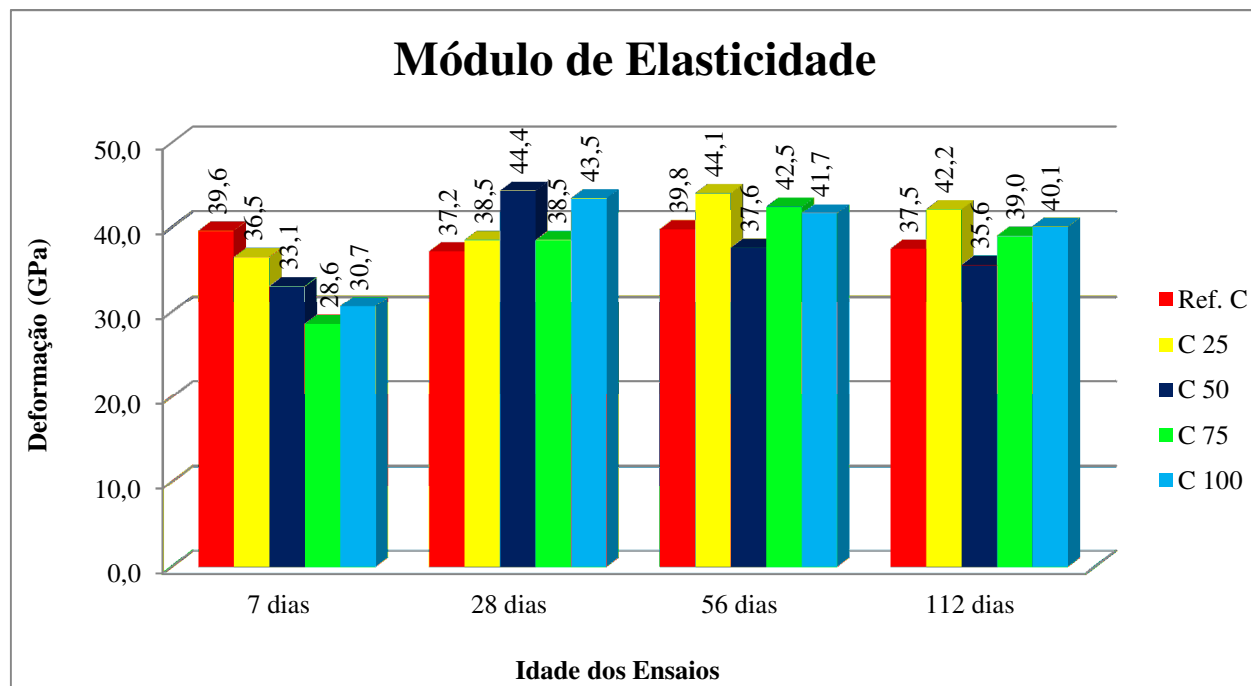


Figura 5.24 – Módulo de elasticidade – substituição agregado miúdo.

Analisando as idades em separado observa-se que os concretos C 25 e C 100 apresentaram melhor comportamento quando comparado ao traço referência Ref. C. Em Campos (2009), independentemente do teor de substituição do agregado miúdo por porcelana, os

concretos com porcelana apresentaram deformações inferiores quando comparadas ao traço referência, não havendo também relação entre o teor de porcelana e o valor obtido pelo ensaio.

5.2.1.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade

O índice de capilaridade, figura 5.25, foi calculado em função da quantidade de água absorvida, figura 5.26, pelo corpo-de-prova durante o tempo de ensaio, que nesta pesquisa foi de 24 horas. Analisando a idade inicial de ensaios, 7 dias, tem-se a diminuição da quantidade de água absorvida e consequente diminuição do índice de capilaridade para o aumento do teor de porcelana substituindo o agregado miúdo comum, areia, assim: o traço C 25 apresentou resultado inferior ao traço referência de 9%, para o traço C 75 a diminuição ficou em 28% e para os concretos C 50 e C 100 a diminuição foi de 30%.

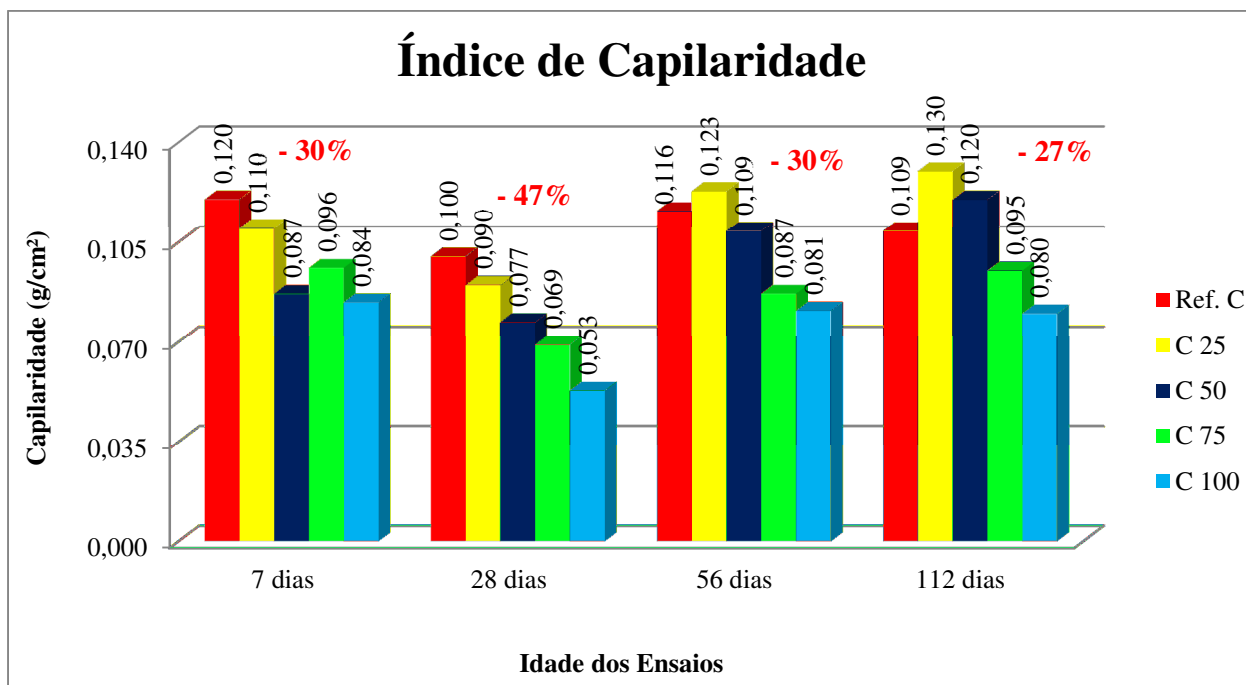


Figura 5.25 – Índice de capilaridade – substituição agregado miúdo.

Aos 28 dias de idade a diminuição nos índices de capilaridade e nas quantidades de água absorvidas foi de 11% para o traço C 25, 23% para o C 50, 32% para o concreto C 75 e de 47% para o traço C 100. Com 56 dias de idade estes valores ficaram mais próximos aos obtidos pelo traço referência já que o traço C 25 apresentou um aumento na quantidade de água absorvida que

influenciou o índice de capilaridade em 7% superior ao traço Ref. C, para os demais teores de substituição os traços de concreto apresentaram valores inferiores ao referência de 5% para o traço C 50, 25% para o concreto C 75 e 30% para o traço C 100.

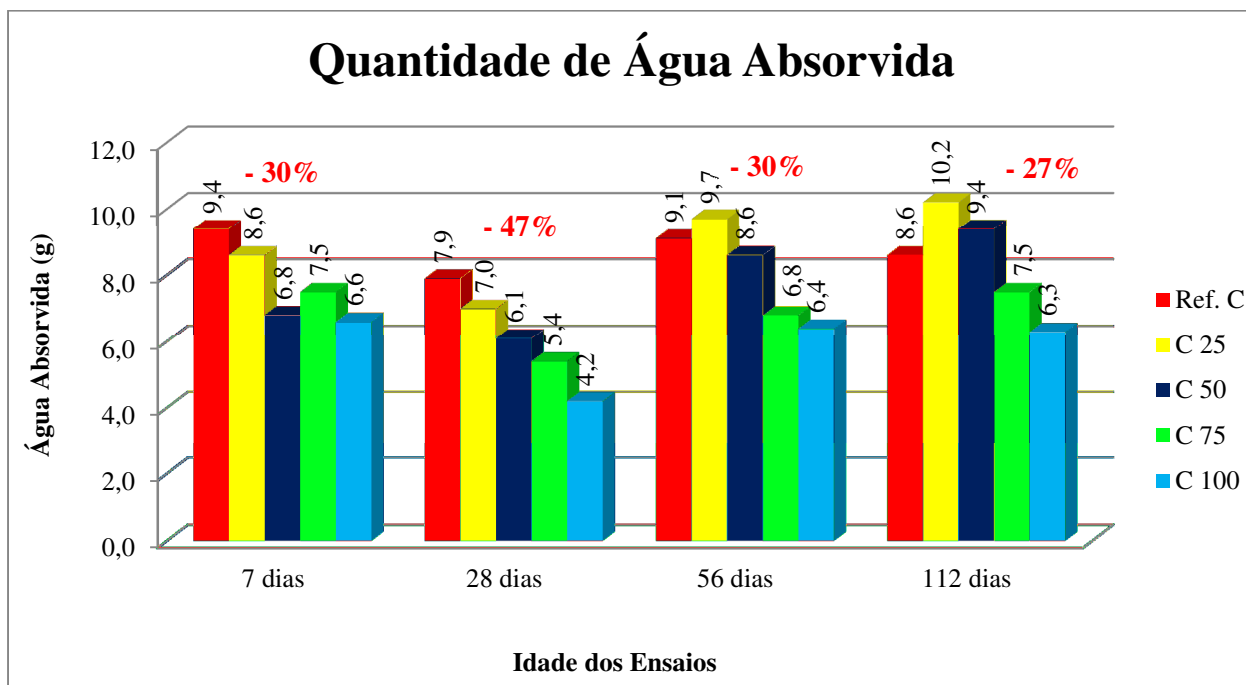


Figura 5.26 – Quantidade de água absorvida – substituição agregado miúdo.

Com 112 dias de idade os traços com teores de porcelana de até 50% apresentaram aumentos nas quantidade de água absorvida e no índice de capilaridade, aumentos estes de 19% para o concreto C 25 e de 9% para o traço C 50. Nos demais concretos estas propriedades foram inferiores quando comparadas ao traço referência, Ref. C, de 13% para o C 75 e de 27% para o traço C 100.

Já analisando a altura da ascensão capilar, figura 5.27, não é possível estabelecer uma relação entre a ascensão capilar com as demais propriedades medidas nos ensaios de absorção de água por capilaridade. Outro fato a destacar na medição da ascensão capilar da água absorvida pelo concreto refere-se ao fato desta diminuir, não linearmente, com o aumento do teor de porcelana em todas as idades ensaiadas.

Com 7 dias de idade a ascensão capilar ficou 28% inferior no concreto C 25 quando comparado ao traço Ref. C, para o traço C 50 a inferioridade foi de 44%, de 50% para o traço C 75 e de 78% para o C 100. Para 28 dias de idade a diminuição na ascensão capilar foi de 25% para o traço C 25, de 50% para os concretos C 50 e C 75 e de 63% para o C 100.

Aos 56 dias de idade a inferioridade da ascensão, quando relacionada ao referência Ref. C, ficou em 14% para o concreto C 25, 33% no traço C 50, no traço C 75 com 38% inferior e no concreto C 100 52% inferior. Para a idade de 112 dias os decréscimos da ascensão capilar foram de 11% para o traço C 25, 39% para o concreto C 50, 44% para o traço C 75 e 50% para o concreto de traço C 100.

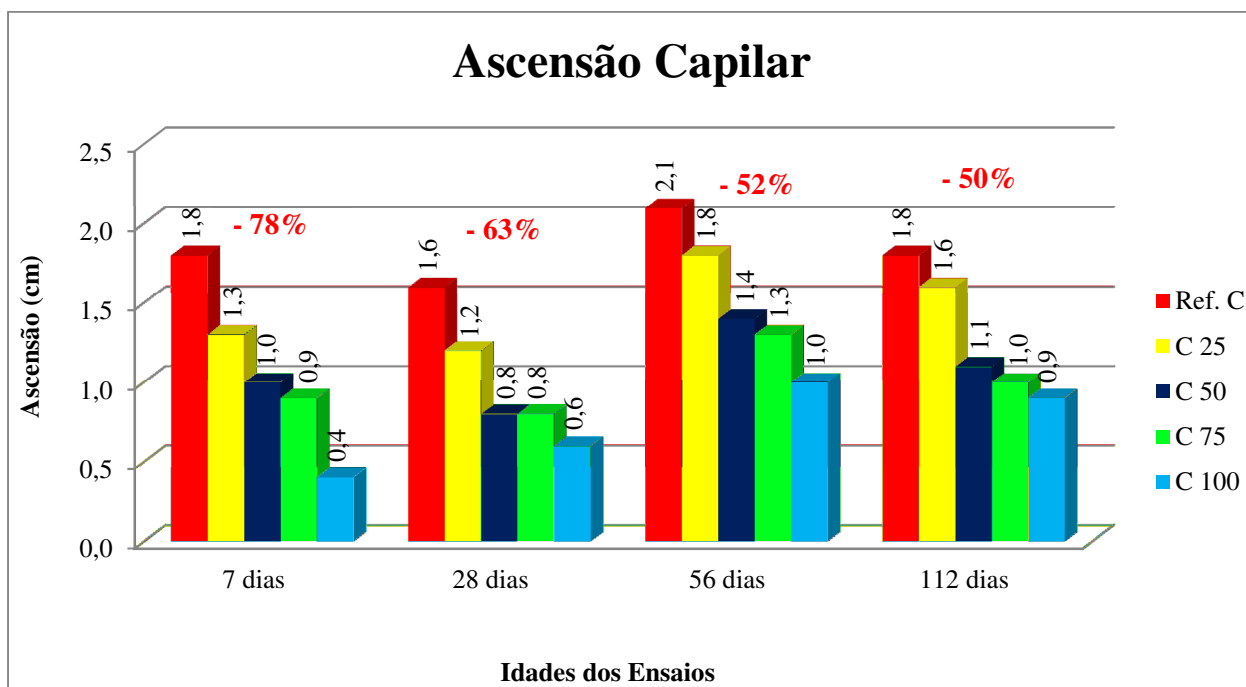


Figura 5.27 Ascensão capilar – substituição agregado miúdo.

A elevação na quantidade de água absorvida em relação ao aumento da idade dos concretos é atribuída ao “refinamento do tamanho do poro” (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Nas idades iniciais de ensaios os poros, vazios, capilares tinham maiores dimensões e não estavam interconectados. Com o processo de endurecimento dos concretos, estes poros foram sendo preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento, porém, ocorreu a interconexão destes poros, agora com maiores dimensões, acarretando aumento na capilaridade dos concretos.

5.2.1.5 Ensaios de Imagem MEV/EDS

Quanto a realização dos ensaios de imagem por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nos traços de concreto com substituição do agregado miúdo comum por isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar destaca-se a formação dos compostos na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento no concreto conforme Mehta; Monteiro, 2008 (p. 43, fig. 2.14 (b)) e Scrivener, 1989 (p. 141, fig. 23) conforme a quantidade destes compostos. Observa-se a presença de etringita (E) e CSH, no traço C 50, figura 5.28 (a), e no concreto C 75, figura 5.28 (b), ambos aos 28 dias de idade.

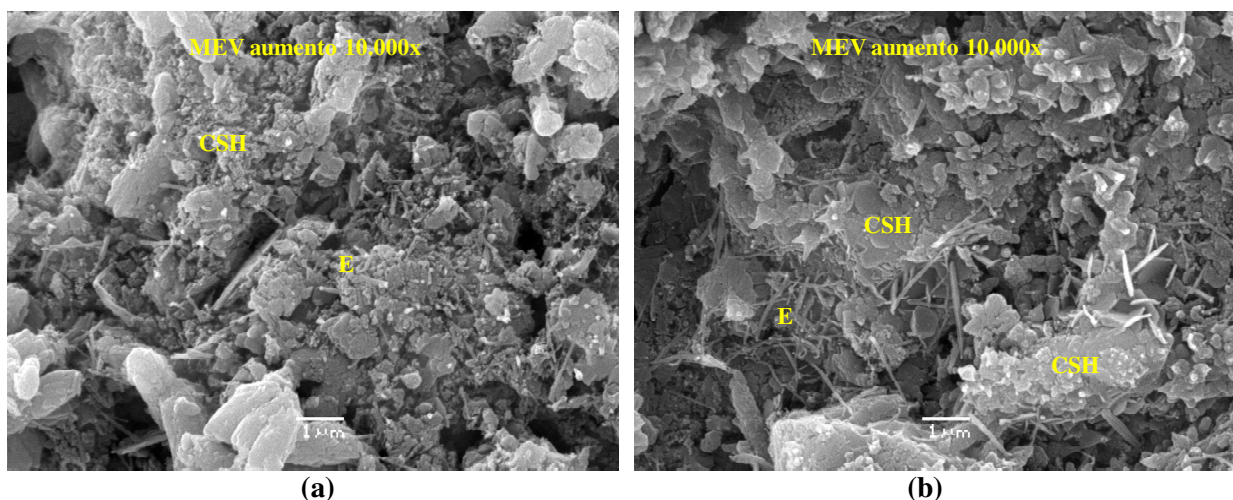


Figura 5.28 – Zona de transição, aos 28 dias de idade, traço C 50 (a) e C 75 (b).

Analisando as imagens de MEV destaca-se aos 7 dias de idade a presença de vazios capilares (VC) formados na zona de transição agregado-pasta, agregado (Ag) e pasta (Pa), sendo mais comum para os traços com maiores teores de porcelana, figura 5.29 (a) traço C 50 e figura 5.29 (b) concreto C 75, em relação ao referência, figura 5.29 (c).

Com o processo de endurecimento do concreto ocorre o preenchimento destes vazios existentes na zona de transição agregado-pasta com os produtos da hidratação do cimento, conforme a figura 5.29 (d) que ilustra o concreto referência aos 365 dias de idade.

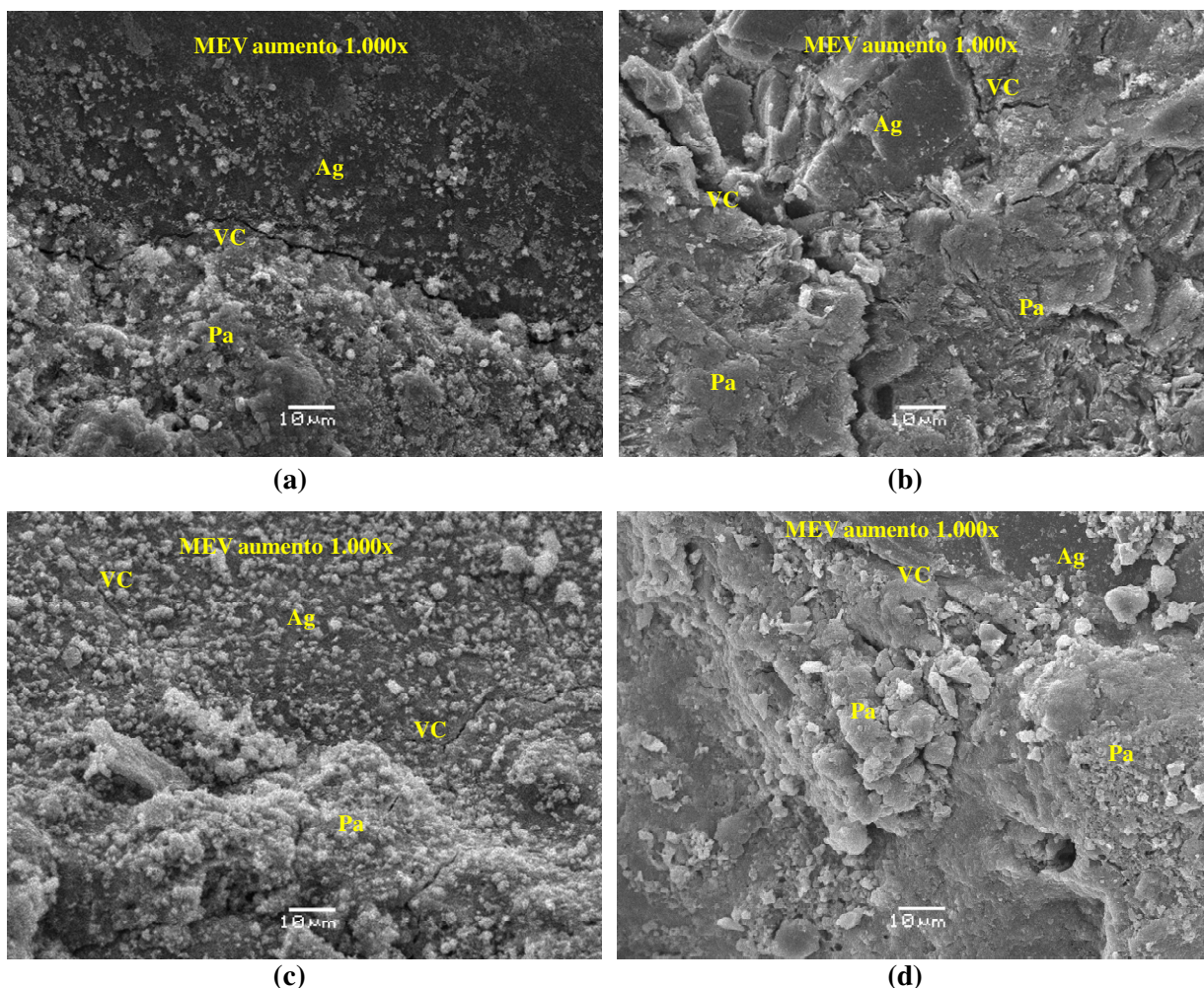


Figura 5.29 – Ocorrência de vazios capilares na zona de transição agregado-pasta aos 7 dias, traços de concreto C 50 (a), C 75 (b) e Ref. C (c), e aos 365 dias para o traço Ref. C (d).

Estes vazios capilares são melhor observados nas imagens com maiores aumentos, onde se observa que os compostos formados na zona de transição agregado-pasta vão preenchendo este vazio capilar (VC) formado inicialmente pela água de exsudação interna, que se acumula, principalmente, em torno das partículas de agregados graúdos, quando estas forem de grandes dimensões e formato alongado e achatado.

Ocorrem estes vazios capilares também nas maiores partículas do agregado miúdo de porcelana, pois o processo de fabricação dos isoladores favorece a presença de agregados em formato lamelares. No traço C 50, aos 56 dias de idade, tem-se o preenchimento do vazio capilar por estes compostos, conforme a figura 5.30.

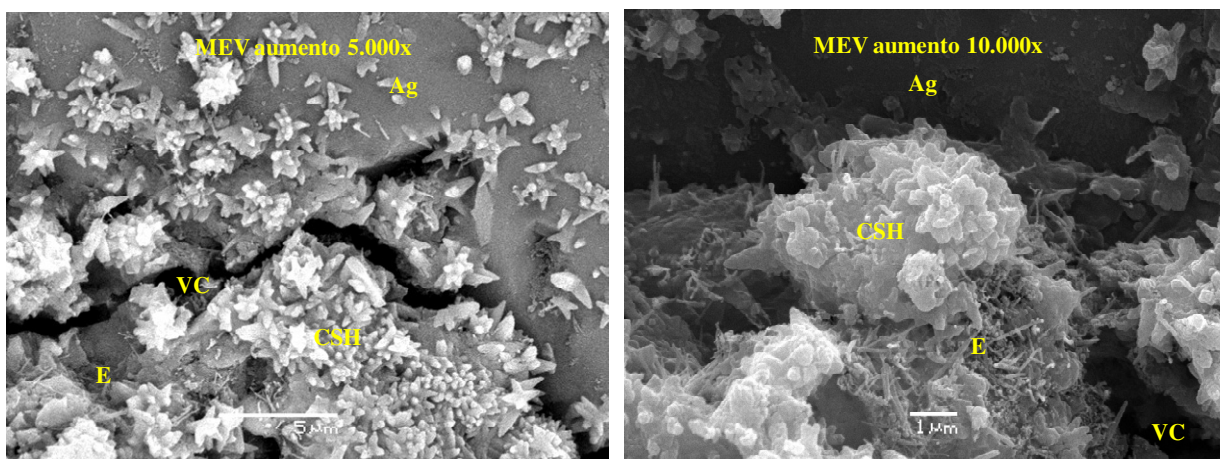


Figura 5.30 – Preenchimento do vazio capilar no concreto C 50, com idade de 56 dias.

Nesta zona de transição também observa-se a presença de formação do hidróxido de cálcio (CH), no concreto C 25, figura 5.31 (a) na idade de 7 dias, e um detalhe deste hidróxido de cálcio para o traço C 75 aos 28 dias, figura 5.31 (b).

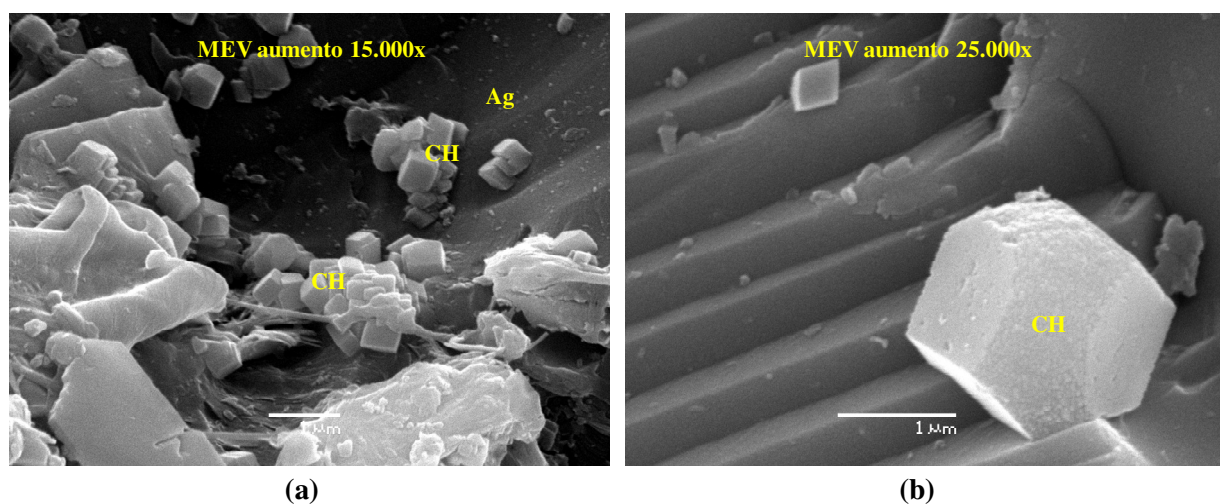


Figura 5.31 – Formação do hidróxido de cálcio (CH) no concreto C 25 (a), aos 7 dias de idade, e C 75, com idade de 28 dias, (b).

O preenchimento dos vazios na zona de transição agregado-pasta por cristais de CSH foi observado em todos os traços de concreto ocorrendo seu aumento conforme a elevação de sua idade. A figura 5.32 (a) ilustra o CSH no traço C 25 aos 56 dias, na figura 5.32 (b) para o concreto C 75 e também na idade de 56 dias.

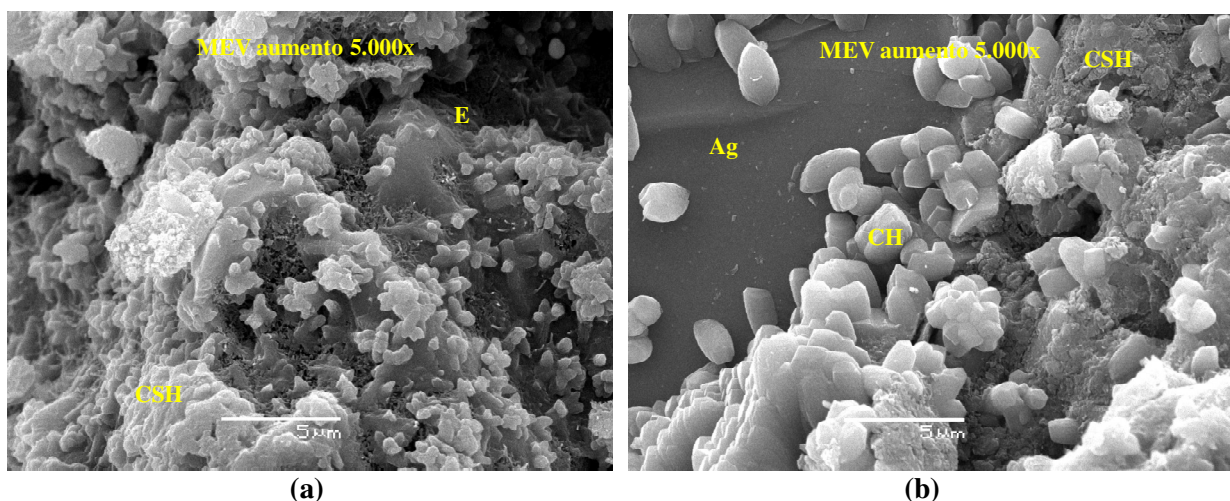


Figura 5.32 – Preenchimento de vazios por CSH, idade de 56 dias, nos traços C 25 (a) e C 75 (b).

Com o aumento da idade dos concretos foram observadas formações dos produtos de hidratação do cimento até sobre o agregado, principalmente de hidróxido de cálcio (CH), conforme a figura 5.33 (a) do traço C 25 aos 56 dias de idade, além de CSH conforme a figura 5.33 (b), concreto C 50 com idade de 56 dias.

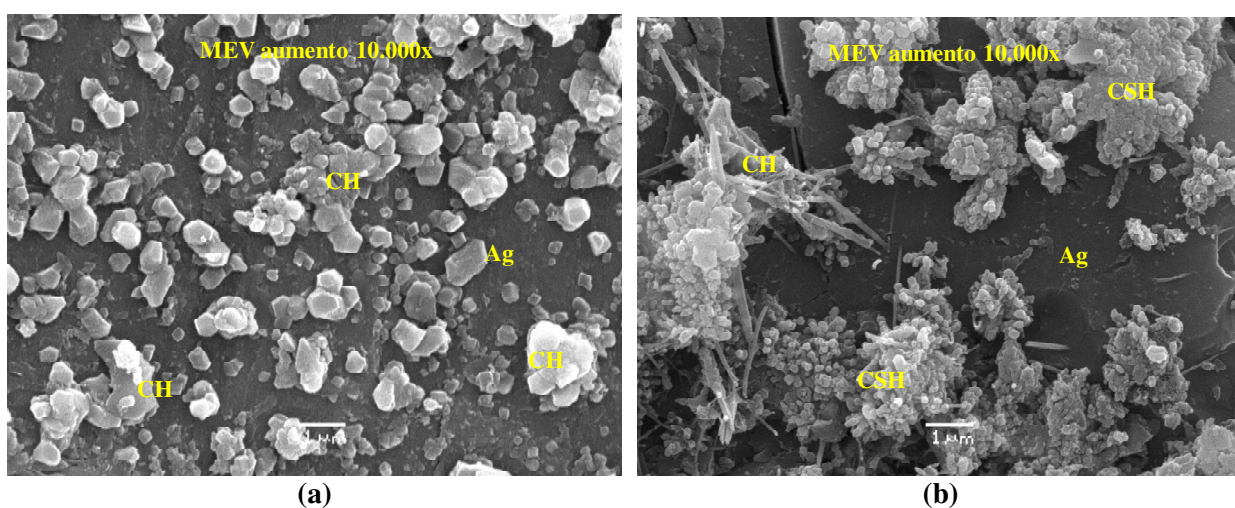


Figura 5.33 – Crescimento de hidróxido de cálcio (CH) sobre o agregado, traço C 25 (a) e de CSH no traço C 50 (b), ambos aos 56 dias de idade.

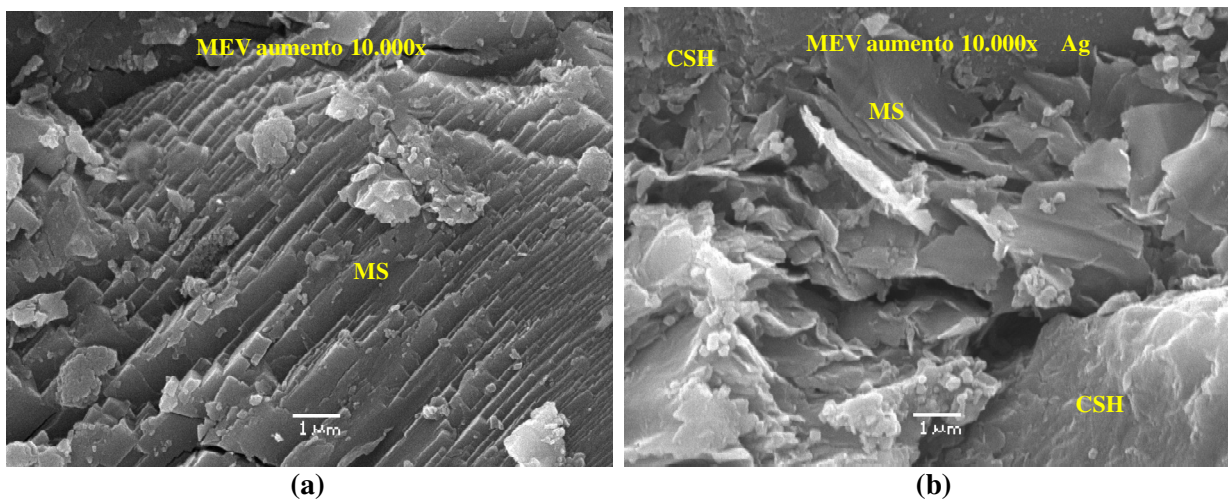


Figura 5.34 – Formação de monossulfato hidratado (MS) nos concretos C 100, aos 28 dias de idade, (a) e C 75, com 112 dias de idade (b).

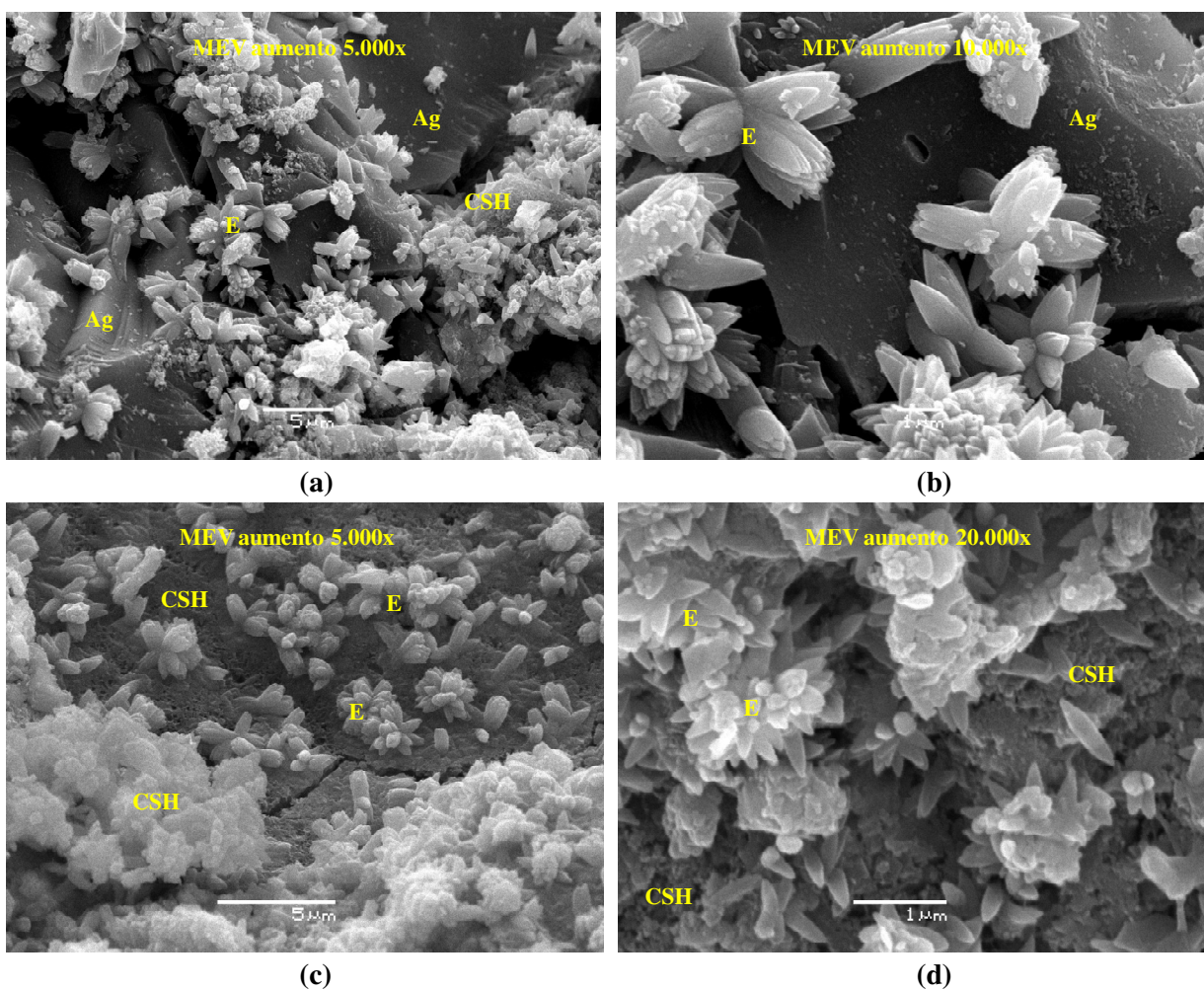


Figura 5.35 – Formação similar a etringita concreto C 25 (a) e (b) com idade de 28 dias, Ref. C, 7 dias de idade, (c) e C 50, aos 28 dias de idade, (d).

A formação de monossulfato hidratado (MS) foi observada nos concretos com crescimento em formato de “folhetos” para o traço C 100 aos 28 dias de idade, figura 5.34 (a). Na figura 5.34 (b) é apresentado um detalhe da estrutura do monossulfato formado no concreto C 75 com 112 dias de idade.

Um composto formado e muito observado nos concretos é apresentado nas figuras 5.35 (a) e (b), traço C 25 e 28 dias de idade, onde se destaca que esta formação é similar a etringita instável que se transforma em monossulfato. A formação desta possível etringita (E) se assemelha a flor e seu crescimento ocorre principalmente sobre os agregados (Ag).

Esta formação também foi observada no traço referência (Ref. C), com idade de 7 dias, figura 5.35 (c) e no concreto C 50, aos 28 dias de idade, figura 5.35 (d). Devido a pequena espessura destes cristais (“pétalas”) no ensaio de EDS não foi possível determinar a composição deste composto.

Analizando os ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), Apêndice B, verificou-se que para os traços de concreto, independente do teor de isoladores elétricos de porcelana substituindo o agregado miúdo, a formação dos produtos de hidratação análoga à observada no concreto de referência e também na bibliografia quanto a hidratação da matriz da pasta de cimento para concretos produzidos com agregados comum, sendo este mais um fator pró-utilização desta cerâmica.

5.2.1.6 Ensaios de Carbonatação

Com o ensaio de carbonatação na idade de 28 dias todos os traços de concreto com agregado miúdo não apresentaram carbonatação conforme pode ser observado na figura 5.36 (a) traço C 25, e figura 5.36 (b) concreto com 75% do agregado de porcelana miúdo, C 75. Nesta idade inicial de medição da carbonatação, 28 dias, as mudanças na microestrutura e a diminuição do pH do concreto não foram suficientes para que a reação da fenolftaleína constataste estas alterações, principalmente quanto a diminuição do pH do concreto.



(a)

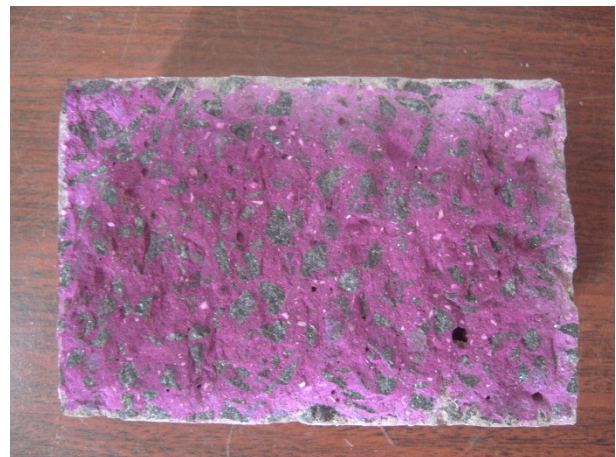


(b)

Figura 5.36 – Carbonatação traço C 25 (a) e traço C 75 (b), aos 28 dias de idade.



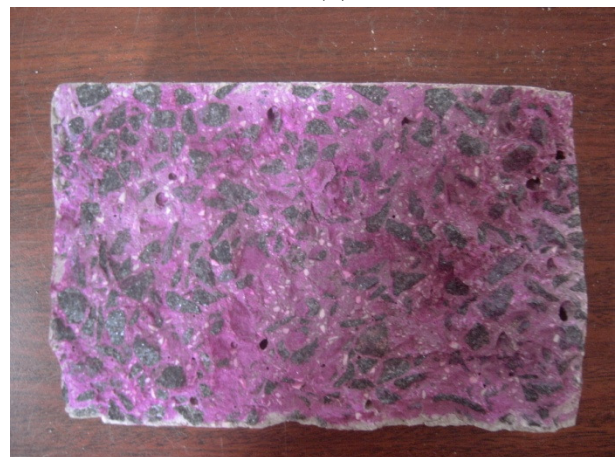
(a)



(b)



(c)



(b)

Figura 5.37 – Carbonatação traço Ref. C (a), C 25 (b), C 75 (c) e concreto C 100 (d), com 365 dias.

Ao atingir a idade de 365 dias a carbonatação se desenvolveu. Observa-se que quanto maior o teor de porcelana substituindo o agregado miúdo comum menor a penetração da carbonatação, porém a diferença não foi significativa entre os concretos, tanto na visualização como na escala de medidas.

Ao medir a carbonatação o concreto referência, figura 5.37 (a), apresentou penetração média de 2,3 mm, no traço C 25 esta penetração foi de 2,0 mm, figura 5.37 (b) com os concretos C 50 e C 75, figura 5.37 (c) uma penetração média de 1,5 mm, e o traço C 100 a menor penetração média de 1,0 mm, figura 5.37 (d).

Esta diminuição na carbonatação é atribuída ao aumento do teor de porcelana miúda, que por apresentar menor capacidade de absorção de água em relação ao agregado comum resulta em menor diminuição do pH do concreto.

5.2.2 Ensaio de Concreto com Porcelana Miúda e Graúda – Substituição dos Agregados Miúdo e Graúdo

Em relação a substituição, em teores combinados, dos agregados comuns miúdo, areia, e graúdo, brita, estes foram submetidos aos ensaios de propriedades mecânicas referente a: resistência à compressão simples – NBR 5739 (2007); resistência à tração por compressão diametral – NBR 7222 (2010); módulo estático de elasticidade à compressão – NBR 8522 (2008), e; absorção de água por capilaridade – NBR 9779 (1995).

Os resultados destes ensaios são apresentados na tabela 5.6 onde tem-se o valor médio de 4 corpos-de-prova ensaiados em cada traço e para cada idade, além do desvio padrão médio medido em cada traço no seu respectivo ensaio.

Tabela 5.6 – Resultados ensaios traços de concreto com porcelana miúda e graúda.

Ensaio	Idade	Traços				
		Ref. C	C 25,25	C 50,50	C 75,75	C 100,100
Resistência à Compressão Simples (MPa) - NBR 5739 (2007)	3 dias	46,7	41,5	37,5	39,5	43,2
	7 dias	47,0	44,1	49,3	50,3	53,5
	28 dias	59,9	58,4	66,3	70,5	70,9
	56 dias	60,5	61,3	71,2	72,8	72,6
	112 dias	62,9	65,7	75,1	75,7	82,1
	180 dias	68,8	76,9	85,3	90,0	88,5
	365 dias	70,2	84,4	91,9	93,6	94,6
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,8	1,7	2,3	2,3	1,8
Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa) - NBR 7222 (2010)	7 dias	3,53	3,96	4,35	4,53	4,53
	28 dias	3,93	4,43	5,24	5,31	5,56
	56 dias	4,15	5,09	5,71	5,68	6,49
	112 dias	4,21	5,49	5,90	6,09	7,29
Desvio Padrão Médio (MPa)		0,21	0,18	0,30	0,13	0,34
Módulo Elástico de Elasticidade à Compressão - (GPa) - NBR 8522 (2008)	7 dias	39,6	32,4	32,7	38,1	35,6
	28 dias	37,2	38,3	37,7	42,9	43,1
	56 dias	39,8	40,1	45,4	38,8	45,4
	112 dias	37,5	45,0	44,8	46,7	40,3
Desvio Padrão Médio (GPa)		3,9	2,3	1,9	3,9	4,0
Absorção de Água por Capilaridade (g/cm²) - NBR 9779 (1995)	7 dias	0,120	0,101	0,100	0,061	0,056
	28 dias	0,100	0,075	0,066	0,060	0,058
	56 dias	0,116	0,121	0,109	0,077	0,073
	112 dias	0,109	0,146	0,108	0,086	0,076
Desvio Padrão Médio (g/cm²)		0,014	0,007	0,013	0,006	0,005
Quantidade de Água Absorvida (g) - NBR 9779 (1995)	7 dias	9,4	7,9	7,9	4,8	4,4
	28 dias	7,9	5,9	5,2	4,8	4,6
	56 dias	9,1	9,5	8,6	6,1	5,7
	112 dias	8,6	11,4	8,4	6,8	6,0
Desvio Padrão Médio (g)		1,1	0,6	1,1	0,5	0,4
Altura Capilar (cm) - NBR 9779 (1995)	7 dias	1,8	1,2	0,8	0,8	0,7
	28 dias	1,6	0,7	0,7	0,7	0,7
	56 dias	2,1	1,0	1,5	1,0	0,8
	112 dias	1,8	1,7	1,3	0,9	0,8
Desvio Padrão Médio (cm)		0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Carbonatação (mm)	365 dias	2,3	2,0	2,0	0,7	0,0
Desvio Padrão Médio (mm)		0,9	0,0	0,0	1,0	0,0

5.2.2.1 Resistência à Compressão Simples

Os valores médios calculados da resistência à compressão simples dos traços de concreto com substituição combinada dos agregados miúdo e graúdo por isoladores elétricos de porcelana com granulometria similar aos agregados comuns são apresentados na figura 5.38.

Observa-se que na idade inicial de ensaio, 3 dias, as resistências obtidas pelos traços de concretos com porcelana foram inferiores quando comparados ao traço de referência (Ref. C), o traço com 25% de porcelana C 25,25 apresentou uma resistência 11% inferior, o concreto com teor de porcelana de 50%, C 50,50, obteve valor 20% abaixo ficando o traço com 75% de substituição dos agregados, C 75,75, 15% abaixo e o concreto com 100% de agregados de porcelana, C 100,100 obteve a menor inferioridade, em relação ao referência, de 7%.

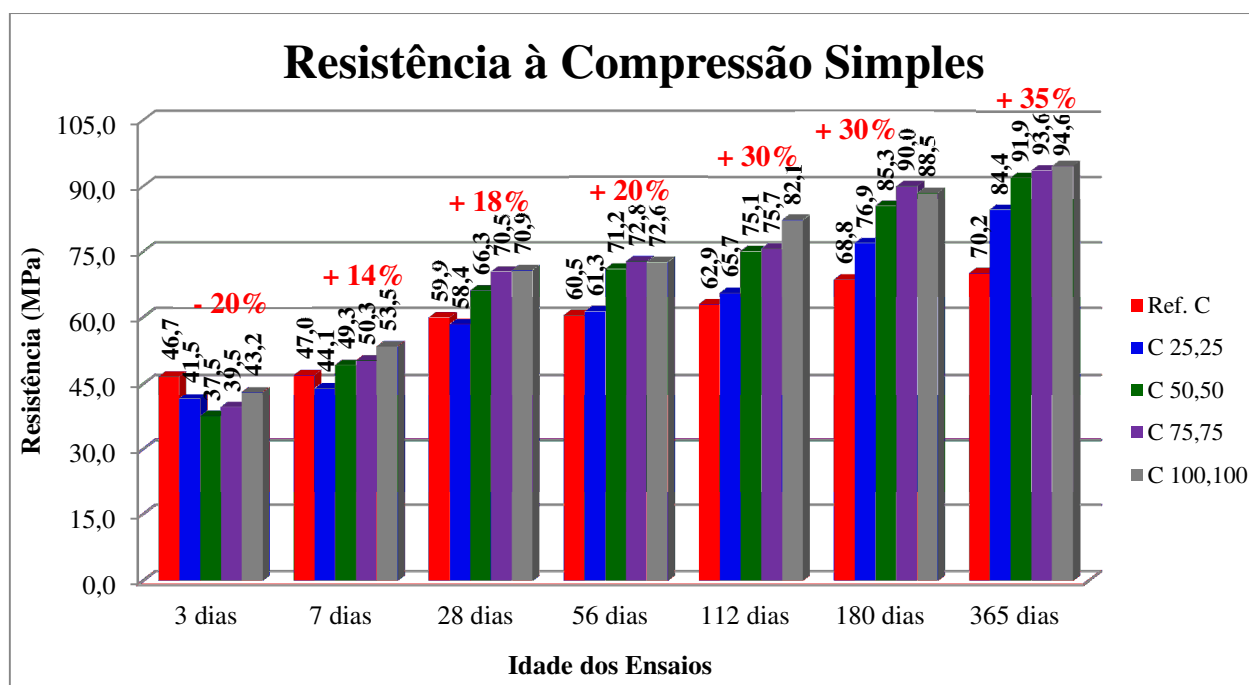


Figura 5.38 – Resistência à compressão simples – substituição agregados miúdo e graúdo.

A partir dos 7 dias de idade as reações pozolânicas da porcelana começaram a se processar resultando no aumento da resistência à compressão simples em relação ao traço Ref. C, ainda assim, o traço C 25,25 apresentou valor de resistência inferior ao referência de 6%, para os traços C50,50 e C 75,75 o aumento na resistência foi de 6% e para o concreto C 100,100 aumento de 14%. Para 28 dias de idade o traço C 25,25 resultou em resistência 3% inferior ao Ref. C, no concreto C 50,50 este aumento foi de 11% e para os demais traços C 75,75 e C 100,100 o aumento de resistência em relação ao Ref. C foi de 18%.

Com 56 dias de idade a resistência medida no traço C 25,25 foi similar ao traço de referência, para os demais concretos ensaiados nesta idade, traços C 50,50, C 75,75 e C 100,100,

a elevação na resistência foi 20% quando comparada a obtida pelo traço Ref. C. Para a idade de 112 dias os aumentos de resistência ficaram em 4% para o traço C 25,25, 20% para os concretos C 50,50 e C 75,75 e de 30% para o traço C 100,100.

Na idade de 180 dias a tendência de elevação da resistência a compressão simples para o aumento do teor de porcelana continuou obtendo o traço C 25,25 elevação de resistência de 12% quando em comparação ao traço Ref. C, 24% para o traço C 50,50 e aumento de 30% para os concretos C 75,75 e C 100,100.

Com 365 dias o aumento de resistência ficou em 20% para o traço C 25,25 nos concretos C 50,50 e C 75,75 a elevação na resistência foi de 32% ficando o traço C 100,100 o maior aumento de resistência de 35% quando comparado ao traço referência.

A melhoria da resistência à compressão simples para os traços de concreto contendo isoladores elétricos de porcelana substituindo os agregados comuns, miúdo e graúdo, pode ser atribuída a melhor distribuição granulométrica destes agregados alternativos que conferem ao concreto melhor adensamento, ausência de material orgânico, baixa capacidade de absorção de água com isso há mais água para o processamento dos produtos de hidratação do cimento e também a atividade pozolânica da porcelana.

Comparando estes resultados com os de Franck *et al.* (2004), que propõem um teor de substituição dos agregados por porcelana de 20 a 50%, nesta pesquisa quanto maior o teor de porcelana melhor o comportamento nos ensaios de resistência à compressão simples.

Esta melhoria de resistência não foi observada em Senthamarai; Devadas Manoharan (2005) e em Campos (2009) devido principalmente a dimensão característica máxima do agregado graúdo de porcelana, de 19 mm. Já Santolaia *et al.* (2007) e Lintz *et al.* (2008) propõem um teor de 10% da porcelana substituindo o agregado graúdo, teores superiores a 10% resultaram em diminuição da resistência também atribuída a dimensão característica máxima, entre 19 e 6,3 mm, do agregado de porcelana. Nesta pesquisa quanto maior o teor de porcelana maior o valor de resistência obtido.

5.2.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Na figura 5.39 são apresentados os valores médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral e observa-se já a partir dos 7 dias de idade melhora nesta resistência para os traços de concreto com porcelana substituindo os agregados miúdo e graúdo comuns, assim a resistência vai se elevando com o aumento da idade de ensaio e o teor de porcelana utilizado.

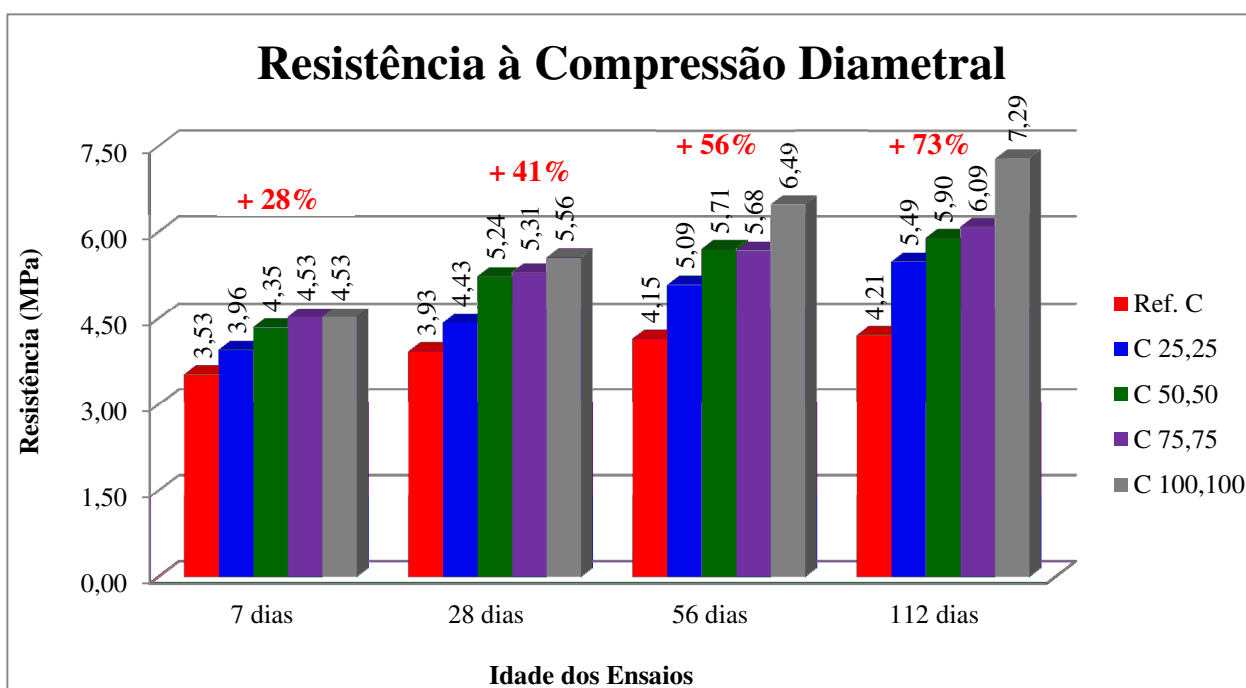


Figura 5.39 – Resistência à compressão diametral – substituição agregados miúdo e graúdo.

Com 7 dias de idade o aumento da resistência foi de 12% para o traço C 25,25 com 23% de elevação na resistência quando comparada ao Ref. C para o concreto C 50,50 e aumento de 28% para os traços C 75,75 e C 100,100. Para a idade de 28 dias a elevação na resistência foi de 13% para o traço C 25,25, 34% para os concretos C 50,50 e C 75,75 e de 41% para o traço C 100,100 sempre em comparação ao referência.

Aos 56 dias de ensaio o aumento da resistência ficou em 23% para o traço C 25,25, novamente os concretos C 50,50 e C 75,75 apresentaram elevações similares com aumento de

38% em relação ao traço Ref. C e no traço C 100,100 o aumento foi de 56%. Na idade de 112 dias os aumentos ficaram em 30% para o traço C 25,25, 40% para o C 50,50, 45% para o C 75,75 e de 73% para o concreto C 100,100 quando comparados ao traço de referência.

A elevação na resistência à compressão diametral para os traços com porcelana quando comparados ao traço referência é atribuída ao melhor comportamento da porcelana frente a este tipo de solicitação em comparação aos agregados comuns, areia e brita, independente do teor de substituição. A substituição combinada dos agregados de porcelana, miúdo e graúdo, conferiu maior resistência devido sua baixa e controlada granulometria além de sua potencial atividade pozolânica.

5.2.2.3 Módulo Estático de Elasticidade à Compressão

Para a substituição combinada dos agregados miúdo e graúdo comuns por isoladores elétricos de porcelana moídos em relação ao ensaio de módulo estático de elasticidade à compressão os valores obtidos, e apresentados na figura 5.40, foram variados em relação a idade de ensaio e ao teor de porcelana.

Aos 7 dias de idade quando comparados o traço referência, Ref. C, os concretos C 25,25 e C 50,50 apresentaram deformação 17% inferior ao referência, para o traço C 75,75 a diminuição foi de 4% sendo que para o concreto C 100,100 o decréscimo ficou em 10%.

Analisando a idade de 28 dias os resultados obtidos pelos traços C 25,25 e C 50,50 foram similares quando comparados ao Ref. C, já os concretos C 75,75 e C 100,100 apresentaram aumentos de 16% no valor do módulo.

Na idade de 56 dias, novamente o traço C 25,25 obteve módulo similar ao concreto referência, os aumentos foram de 14% para os concretos C 50,50 e C 100,100, entretanto, o traço C 75,75 apresentou um decréscimo de 3% em relação ao Ref. C. Com 112 dias de idade os maiores módulos foram obtidos pelos traços C 25,25 e C 50,50 que apresentaram uma elevação

superior ao concreto Ref. C de 20%. No traço C 75,75 a elevação no módulo foi de 25% e de 7% para o concreto C 100,100.

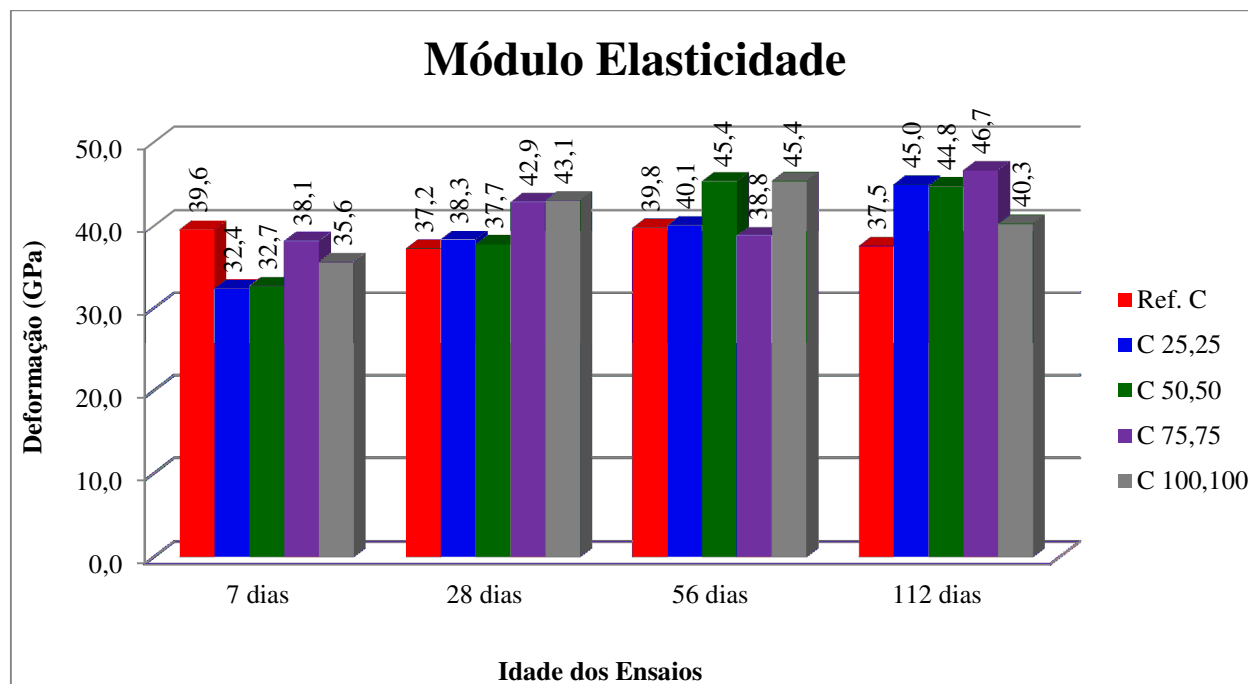


Figura 5.40 – Módulo de elasticidade – substituição agregados miúdo e graúdo.

Esta variação de resultados pode ser atribuída a metodologia de aquisição dos dados recomendada pela NBR 8522 (2008), pois a medição da deformação não é realizada no comprimento total dos corpos-de-prova, além do que uma maior quantidade de agregados de porcelana graúda pode ficar na borda dos corpos-de-prova influenciando a resultado e há também outros fatores influentes como: o teor de porosidade do concreto e a composição da zona de transição do agregado-pasta.

5.2.2.4 Ensaios de Absorção de Água por Capilaridade

O índice de capilaridade, figura 5.41, foi calculado em função da quantidade de água absorvida, figura 5.42, pelo corpo-de-prova durante o tempo de ensaio, de vinte e quatro horas. Para a idade de 7 dias os concretos C 25,25 e C 50,50 a diminuição no índice de capilaridade e

na quantidade de água absorvida de 16%, com diminuição de 49% para o traço C 75,75 e de 53% para C 100,100.

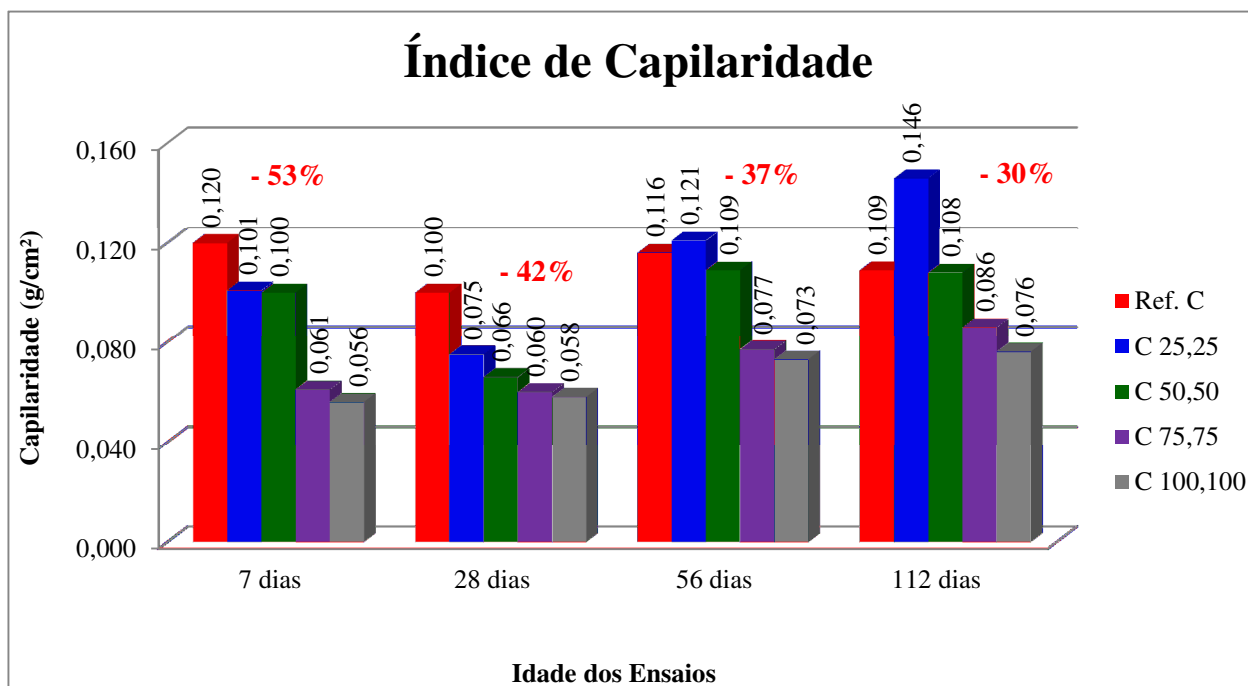


Figura 5.41 – Índice de capilaridade – substituição agregados miúdo e graúdo.

No traço C 25,25 e idade de 28 dias a inferioridade em relação ao referência foi de 25%, no concreto C 50,50 o índice de capilaridade foi 34% inferior, 39% no traço C 75,75 e de 42% para o traço C 100,100. Quando comparados ao concreto Ref. C, na idade de 56 dias, o traço C 25,25 apresentou uma quantidade de água absorvida 4% superior, nos demais continuou a tendência de aumento do teor de porcelana com a diminuição do índice de capilaridade, que se confirmou para os concretos C 50,50 com diminuição de 5%, 33% inferior para o C 75,75 e de 37% para o traço C 100,100.

Na idade de 112 dias o traço C 25,25 apresentou aumento na quantidade de água absorvida de 33% em relação a Ref. C, 2% inferior em relação ao referência para o concreto C 50,50, 21% inferior para o traço C 75,75 e de 30% para o C 100,100. Este aumento da capilaridade pode ser atribuída a perda da massa do concreto ao longo das idades de ensaio, conforme apresentado em Portella *et al.* (2006).

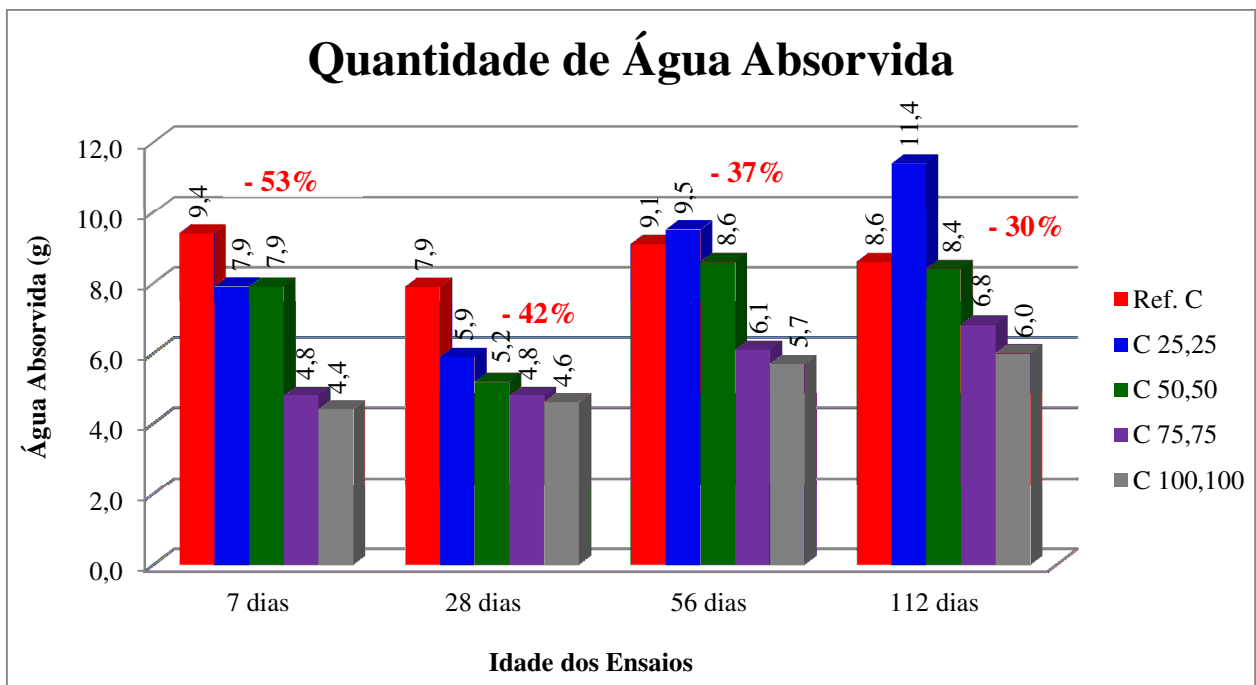


Figura 5.42– Quantidade de água absorvida – substituição agregados miúdo e graúdo.

Em relação a ascensão capilar, figura 5.43, observou-se que esta não seguiu a tendência em relação a quantidade de água absorvida, isto é, maiores teores de água absorvida não resultaram em maiores ascensões capilares, pois muitas vezes a água preencheu os poros ou os vazios capilares do concreto. Quando tiveram maiores ascensões a água seguiu pelas interconexões dos poros do concreto. Destaca-se nos ensaios de ascensão capilar a dificuldade de visualização e consequente medição deste índice.

Para a idade de 7 dias, a altura da ascensão capilar para o traço C 25,25 foi 33% inferior quando em relação ao traço referência, inferioridade de 56% para os concretos C 50,50 e C 75,75 e 61% inferior para o traço C 100,100. Na idade de 28 dias todos os traços com porcelana, independente de seu teor de substituição dos agregados comuns, a ascensão capilar medida foi 56% inferior em relação ao concreto Ref. C.

Analisando a idade de 56 dias, os traços C 25,25 e C 75,75 apresentaram uma altura 52% em comparação ao concreto referência, sendo que no concreto C 50,50 a ascensão foi 29% inferior e de 62% para o traço C 100,100. Com 112 dias de idade o concreto C 25,25 apresentou uma ascensão capilar 6% inferior ao traço Ref. C, 28% inferior para o concreto C 50,50, 50%

abaixo para o traço C 75,75 e 56% de decréscimo na altura da ascensão capilar para o traço C 100,100.

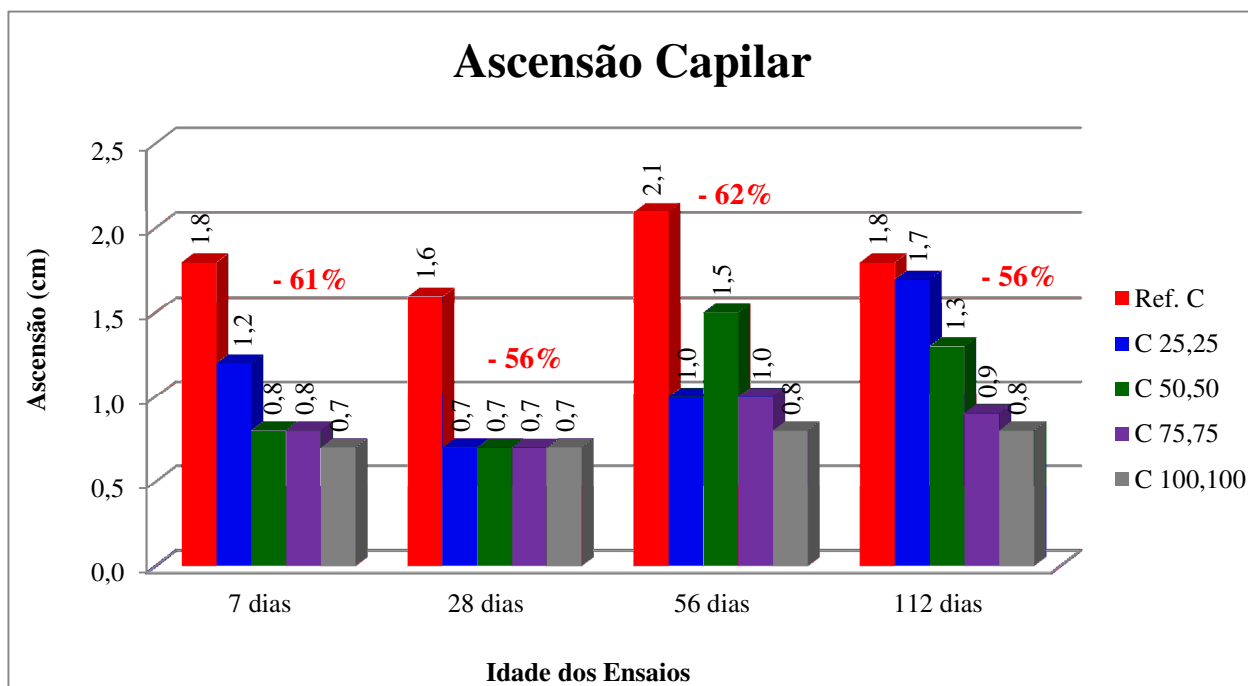


Figura 5.43 – Ascensão capilar – substituição agregados miúdo e graúdo.

Ao contrário de Senthamarai; Devadas Manoharan, Gobinath (2011) que atribuem o aumento da permeabilidade do concreto a textura da porcelana que influi na zona de transição agregado-pasta através da criação de poros interconectados, verificou-se nestes ensaios que a porcelana, por ter menor capacidade de absorção de água que os agregados comuns, foi uma espécie de barreira para a ascensão da água por capilaridade no concreto.

5.2.2.5 Ensaios Imagens MEV/EDS

Também foi observado nos concretos com ambos os agregado de porcelana o modelo da zona de transição entre o agregado e a matriz da pata de cimento exemplificada em Mehta; Monteiro, 2008 (p. 43, fig. 2-14(b)) e obtida nos traços C 75,75, figuras 5.44 (a) (b) e (c), e

C 100,100, figura 5.44 (d), ambas aos 7 dias de idade. Nota-se a presença de etringita (E), CSH e hidróxido de cálcio (CH).

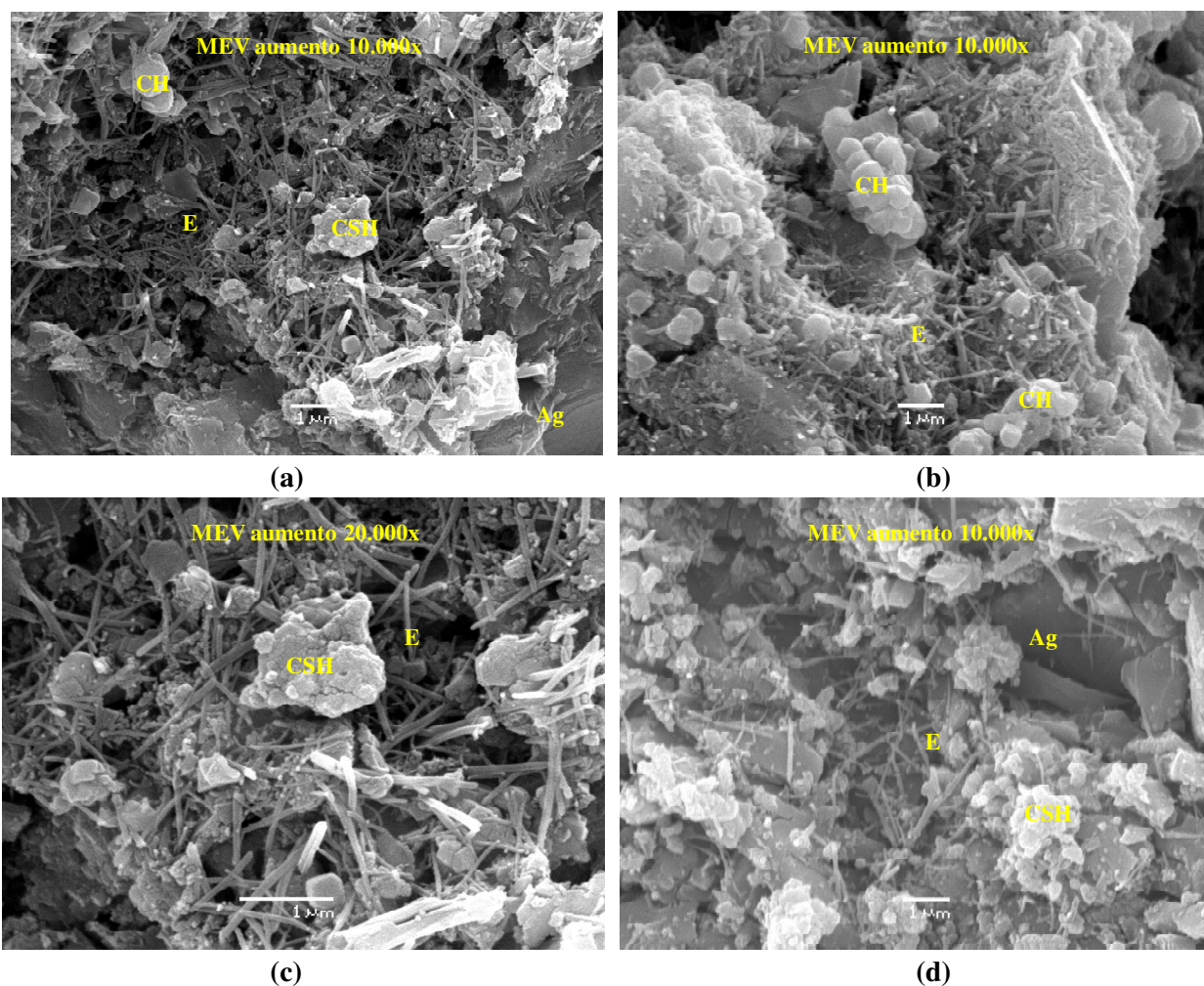


Figura 5.44 – Zona de transição concretos C 75,75 (a), (b), (c) e C 100,100 (d), aos 7 dias de idade.

Analisando a matriz da pasta de cimento observa-se a formação característica de CSH, conforme a figura 5.45 (a), concreto C 25,25 aos 28 dias de idade, e figura 5.45 (b), traço C 75,75 com idade de 112 dias. Esta matriz da pasta de cimento é caracterizada pela presença em maior quantidade de CSH, ao contrário da zona de transição onde tem-se também etringita e hidróxido de cálcio.

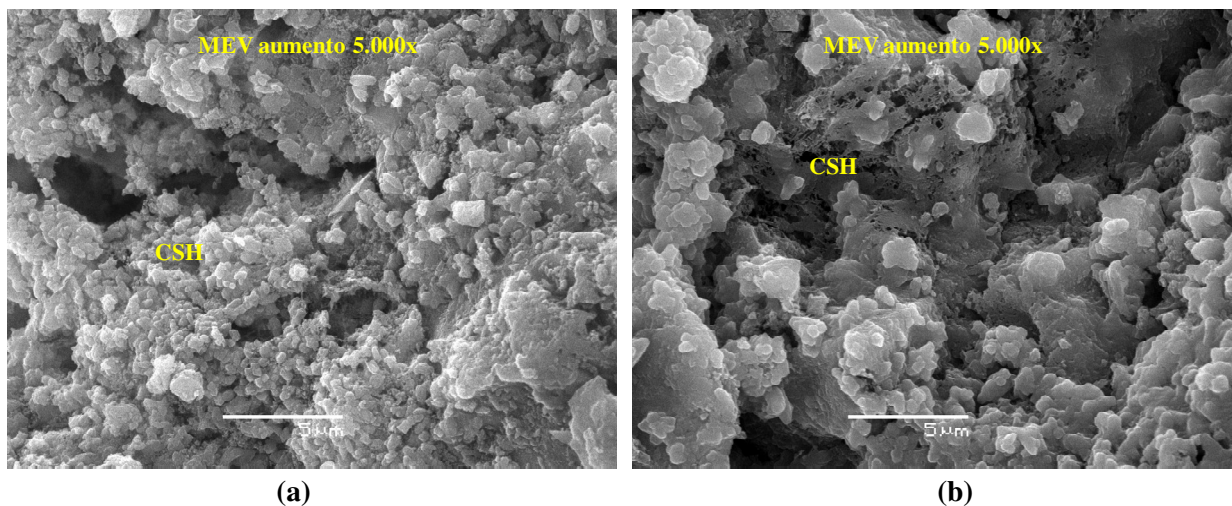


Figura 5.45 – Formação de CSH na matriz da pasta de cimento concreto C 25,25, aos 28 dias de idade, (a) e C 75,75 com 112 dias de idade (b).

No agregado gráúdo de porcelana por apresentar superfície rugosa o CSH se desenvolveu na zona de transição agregado-pasta e também sobre a porcelana, conforme a figura 5.46 (a) que o ilustra no traço C 25,25. Esta formação também se desenvolveu sobre os agregados com superfície esmaltada, figura 5.46 (b) e concreto C 25,25, ambas formações observadas aos 7 dias de idade.

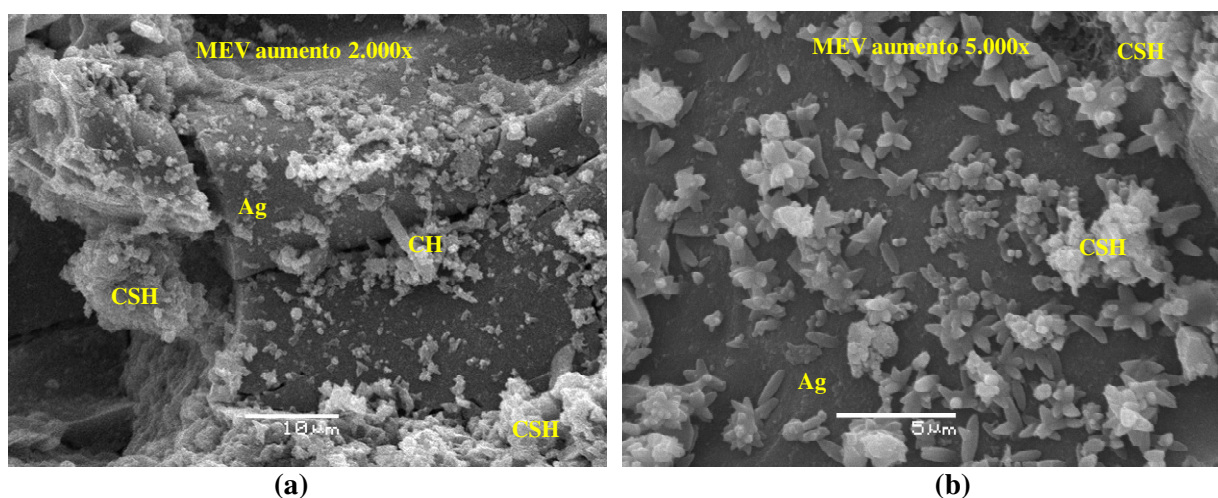


Figura 5.46 – Formação CSH sobre o agregado de porcelana concreto C 25,25 aos 7 dias de idade superfície rugosa (a) e esmaltada (b).

Os vazios capilares (VC) ficaram evidentes nos agregados (Ag) de porcelana na zona de transição com a pasta (Pa), figura 5.47 (a) para o traço C 25,25 aos 28 dias de idade. Com o aumento da idade do concreto este vazio capilar tende a ser preenchido com os produtos da hidratação do cimento, com sua visualização apenas em razão de haver diferença entre a textura do agregado e da pasta, conforme a figura 5.47 (b), traço C 75,75 após 112 dias de idade.

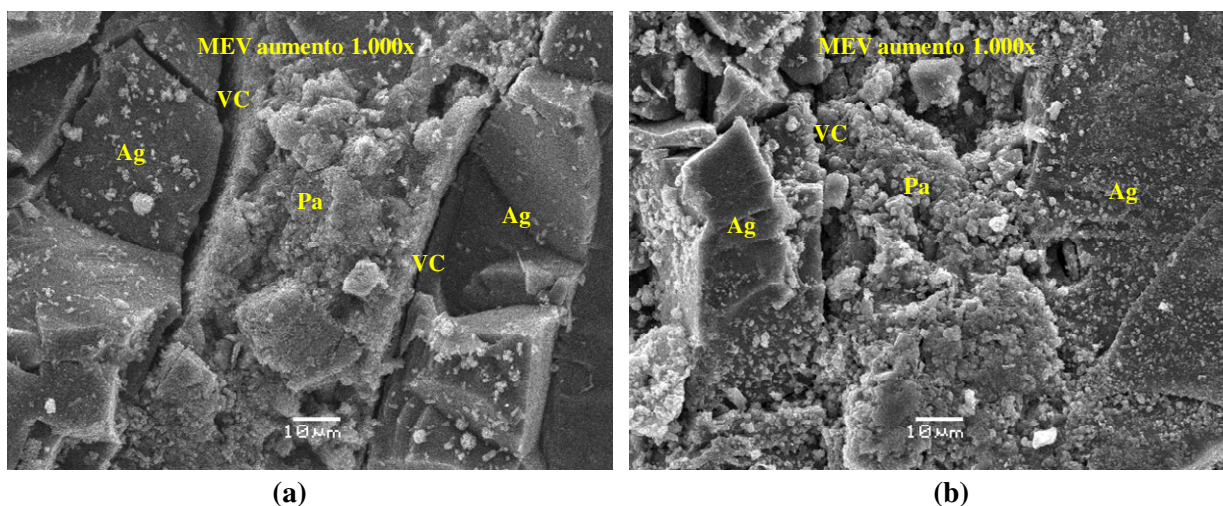


Figura 5.47 – Vazios capilares concreto C 25,25 aos 28 dias (a) e C 75,75 aos 112 dias de idade (b).

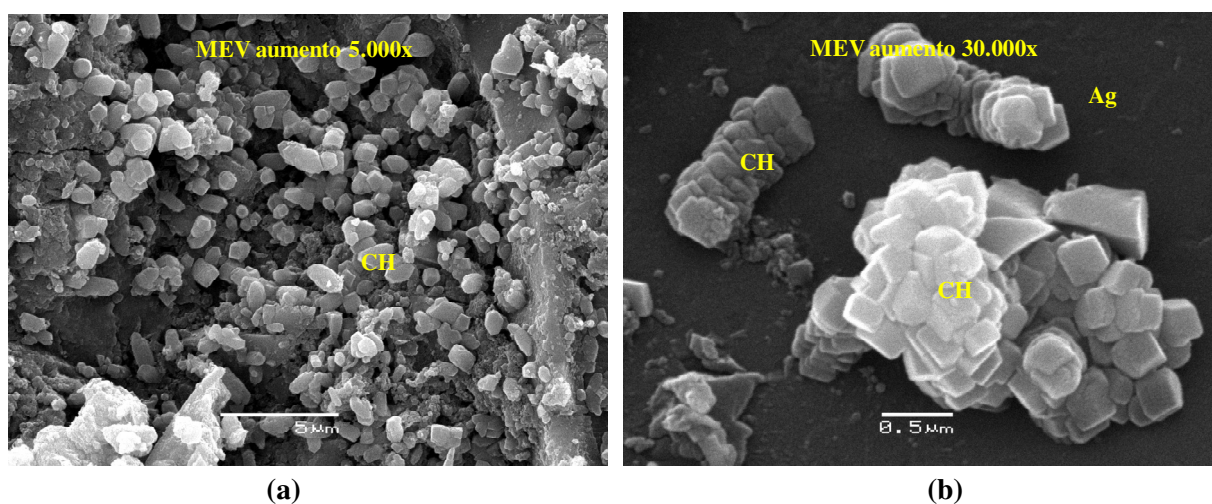


Figura 5.48 – Formação hidróxido de cálcio (CH) na zona de transição, concreto C 100,100 (a) e sobre o agregado de porcelana, traço C 75,75 (b), ambas observações aos 56 dias de idade.

O hidróxido de cálcio (CH) foi observado em maiores quantidades no concreto C 100,100, figura 5.48 (a) aos 56 dias de idade se formando na zona de zona de transição agregado-pasta. Com o decorrer do endurecimento do concreto estes hidróxidos passaram a se formar sobre o agregado de porcelana conforme o observado no traço C 75,75 também na idade de 56 dias, figura 5.48 (b).

A formação do monossulfato (MS) em folhetos, uma placa sobre a outra, foi observada no concreto C 75,75, com 7 dias de idade figura 5.49 (a), também observada no traço referência, aos 56 dias de idade, figura 5.49 (b), porém de formato mais similar a folhas.

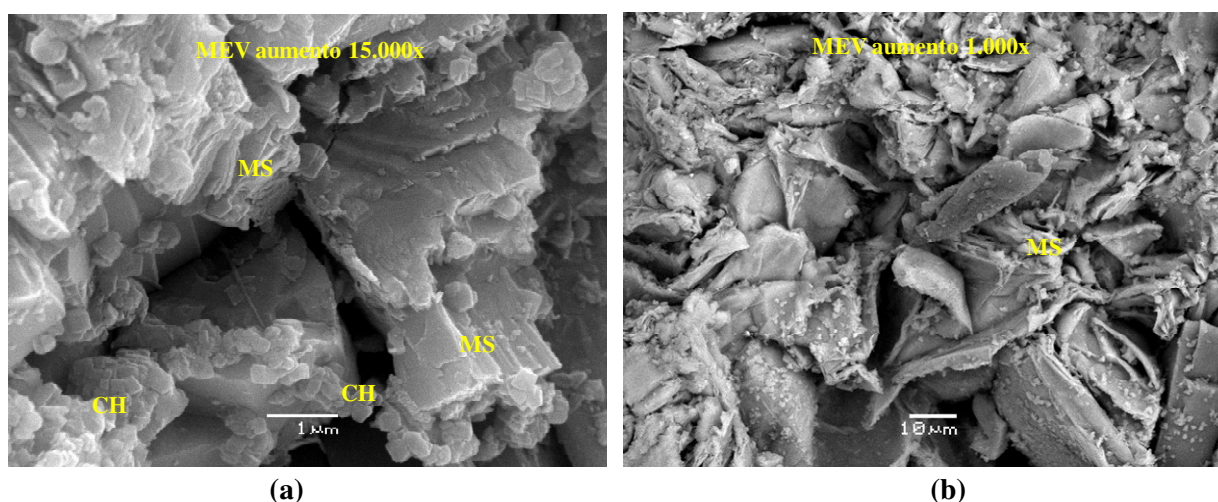


Figura 5.49 –Formação monossulfato (MS) concreto C 75,75, 7 dias de idade, (a) e Ref. C, com idade de 56 dias, (b).

Quanto aos ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), Apêndice C, verificou-se, que independente do teor isoladores elétricos de porcelana substituindo os agregados comuns, há similaridade em relação aos elementos presentes tanto na matriz da pasta como na zona de transição agregado-pasta independente do teor de porcelana e idade do concreto ensaiada.

5.2.2.6 Ensaios de Carbonatação

A verificação da carbonatação realizada aos 28 dias de idade não foi observada em nenhum dos traços de concreto contendo agregados de porcelana substituindo os agregados comuns, areia e brita, conforme observa-se na figura 5.50 (a) o concreto C 25,25, e na figura 5.50 (b) o traço C 100,100.

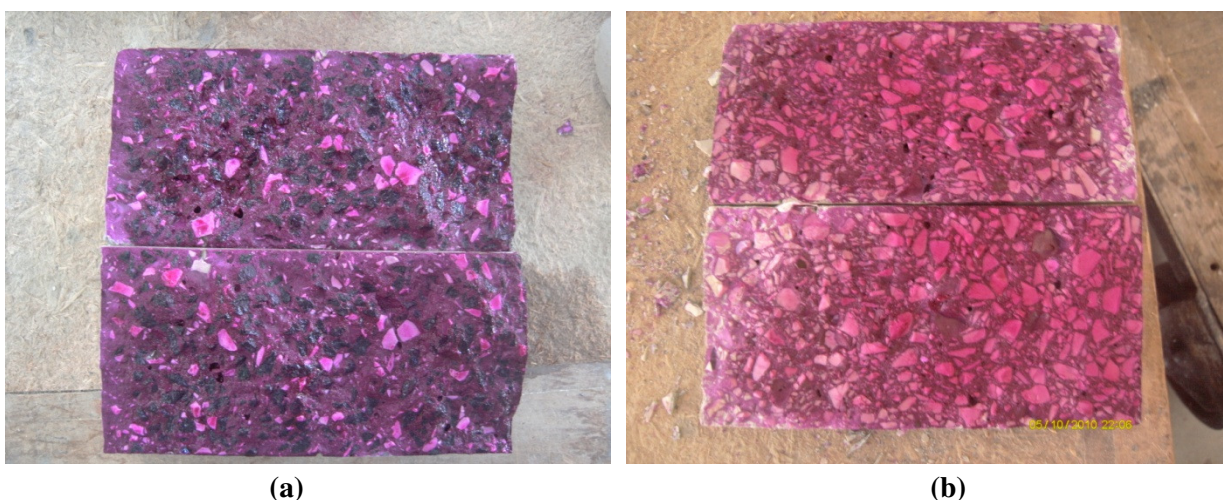


Figura 5.50 – Carbonatação, aos 28 dias, traço C 25,25 (a) e traço C 100,100 (b).

O teor de porcelana contribuiu para a diminuição da penetração da carbonatação para os traços de concreto, onde observa-se para na idade de 365 dias nos concretos C 25,25, figura 5.51 (a), e C 50,50, figura 5.51 (b), uma penetração na carbonatação média de 2,0 mm que diminuiu para o traço C 75,75, figura 5.51 (c) para 0,7 mm. No traço C 100,100, figura 5.51 (d) não foi observada a ocorrência da carbonatação para esta idade.

A diminuição na carbonatação é atribuída ao aumento do teor de porcelana, que apresenta menor capacidade de absorção de água que o agregado comum resultando na diminuição do pH do concreto e consequente resistência à carbonatação, conferindo maior durabilidade ao concreto.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.51 – Carbonatação, para idade de 365 dias, traço C 25,25 (a), traço C 50,50 (b), traço C 75,75 (c) e C 100,100 (d).

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

A viabilidade técnica da utilização de isoladores elétricos de porcelana moídos em substituição aos agregados, miúdo e graúdo, comuns utilizados em concretos e argamassas e também como adição ao cimento Portland foi comprovada nesta pesquisa, pois há similaridade na sua caracterização física e química. Também verificou-se a melhoria nos resultados nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos e argamassa com este tipo de porcelana.

Destacam-se as dimensões características máximas dos agregados de porcelana de 1,2 mm e 9,5 mm, respectivamente, para a porcelana miúda e graúda, além da elevada porcentagem de material fino em ambos agregados contribuindo estes para o aumento da atividade pozolânica da porcelana resultando em elevação das propriedades mecânicas mesmos em traços de concretos com elevados teores destes agregados alternativos.

A questão do esmalte superficial dos isoladores, apontada por inúmeros pesquisadores como um dos fatores principais para a diminuição dos resultados dos ensaios mecânicos, não foi observada nesta pesquisa tanto em relação os valores obtidos nos ensaios como também através da verificação da microscopia na zona de transição agregado-pasta.

Também não foram verificadas presença de reações deletérias aos concretos e argamassas, independentemente do teor de porcelana utilizado. Com isso a utilização dos isoladores elétricos de porcelana contribuirá para a diminuição de seu passivo anual, preservando o ambiente de sua disposição indiscriminada e da extração dos agregados comuns, além de conferir às indústrias cerâmicas destino nobre e correto a estes isoladores.

6.1 ARGAMASSA COM PORCELANA

Analisando a adição de isoladores elétricos de porcelana ao cimento Portland destaca-se de início a similaridade entre os compostos do cimento com a porcelana, já que a constituição destes aglomerantes é a base de argila calcinada, que confere pozolanicidade quando em contato com água. O índice de atividade pozolânica desta porcelana ficou em 0,85 quando comparado ao cimento utilizado nesta pesquisa.

A diminuição da consistência para o traço de argamassa com teores superiores a 50% era esperada devido ao aumento da quantidade de material fino, sendo facilmente contornado com a adição de aditivo, que poderá também contribuir para a elevação dos resultados de suas propriedades mecânicas.

A baixa capacidade de absorção de água da cerâmica aliada a relação água/cimento de 0,55 foram fatores que contribuíram para a perfeita hidratação dos produtos do cimento que em conjunto com a atividade pozolânica da porcelana resultou na elevação da resistência à compressão simples.

Não é possível determinar uma relação entre o teor de porcelana adicionada e a melhoria nos ensaios de propriedades mecânicas, pois em relação a resistência à compressão simples os traços com maiores quantidades de cerâmica apresentaram melhores resultados, o que não foi observado nos demais ensaios mecânicos. Ao contrário, estes teores apresentaram maiores índices de absorção de água por capilaridade. Como a argamassa é do tipo armada, o aumento da quantidade de água absorvida pode acarretar na oxidação da armadura. Para a idade ensaiada também não foi observado o desenvolvimentos da carbonatação.

Um teor ótimo de adição ao cimento é de 5% a 10% em decorrência da melhora nas propriedades mecânicas e de durabilidade na argamassa no estado endurecido além de consistência similar ao traço referência. O passivo anual de porcelana representa cerca de 0,04% do consumo brasileiro de cimento estimado para o ano de 2011 (RheoSet, 2011b).

Mesmo assim, sua adição representa vantagens econômicas para as indústrias cerâmicas e principalmente à natureza, pois hoje os isoladores não possuem uma destinação correta em atendimento as leis brasileiras. Porém, poderia ser produzido de 1.000.000 a 2.000.000 m³ de concreto com consumo de cimento da ordem de 250 kg/m³ de concreto.

Já em relação a influência da camada de esmalte que reveste os isoladores, citada por inúmeros autores como a responsável pela diminuição dos resultados das propriedades mecânicas. Esta tendência não foi observada nesta pesquisa quanto a resistência à compressão simples, houve sim um incremento de resistência de 8% do traço com esmalte em relação ao valor obtido pela argamassa com porcelana sem esmalte.

Entretanto, o esmalte influenciou nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, pois pela metodologia de ensaio a ruptura tende a ocorrer na superfície do agregado e este com esmalte, de textura mais lisa, apresentou resistência inferior de 6% quando comparada a argamassa com porcelana sem esmalte.

Outro fator é que nas idades iniciais de ensaio o vazio capilar da argamassa com esmalte é de maior dimensão quando comparado ao traço sem esmalte conforme observado nas análises das imagens por MEV. Com o decorrer do aumento da idade das argamassas estes vazios passam a ser preenchidos pelos compostos da zona de transição. A resistência à carbonatação da porcelana com esmalte também é mais um benefício à sua utilização.

Assim, pode-se concluir que independentemente da procedência dos isoladores de porcelana, com ou sem esmalte, já que no quarteamento da amostra constatou-se que 20% do agregado de porcelana gerado possuía uma das faces esmaltadas, estes podem ser utilizados em argamassas. As vantagens também se estendem ao concreto, pois uma moagem em menor granulometria atenua os efeitos da camada de esmalte em relação as solicitações à tração.

6.2 CONCRETO COM PORCELANA

O processo de moagem a que os isoladores elétricos de porcelana são submetidos para sua reutilização na construção civil permite de início obter um agregado alternativo com granulometria similar ao comum. Apenas ajustando o moinho, do tipo martelo, e posterior peneiramento se obtém um material com propriedades que facilitam a moldagem e o adensamento do concreto, podendo este ser, por exemplo, bombeável ou lançado.

Assim, tem-se um agregado alternativo de granulometria controlada que melhora o adensamento do concreto e o melhor preenchimento das fôrmas, além da ausência de materiais orgânicos potencialmente prejudiciais. Devido ao processo de fabricação dos isoladores de porcelana, estes quando moídos em grandes dimensões, superiores a 9,5 mm, obtém-se agregados de formato mais lamelar, sendo sua correção somente possível com a diminuição de sua dimensão máxima, pois quanto menor sua granulometria melhor sua aplicação.

O aumento de teor de material fino resulta em melhora da resistência às propriedades mecânicas do concreto, já que quanto mais fino o material maior sua atividade pozolânica. Comparando este agregado miúdo alternativo, denominado porcelana miúda, com a porcelana fina, adicionada ao cimento Portland, o índice de atividade pozolânica ficou em 0,75 e 0,85, respectivamente.

Este processo de moagem também confere uma textura mais fosca quando comparada a superfície da areia, principalmente, e da brita. Esta superfície fosca, para a porcelana miúda, e rugosa, para a porcelana graúda, facilita o preenchimento pelos produtos de hidratação do cimento na zona de transição agregado-pasta. Entretanto, quando há superfície esmaltada tem-se

a formação de maiores vazios capilares nesta zona de transição, vazios que serão preenchidos pelos produtos de hidratação durante o endurecimento do concreto.

Outro aliado da porcelana refere-se a sua baixa capacidade de absorção de água, água esta que se acumula nas irregularidades das suas superfícies fosca ou rugosa. Tem-se também a similaridade entre os valores de massas específica e unitária, para a porcelana miúda, e massas específicas seca e unitária, para a porcelana graúda, quando ambas comparadas aos agregados comuns utilizados nesta pesquisa.

O ensaio de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) comprovou também que a porcelana possui elementos químicos similares aos agregados comuns, apenas a presença do elemento *K* (potássio) deve ser mais bem atentada. Este por ser solúvel pode acarretar problemas de eflorescência ou reação álcali-agregado, em condições de exposição especiais, conforme a bibliografia.

Na realização do ensaio de abatimento do concreto, *slump test*, a incorporação do aditivo hiperplastificante permitiu controlar este abatimento similar ao usual de obras com concreto convencional e não bombeável, de $6,0 \pm 2,0$ cm, independentemente do grau de moagem dos isoladores.

Quanto a substituição do agregado miúdo comum pela porcelana miúda no ensaio de resistência à compressão simples destaca-se que o aumento de seu teor aliado ao aumento da idade de ensaio acarretou em elevação desta resistência. Aos 365 dias de idade o concreto com 100% de porcelana, C 100, atingiu resistência média de 107,6 MPa e 53% superior em comparação ao traço de referência.

Para a resistência à tração por compressão diametral este aumento de resistência para os concretos com porcelana em relação ao referência foi observado a partir de 7 dias de idade, onde tem-se o aumento de resistência relacionado ao teor de substituição. Estes aumentos foram até 59% superiores ao traço referência obtido pelo concreto C 100 na idade de 112 dias, atingindo a resistência média de 6,71 MPa.

Devido a metodologia de ensaio do módulo estático de elasticidade à compressão não foi possível estabelecer uma relação entre o teor de porcelana e o valor do módulo ao longo das idades de ensaio devido a variabilidade do ensaio. Porém, os concretos C 25 e C 100 apresentaram resultados similares ao traço de referência para todas as idades ensaiadas.

Em relação aos ensaios de absorção de água por capilaridade mesmo com a elevação da quantidade de água absorvida com o aumento das idades de ensaio a tendência foi de queda destes resultados nos concretos com maiores teores de porcelana. Nos traços com teores cerâmicos superiores a 50% a porcelana atua como uma barreira à ascensão capilar diminuindo assim, sua altura quando em comparação ao referência.

Com a obtenção de imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi possível observar que os vazios capilares vão sendo preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento com o endurecimento do concreto. Há também a visualização de formação similar ao apresentado na bibliografia em relação aos compostos na zona de transição do agregado com a matriz da pasta de cimento. Estes produtos de hidratação com o passar do tempo além de preencher estes vazios vão se formando até sobre o agregado graúdo, conferindo com isso aumento na resistência dos concretos.

Pelos ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) foi possível observar que os elementos presentes no concreto referência também foram presenciados nos traços com porcelana miúda substituindo o agregado miúdo comum, não havendo com isso influência quanto aos compostos dos concretos.

Em relação a resistência a carbonatação quanto maior o teor de porcelana menor a penetração da carbonatação em decorrência da impermeabilidade que esta porcelana confere ao concreto, atingindo o traço C 100 a penetração de 1,0 mm aos 365 dias de idade.

Esta baixa capacidade de absorção de água em conjunto com a resistência à carbonatação e com a elevação das propriedades mecânicas à compressão simples e à tração por compressão diametral, além da comprovação por imagens MEV e EDS da similaridade entre os compostos formados com a bibliografia e ao traço de referência, a pesquisa mostrou ser possível

tecnicamente a utilização dos isoladores elétricos de porcelana substituindo o agregado miúdo em concretos.

Para a substituição combinada dos agregados miúdo e graúdo comuns por porcelana miúda e graúda tem-se também a melhoria nas propriedades mecânicas e de durabilidade. Nos ensaios de resistência à compressão simples a partir de 28 dias de idade todos os traços com porcelana apresentaram resultados superiores ao traço referência alcançando o concreto C 100,100, na idade de 365 dias, resistência 35% superior, de 94,6 MPa, quando comparado ao referência.

Esta observação também é válida para os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, em que quanto maior o teor de porcelana, maior a resistência medida. Com 112 dias de idade o traço C 100,100 apresentou resultado médio 73% superior ao obtido pelo concreto referência, com 7,29 MPa.

Para os ensaios de módulo estático de elasticidade à compressão os resultados obtidos indicam não ser possível estabelecer uma relação entre o teor de porcelana com os valores obtidos, independentemente da idade de ensaio, devido a variabilidade dos resultados em consequência ao seu método de ensaio. A partir da idade de 28 dias observa-se que os resultados dos módulos de elasticidade para os concretos com porcelana foram superiores aos medidos no traço referência.

Mesmo com o aumento da quantidade de água absorvida e da altura da ascensão capilar nos ensaios de absorção de água por capilaridade destaca-se que o aumento do teor de porcelana resultou na diminuição destes índices, pois há uma grande quantidade de cerâmica de baixa capacidade de absorção de água contribuindo para este fenômeno medido.

Analisando as imagens de MEV constata-se a formação de compostos na zona de transição do agregado com a matriz da pasta de cimento conforme a bibliografia analisada. Compostos estes que foram preenchendo os vazios capilares e também se desenvolvendo até sobre a superfície do agregado graúdo, independente deste ser comum ou alternativo. Também no ensaio de EDS os elementos constituintes são iguais em todos os concretos com porcelana.

No ensaio de carbonatação o aumento no teor de porcelana, miúda e graúda, contribuiu para a diminuição de sua penetração, pois aos 365 dias de idade o valor médio de penetração no concreto de referência ficou em 2,3 mm, ao passo que no traço C 100,100 não foi constatada a carbonatação.

A questão da ruptura na face do agregado de porcelana graúda, defendida por vários autores para explicar a diminuição da resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral, não foi observada nesta pesquisa.

Assim o agregado graúdo de porcelana, utilizado nesta pesquisa, mesmo contendo superfície esmaltada, é de dimensão característica máxima de 9,5 mm, e com 11% de material fino, isto é, dimensão inferior a 2,4 mm, não influenciando sua dimensão e a camada de esmalte nos resultados dos ensaios realizados.

Quanto à caracterização física e química dos agregados de porcelana e sua comparação aos agregados comuns mostra-se que é possível a sua utilização em concretos mesmo com o passivo de porcelana representando cerca de 0,009% do consumo nacional de agregado miúdo ou 0,011% do consumo de agregado graúdo, dados referente ao ano de 2007 (BRASIL, 2009).

Soma-se à esta caracterização as melhorias nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos moldados com isoladores de porcelana em substituição aos agregados comuns, com dimensão característica máxima do agregado miúdo de porcelana de 1,2 mm, e do agregado graúdo de 9,5 mm, independentemente do seu teor de substituição.

É possível a produção anual de 500.000 m³ de concreto, com consumo de cimento de 250 kg/m³, com este passivo de porcelana substituindo 10% dos agregados. Portanto, a metodologia apresentada nesta pesquisa será um legado para próximas pesquisas visando a utilização de isoladores elétricos de porcelana em concretos e argamassas. A porcelana deve se somar a outros materiais alternativos com o intuito de reduzir a extração dos agregados comuns empregados na construção civil.

6.3 CONTINUIDADE DA PESQUISA

A comprovação da utilização de isoladores elétricos de porcelana refere-se à sua utilização em substituição aos agregados miúdo e graúdo comuns, areia e brita, em concretos, ou como alternativa a areia em argamassas além de sua utilização, quando finamente moído, em adição ao cimento Portland.

Os estudos futuros devem focar na real utilização desta porcelana na construção civil, pois os trabalhos até aqui existentes referem-se a estudos laboratoriais para comprovação em concretos e argamassas da utilização dos isoladores.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa e os existentes na bibliográfica, principalmente em relação ao melhor comportamento dos concretos e argamassas quanto a resistência à compressão simples, os estudos devem ser em relação a utilização destes concretos para fins estruturais.

Proposta para mudanças nas normas brasileiras que tratam da utilização de materiais alternativos em concretos, principalmente para usos estruturais é válida, pois os resultados obtidos comprovam sua utilização em concretos com e sem fins estruturais.

A produção de artefatos de concretos em especial blocos de vedação e estruturais, pisos intertravados, peças pré-moldadas; além de concreto compactado com rolo (CCR), pavimento de concreto, concreto armado e protendido podem ser estudados com a incorporação de agregados de isoladores de porcelana e também em relação a sua adição ao cimento Portland.

Outro tópico passível de estudo refere-se ao comportamento dos concretos e argamassas quanto aos ensaios de durabilidade, como: ataques por sulfatos; reatividade, com a camada de esmalte; potencialidade em desenvolver a reação álcali-agregado, devido a presença de quartzo em sua composição, e de eflorescência, referente ao elemento *K* (potássio); carbonatação em idades avançadas; resistência em situações de incêndio; deterioração por reações químicas; formação de produtos expansivos; comportamento em ambiente marinho; desgaste superficial; e, e ação ao congelamento.

A questão da viabilidade de uso em larga escala aliada aos fatores econômicos, tanto de demanda como de produção, são temas de estudos futuros para comprovar a reutilização dos isoladores elétricos de porcelana nos subprodutos da construção civil.

Até o momento não há uma metodologia específica de reutilização, com isso o emprego dos isoladores elétricos de porcelana seria difundido, acarretando a diminuição do passivo anual de descarte desta porcelana, tornando as cerâmicas produtoras mais sustentáveis, obtendo também um aporte financeiro em seus negócios, além, de diminuir a poluição pela produção de cimento e preservando a natureza da extração dos agregados da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, M. M. Al B.; HUSSIN, K.; RUZAIDI, C. M.; RAMLY, S. B. R.; NISA, N. K. Concrete ceramic waste slab (CCWS). In: **Journal of Engineering Research & Education**, vol. 3, p. 139-145, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **C114 - 11b: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement**. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. Métodos de fabricação de porcelana (2002). Disponível: <<http://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 15/02/2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. Dados de Mercado de Isoladores Elétricos de Porcelana (2003). Disponível: <<http://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 15/02/2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5752 - Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro. 1992. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro. 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7218 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro. 2010. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7222 – Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2010. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7223 – Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro. 1998. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7389-1 – Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto, Parte 1: Agregado miúdo**. Rio de Janeiro. 2009. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7389-2 – Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto, Parte 1: Agregado graúdo**. Rio de Janeiro. 2009. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8522 – Concreto- Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensa-deformação**. Rio de Janeiro. 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9202 – Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da finura por meio da peneira 0,077 mm (n° 325) - Método de ensaio**. 1985. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro. 1995. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro. 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro. 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2004. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 11-2: Cimento Portland - Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por complexometria. Parte 2: Método ABNT**. Rio de Janeiro. 2004. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 30 – Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro. 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro. 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro. 2001. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro. 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro. 2009. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 65 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro. 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro. 1998. 8 p.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257**, de 10 de Julho de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 15/02/2011.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.

BRASIL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Economia Mineral do Brasil.** Brasília: DNPM, 2009. 764 p.

CAIXA. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Coordenadores: Tarcisio de Paula Pinto, Juan Luís Rodrigo Gonzáles. Brasília: Caixa, 2005. 196 p. Volume 1 – Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios.

CAMPOS, M. A. **Estudo do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas-SP, 2009, 155 f.

COSTA, J. S. da; BENINI, V. A. V.; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Aderência da argamassa reciclada de rejeito da indústria cerâmica em blocos de concreto não estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. **Anais...** Recife: IBRACON, 2005.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Reciclagem de louça sanitária no desenvolvimento de concreto não estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004a.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. A reciclagem de louça sanitária no desenvolvimento de argamassas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004b.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Argamassa de alvenaria usando agregado reciclado da indústria de piso cerâmico. **Cerâmica Industrial**, 10(4), p. 28-31, 2005.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Avaliação mineralógica das argamassas com cimento Portland e rejeitos virgens das indústrias cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 2006a.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Análise da absorção de água por imersão em argamassa com reciclado da indústria cerâmica. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CBECIMat, 2006b.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Análise térmica da argamassa reciclada com agregado produzido pelo descarte da indústria cerâmica. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 51., 2007, Salvador. **Anais...** Salvador, 2007.

COSTA, J. S. da; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Controle tecnológico da absorção de água da argamassa reciclada de agregados cerâmicos aplicada em blocos de concreto sem função estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008.

FRANCK, R.; JOUKOSKI, A.; PORTELLA, K. F.; BERKSEN, R. Utilização de rejeitos de isoladores de porcelana em concretos, em substituição parcial ou total dos agregados naturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004.

FREIRE, E. S.; CAMBUI, R. S.; SOUZA JÚNIOR, T. F.; GONÇALVES, J. P.; SILVA, V. S. Avaliação das propriedades de concretos contendo resíduos cerâmicos gerados na região metropolitana de salvador. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: IBRACON, 2010.

GONÇALVES, J. P.; LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Penetração de água em argamassa de argila calcinada-cimento Portland. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003. p. 399-410.

GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A.; MORAN J. Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. In: **Waste Management**, 29., p. 643–646, 2009.

HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. 2 v. 1.600p. v. 1, p. 439-471.

HUANG, B.; DONG, Q.; BURDETTE, E. G. Laboratory evaluation of incorporating waste ceramic materials into Portland cement and asphaltic concrete. In: **Construction and Building Materials**, 23., p. 3451–3456, 2009.

ISOLADORES SANTANA. Porcelana - Isoladores: Processo de Fabricação. Disponível: <<http://www.isantana.com.br>>. Acesso em: 15/02/2011.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. da. Cinzas e aglomerantes alternativos. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Campinas-SP: Editora da UNICAMP, 2003. 336p.

JUAN, A.; MEDINA, C.; GUERRA, M. I.; MORÁN, J. M.; AGUADO, P. J.; ROJAS, M. I. S. de; FRÍAS, M.; RODRÍGUEZ, O. Re-use of ceramic wastes in construction. In: **Ceramic Materials**, p. 197-214, 2010.

LINTZ, R. C. C.; CAMPOS, M. A.; JACINTHO, A. E. P. de A.; PAULON, V. A.; BARBOSA, L. A. G. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adições de isoladores elétricos de porcelana em substituição ao agregado graúdo. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 34., 2008, Santiago. **Anais...** Santiago: ASAE, 2008.

MA, Y.; ZHU, B.; TAN, M. Properties of ceramic fiber reinforced cement composites. In: **Cement and Concrete Research**, 35., p. 296-300, 2005.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1994. 456 p. v. 2.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 3. Ed. São Paulo: IBRACON, 2008, 674 p.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. In: **Construction and Building Materials**, 24., p. 832–838, 2010.

PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; FRANCK, R.; DERKSEN, R. Reciclagem secundária de rejeitos de porcelana elétrica em estruturas de concreto: determinação do desempenho sob envelhecimento acelerado. In: **CERÂMICA**, 52., 155-167 p, 2006.

RheoSet. Aditivos para concreto - Superplastificantes. Disponível em: <<http://www.rheoset.com.br/hotsite/fichas-tecnicas/tecflow.pdf>>. Acesso em: 14/06/2011(2011a).

RheoSet. O mundo do cimento. Disponível em: <<http://www.rheoset.com.br/O-Mundo-do-Cimento-41-ver.html>>. Acesso em: 28/09/2011 (2011b).

SANTANA, C. de S.; LIMA, W. J. F.; COSTA, J. S. da. Caracterização do agregado do rejeito da indústria de cerâmica vermelha da região cuiabana. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 51., 2007, Salvador. **Anais...** Salvador, 2007.

SANTOLAIA, A. P. P.; CARDIN JUNIOR, W. H.; LINTZ, R. C. C.; BOZZA, J. L. Utilização da adição de resíduo de porcelana no concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007.

SCHMIT, V. **Materiais elétricos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1979. 166 p. v. 2.

SCRIVENER, K. L. The Microstructure of Concrete. In: SKALNY, J. P. **Materials science of concrete**. Westerville: The American Ceramic Society, 1989. 334 p. p. 127-162.

SENTHAMARAI, R. M.; DEVADAS MANOHARAN, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement & Concrete Composites**, 27., p. 910-913, 2005.

SENTHAMARAI, R. M.; DEVADAS MANOHARAN, P.; GOBINATH, D. Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties. In: **Construction and Building Materials**, 25., p. 2413-2419, 2011.

SILVA, J.; BRITO, J. de; VEIGA, R. Incorporation of fine ceramics in mortars. In: **Construction and Building Materials**, 23., p. 556-564, 2009.

SOUZA, S. F. de. **A indústria cerâmica de Pedreira e seus impactos ambientais: subsídios para uma gestão ambiental pública**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, 2003. 117p.

SUZUKI, M.; MEDDAH, M. S.; SATO, R. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. In: **Cement and Concrete Research**, 39., p. 373–381, 2009.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**; tradução Cid Silveira e Shiroyuki Oniki. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1973. 318p.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas-SP, 1997, 140 f.

APÊNDICE A – Ensaios EDS – Influência Camada de Esmalte

EDS – Influência Camada de Esmalte – Traço Porcelana Sem Esmalte – 28 dias

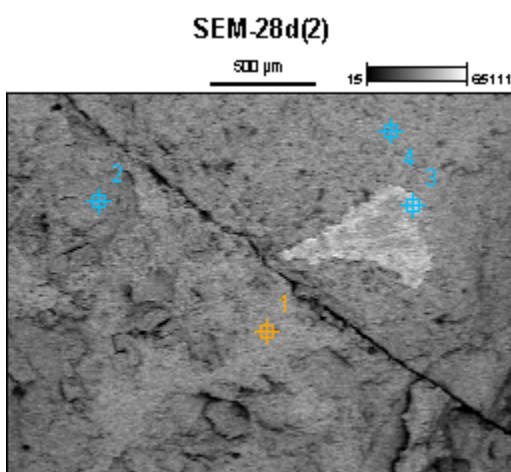
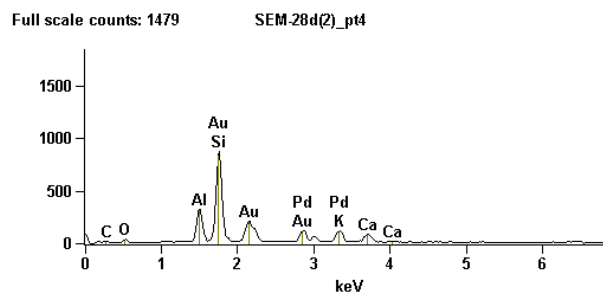
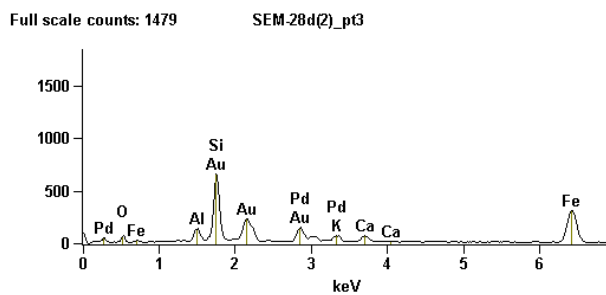
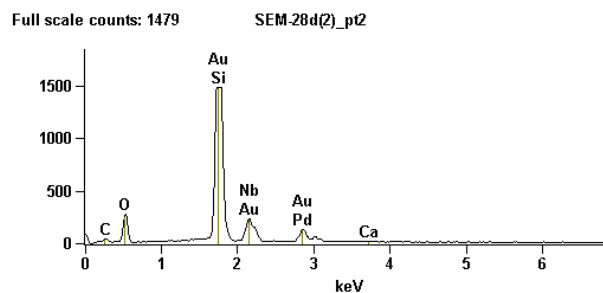
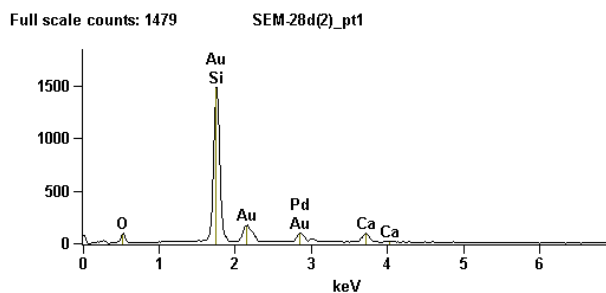


Image Name: SEM-28d(2)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 50



Net Counts									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM-28d(2)_pt1</i>	-	587	-	13844	-	1131	-	1603	656
<i>SEM-28d(2)_pt2</i>	309	1923	-	24273	-	163	-	2339	651
<i>SEM-28d(2)_pt3</i>	-	351	821	5512	560	705	5021	2513	667
<i>SEM-28d(2)_pt4</i>	171	277	2383	7457	1252	969	-	1848	704

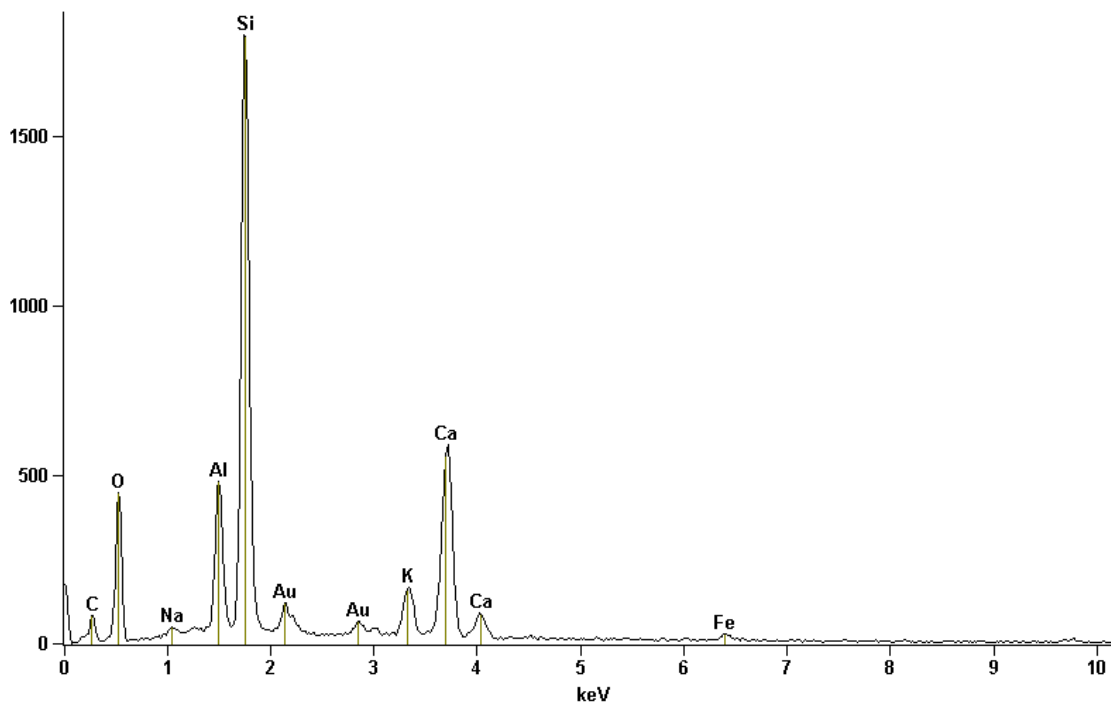
Weight % e Compound %									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM-28d(2)_pt1</i>	-	22.61	-	35.07	-	5.26	-	10.71	26.35
<i>SEM-28d(2)_pt2</i>	21.10	31.96	-	27.46	-	0.32	-	6.41	12.75
<i>SEM-28d(2)_pt3</i>	-	10.27	2.72	14.82	2.00	2.71	31.47	13.39	22.62
<i>SEM-28d(2)_pt4</i>	19.95	11.68	6.24	17.85	4.69	3.96	-	10.35	25.28

Atom %									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM-28d(2)_pt1</i>	-	46.68	-	41.24	-	4.34	-	3.32	4.42
<i>SEM-28d(2)_pt2</i>	36.11	41.06	-	20.09	-	0.16	-	1.24	1.33
<i>SEM-28d(2)_pt3</i>	-	29.27	4.60	24.05	2.33	3.08	25.69	5.74	5.24
<i>SEM-28d(2)_pt4</i>	44.86	19.72	6.25	17.16	3.24	2.67	-	2.63	3.47

EDS – Influência Camada de Esmalte – Traço Porcelana Sem Esmalte – 56 dias

Full scale counts: 1801

SEM56d



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results SEM56d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	307	15.94	25.92	15.94
<i>O</i>	2699	41.57	50.75	41.57
<i>Na</i>	198	0.65	0.55	0.65
<i>Al</i>	3345	4.03	2.92	4.03
<i>Si</i>	15926	17.00	11.82	17.00
<i>K</i>	1968	2.84	1.42	2.84
<i>Ca</i>	7441	11.89	5.79	11.89
<i>Fe</i>	307	0.95	0.33	0.95
<i>Au</i>	296	5.13	0.51	5.13
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

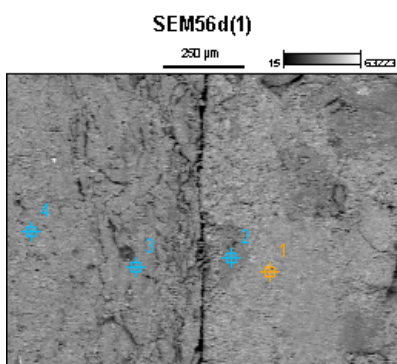


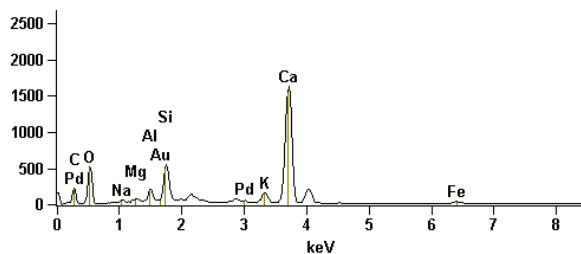
Image Name: SEM56d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

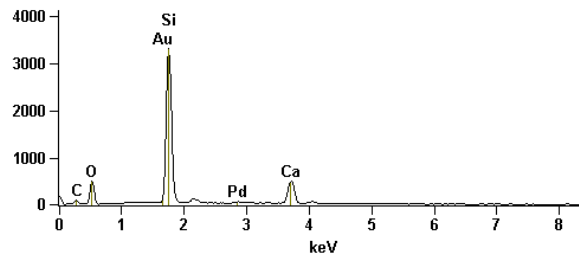
Full scale counts: 1629

SEM56d(1)_pt1



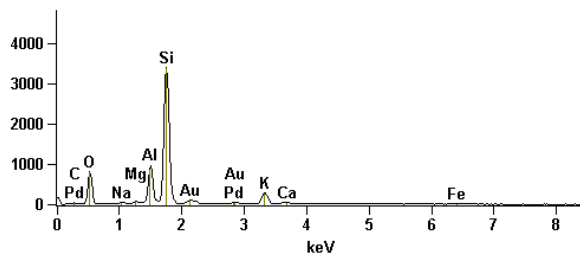
Full scale counts: 3306

SEM56d(1)_pt2



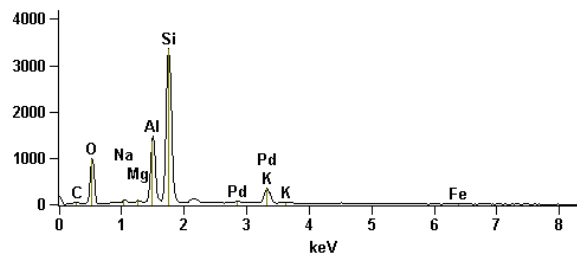
Full scale counts: 3404

SEM56d(1)_pt3



Full scale counts: 3359

SEM56d(1)_pt4



Weight % e Compound %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM56d(1)_pt1</i>	25.77	42.10	0.54	0.40	0.96	2.94	1.54	20.68	1.19	1.33	2.56
<i>SEM56d(1)_pt2</i>	25.56	38.63	-	-	-	22.84	-	7.69	-	1.51	3.77
<i>SEM56d(1)_pt3</i>	14.72	46.54	0.74	0.21	5.96	23.81	3.19	0.63	0.52	1.31	2.37
<i>SEM56d(1)_pt4</i>	13.58	47.99	0.79	0.14	9.16	22.46	3.85	-	0.55	1.49	-
Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM56d(1)_pt1</i>	38.60	47.33	0.42	0.30	0.64	1.88	0.71	9.28	0.38	0.22	0.23
<i>SEM56d(1)_pt2</i>	38.13	43.26	-	-	-	14.57	-	3.44	-	0.25	0.34
<i>SEM56d(1)_pt3</i>	22.81	54.12	0.60	0.16	4.11	15.77	1.52	0.29	0.17	0.23	0.22
<i>SEM56d(1)_pt4</i>	20.81	55.22	0.63	0.11	6.25	14.73	1.81	-	0.18	0.26	-
Net Counts											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>SEM56d(1)_pt1</i>	1497	3344	225	386	1121	4150	1750	20445	572	1031	220
<i>SEM56d(1)_pt2</i>	600	3107	-	-	-	29326	-	6083	-	876	272
<i>SEM56d(1)_pt3</i>	301	5334	323	202	6831	29571	2853	514	222	787	181
<i>SEM56d(1)_pt4</i>	297	6335	382	152	11651	29577	3824	-	258	1000	-

EDS – Influência Camada de Esmalte – Traço Porcelana Esmalte Branco – 28 dias

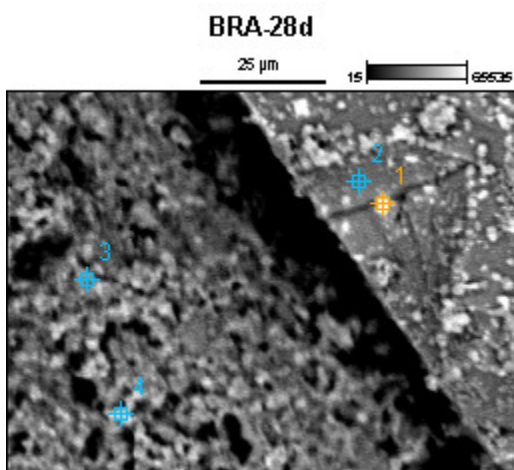
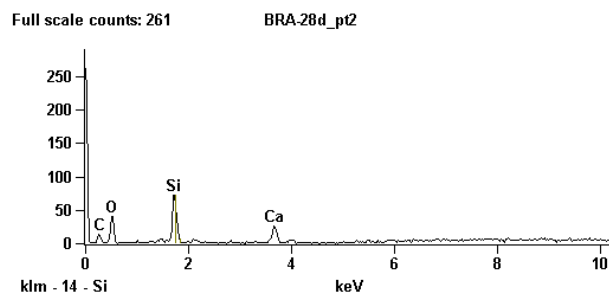
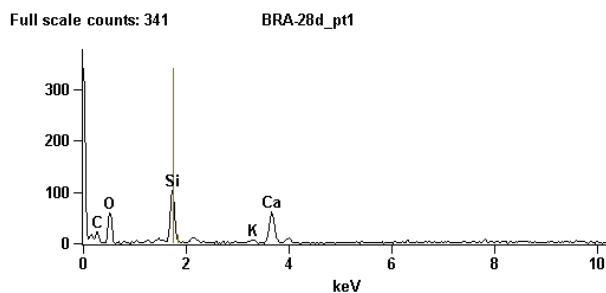


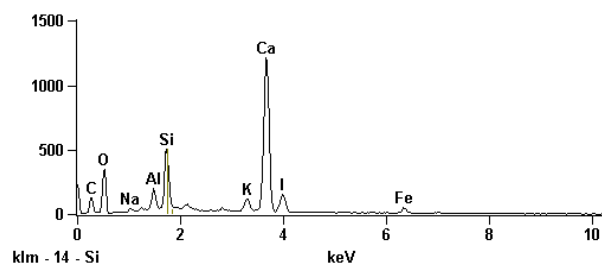
Image Name: BRA-28d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

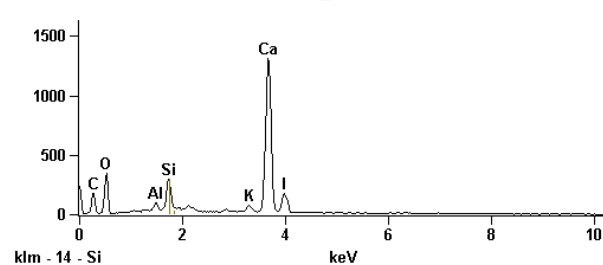
Magnification: 1200



Full scale counts: 1213 BRA-28d_pt3



Full scale counts: 1309 BRA-28d_pt4



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA-28d(2)_pt1</i>	383	1246	96	540	3410	549	9900	-	22
<i>BRA-28d(2)_pt2</i>	829	2198	148	692	3571	1100	13151	-	88
<i>BRA-28d(2)_pt3</i>	111	222	85	755	8524	630	2500	132	-
<i>BRA-28d(2)_pt4</i>	420	3083	474	3368	19442	1526	3422	309	23

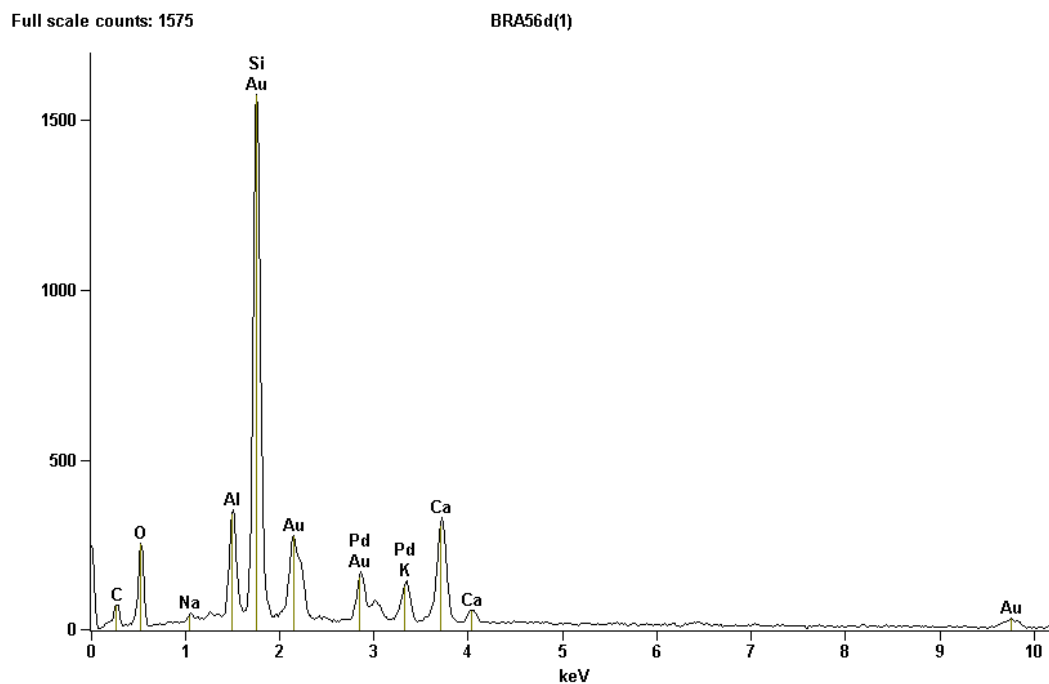
Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA-28d(2)_pt1</i>	20.10	42.99	0.26	1.21	6.43	1.28	27.03	-	0.70
<i>BRA-28d(2)_pt2</i>	24.06	44.72	0.25	0.97	4.19	1.61	22.45	-	1.76
<i>BRA-28d(2)_pt3</i>	27.54	17.84	0.39	3.03	31.26	3.47	15.39	1.08	-
<i>BRA-28d(2)_pt4</i>	22.95	43.07	0.64	3.93	20.50	2.25	5.57	0.67	0.42

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA-28d(2)_pt1</i>	31.24	50.18	0.20	0.84	4.27	0.61	12.59	-	0.07
<i>BRA-28d(2)_pt2</i>	35.75	49.88	0.18	0.64	2.66	0.74	10.00	-	0.16
<i>BRA-28d(2)_pt3</i>	44.68	21.73	0.31	2.18	21.69	1.73	7.48	0.20	-
<i>BRA-28d(2)_pt4</i>	33.47	47.14	0.46	2.55	12.78	1.01	2.44	0.11	0.04

EDS – Influência Camada de Esmalte – Traço Porcelana Esmalte Branco – 56 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results BRA56d(1)				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	528	24.49	41.97	24.49
<i>O</i>	1653	29.48	37.93	29.48
<i>Na</i>	147	0.48	0.43	0.48
<i>Al</i>	2299	2.75	2.10	2.75
<i>Si</i>	13877	14.32	10.50	14.32
<i>K</i>	1503	2.26	1.19	2.26
<i>Ca</i>	3897	6.42	3.30	6.42
<i>Pd</i>	2611	5.84	1.13	5.84
<i>Au</i>	864	13.96	1.46	13.96
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

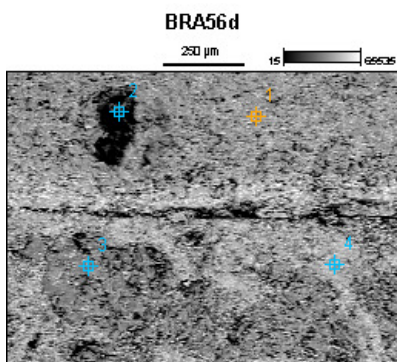


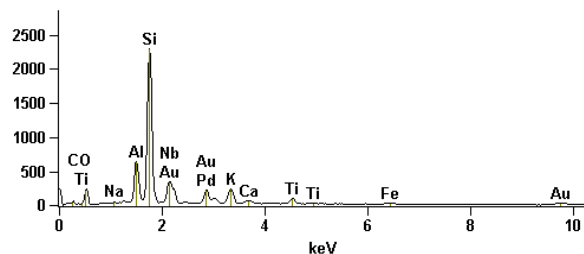
Image Name: BRA56d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

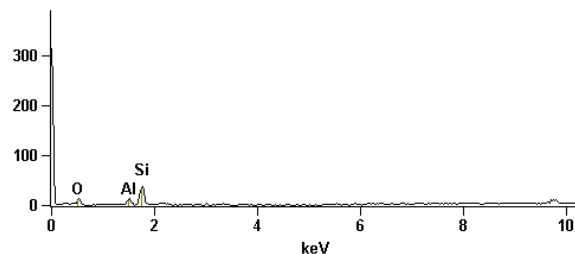
Full scale counts: 2296

BRA56d_pt1



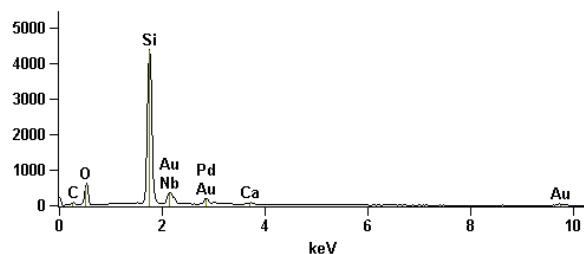
Full scale counts: 314

BRA56d_pt2



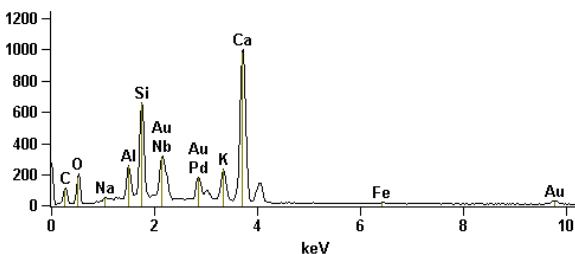
Full scale counts: 4377

BRA56d_pt3



Full scale counts: 997

BRA56d_pt4



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Nb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA56d_pt1</i>	388	1833	143	4743	19964	2725	615	1077	456	0	3503	987
<i>BRA56d_pt2</i>	-	93	-	103	346	-	-	-	-	-	-	-
<i>BRA56d_pt3</i>	497	3909	-	-	38597	-	823	-	-	0	3260	870
<i>BRA56d_pt4</i>	799	1219	164	1524	5216	2297	12646	-	170	0	2524	606

Weight % e Compound %

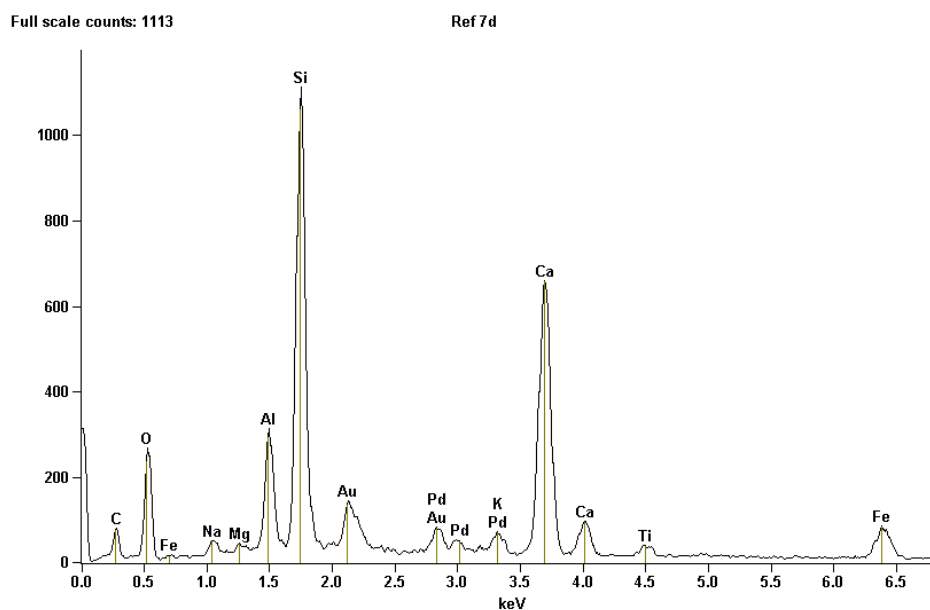
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Nb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA56d_pt1</i>	19.32	27.38	0.41	5.01	18.81	3.74	0.92	2.03	1.18	0.00	7.16	14.05
<i>BRA56d_pt2</i>	-	58.66	-	9.68	31.66	-	-	-	-	-	-	-
<i>BRA56d_pt3</i>	20.48	38.03	-	-	25.73	-	0.92	-	-	0.00	5.06	9.78
<i>BRA56d_pt4</i>	25.66	27.33	0.58	1.92	5.51	3.23	20.11	-	0.51	0.00	5.20	9.95

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Nb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>BRA56d_pt1</i>	35.63	37.92	0.39	4.11	14.84	2.12	0.51	0.94	0.47	0.00	1.49	1.58
<i>BRA56d_pt2</i>	-	71.16	-	6.96	21.88	-	-	-	-	-	-	-
<i>BRA56d_pt3</i>	33.32	46.43	-	-	17.90	-	0.45	-	-	0.00	0.93	0.97
<i>BRA56d_pt4</i>	44.24	35.36	0.52	1.47	4.06	1.71	10.39	-	0.19	0.00	1.01	1.05

APÊNDICE B – Ensaios EDS – Concreto com Agregado de Porcelana Miúdo

EDS Traço Concreto Referência – Ref. C - 7 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results			Ref 7d	
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	607	24.95	39.95	24.95
<i>O</i>	1967	34.79	41.81	34.79
<i>Na</i>	301	1.05	0.88	1.05
<i>Mg</i>	83	0.13	0.10	0.13
<i>Al</i>	2009	2.50	1.78	2.50
<i>Si</i>	9331	9.78	6.70	9.78
<i>K</i>	579	0.79	0.39	0.79
<i>Ca</i>	8069	12.10	5.81	12.10
<i>Ti</i>	360	0.74	0.30	0.74
<i>Fe</i>	1205	3.47	1.19	3.47
<i>Pd</i>	860	1.76	0.32	1.76
<i>Au</i>	495	7.95	0.78	7.95
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

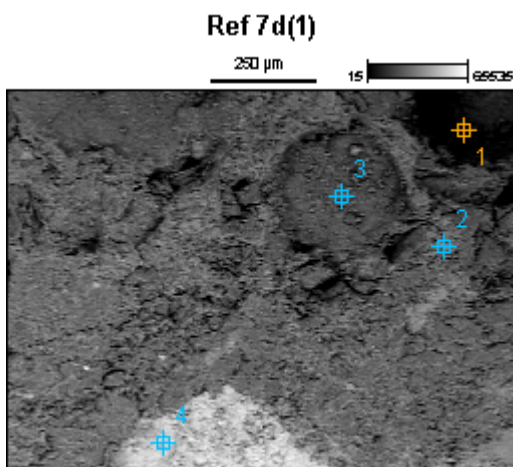
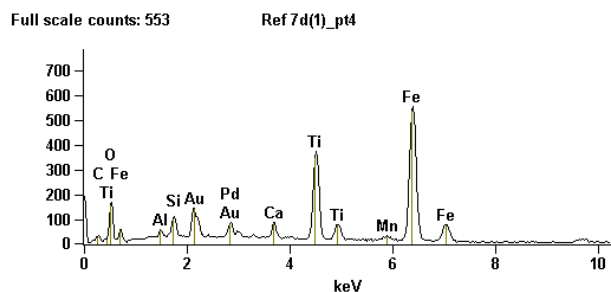
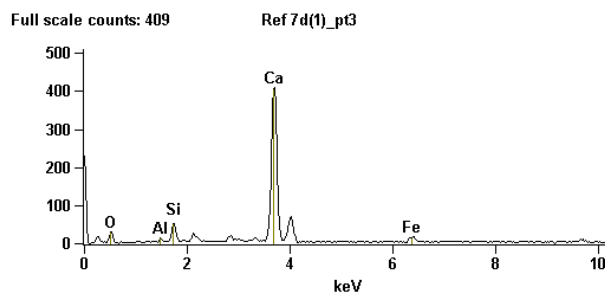
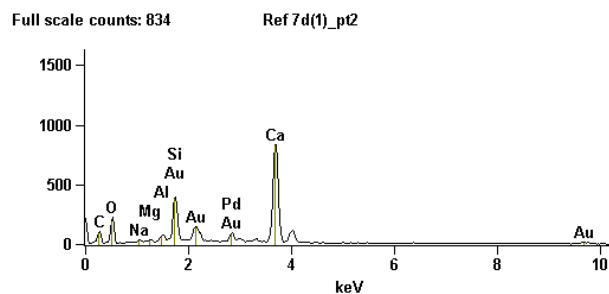
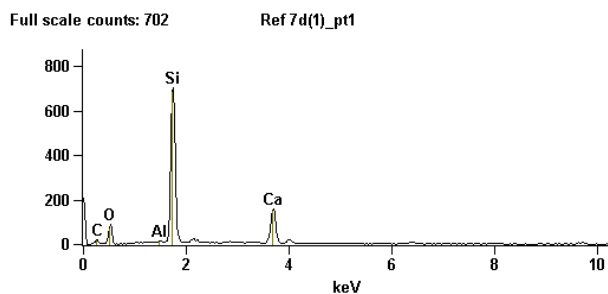


Image Name: Ref 7d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 7d(1)_pt1</i>	152	584	-	-	57	6167	1850	-	-	-	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt2</i>	742	1462	120	174	454	3232	10449	-	-	-	1457	422
<i>Ref 7d(1)_pt3</i>	-	180	-	-	63	385	5305	-	-	261	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt4</i>	282	1354	-	-	232	710	582	5096	242	8773	1232	311

Weight % e Compound %

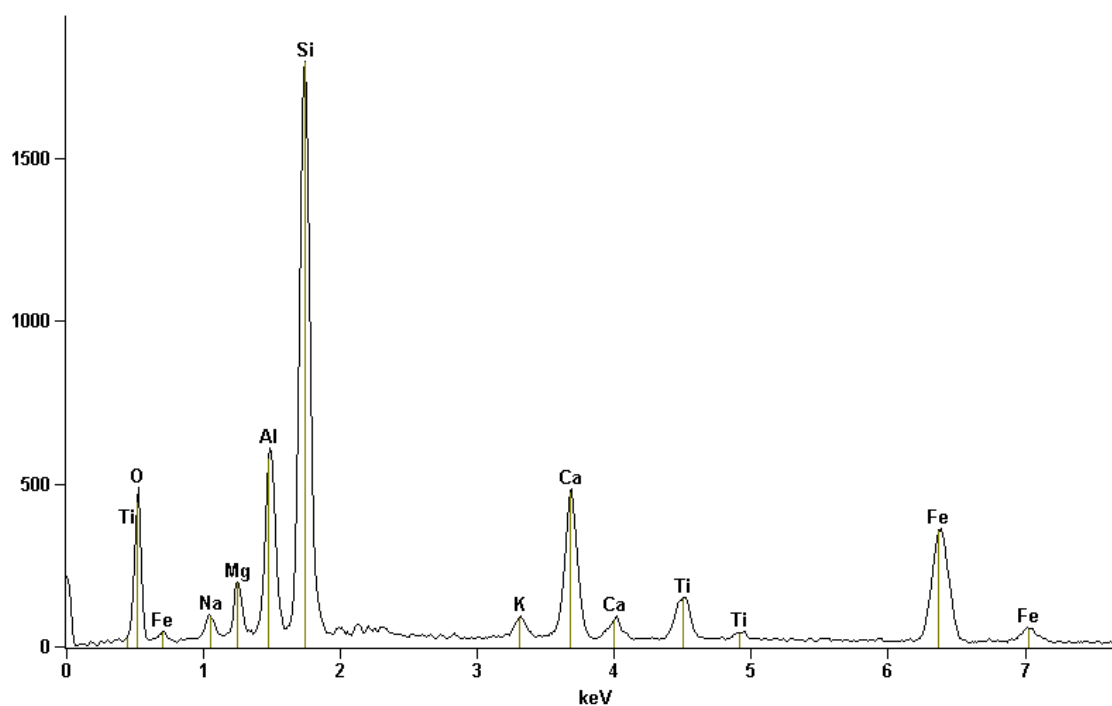
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 7d(1)_pt1</i>	30.03	37.96	-	-	0.23	21.66	10.12	-	-	-	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt2</i>	26.69	36.48	0.53	0.33	0.71	4.10	19.24	-	-	-	3.54	8.37
<i>Ref 7d(1)_pt3</i>	-	35.45	-	-	0.66	3.16	54.86	-	-	5.87	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt4</i>	14.17	25.80	-	-	0.53	1.23	1.13	12.91	0.86	33.39	3.36	6.64

	Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 7d(1)_pt1</i>	42.35	40.18	-	-	0.15	13.06	4.27	-	-	-	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt2</i>	42.19	43.29	0.44	0.26	0.50	2.77	9.11	-	-	-	0.63	0.81
<i>Ref 7d(1)_pt3</i>	-	57.90	-	-	0.64	2.94	35.77	-	-	2.75	-	-
<i>Ref 7d(1)_pt4</i>	30.78	42.08	-	-	0.51	1.14	0.74	7.03	0.41	15.60	0.82	0.88

EDS Traço Concreto Referência – Ref. C - 28 dias

Full scale counts: 1797

Ref 28d--Processed



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results		Ref 28d--Processed		
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	3059	38.52	57.98	38.52
<i>Na</i>	380	1.60	1.68	1.60
<i>Mg</i>	920	1.66	1.65	1.66
<i>Al</i>	4427	6.50	5.80	6.50
<i>Si</i>	15636	20.19	17.31	20.19
<i>K</i>	623	0.90	0.56	0.90
<i>Ca</i>	5717	8.97	5.39	8.97
<i>Ti</i>	1893	4.01	2.02	4.01
<i>Fe</i>	5709	17.65	7.61	17.65
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

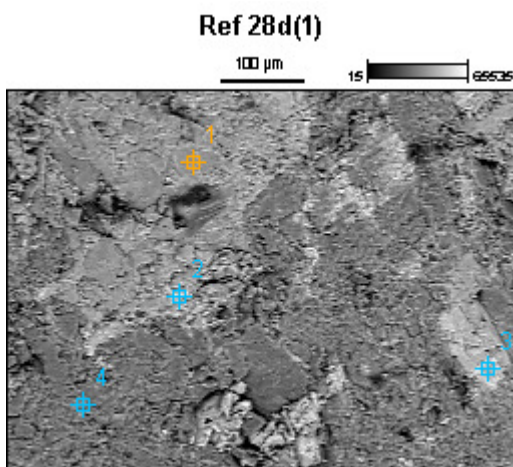
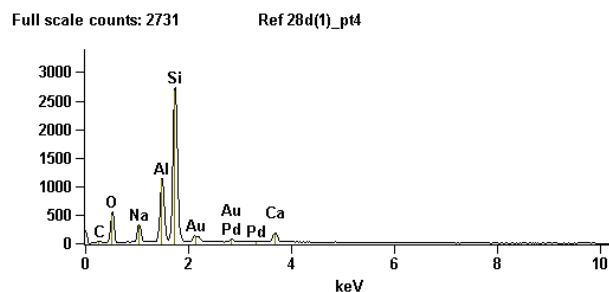
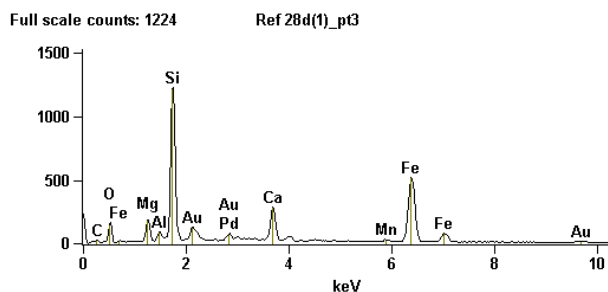
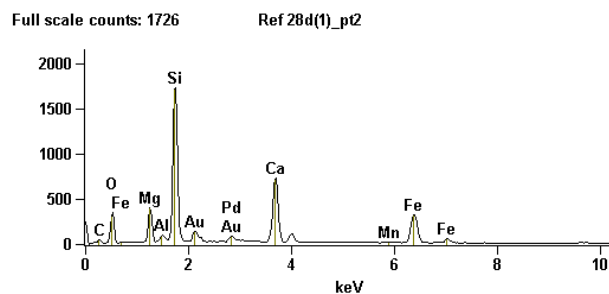
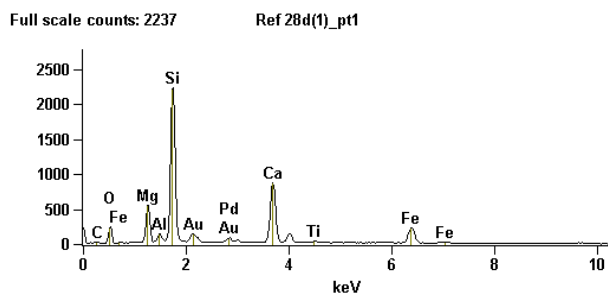


Image Name: Ref 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 200



Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Pd	Au
<i>Ref 28d(1)_pt1</i>	0	1579	-	4151	749	19543	10509	428	-	3675	948	308
<i>Ref 28d(1)_pt2</i>	0	2236	-	2979	472	15131	8705	-	165	5177	1216	214
<i>Ref 28d(1)_pt3</i>	189	1246	-	1312	508	10361	2976	-	283	8133	1016	315
<i>Ref 28d(1)_pt4</i>	0	3613	2158	-	8829	23856	1970	-	-	-	1169	296

Weight % e Compound %

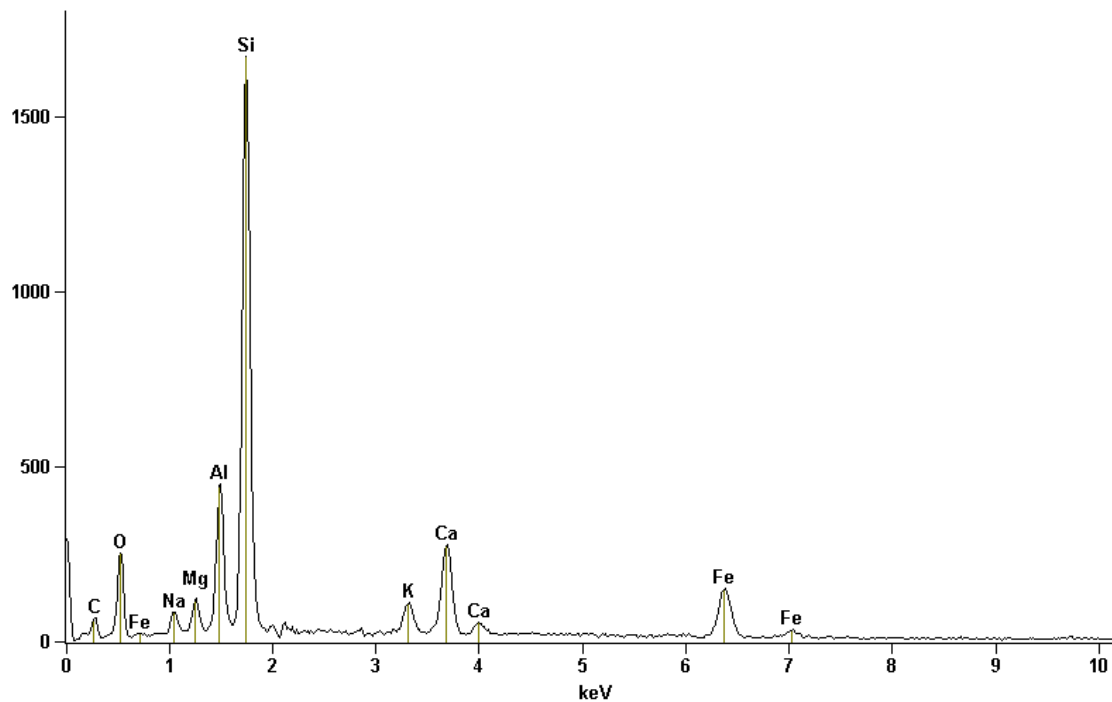
	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Pd	Au
<i>Ref 28d(1)_pt1</i>	0.00	27.63	-	7.19	1.17	24.75	18.26	1.02	-	12.08	2.33	5.58
<i>Ref 28d(1)_pt2</i>	0.00	33.74	-	5.73	0.79	20.03	15.13	-	0.51	17.17	2.95	3.95
<i>Ref 28d(1)_pt3</i>	13.66	20.36	-	3.12	0.99	15.97	5.82	-	0.97	29.78	2.81	6.51
<i>Ref 28d(1)_pt4</i>	0.00	41.31	6.52	-	11.18	29.43	3.42	-	-	-	2.91	5.23

	Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 28d(1)_pt1</i>	0.00	46.79	-	8.01	1.18	23.87	12.35	0.58	-	5.86	0.59	0.77
<i>Ref 28d(1)_pt2</i>	0.00	55.07	-	6.16	0.76	18.63	9.86	-	0.24	8.03	0.72	0.52
<i>Ref 28d(1)_pt3</i>	29.17	32.64	-	3.29	0.94	14.58	3.73	-	0.45	13.68	0.68	0.85
<i>Ref 28d(1)_pt4</i>	0.00	57.80	6.35	-	9.28	23.46	1.91	-	-	-	0.61	0.59

EDS Traço Concreto Referência – Ref. C - 112 dias

Full scale counts: 1670

Ref 112d--Processed



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results		Ref 112d--Processed		
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	414	29.73	44.30	29.73
<i>O</i>	1670	30.36	33.96	30.36
<i>Na</i>	388	1.44	1.12	1.44
<i>Mg</i>	486	0.80	0.59	0.80
<i>Al</i>	2868	3.97	2.63	3.97
<i>Si</i>	14405	17.80	11.35	17.80
<i>K</i>	1073	1.69	0.78	1.69
<i>Ca</i>	3306	5.73	2.56	5.73
<i>Fe</i>	2463	8.47	2.72	8.47
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

Ref 112d(1)

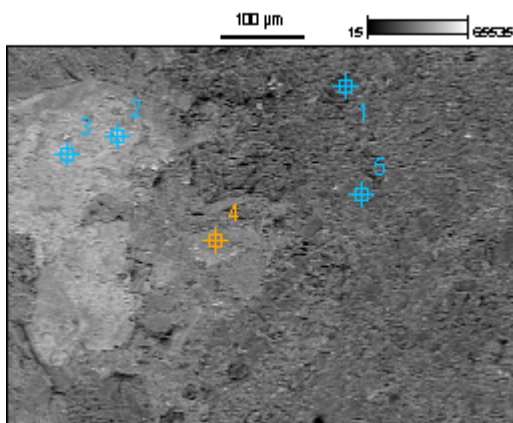


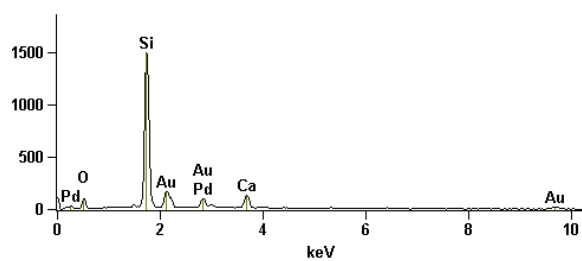
Image Name: Ref 112d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 200

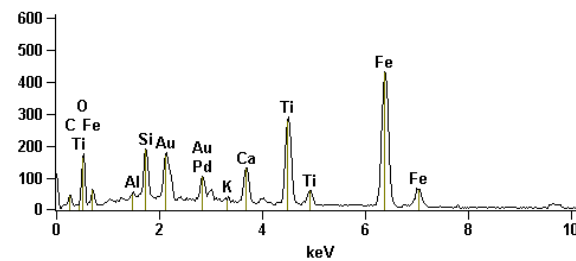
Full scale counts: 1500

Ref 112d(1)_pt1



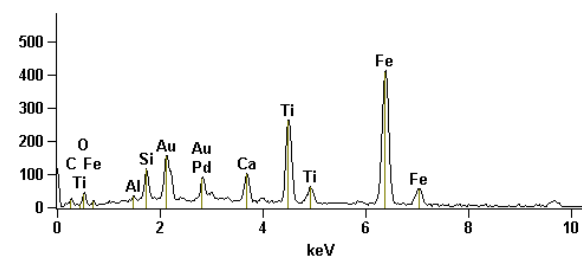
Full scale counts: 432

Ref 112d(1)_pt2



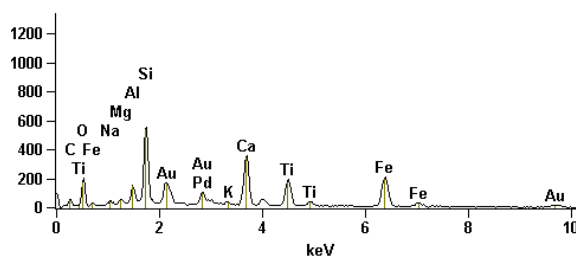
Full scale counts: 413

Ref 112d(1)_pt3



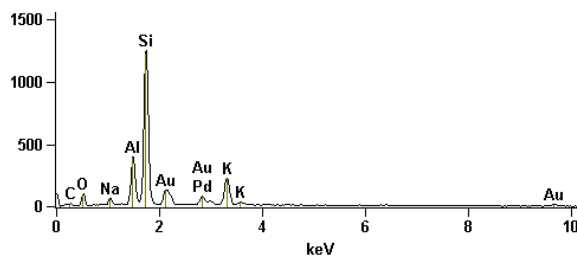
Full scale counts: 554

Ref 112d(1)_pt4



Full scale counts: 1246

Ref 112d(1)_pt5

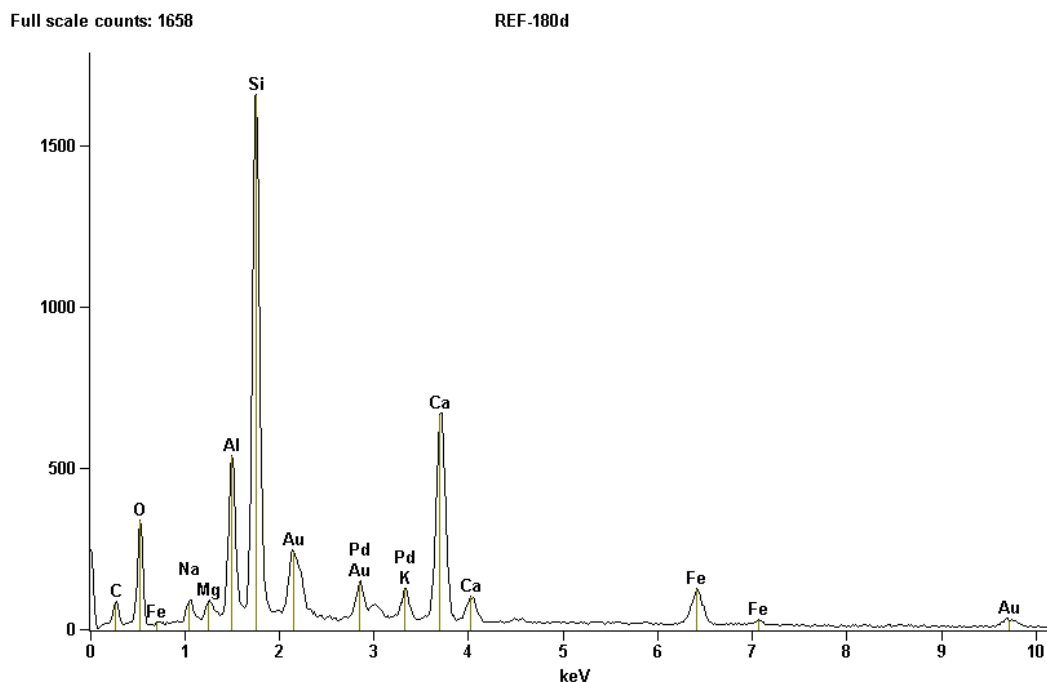


Net Counts												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 112d(1)_pt1</i>	-	592	-	-	-	12692	-	1469	-	-	1720	493
<i>Ref 112d(1)_pt2</i>	0	1118	-	-	179	1308	146	1467	4021	7150	1314	309
<i>Ref 112d(1)_pt3</i>	117	316	-	-	128	754	-	1036	3762	6515	1267	484
<i>Ref 112d(1)_pt4</i>	395	1255	204	255	741	4349	152	4157	2538	3139	1565	447
<i>Ref 112d(1)_pt5</i>	163	677	377	-	2938	10514	2542	-	-	-	1155	423

Weight % e Compound %												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 112d(1)_pt1</i>	-	25.55	-	-	-	34.43	-	7.15	-	-	11.82	21.05
<i>Ref 112d(1)_pt2</i>	0.00	26.27	-	-	0.55	3.09	0.37	4.01	14.32	37.42	5.02	8.95
<i>Ref 112d(1)_pt3</i>	9.30	10.25	-	-	0.44	1.99	-	3.29	15.29	38.20	5.71	15.53
<i>Ref 112d(1)_pt4</i>	19.79	28.25	1.08	0.59	1.37	6.55	0.29	8.57	7.00	12.36	4.39	9.76
<i>Ref 112d(1)_pt5</i>	19.71	22.65	2.12	-	6.63	21.98	7.87	-	-	-	5.35	13.69

Atom %												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>Ref 112d(1)_pt1</i>	-	49.61	-	-	-	38.08	-	5.54	-	-	3.45	3.32
<i>Ref 112d(1)_pt2</i>	0.00	55.77	-	-	0.70	3.74	0.32	3.40	10.15	22.76	1.60	1.54
<i>Ref 112d(1)_pt3</i>	28.47	23.55	-	-	0.60	2.61	-	3.02	11.73	25.15	1.97	2.90
<i>Ref 112d(1)_pt4</i>	37.04	39.70	1.06	0.54	1.14	5.24	0.17	4.81	3.29	4.98	0.93	1.11
<i>Ref 112d(1)_pt5</i>	36.48	31.47	2.05	-	5.46	17.40	4.48	-	-	-	1.12	1.55

EDS Traço Concreto Referência – Ref. C - 180 dias



Live Time: 40.0 sec.

Quantitative Results			REF-180d	
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	791	27.64	45.51	27.64
<i>O</i>	1920	27.07	33.46	27.07
<i>Na</i>	579	1.49	1.28	1.49
<i>Mg</i>	458	0.53	0.43	0.53
<i>Al</i>	3692	3.55	2.60	3.55
<i>Si</i>	14209	11.80	8.31	11.80
<i>K</i>	923	1.03	0.52	1.03
<i>Ca</i>	8022	9.82	4.85	9.82
<i>Fe</i>	1773	4.06	1.44	4.06
<i>Pd</i>	1982	3.31	0.61	3.31
<i>Au</i>	759	9.69	0.97	9.69
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

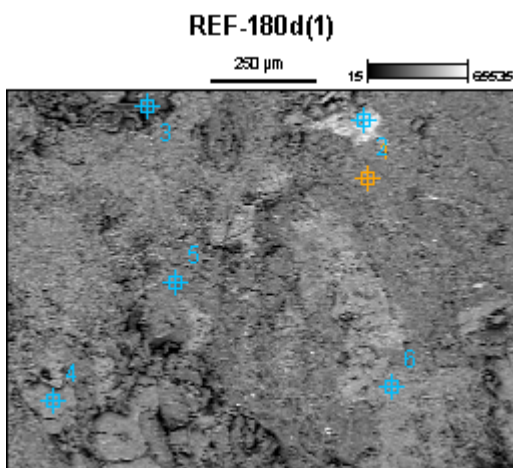
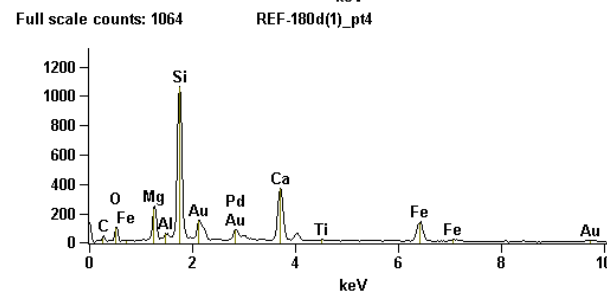
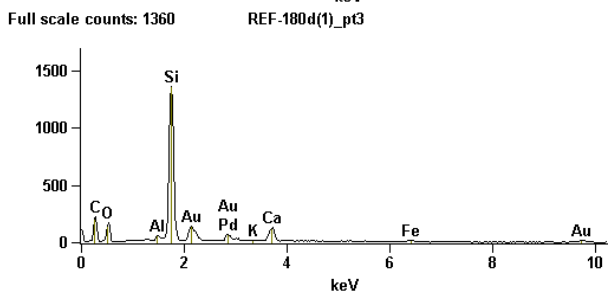
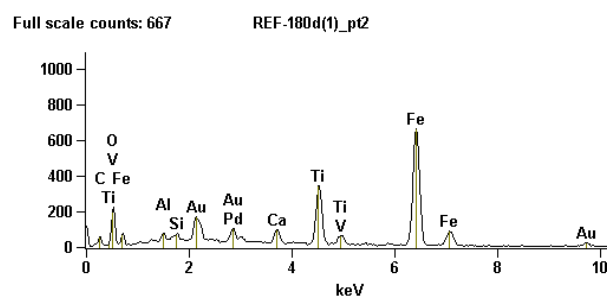
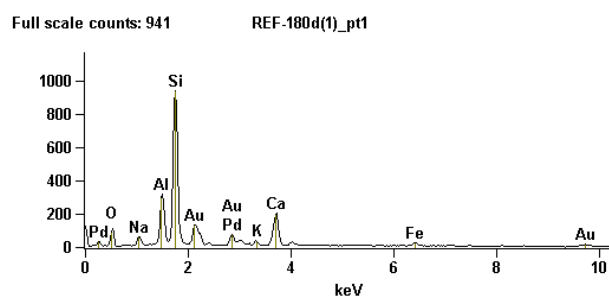


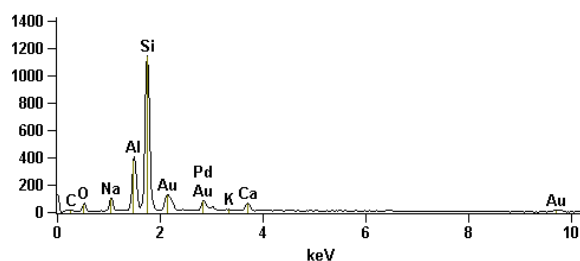
Image Name: REF-180d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

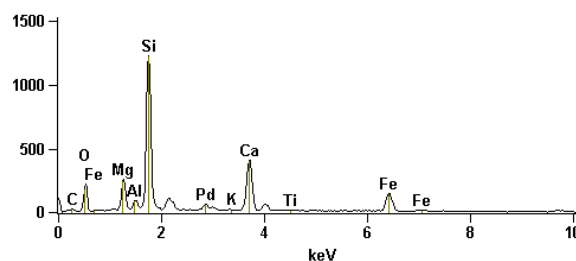
Magnification: 100



Full scale counts: 1142 REF-180d(1)_pt5



Full scale counts: 1227 REF-180d(1)_pt6



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>	<i>Rb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF-180d(1)_pt1</i>	-	648	449	-	2324	7959	208	2151	-	-	350	-	1057	427
<i>REF-180d(1)_pt2</i>	329	1683	-	-	327	350	-	1015	4520	250	10271	-	1563	531
<i>REF-180d(1)_pt3</i>	1503	1098	-	-	141	11915	133	1712	-	-	164	-	1126	338
<i>REF-180d(1)_pt4</i>	281	817	-	1762	192	9349	-	4566	143	-	1958	-	1409	445
<i>REF-180d(1)_pt5</i>	121	392	615	-	3953	11446	150	754	-	-	-	0	1337	512
<i>REF-180d(1)_pt6</i>	178	1537	-	1896	441	10760	131	5193	202	-	2292	-	789	-

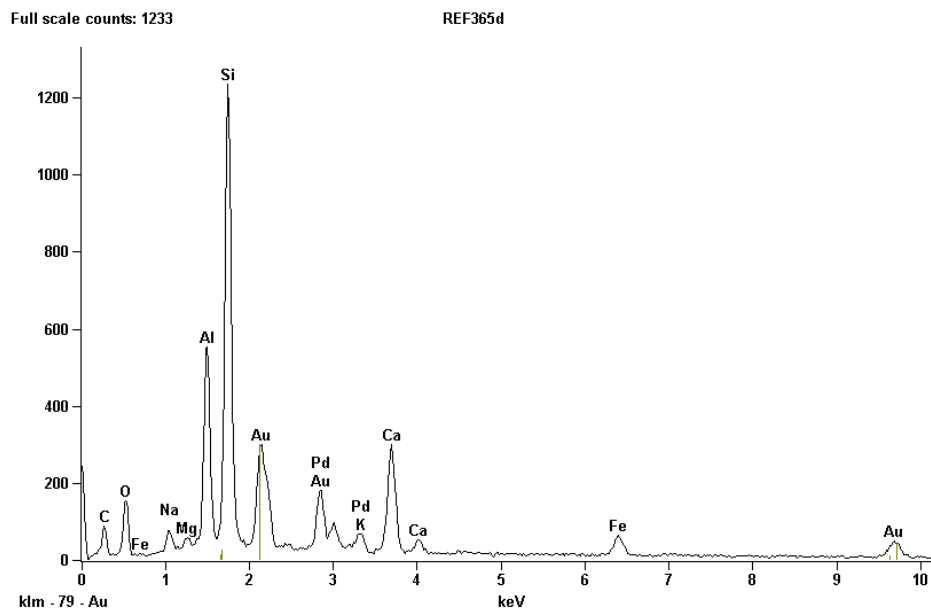
Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>	<i>Rb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF-180d(1)_pt1</i>	-	26.48	3.82	-	7.71	23.99	0.88	9.76	-	-	2.70	-	6.86	17.81
<i>REF-180d(1)_pt2</i>	13.47	26.06	-	-	0.62	0.51	-	1.73	9.99	0.60	33.57	-	3.73	9.71
<i>REF-180d(1)_pt3</i>	53.41	23.13	-	-	0.16	11.60	0.19	2.71	-	-	0.50	-	2.37	5.91
<i>REF-180d(1)_pt4</i>	21.65	22.34	-	4.12	0.39	15.47	-	11.10	0.46	-	8.74	-	4.73	11.00
<i>REF-180d(1)_pt5</i>	18.53	14.49	3.54	-	9.49	26.47	0.52	2.76	-	-	-	0.00	7.00	17.21
<i>REF-180d(1)_pt6</i>	15.18	35.47	-	4.53	0.91	18.16	0.27	11.95	0.64	-	10.43	-	2.46	-

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>	<i>Rb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF-180d(1)_pt1</i>	-	48.24	4.84	-	8.33	24.90	0.66	7.10	-	-	1.41	-	1.88	2.64
<i>REF-180d(1)_pt2</i>	29.99	43.54	-	-	0.62	0.49	-	1.16	5.57	0.32	16.07	-	0.94	1.32
<i>REF-180d(1)_pt3</i>	68.99	22.43	-	-	0.09	6.41	0.08	1.05	-	-	0.14	-	0.35	0.47
<i>REF-180d(1)_pt4</i>	40.26	31.19	-	3.79	0.32	12.30	-	6.18	0.22	-	3.50	-	0.99	1.25
<i>REF-180d(1)_pt5</i>	37.34	21.92	3.72	-	8.51	22.81	0.32	1.67	-	-	-	0.00	1.59	2.12
<i>REF-180d(1)_pt6</i>	25.92	45.47	-	3.82	0.69	13.26	0.14	6.11	0.27	-	3.83	-	0.47	-

EDS Traço Concreto Ref. C - 365 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results		REF365d		
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	577	27.54	49.89	27.54
<i>O</i>	1093	20.88	28.39	20.88
<i>Na</i>	320	1.07	1.01	1.07
<i>Mg</i>	72	0.11	0.10	0.11
<i>Al</i>	3877	4.88	3.93	4.88
<i>Si</i>	10306	11.43	8.86	11.43
<i>K</i>	630	1.00	0.56	1.00
<i>Ca</i>	3262	5.61	3.05	5.61
<i>Fe</i>	704	2.09	0.82	2.09
<i>Pd</i>	2645	6.32	1.29	6.32
<i>Au</i>	1168	19.06	2.11	19.06
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

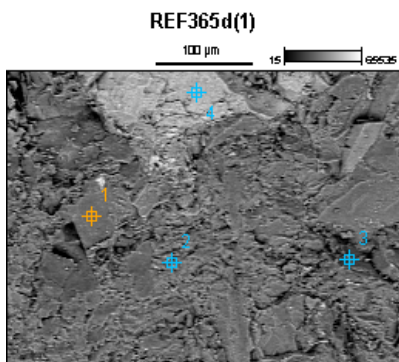
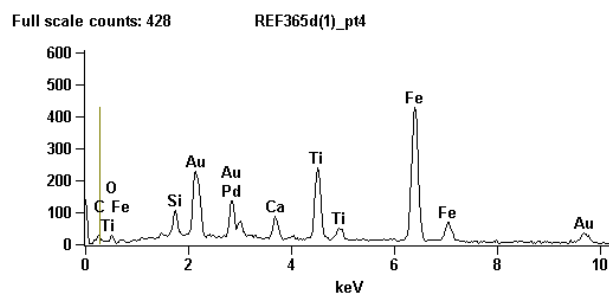
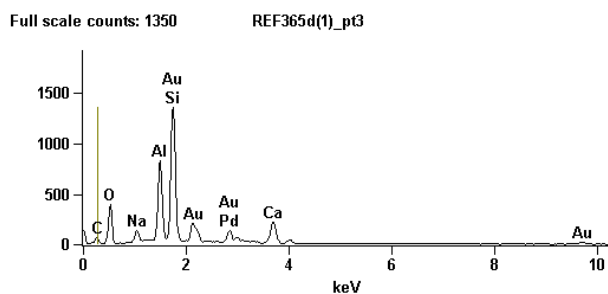
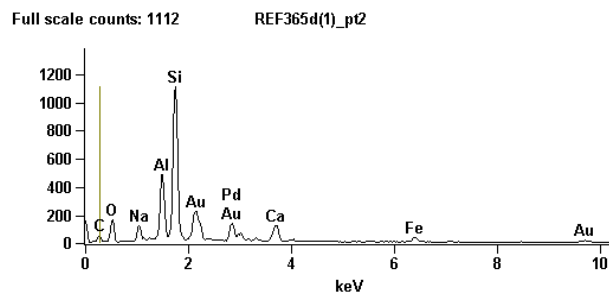
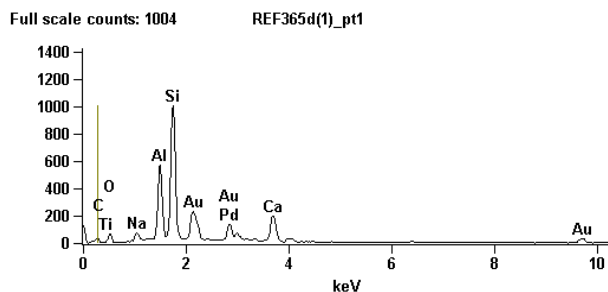


Image Name: REF365d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 300



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF365d(1)_pt1</i>	94	500	378	4394	8657	2556	6		2048	742
<i>REF365d(1)_pt2</i>	349	1119	703	3804	9750	1696		465	2109	573
<i>REF365d(1)_pt3</i>	220	2496	814	6342	11709	2794			1863	595
<i>REF365d(1)_pt4</i>	200	177			619	957	3308	6613	2044	859

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF365d(1)_pt1</i>	11.28	17.39	2.22	10.11	18.86	8.52	0.02		9.68	21.91
<i>REF365d(1)_pt2</i>	25.40	25.82	3.01	6.33	14.64	3.80		1.85	6.51	12.65
<i>REF365d(1)_pt3</i>	14.13	38.90	2.91	8.66	14.87	5.05			4.68	10.80
<i>REF365d(1)_pt4</i>	13.67	5.56			1.40	2.78	11.93	33.07	8.45	23.14

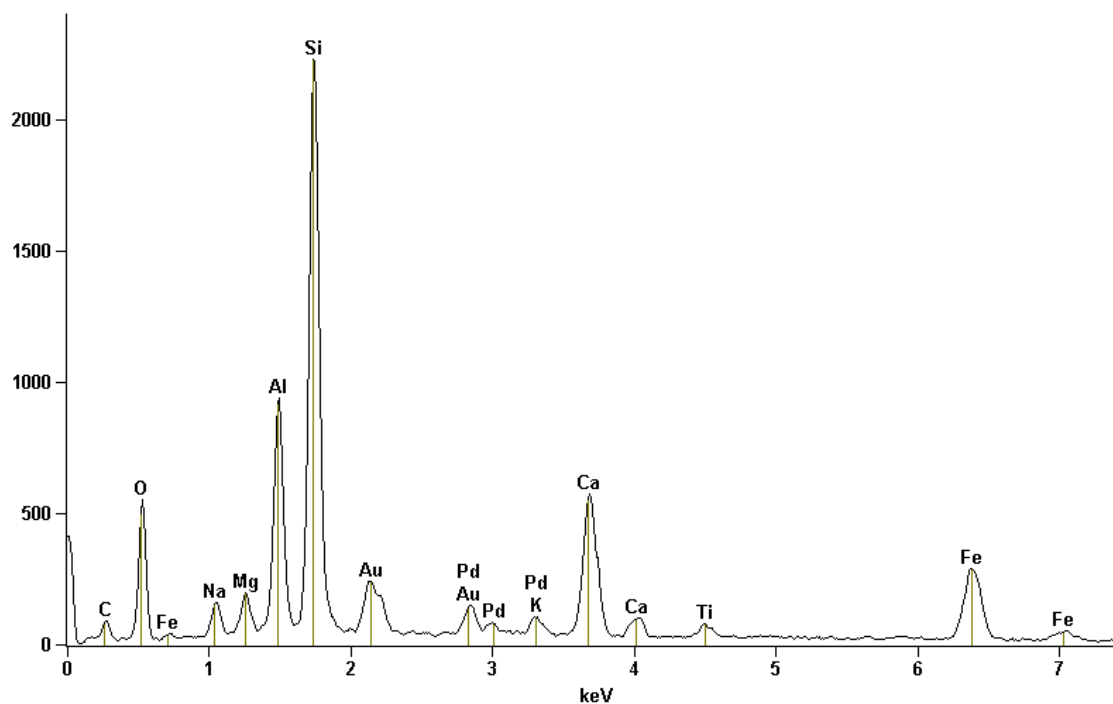
Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>REF365d(1)_pt1</i>	26.21	30.33	2.70	10.45	18.73	5.93	0.01		2.54	3.10
<i>REF365d(1)_pt2</i>	43.43	33.15	2.69	4.82	10.71	1.95		0.68	1.26	1.32
<i>REF365d(1)_pt3</i>	24.46	50.55	2.63	6.67	11.01	2.62			0.92	1.14
<i>REF365d(1)_pt4</i>	43.07	13.15			1.88	2.62	9.42	22.40	3.00	4.44

EDS Traço Concreto C 25 - 7 dias

Full scale counts: 2226

A25 7d



Live Time: 50.0 sec.

Quantitative Results A25 7d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	674	21.85	36.15	21.85
<i>O</i>	3444	32.53	40.42	32.53
<i>Na</i>	823	1.81	1.57	1.81
<i>Mg</i>	913	0.89	0.73	0.89
<i>Al</i>	6627	5.32	3.92	5.32
<i>Si</i>	18804	13.18	9.33	13.18
<i>K</i>	787	0.69	0.35	0.69
<i>Ca</i>	6641	6.33	3.14	6.33
<i>Ti</i>	632	0.80	0.33	0.80
<i>Fe</i>	4705	8.52	3.03	8.52
<i>Pd</i>	1883	2.47	0.46	2.47
<i>Au</i>	551	5.61	0.57	5.61
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

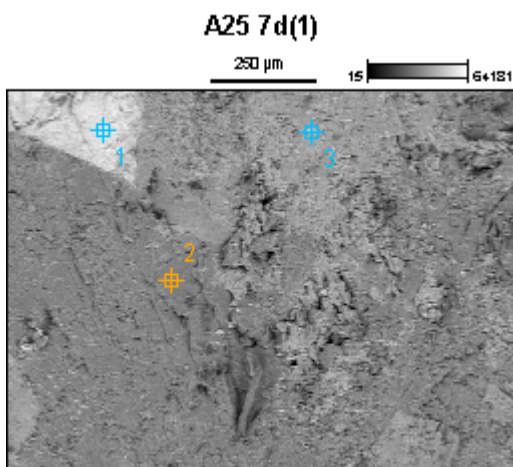


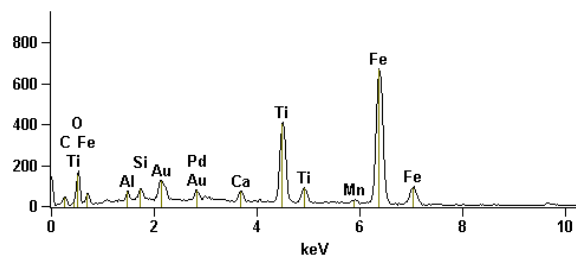
Image Name: A25 7d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

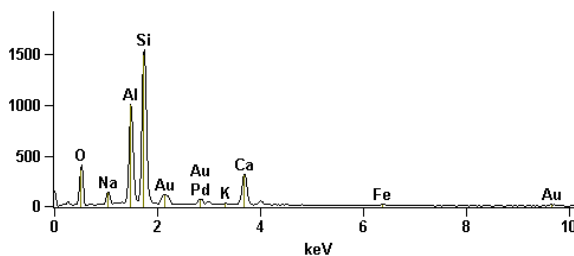
Full scale counts: 672

A25 7d(1)_pt1



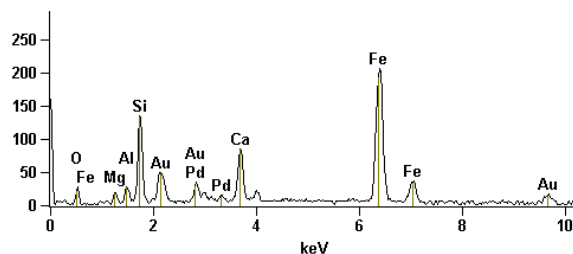
Full scale counts: 1545

A25 7d(1)_pt2



Full scale counts: 206

A25 7d(1)_pt3



Net Counts

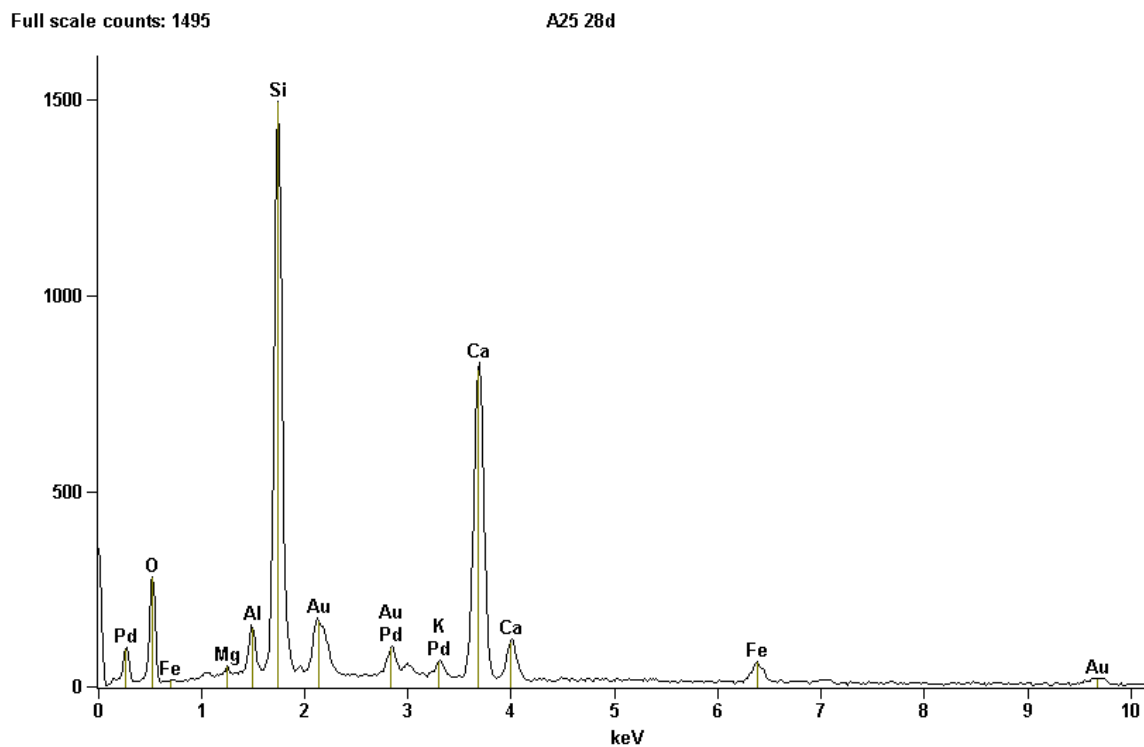
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Pd	Au
A25 7d(1)_pt1	347	1370	-	-	362	535	-	736	5825	309	10779	1011	200
A25 7d(1)_pt2	-	2468	830	-	7664	13010	161	3467	-	-	181	954	290
A25 7d(1)_pt3	-	179	-	143	226	1095	-	996	-	-	3347	525	320

Weight % e Compound %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Pd	Au
A25 7d(1)_pt1	15.71	23.32	-	-	0.76	0.85	-	1.27	13.24	1.00	37.48	2.45	3.92
A25 7d(1)_pt2	-	42.58	3.67	-	13.08	21.98	0.34	7.86	-	-	0.75	3.06	6.68
A25 7d(1)_pt3	-	10.78	-	1.48	1.83	6.86	-	7.60	-	-	43.10	5.87	22.49

	Atom %												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25 7d(1)_pt1</i>	33.85	37.71	-	-	0.73	0.78	-	0.82	7.15	0.47	17.37	0.60	0.52
<i>A25 7d(1)_pt2</i>	-	60.91	3.65	-	11.10	17.91	0.20	4.49	-	-	0.31	0.66	0.78
<i>A25 7d(1)_pt3</i>	-	30.94	-	2.80	3.11	11.21	-	8.71	-	-	35.45	2.54	5.24

EDS Traço Concreto C 25 - 28 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A25 28d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	1612	38.80	62.32	38.80
<i>Mg</i>	90	0.20	0.21	0.20
<i>Al</i>	615	1.11	1.06	1.11
<i>Si</i>	12673	18.98	17.36	18.98
<i>K</i>	459	0.94	0.62	0.94
<i>Ca</i>	10137	22.87	14.66	22.87
<i>Fe</i>	785	3.32	1.53	3.32
<i>Pd</i>	1280	3.95	0.95	3.95
<i>Au</i>	427	9.84	1.28	9.84
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

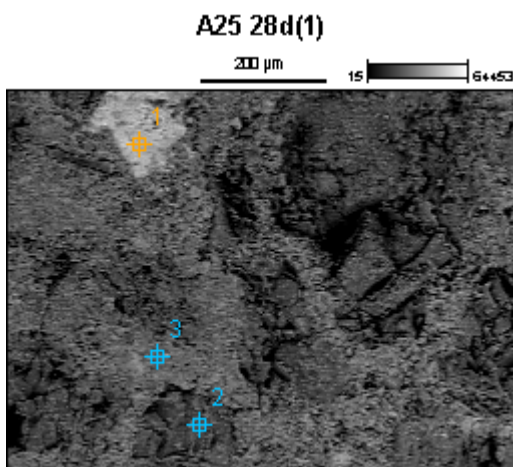


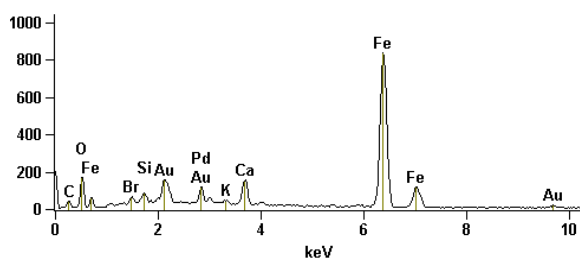
Image Name: A25 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 150

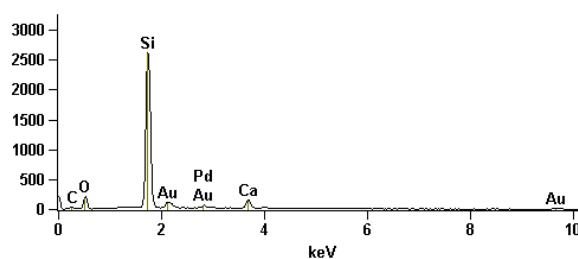
Full scale counts: 837

A25 28d(1)_pt1



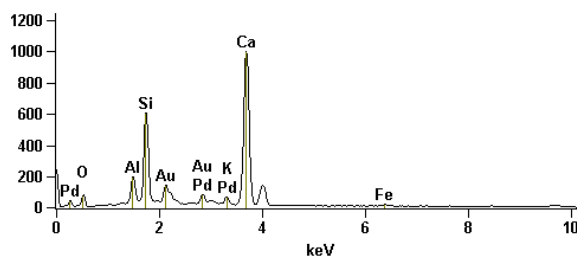
Full scale counts: 2606

A25 28d(1)_pt2



Full scale counts: 1000

A25 28d(1)_pt3



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Br</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25 28d(1)_pt1</i>	289	1135	-	612	245	1688	13394	52	1296	362
<i>A25 28d(1)_pt2</i>	267	1402	-	23470	-	1750	-	-	1017	379
<i>A25 28d(1)_pt3</i>	-	513	1267	4797	598	12305	206	-	905	284

Weight % e Compound %

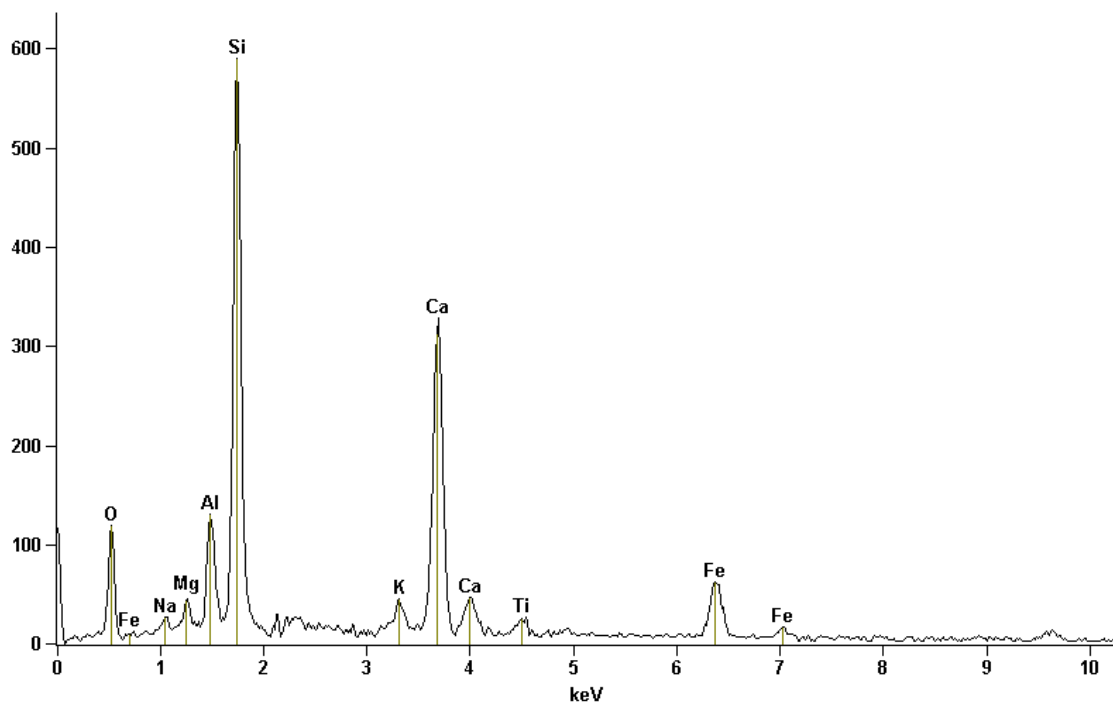
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Br</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25 28d(1)_pt1</i>	15.15	16.79	-	1.10	0.46	3.36	50.00	1.84	3.61	7.69
<i>A25 28d(1)_pt2</i>	23.71	30.43	-	30.21	-	3.87	-	-	3.16	8.61
<i>A25 28d(1)_pt3</i>	-	26.49	3.50	11.25	1.78	41.66	1.35	-	4.07	9.90

	Atom %									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Br</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25 28d(1)_pt1</i>	36.70	30.54	-	1.14	0.34	2.44	26.05	0.67	0.99	1.14
<i>A25 28d(1)_pt2</i>	38.54	37.13	-	21.00	-	1.89	-	-	0.58	0.85
<i>A25 28d(1)_pt3</i>	-	48.93	3.83	11.84	1.35	30.72	0.71	-	1.13	1.49

EDS Traço Concreto C 25 - 112 dias

Full scale counts: 590

A25-112d--Processed



Live Time: 15.0 sec.

Quantitative Results A25-112d--Processed

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	690	30.55	56.00	30.55
<i>Na</i>	114	1.15	1.47	1.15
<i>Mg</i>	226	1.00	1.21	1.00
<i>Al</i>	850	3.10	3.37	3.10
<i>Si</i>	4882	14.87	15.53	14.87
<i>K</i>	318	1.29	0.97	1.29
<i>Ca</i>	3747	16.65	12.18	16.65
<i>Ti</i>	218	1.29	0.79	1.29
<i>Fe</i>	978	7.74	4.07	7.74
<i>Pd</i>	1420	8.57	2.36	8.57
<i>Au</i>	322	13.79	2.05	13.79
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

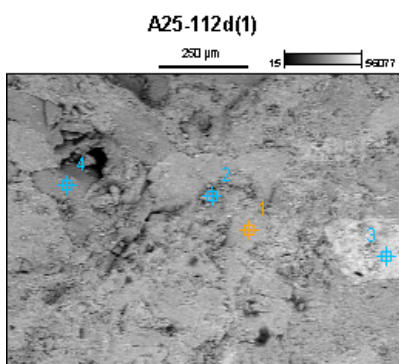


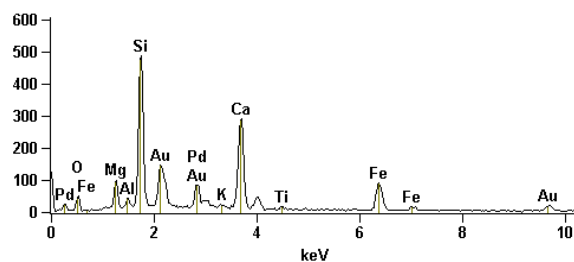
Image Name: A25-112d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 110

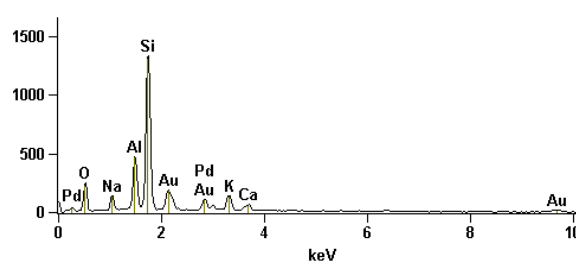
Full scale counts: 487

A25-112d(1)_pt1



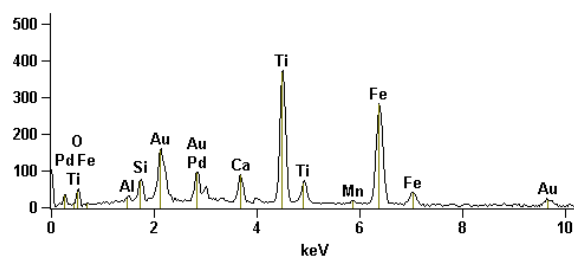
Full scale counts: 1331

A25-112d(1)_pt2



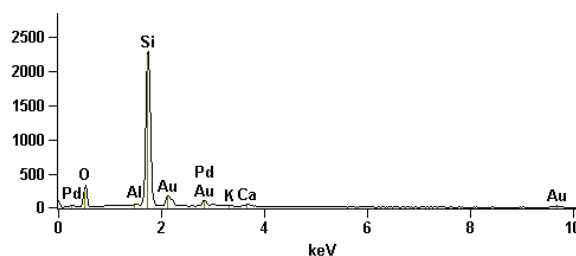
Full scale counts: 373

A25-112d(1)_pt3



Full scale counts: 2289

A25-112d(1)_pt4



Net Counts

	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25-112d(1)_pt1</i>	350	-	569	197	4290	131	3510	95	-	1392	1335	432
<i>A25-112d(1)_pt2</i>	1534	780	-	3429	11331	1433	730	-	-	-	1633	492
<i>A25-112d(1)_pt3</i>	365	-	-	121	530	-	985	4963	111	4444	1397	521
<i>A25-112d(1)_pt4</i>	1927	-	-	80	20345	188	501	-	-	-	1566	416

Weight % e Compound %

	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25-112d(1)_pt1</i>	18.92	-	2.95	0.86	15.03	0.63	18.27	0.65	-	12.42	9.65	20.61
<i>A25-112d(1)_pt2</i>	36.20	4.40	-	7.73	23.39	4.19	2.32	-	-	-	7.18	14.58
<i>A25-112d(1)_pt3</i>	14.51	-	-	0.47	1.58	-	3.61	23.29	0.71	29.82	7.28	18.74
<i>A25-112d(1)_pt4</i>	41.70	-	-	0.17	36.65	0.55	1.57	-	-	-	6.94	12.41

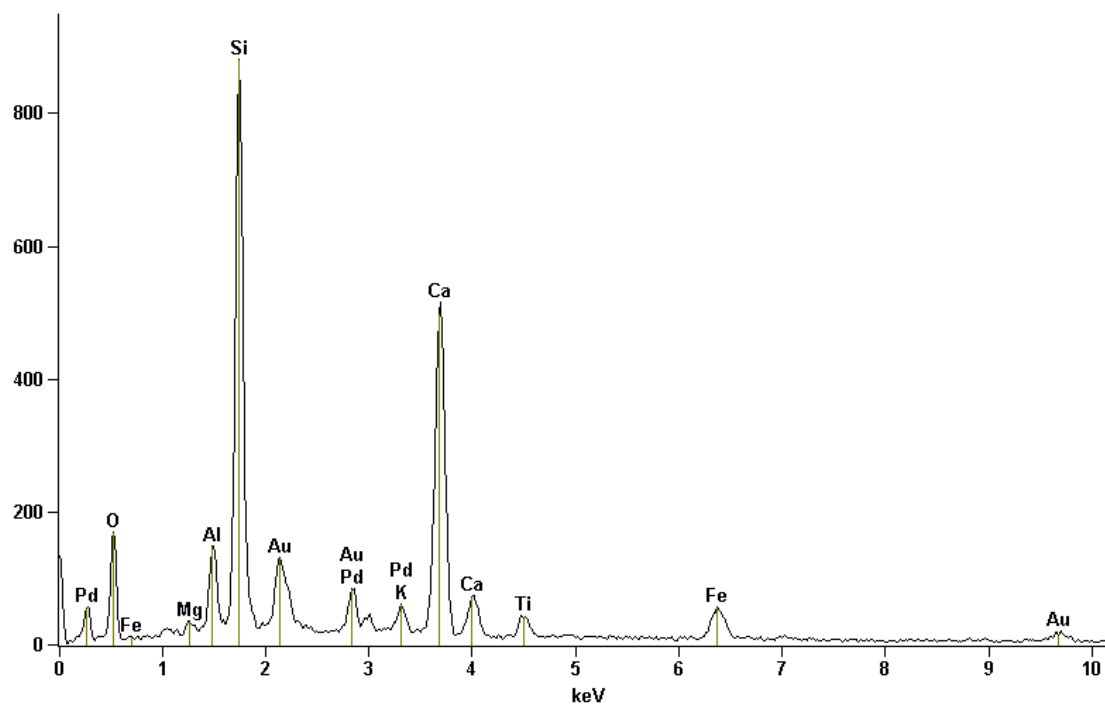
Atom %

	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25-112d(1)_pt1</i>	42.63	-	4.38	1.14	19.29	0.58	16.43	0.49	-	8.02	3.27	3.77
<i>A25-112d(1)_pt2</i>	58.32	4.93	-	7.38	21.47	2.76	1.49	-	-	-	1.74	1.91
<i>A25-112d(1)_pt3</i>	40.00	-	-	0.77	2.47	-	3.97	21.44	0.57	23.55	3.02	4.20
<i>A25-112d(1)_pt4</i>	63.58	-	-	0.15	31.83	0.35	0.96	-	-	-	1.59	1.54

EDS Traço Concreto C 50 - 7 dias

Full scale counts: 881

A50 7d(1)



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results A50 7d(1)				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	1025	36.48	61.54	36.48
<i>Mg</i>	66	0.22	0.25	0.22
<i>Al</i>	786	2.10	2.10	2.10
<i>Si</i>	7278	16.07	15.44	16.07
<i>K</i>	471	1.38	0.95	1.38
<i>Ca</i>	6186	19.82	13.35	19.82
<i>Ti</i>	467	2.04	1.15	2.04
<i>Fe</i>	832	4.86	2.35	4.86
<i>Pd</i>	1024	4.54	1.15	4.54
<i>Au</i>	395	12.50	1.71	12.50
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

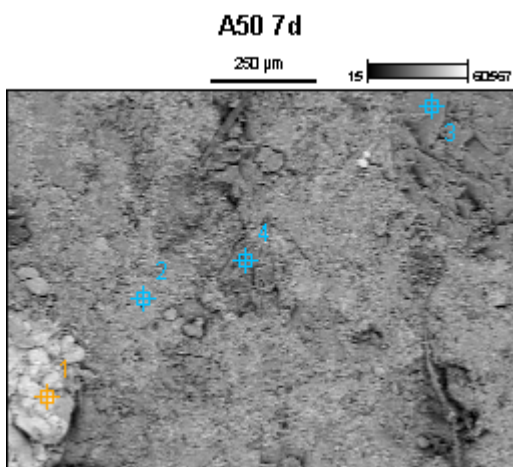
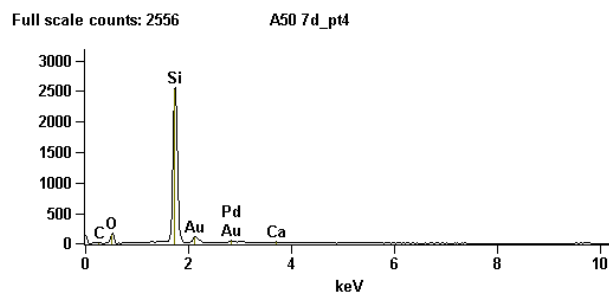
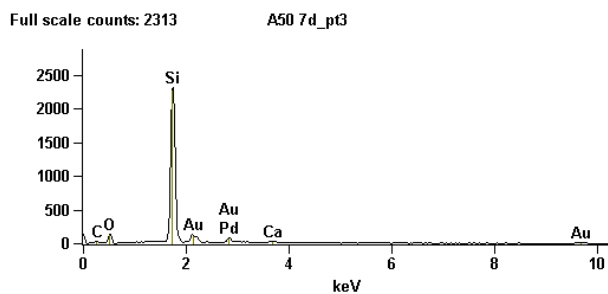
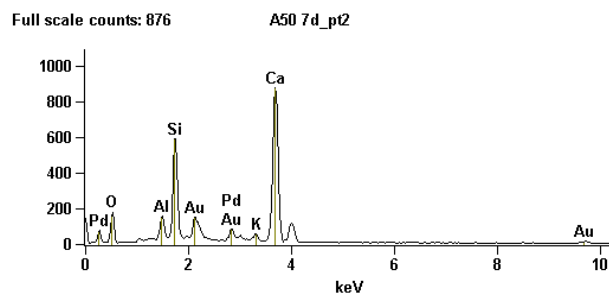
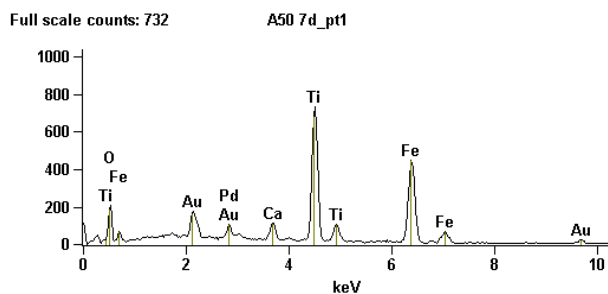


Image Name: A50 7d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100



Net Counts

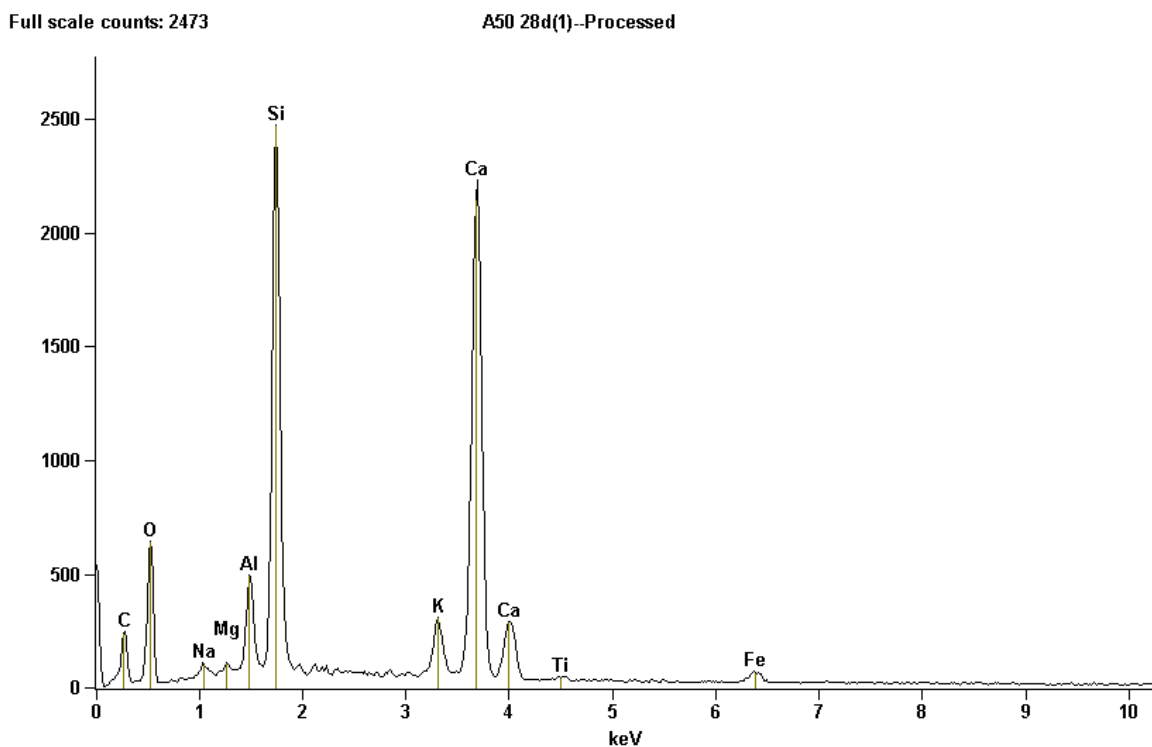
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 7d_pt1</i>	-	1265	-	-	-	1263	9917	7102	1243	445
<i>A50 7d_pt2</i>	-	1033	935	4507	474	10361	-	-	1124	380
<i>A50 7d_pt3</i>	0	877	-	20337	-	393	-	-	1235	347
<i>A50 7d_pt4</i>	108	1053	-	22060	-	172	-	-	767	222

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 7d_pt1</i>	-	29.15	-	-	-	2.56	26.57	28.45	3.58	9.69
<i>A50 7d_pt2</i>	-	40.09	2.35	9.39	1.26	30.91	-	-	4.50	11.49
<i>A50 7d_pt3</i>	0.00	30.31	-	47.08	-	1.66	-	-	7.63	13.33
<i>A50 7d_pt4</i>	17.72	31.08	-	40.01	-	0.55	-	-	3.54	7.09

	Atom %									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 7d_pt1</i>	-	60.08	-	-	-	2.10	18.29	16.80	1.11	1.62
<i>A50 7d_pt2</i>	-	65.40	2.28	8.73	0.84	20.13	-	-	1.10	1.52
<i>A50 7d_pt3</i>	0.00	50.50	-	44.68	-	1.11	-	-	1.91	1.80
<i>A50 7d_pt4</i>	29.95	39.44	-	28.92	-	0.28	-	-	0.68	0.73

EDS Traço Concreto C 50 - 28 dias



Live Time: 60.0 sec.

Quantitative Results A50 28d(1)--Processed				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	1136	25.25	38.10	25.25
<i>O</i>	3689	37.35	42.31	37.35
<i>Na</i>	502	0.85	0.67	0.85
<i>Mg</i>	175	0.13	0.10	0.13
<i>Al</i>	2687	1.64	1.10	1.64
<i>Si</i>	21169	11.11	7.17	11.11
<i>K</i>	2996	1.96	0.91	1.96
<i>Ca</i>	27002	20.30	9.18	20.30
<i>Ti</i>	189	0.21	0.08	0.21
<i>Fe</i>	791	1.22	0.40	1.22
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

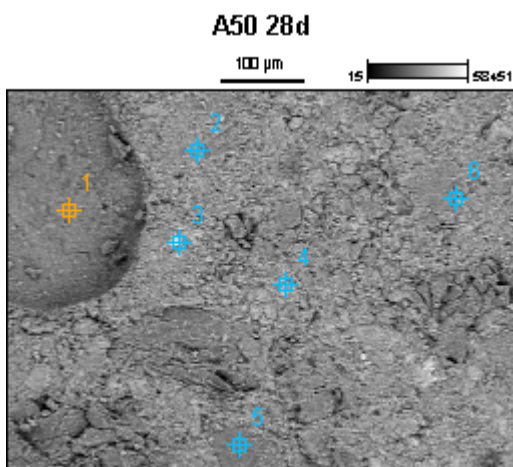
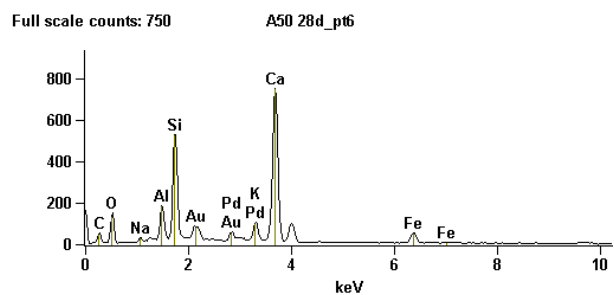
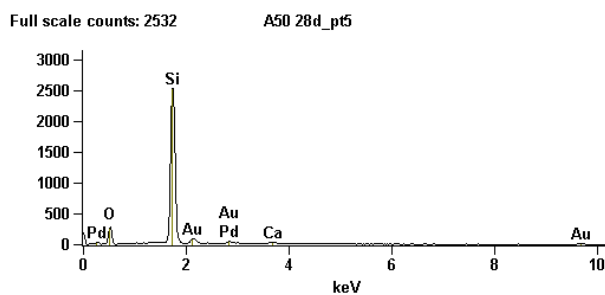
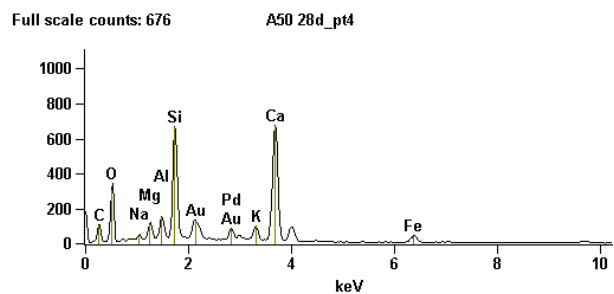
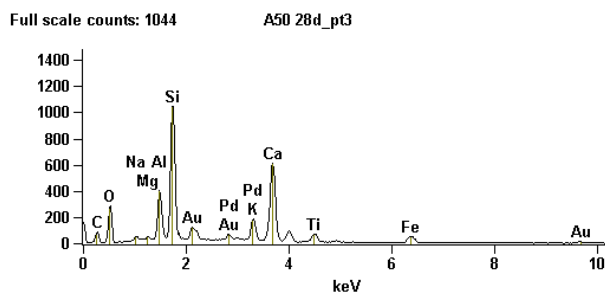
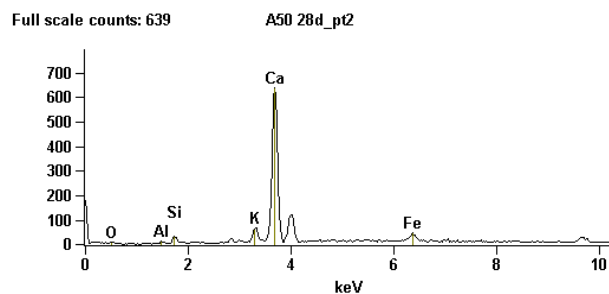
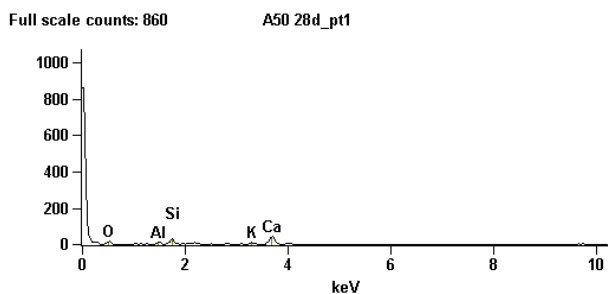


Image Name: A50 28d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 200



Net Counts												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 28d_pt2</i>	-	58	-	-	81	239	659	8000	-	490	-	-
<i>A50 28d_pt3</i>	657	1827	262	161	3001	8800	2007	7372	792	787	733	313
<i>A50 28d_pt4</i>	834	1848	201	743	1039	5453	934	8430	-	631	1137	284
<i>A50 28d_pt5</i>	-	1793	-	-	-	22350	-	524	-	-	785	174
<i>A50 28d_pt6</i>	402	900	105	-	1161	4420	923	8844	-	792	792	196

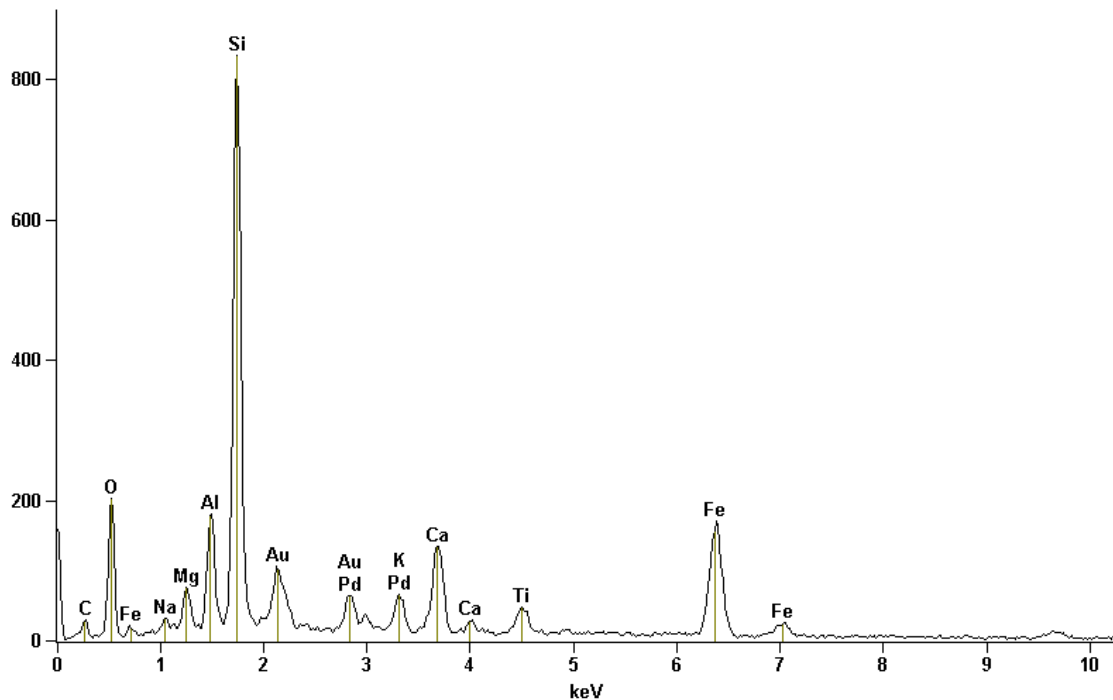
Weight % e Compound %												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 28d_pt2</i>	-	11.82	-	-	0.69	1.64	4.64	71.68	-	9.53	-	-
<i>A50 28d_pt3</i>	26.46	33.61	0.89	0.24	3.73	9.54	2.83	11.62	1.72	2.42	1.53	5.40
<i>A50 28d_pt4</i>	29.05	36.24	0.74	1.21	1.42	6.21	1.38	14.00	-	2.06	2.47	5.22
<i>A50 28d_pt5</i>	-	42.70	-	-	-	45.21	-	1.87	-	-	4.01	6.21
<i>A50 28d_pt6</i>	22.99	30.21	0.61	-	2.39	7.68	2.04	22.19	-	3.93	2.59	5.38

Atom %												
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50 28d_pt2</i>	-	25.46	-	-	0.89	2.02	4.09	61.66	-	5.88	-	-
<i>A50 28d_pt3</i>	41.46	39.53	0.73	0.19	2.60	6.39	1.36	5.46	0.67	0.82	0.27	0.52
<i>A50 28d_pt4</i>	43.89	41.10	0.59	0.90	0.95	4.02	0.64	6.34	-	0.67	0.42	0.48
<i>A50 28d_pt5</i>	-	60.73	-	-	-	36.63	-	1.06	-	-	0.86	0.72
<i>A50 28d_pt6</i>	38.91	38.40	0.54	-	1.80	5.56	1.06	11.26	-	1.43	0.50	0.56

EDS Traço Concreto C 75 - 7 dias

Full scale counts: 833

A75 7d



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results A75 7d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	240	19.95	34.10	19.95
<i>O</i>	1386	33.96	43.58	33.96
<i>Na</i>	91	0.59	0.53	0.59
<i>Mg</i>	375	1.04	0.88	1.04
<i>Al</i>	1158	2.60	1.98	2.60
<i>Si</i>	6963	12.92	9.44	12.92
<i>K</i>	615	1.42	0.74	1.42
<i>Ca</i>	1642	4.11	2.11	4.11
<i>Ti</i>	559	1.83	0.79	1.83
<i>Fe</i>	2640	12.43	4.57	12.43
<i>Pd</i>	1065	3.65	0.70	3.65
<i>Au</i>	207	5.48	0.57	5.48
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

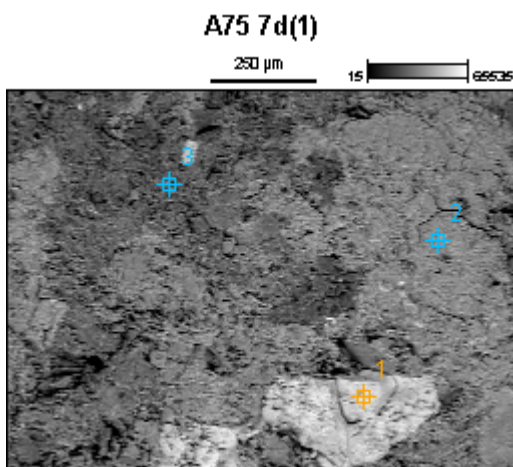
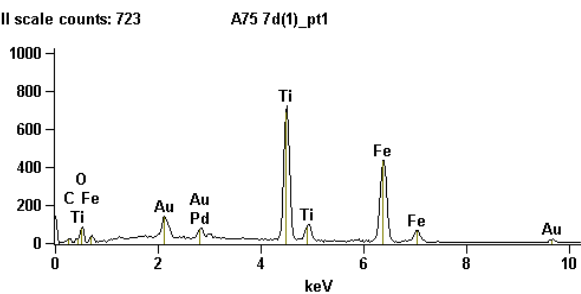


Image Name: A75 7d(1)

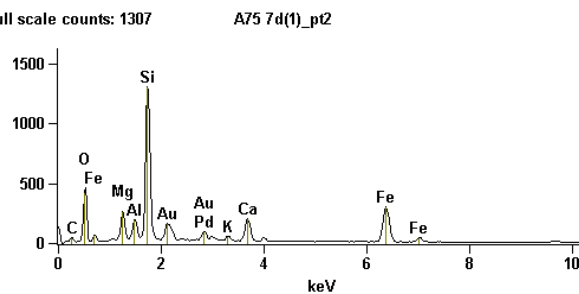
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

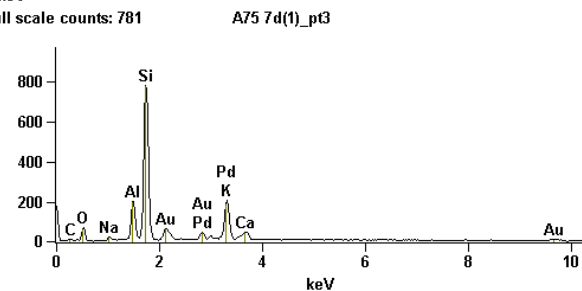
Full scale counts: 723



Full scale counts: 1307



Full scale counts: 781



Net Counts

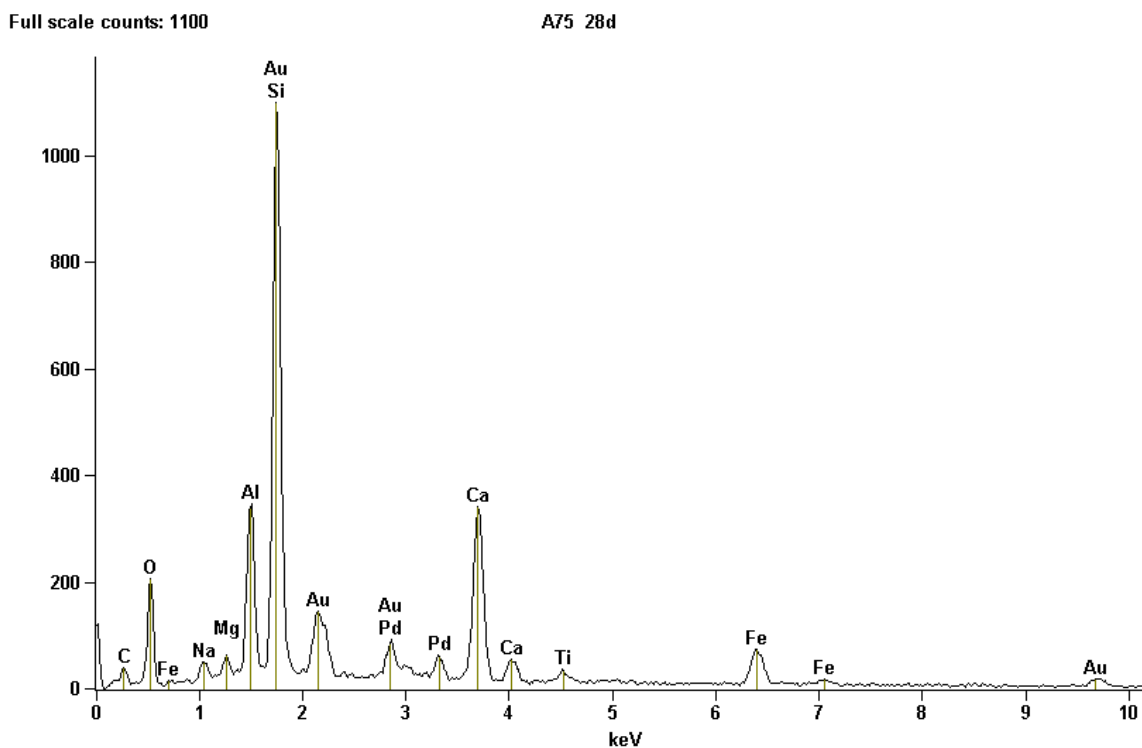
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75 7d(1)_pt1</i>	213	788	-	-	-	-	-	-	9701	6994	1057	360
<i>A75 7d(1)_pt2</i>	0	2914	-	1744	1363	10980	460	2280	-	4830	1143	216
<i>A75 7d(1)_pt3</i>	122	393	133	-	1462	6859	2050	395	-	-	575	211

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75 7d(1)_pt1</i>	11.42	21.18	-	-	-	-	-	-	26.73	29.28	3.14	8.25
<i>A75 7d(1)_pt2</i>	0.00	41.53	-	4.34	2.83	18.45	0.91	4.84	-	18.92	3.42	4.76
<i>A75 7d(1)_pt3</i>	23.16	23.32	1.22	-	5.09	21.58	9.37	2.02	-	-	3.94	10.30

	Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75 7d(1)_pt1</i>	27.73	38.62	-	-	-	-	-	-	16.28	15.29	0.86	1.22
<i>A75 7d(1)_pt2</i>	0.00	63.69	-	4.38	2.58	16.12	0.57	2.96	-	8.31	0.79	0.59
<i>A75 7d(1)_pt3</i>	40.38	30.52	1.11	-	3.95	16.09	5.02	1.06	-	-	0.77	1.10

EDS Traço Concreto C 75 - 28 dias



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results A75 28d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	0	0.00	0.00	0.00
<i>O</i>	1242	33.32	56.76	33.32
<i>Na</i>	342	2.16	2.57	2.16
<i>Mg</i>	269	0.77	0.86	0.77
<i>Al</i>	2462	5.82	5.88	5.82
<i>Si</i>	9180	19.03	18.47	19.03
<i>Ca</i>	4390	13.14	8.94	13.14
<i>Ti</i>	270	1.07	0.61	1.07
<i>Fe</i>	991	5.31	2.59	5.31
<i>Pd</i>	1288	5.43	1.39	5.43
<i>Au</i>	478	13.96	1.93	13.96
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

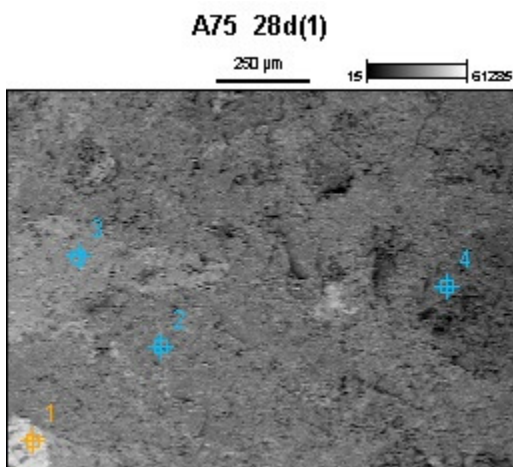
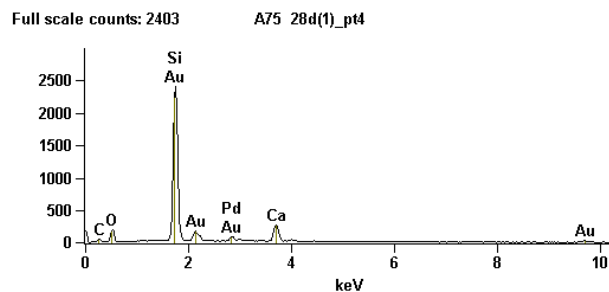
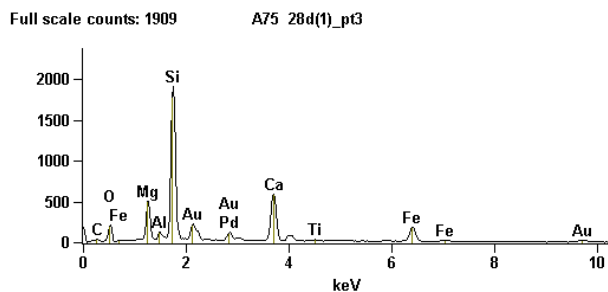
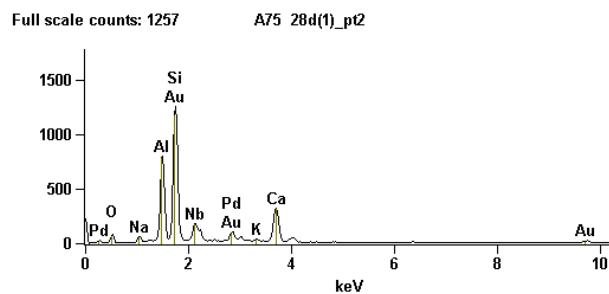
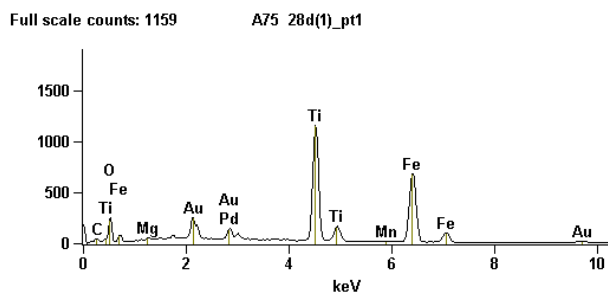


Image Name: A75 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 90



Weight % e Compound %

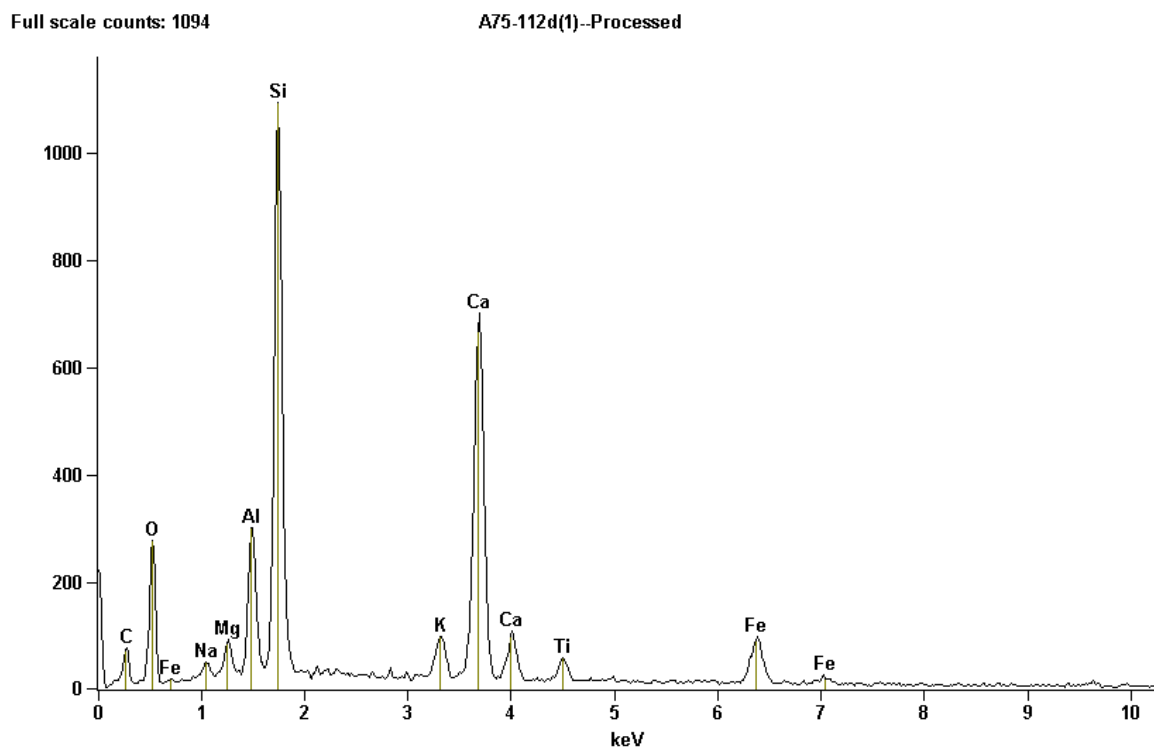
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Nb	Pd	Au
A75 28d(1)_pt1	0.00	28.02	-	0.51	-	-	-	-	28.00	0.36	29.32	-	3.86	9.93
A75 28d(1)_pt2	-	16.02	1.73	-	14.45	25.03	0.51	13.12	-	-	-	0.00	8.61	20.54
A75 28d(1)_pt3	15.50	25.79	-	5.61	0.65	18.13	-	12.03	0.63	-	8.21	-	4.08	9.37
A75 28d(1)_pt4	25.88	27.47	-	-	-	25.15	-	6.42	-	-	-	-	3.69	11.39

Atom %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Nb	Pd	Au
A75 28d(1)_pt1	0.00	58.87	-	0.71	-	-	-	-	19.65	0.22	17.65	-	1.22	1.69
A75 28d(1)_pt2	-	33.06	2.48	-	17.69	29.42	0.43	10.81	-	-	-	0.00	2.67	3.44
A75 28d(1)_pt3	29.68	37.06	-	5.31	0.55	14.84	-	6.90	0.30	-	3.38	-	0.88	1.09
A75 28d(1)_pt4	42.93	34.20	-	-	-	17.84	-	3.19	-	-	-	-	0.69	1.15

	Net Counts													
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Nb</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75 28d(1)_pt1</i>	0	1963	-	247	-	-	-	-	15559	139	10794	-	1992	670
<i>A75 28d(1)_pt2</i>	-	463	303	-	6358	10928	157	3813	-	-	-	0	1744	670
<i>A75 28d(1)_pt3</i>	273	1514	-	3638	470	16102	-	7346	287	-	2698	-	1798	556
<i>A75 28d(1)_pt4</i>	359	1261	-	-	-	20794	-	3115	-	-	-	-	1284	545

EDS Traço Concreto C 75 - 112 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A75-112d(1)--Processed				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	654	29.58	42.67	29.58
<i>O</i>	2117	37.77	40.90	37.77
<i>Na</i>	215	0.73	0.55	0.73
<i>Mg</i>	429	0.64	0.46	0.64
<i>Al</i>	2052	2.54	1.63	2.54
<i>Si</i>	9433	10.19	6.28	10.19
<i>K</i>	902	1.21	0.54	1.21
<i>Ca</i>	8399	12.68	5.48	12.68
<i>Ti</i>	410	0.87	0.32	0.87
<i>Fe</i>	1223	3.78	1.17	3.78
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

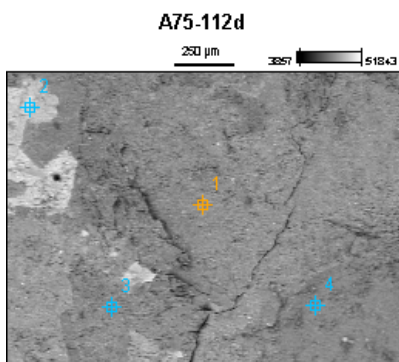
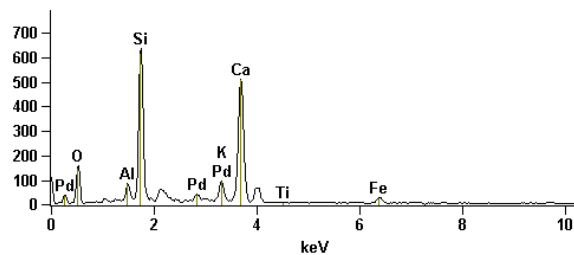


Image Name: A75-112d

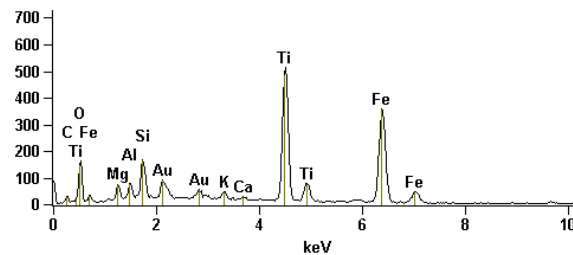
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 75

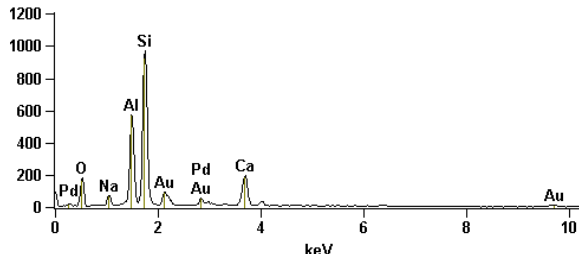
Full scale counts: 636 A75-112d_pt1



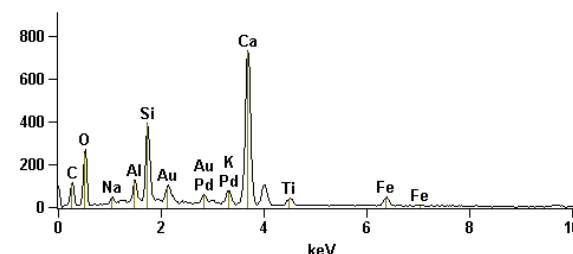
Full scale counts: 514 A75-112d_pt2



Full scale counts: 970 A75-112d_pt3



Full scale counts: 729 A75-112d_pt4



Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75-112d_pt1	-	1073	-	-	424	5326	834	6270	59	428	567	-
A75-112d_pt2	143	1027	-	447	484	1228	366	187	7118	5473	-	147
A75-112d_pt3	-	1100	496	-	4420	8433	-	2562	-	-	845	267
A75-112d_pt4	271	1671	197	-	652	2799	701	8889	475	569	761	279

Weight % e Compound %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75-112d_pt1	-	47.83	-	-	1.46	15.23	2.98	25.66	0.35	3.51	2.99	-
A75-112d_pt2	9.75	27.10	-	1.60	1.37	2.71	0.85	0.46	23.73	28.22	-	4.21
A75-112d_pt3	-	35.39	3.50	-	12.46	23.38	-	10.12	-	-	4.72	10.43
A75-112d_pt4	13.07	43.87	1.13	-	1.31	4.64	1.46	20.82	1.58	2.63	2.34	7.15

Atom %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75-112d_pt1	-	67.94	-	-	1.23	12.32	1.73	14.55	0.17	1.43	0.64	-
A75-112d_pt2	21.51	44.88	-	1.75	1.34	2.55	0.58	0.31	13.13	13.39	-	0.57
A75-112d_pt3	-	55.19	3.80	-	11.52	20.77	-	6.30	-	-	1.11	1.32
A75-112d_pt4	22.73	57.27	1.03	-	1.02	3.45	0.78	10.85	0.69	0.98	0.46	0.76

EDS Traço Concreto C 100 - 28 dias

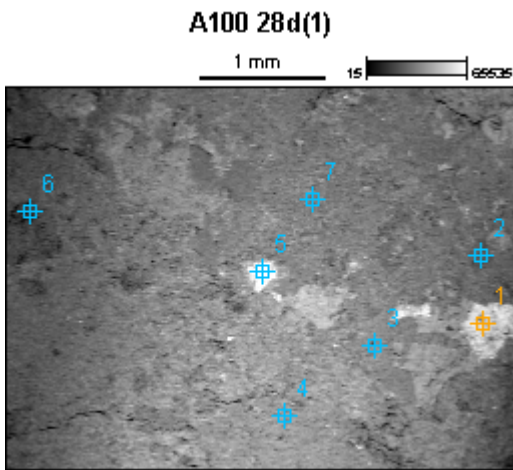
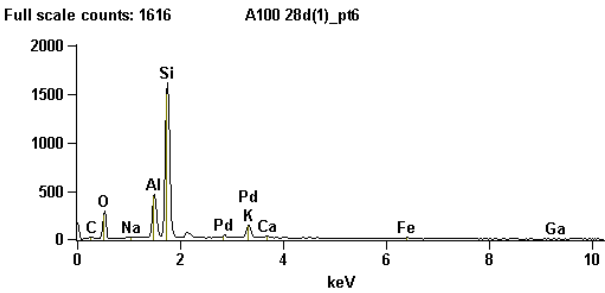
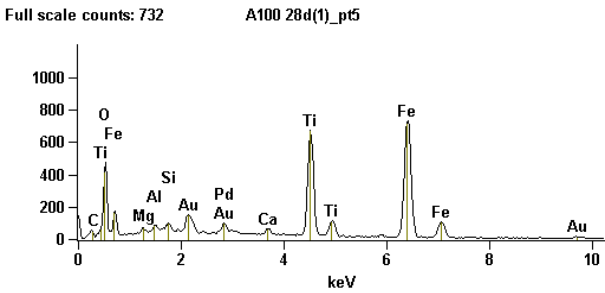
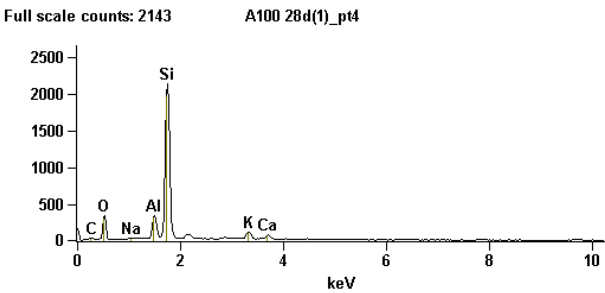
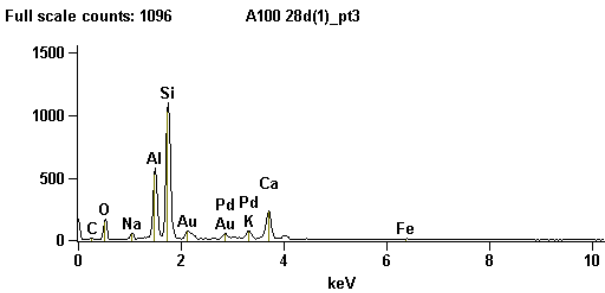
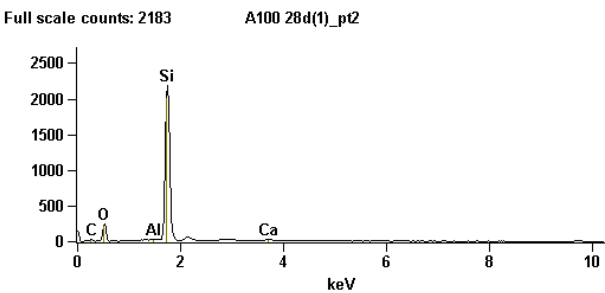
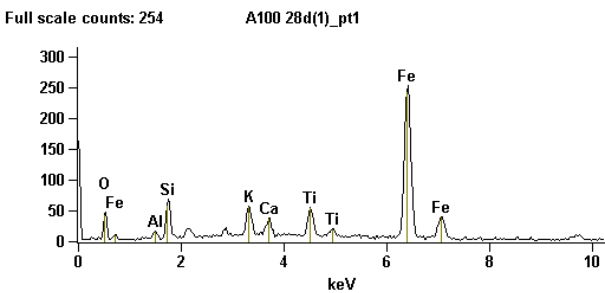
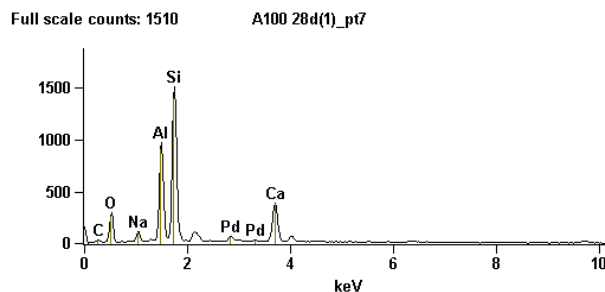


Image Name: A100 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 30





Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Ga</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100 28d(1)_pt1</i>	-	341	-	-	102	544	537	368	681	3794	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt2</i>	104	1491	-	-	42	19276	-	251	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt3</i>	121	1109	294	-	4425	9322	738	2497	-	113	-	796	237
<i>A100 28d(1)_pt4</i>	129	1995	196	-	2295	18541	1252	573	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt5</i>	0	3104	-	255	326	449	-	477	9068	11656	-	1073	353
<i>A100 28d(1)_pt6</i>	104	1783	156	-	3380	13946	1395	358	-	187	45	629	-
<i>A100 28d(1)_pt7</i>	0	1938	698	-	7322	12888	-	4674	-	-	-	997	-

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Ga</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100 28d(1)_pt1</i>	-	19.23	-	-	1.11	4.44	4.03	2.99	7.12	61.07	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt2</i>	18.74	41.31	-	-	0.10	38.99	-	0.86	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt3</i>	14.68	33.09	1.70	-	9.75	19.71	2.07	7.63	-	0.64	-	3.35	7.40
<i>A100 28d(1)_pt4</i>	16.41	42.75	0.95	-	4.22	31.13	3.03	1.51	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt5</i>	0.00	37.12	-	0.61	0.59	0.62	-	0.68	17.69	34.59	-	2.25	5.85
<i>A100 28d(1)_pt6</i>	13.97	41.87	0.86	-	7.07	27.30	3.71	1.04	-	1.03	0.67	2.49	-
<i>A100 28d(1)_pt7</i>	0.00	42.06	3.44	-	13.99	24.96	-	12.00	-	-	-	3.54	-

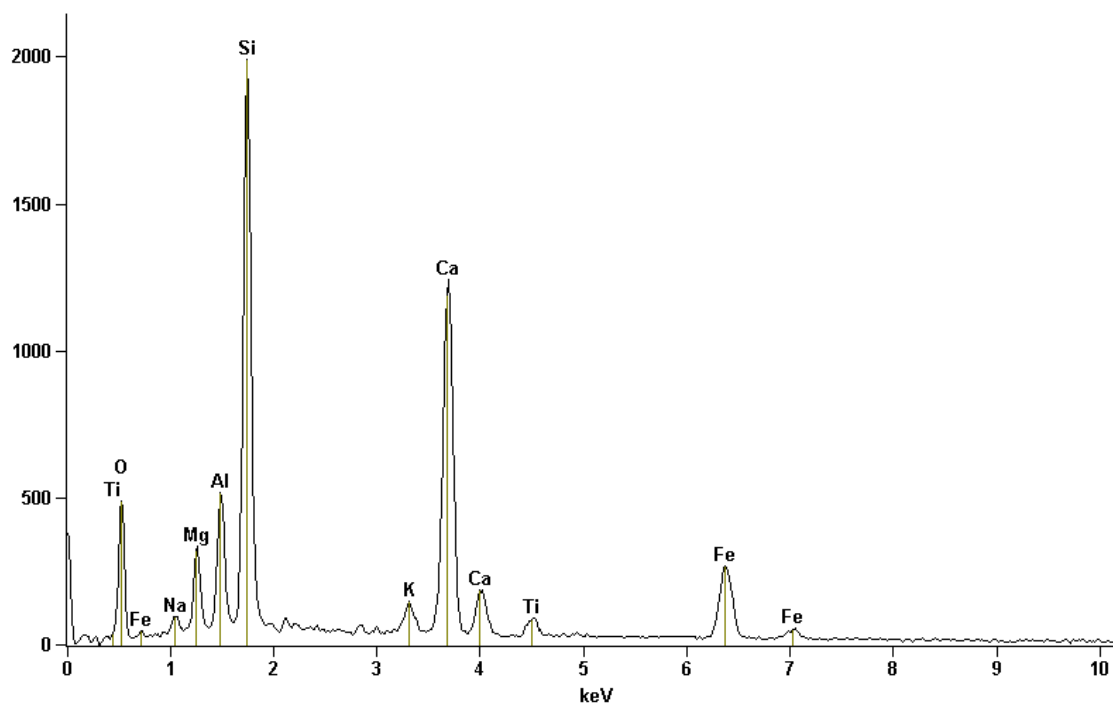
Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Ga</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100 28d(1)_pt1</i>	-	42.61	-	-	1.46	5.61	3.65	2.65	5.27	38.76	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt2</i>	28.08	46.48	-	-	0.06	24.99	-	0.39	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt3</i>	25.72	43.53	1.55	-	7.61	14.77	1.11	4.01	-	0.24	-	0.66	0.79
<i>A100 28d(1)_pt4</i>	25.03	48.94	0.76	-	2.87	20.30	1.42	0.69	-	-	-	-	-
<i>A100 28d(1)_pt5</i>	0.00	67.34	-	0.73	0.63	0.64	-	0.49	10.72	17.98	-	0.61	0.86
<i>A100 28d(1)_pt6</i>	22.26	50.10	0.71	-	5.01	18.61	1.82	0.50	-	0.35	0.18	0.45	-
<i>A100 28d(1)_pt7</i>	0.00	58.18	3.31	-	11.48	19.67	-	6.63	-	-	-	0.74	-

EDS Traço Concreto C 100 - 112 dias

Full scale counts: 1990

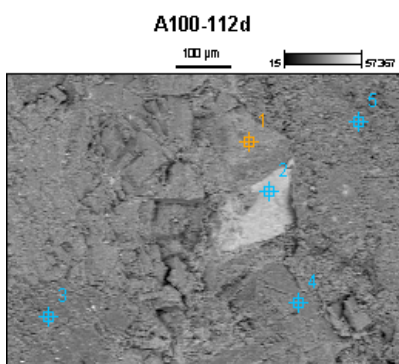
A100-112d(1)--Processed



Live Time: 50.0 sec.

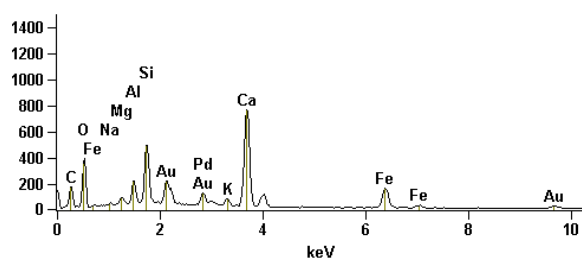
Quantitative Results A100-112d(1)--Processed

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>O</i>	3176	41.27	60.56	41.27
<i>Na</i>	450	1.50	1.53	1.50
<i>Mg</i>	1816	2.62	2.53	2.62
<i>Al</i>	3069	3.69	3.21	3.69
<i>Si</i>	16555	17.01	14.22	17.01
<i>K</i>	1217	1.44	0.86	1.44
<i>Ca</i>	15230	20.08	11.76	20.08
<i>Ti</i>	819	1.53	0.75	1.53
<i>Fe</i>	4094	10.85	4.56	10.85
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00



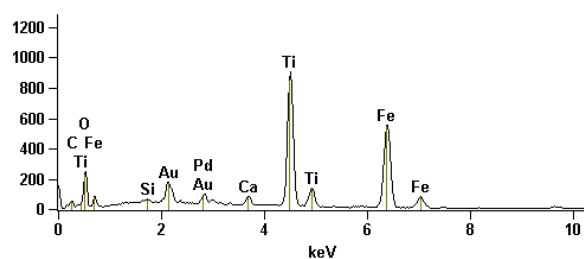
Full scale counts: 764

A100-112d_pt1



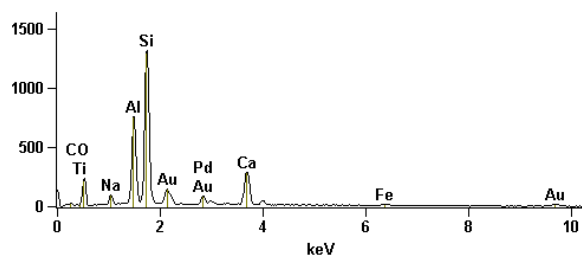
Full scale counts: 905

A100-112d_pt2



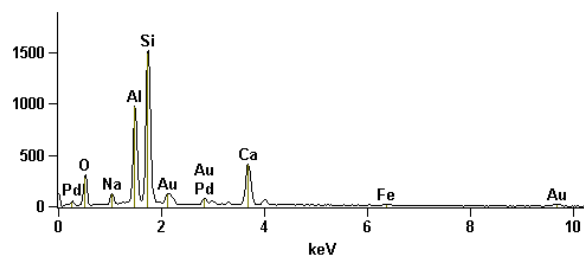
Full scale counts: 1313

A100-112d_pt3



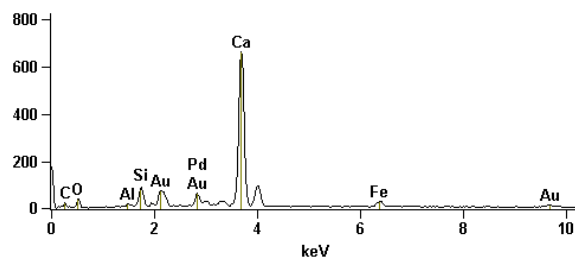
Full scale counts: 1515

A100-112d_pt4



Full scale counts: 663

A100-112d_pt5



Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A100-112d_pt1	233	2248	115	514	1372	3889	681	9251	-	2387	1686	547
A100-112d_pt2	753	1659	-	-	-	212	-	703	12218	8868	1219	229
A100-112d_pt3	0	1525	469	-	5942	11137	-	3435	13	211	1213	315
A100-112d_pt4	-	1918	697	-	7217	13011	-	5022	-	252	1216	501
A100-112d_pt5	162	261	-	-	110	619	-	8378	-	376	896	309

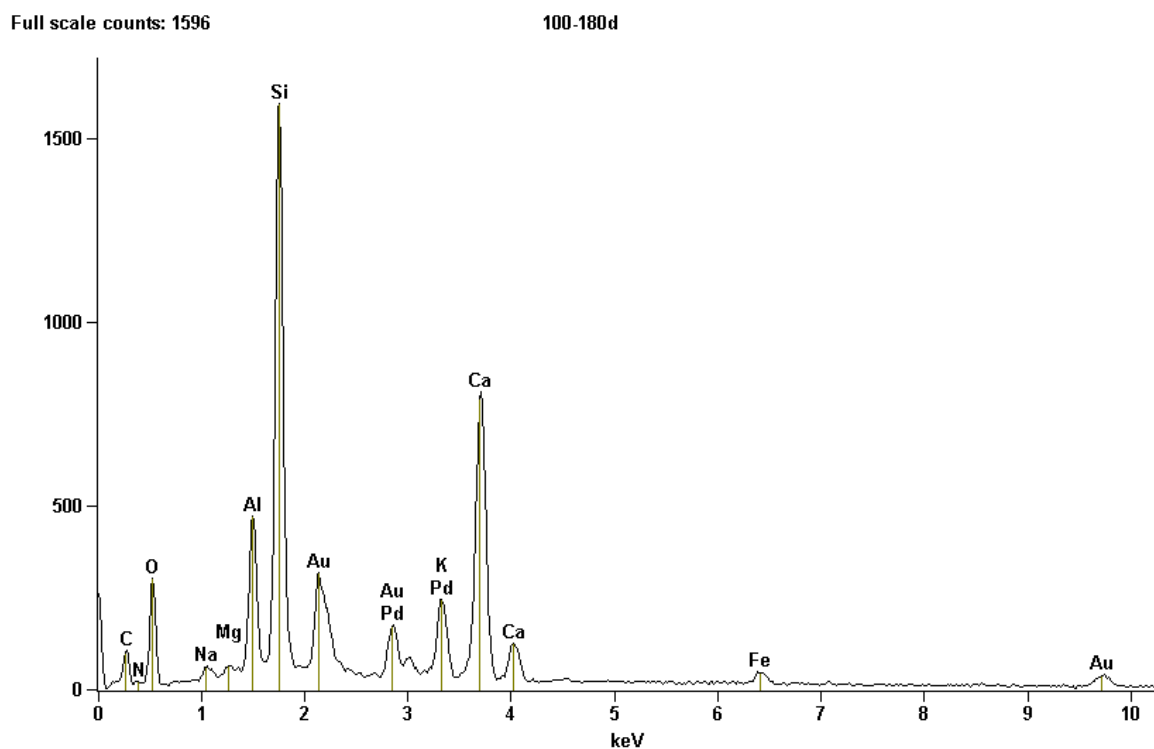
Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100-112d_pt1</i>	9.85	40.34	0.53	1.02	2.21	5.14	1.13	16.93	-	8.27	4.13	10.46
<i>A100-112d_pt2</i>	21.04	26.10	-	-	-	0.24	-	0.92	21.68	24.33	2.20	3.50
<i>A100-112d_pt3</i>	0.00	36.38	2.55	-	12.54	23.12	-	10.06	0.05	1.12	4.99	9.19
<i>A100-112d_pt4</i>	-	36.19	2.98	-	12.02	21.07	-	11.44	-	1.03	3.93	11.34
<i>A100-112d_pt5</i>	13.47	19.81	-	-	0.44	2.02	-	40.08	-	3.44	5.66	15.08

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100-112d_pt1</i>	18.79	57.80	0.53	0.96	1.88	4.20	0.66	9.68	-	3.39	0.89	1.22
<i>A100-112d_pt2</i>	40.36	37.58	-	-	-	0.19	-	0.53	10.42	10.04	0.48	0.41
<i>A100-112d_pt3</i>	0.00	56.31	2.74	-	11.51	20.38	-	6.21	0.03	0.50	1.16	1.16
<i>A100-112d_pt4</i>	-	56.75	3.25	-	11.18	18.82	-	7.16	-	0.46	0.93	1.44
<i>A100-112d_pt5</i>	30.81	34.03	-	-	0.45	1.98	-	27.48	-	1.69	1.46	2.10

EDS Traço Concreto C 100 - 180 dias



Quantitative Results 100-180d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	693	23.11	40.95	23.11
<i>N</i>	0	0.00	0.00	0.00
<i>O</i>	1826	27.67	36.80	27.67
<i>Na</i>	289	0.75	0.70	0.75
<i>Mg</i>	59	0.07	0.06	0.07
<i>Al</i>	3094	2.93	2.31	2.93
<i>Si</i>	13544	10.96	8.30	10.96
<i>K</i>	2553	2.86	1.56	2.86
<i>Ca</i>	9904	12.24	6.50	12.24
<i>Fe</i>	517	1.15	0.44	1.15
<i>Pd</i>	2717	4.55	0.91	4.55
<i>Au</i>	1121	13.70	1.48	13.70
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

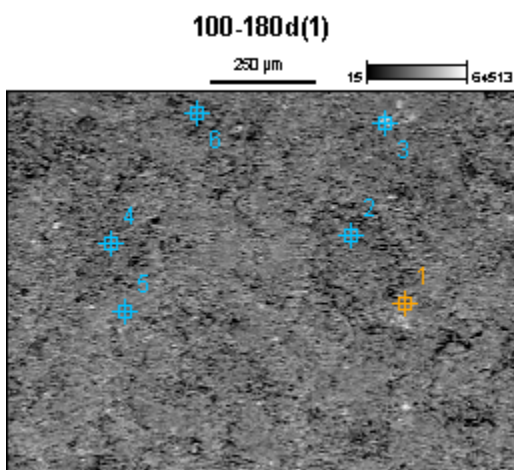
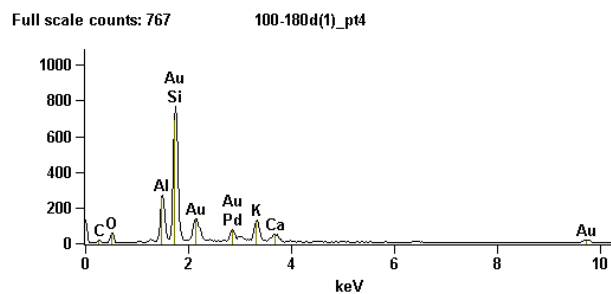
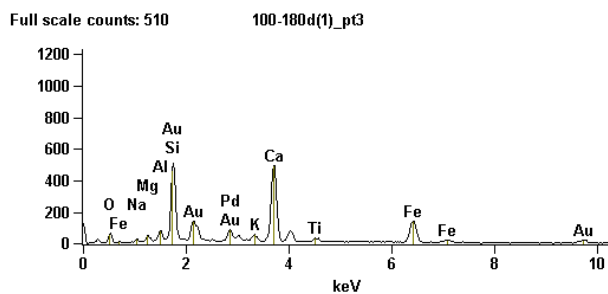
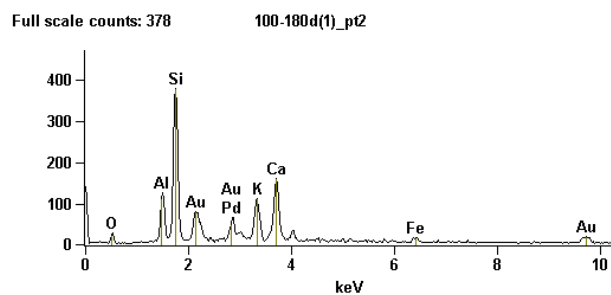
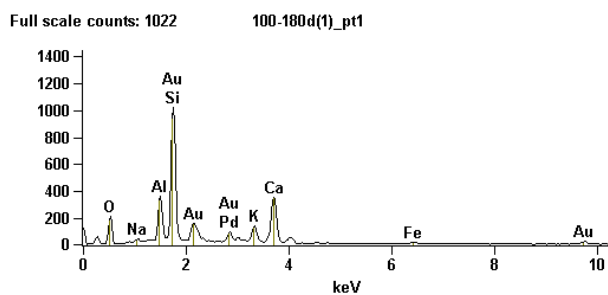


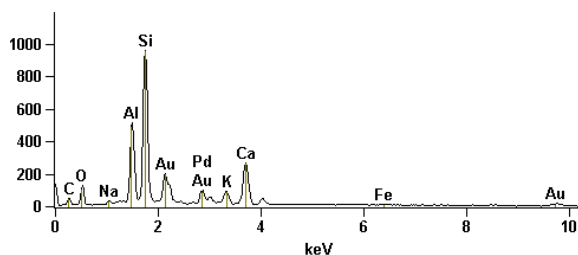
Image Name: 100-180d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

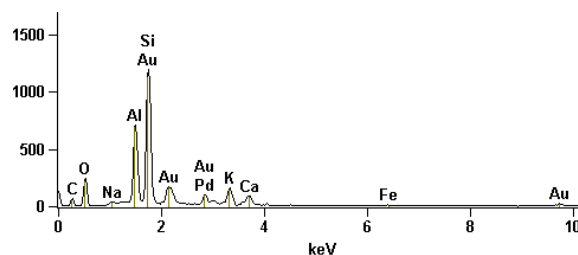
Magnification: 100



Full scale counts: 957 100-180d(1)_pt5



Full scale counts: 1196 100-180d(1)_pt6



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100-180d(1)_pt1</i>	-	1351	194	-	2459	8659	1385	4179	-	239	1152	549
<i>100-180d(1)_pt2</i>	-	166	-	-	850	3222	1161	1662	-	160	803	511
<i>100-180d(1)_pt3</i>	-	491	149	330	438	4077	540	6150	402	2118	1297	613
<i>100-180d(1)_pt4</i>	111	380	-	-	2080	6738	1385	602	-	-	1127	599
<i>100-180d(1)_pt5</i>	300	795	100	-	3907	8183	990	3124	-	217	1222	540
<i>100-180d(1)_pt6</i>	398	1544	216	-	5532	10415	1628	881	-	202	1268	654

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100-180d(1)_pt1</i>	-	38.17	1.23	-	5.61	17.32	3.77	12.45	-	1.24	4.77	15.45
<i>100-180d(1)_pt2</i>	-	14.61	-	-	4.74	15.48	8.40	13.23	-	1.97	8.95	32.61
<i>100-180d(1)_pt3</i>	-	20.46	1.35	1.30	1.39	10.31	1.76	21.83	1.90	13.08	6.45	20.17
<i>100-180d(1)_pt4</i>	16.82	18.44	-	-	6.37	18.71	5.84	2.77	-	-	7.23	23.82
<i>100-180d(1)_pt5</i>	24.93	23.98	0.50	-	7.26	14.02	2.34	8.03	-	0.99	4.34	13.61
<i>100-180d(1)_pt6</i>	25.69	30.55	0.82	-	7.81	13.69	2.93	1.72	-	0.70	3.43	12.67

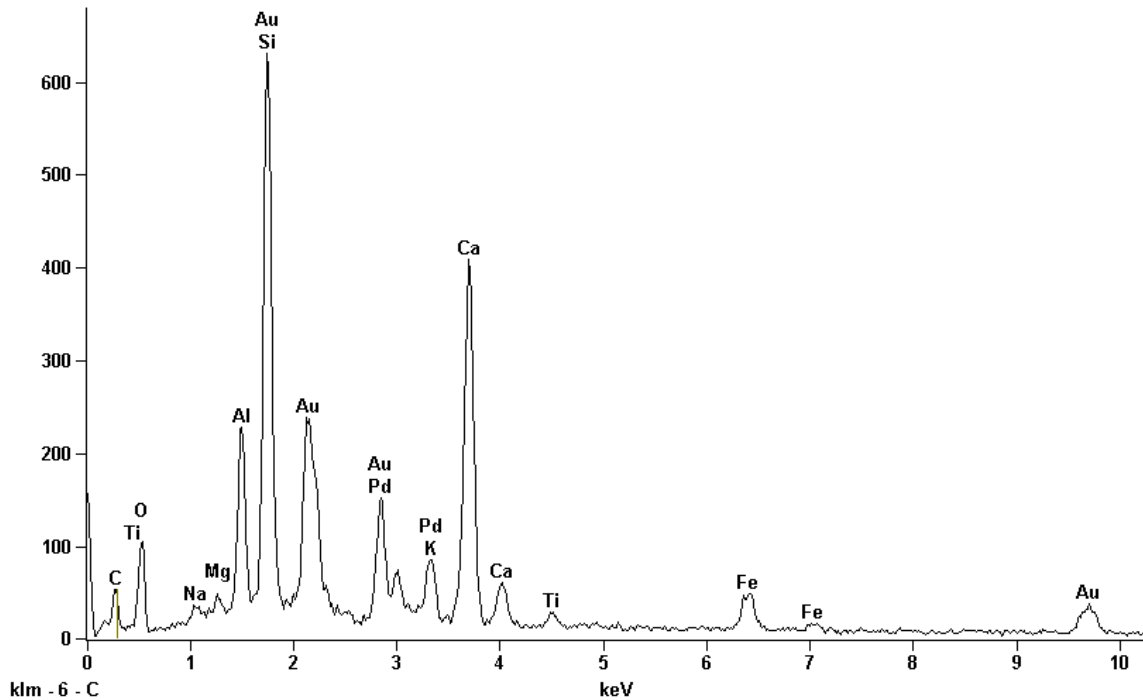
Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100-180d(1)_pt1</i>	-	62.51	1.40	-	5.45	16.16	2.53	8.14	-	0.58	1.17	2.06
<i>100-180d(1)_pt2</i>	-	36.97	-	-	7.12	22.32	8.70	13.37	-	1.42	3.41	6.70
<i>100-180d(1)_pt3</i>	-	45.09	2.07	1.89	1.82	12.94	1.59	19.20	1.40	8.26	2.14	3.61
<i>100-180d(1)_pt4</i>	36.26	29.83	-	-	6.11	17.25	3.87	1.79	-	-	1.76	3.13
<i>100-180d(1)_pt5</i>	43.68	31.53	0.46	-	5.67	10.50	1.26	4.22	-	0.37	0.86	1.45
<i>100-180d(1)_pt6</i>	42.04	37.53	0.70	-	5.69	9.58	1.47	0.85	-	0.25	0.63	1.26

EDS Traço Concreto C 100 - 365 dias

Full scale counts: 631

100-365d



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results		100-365d		
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	330	19.97	40.65	19.97
<i>O</i>	783	22.46	34.33	22.46
<i>Na</i>	128	0.67	0.71	0.67
<i>Mg</i>	83	0.19	0.19	0.19
<i>Al</i>	1447	2.75	2.49	2.75
<i>Si</i>	5547	8.90	7.75	8.90
<i>K</i>	696	1.60	1.00	1.60
<i>Ca</i>	4547	11.36	6.93	11.36
<i>Ti</i>	202	0.66	0.33	0.66
<i>Fe</i>	619	2.66	1.17	2.66
<i>Pd</i>	2415	8.24	1.89	8.24
<i>Au</i>	883	20.55	2.55	20.55
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

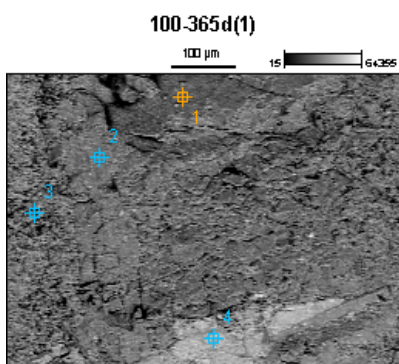


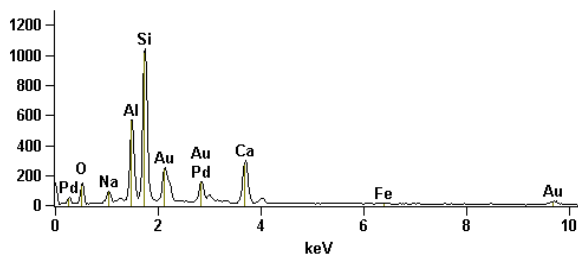
Image Name: 100-365d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 200

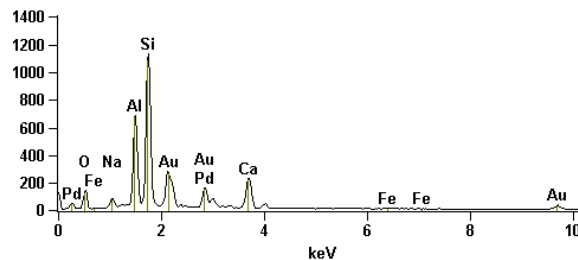
Full scale counts: 1040

100-365d(1)_pt1



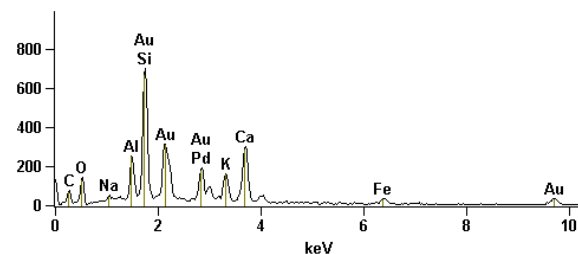
Full scale counts: 1134

100-365d(1)_pt2



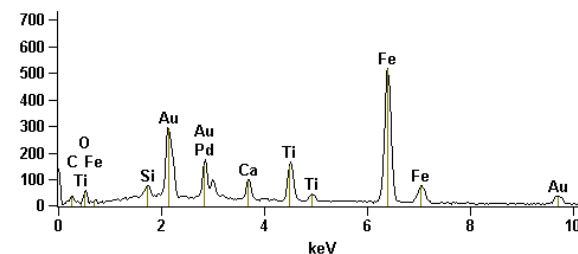
Full scale counts: 700

100-365d(1)_pt3



Full scale counts: 516

100-365d(1)_pt4



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
100-365d(1)_pt1	-	873	525	4265	8932	-	3572	-	272	2424	719
100-365d(1)_pt2	-	901	470	5286	9702	-	2882	-	135	2537	858
100-365d(1)_pt3	470	849	187	1532	6044	1633	3584	-	497	2824	747
100-365d(1)_pt4	235	399	-	-	466	-	855	2163	7758	2190	990

Weight % e Compound %

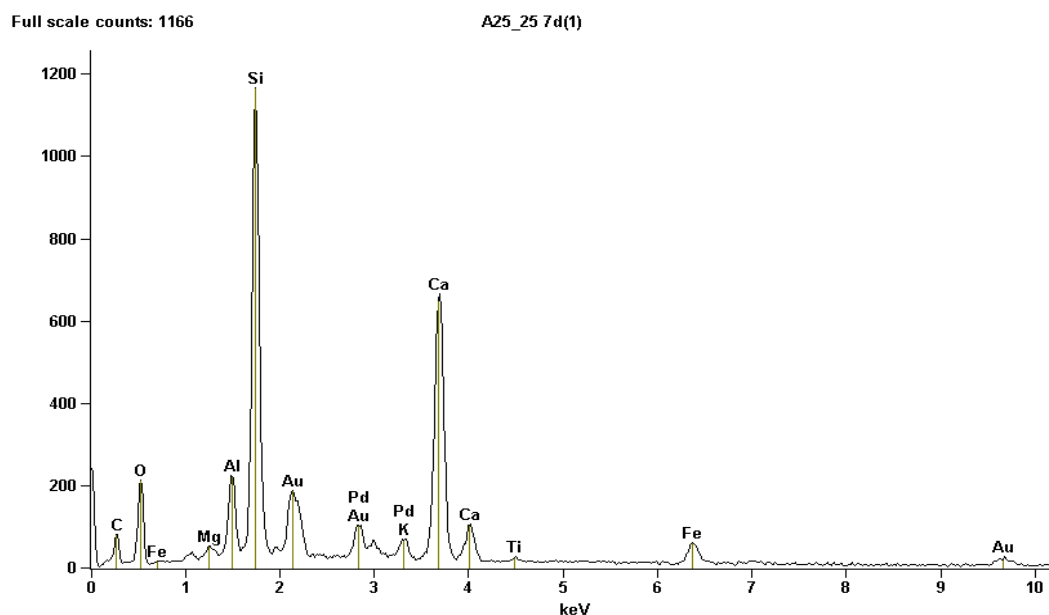
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
100-365d(1)_pt1	-	25.51	3.09	9.66	18.71	-	11.10	-	1.41	10.58	19.95
100-365d(1)_pt2	-	24.40	2.56	11.16	19.40	-	8.62	-	0.66	10.77	22.43
100-365d(1)_pt3	25.45	23.07	0.88	2.66	8.92	3.44	8.34	-	2.01	8.72	16.51
100-365d(1)_pt4	13.96	9.82	-	-	0.93	-	2.21	6.93	34.29	8.08	23.78

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
100-365d(1)_pt1	-	48.97	4.12	11.00	20.46	-	8.50	-	0.77	3.05	3.11
100-365d(1)_pt2	-	47.92	3.50	12.99	21.71	-	6.76	-	0.37	3.18	3.58
100-365d(1)_pt3	46.95	31.95	0.85	2.19	7.04	1.95	4.61	-	0.80	1.82	1.86
100-365d(1)_pt4	41.22	21.77	-	-	1.18	-	1.96	5.13	21.78	2.69	4.28

APÊNDICE C – Ensaios EDS – Concreto com Agregados de Porcelana Miúdo e Graúdo

EDS Traço Concreto C 25,25 - 7 dias



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A25_25 7d(1)

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	561	23.93	40.24	23.93
<i>O</i>	1664	32.16	40.59	32.16
<i>Mg</i>	189	0.30	0.25	0.30
<i>Al</i>	1388	1.79	1.34	1.79
<i>Si</i>	9844	10.64	7.65	10.64
<i>K</i>	509	0.75	0.39	0.75
<i>Ca</i>	8282	13.36	6.73	13.36
<i>Ti</i>	129	0.28	0.12	0.28
<i>Fe</i>	866	2.62	0.95	2.62
<i>Pd</i>	1506	3.31	0.63	3.31
<i>Au</i>	650	10.87	1.11	10.87
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

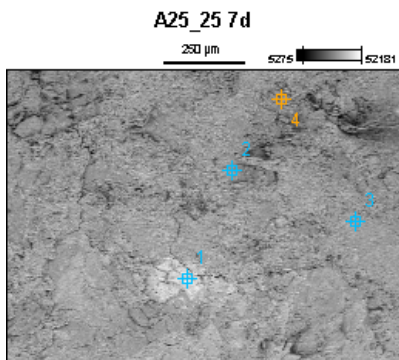


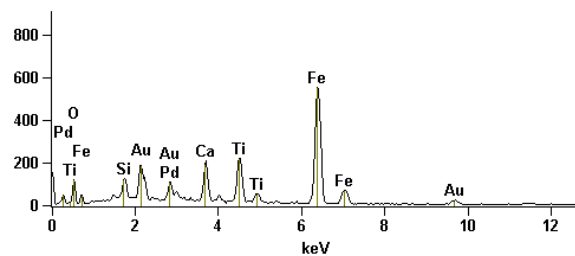
Image Name: A25_25 7d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

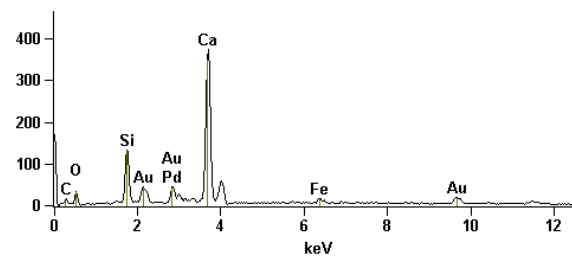
Full scale counts: 554

A25_25 7d_pt1



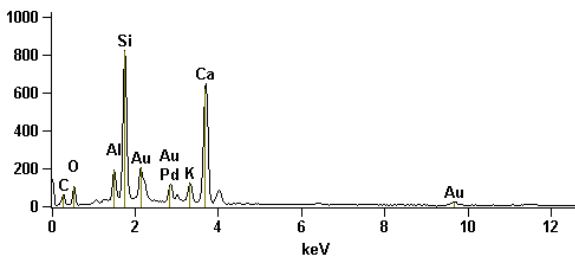
Full scale counts: 373

A25_25 7d_pt2



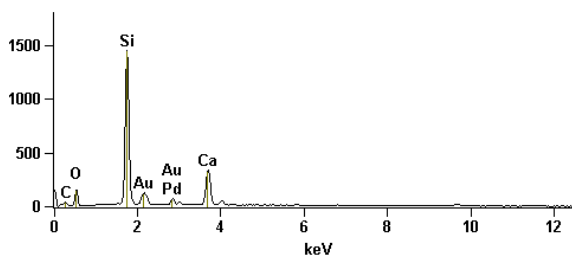
Full scale counts: 824

A25_25 7d_pt3



Full scale counts: 1448

A25_25 7d_pt4



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 7d_pt1</i>	-	954	-	948	-	2290	2998	8816	1586	563
<i>A25_25 7d_pt2</i>	113	232	-	1165	-	4765	-	155	723	490
<i>A25_25 7d_pt3</i>	524	513	1019	7100	1185	7921	-	-	1569	620
<i>A25_25 7d_pt4</i>	249	1018	-	12831	-	3950	-	-	1178	323

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 7d_pt1</i>	-	21.26	-	2.10	-	5.85	9.78	40.92	5.76	14.33
<i>A25_25 7d_pt2</i>	13.75	19.14	-	4.45	-	28.28	-	1.61	6.01	26.77
<i>A25_25 7d_pt3</i>	29.71	17.70	1.77	10.47	2.50	18.53	-	-	4.93	14.39
<i>A25_25 7d_pt4</i>	22.75	31.80	-	21.40	-	10.70	-	-	4.39	8.96

	Atom %									
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 7d_pt1</i>	-	50.85	-	2.86	-	5.58	7.82	28.04	2.07	2.78
<i>A25_25 7d_pt2</i>	33.40	34.92	-	4.63	-	20.60	-	0.84	1.65	3.97
<i>A25_25 7d_pt3</i>	53.04	23.72	1.41	7.99	1.37	9.91	-	-	0.99	1.57
<i>A25_25 7d_pt4</i>	37.90	39.77	-	15.25	-	5.34	-	-	0.82	0.91

EDS Traço Concreto C 25,25 - 28 dias

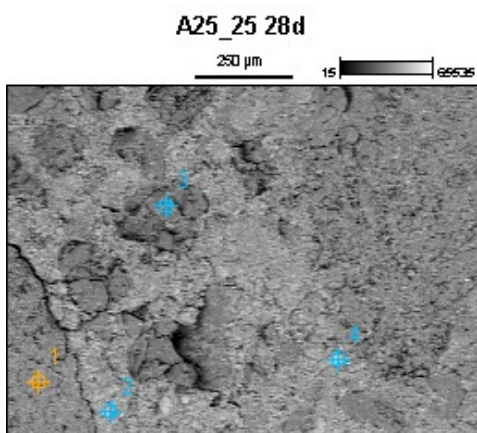


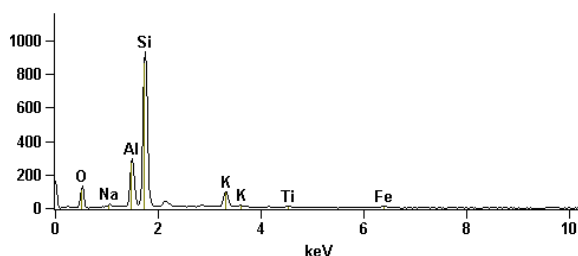
Image Name: A25_25 28d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

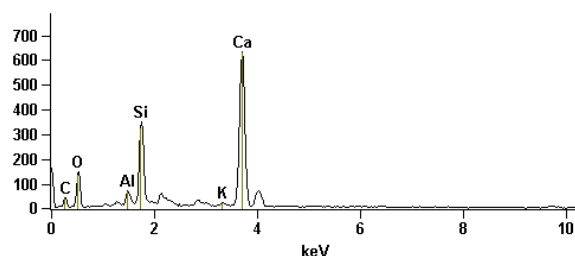
Full scale counts: 931

A25_25 28d_pt1



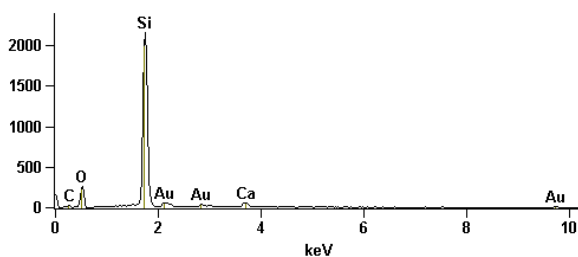
Full scale counts: 634

A25_25 28d_pt2



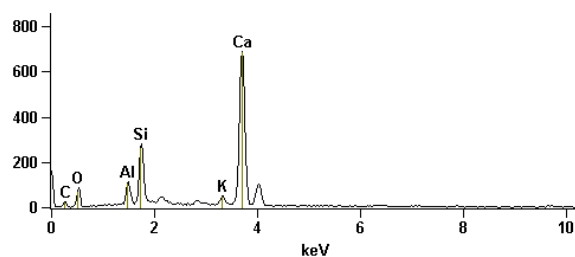
Full scale counts: 2154

A25_25 28d_pt3



Full scale counts: 688

A25_25 28d_pt4



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 28d_pt1</i>	-	846	116	2254	8115	1033	-	89	158	-
<i>A25_25 28d_pt2</i>	276	961	-	332	2887	194	7572	-	-	-
<i>A25_25 28d_pt3</i>	132	1664	-	-	18888	-	593	-	-	158
<i>A25_25 28d_pt4</i>	187	544	-	744	2286	403	8640	-	-	-

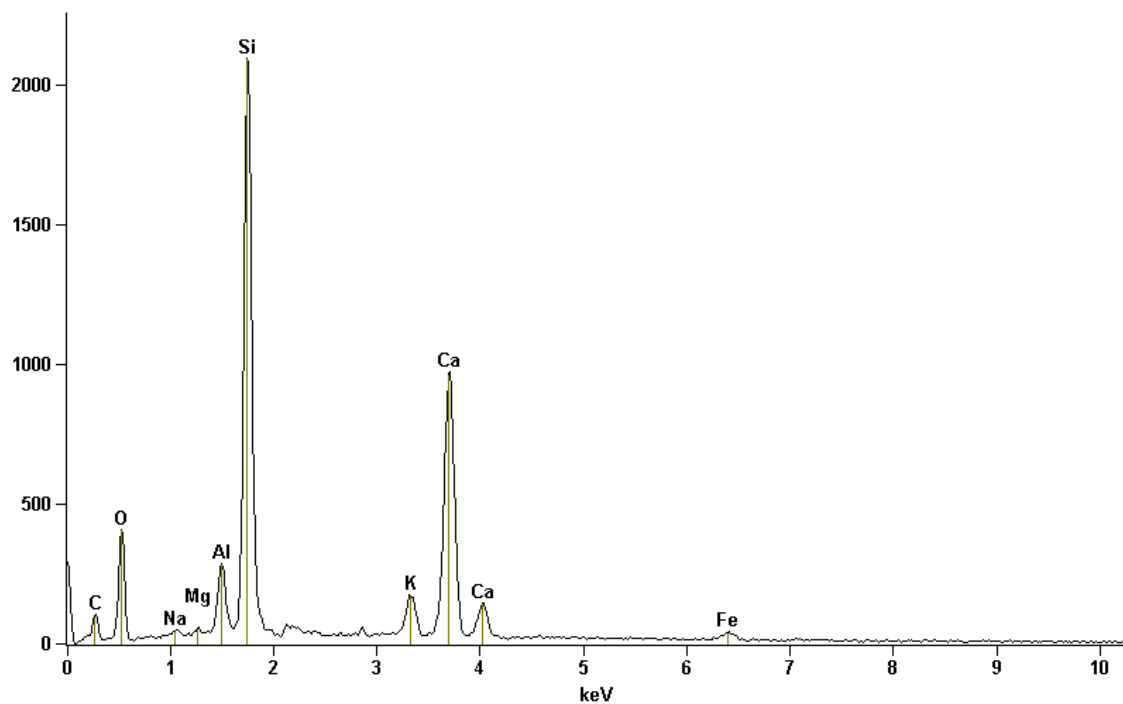
Weight % e Compound %										
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 28d_pt1</i>	-	41.56	1.43	10.47	37.39	6.42	-	0.78	1.95	-
<i>A25_25 28d_pt2</i>	20.99	45.43	-	0.97	6.95	0.55	25.10	-	-	-
<i>A25_25 28d_pt3</i>	18.71	41.59	-	-	33.13	-	1.73	-	-	4.84
<i>A25_25 28d_pt4</i>	17.83	37.02	-	2.61	6.74	1.36	34.45	-	-	-

Atom %										
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>A25_25 28d_pt1</i>	-	56.53	1.36	8.45	28.98	3.57	-	0.35	0.76	-
<i>A25_25 28d_pt2</i>	31.71	51.52	-	0.65	4.49	0.26	11.36	-	-	-
<i>A25_25 28d_pt3</i>	28.82	48.10	-	-	21.83	-	0.80	-	-	0.45
<i>A25_25 28d_pt4</i>	29.51	46.01	-	1.92	4.77	0.69	17.09	-	-	-

EDS Traço Concreto C 25,25 - 112 dias

Full scale counts: 2096

A2525_112d--Processed



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A2525_112d--Processed

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	423	21.72	33.26	21.72
<i>O</i>	2322	39.23	45.09	39.23
<i>Na</i>	198	0.60	0.48	0.60
<i>Mg</i>	94	0.12	0.09	0.12
<i>Al</i>	1681	1.81	1.24	1.81
<i>Si</i>	17854	16.66	10.91	16.66
<i>K</i>	1662	1.99	0.93	1.99
<i>Ca</i>	12096	16.29	7.47	16.29
<i>Fe</i>	584	1.59	0.52	1.59
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

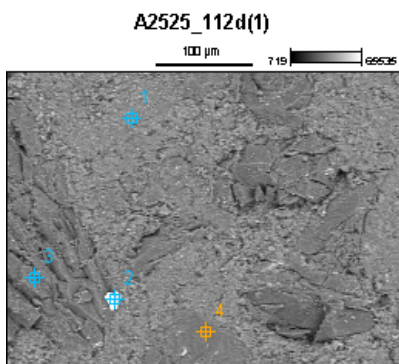
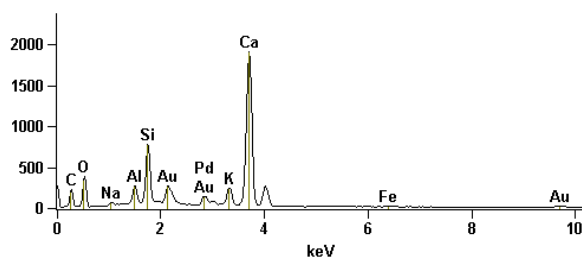


Image Name: A2525_112d(1)

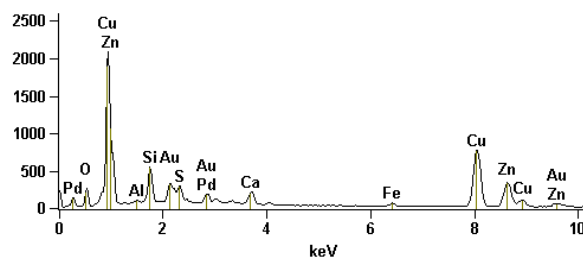
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 300

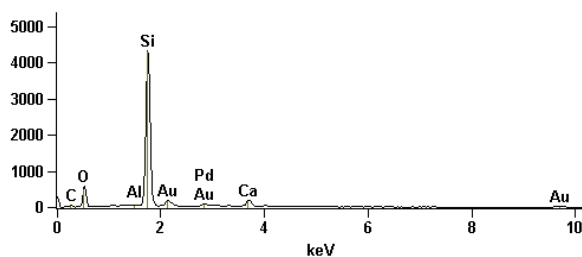
Full scale counts: 1909 A2525_112d(1)_pt1



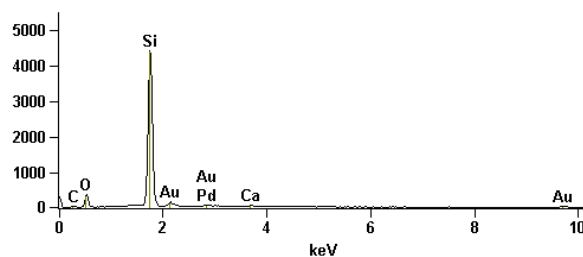
Full scale counts: 2086 A2525_112d(1)_pt2



Full scale counts: 4321 A2525_112d(1)_pt3



Full scale counts: 4402 A2525_112d(1)_pt4



Net Counts											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A2525_112d(1)_pt2</i>	-	1239	327	4176	2508	2505	700	13284	5989	2144	848
<i>A2525_112d(1)_pt3</i>	300	3583	0	37861	-	2459	-	-	-	1522	547
<i>A2525_112d(1)_pt4</i>	225	2177	-	38838	-	417	-	-	-	1175	351

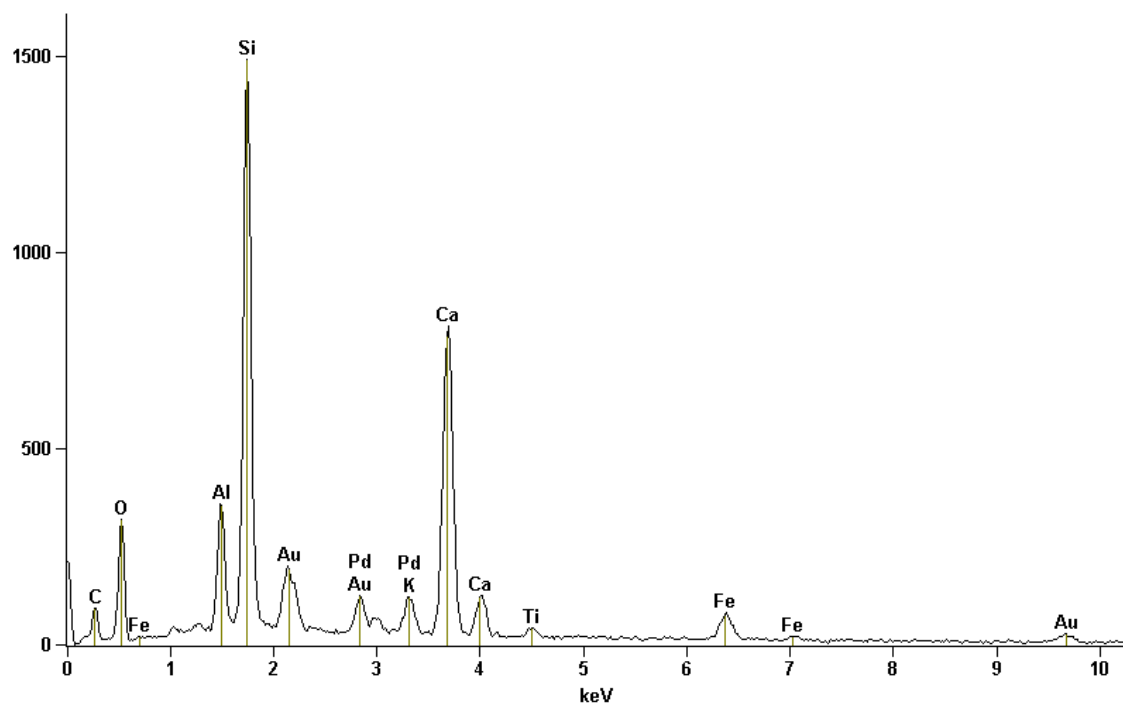
Weight % e Compound %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A2525_112d(1)_pt2</i>	-	10.31	0.55	5.11	3.23	2.85	1.24	40.25	23.40	3.66	9.39
<i>A2525_112d(1)_pt3</i>	16.50	40.36	0.00	29.75	-	3.22	-	-	-	2.81	7.37
<i>A2525_112d(1)_pt4</i>	18.94	33.27	-	38.06	-	0.71	-	-	-	2.88	6.15

Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A2525_112d(1)_pt2</i>	-	30.49	0.97	8.61	4.77	3.36	1.05	29.95	16.92	1.63	2.26
<i>A2525_112d(1)_pt3</i>	26.93	49.47	0.00	20.77	-	1.57	-	-	-	0.52	0.73
<i>A2525_112d(1)_pt4</i>	31.00	40.87	-	26.64	-	0.35	-	-	-	0.53	0.61

EDS Traço Concreto C 50,50 - 7 dias

Full scale counts: 1492

A50_50 7b



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A50_50 7b				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	742	25.68	41.33	25.68
<i>O</i>	2064	33.08	39.97	33.08
<i>Al</i>	2212	2.32	1.66	2.32
<i>Si</i>	12320	10.99	7.57	10.99
<i>K</i>	1186	1.42	0.70	1.42
<i>Ca</i>	10034	13.30	6.41	13.30
<i>Ti</i>	328	0.60	0.24	0.60
<i>Fe</i>	1007	2.56	0.89	2.56
<i>Pd</i>	1654	2.93	0.53	2.93
<i>Au</i>	503	7.13	0.70	7.13
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

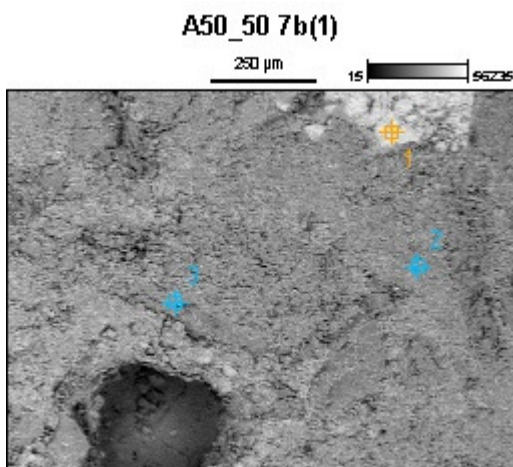


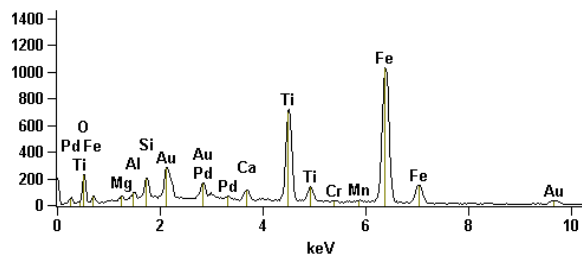
Image Name: A50_50 7b(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

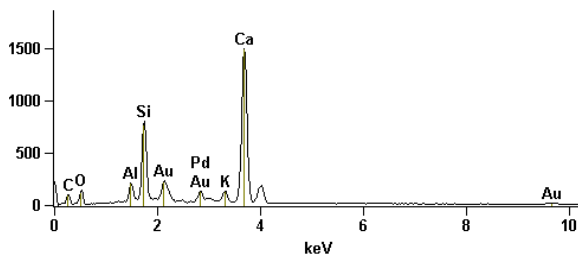
Full scale counts: 1031

A50_50 7b(1)_pt1



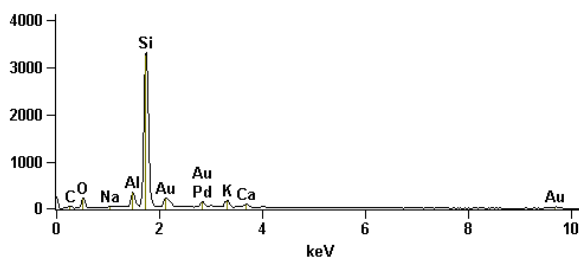
Full scale counts: 1500

A50_50 7b(1)_pt2



Full scale counts: 3302

A50_50 7b(1)_pt3



Net Counts

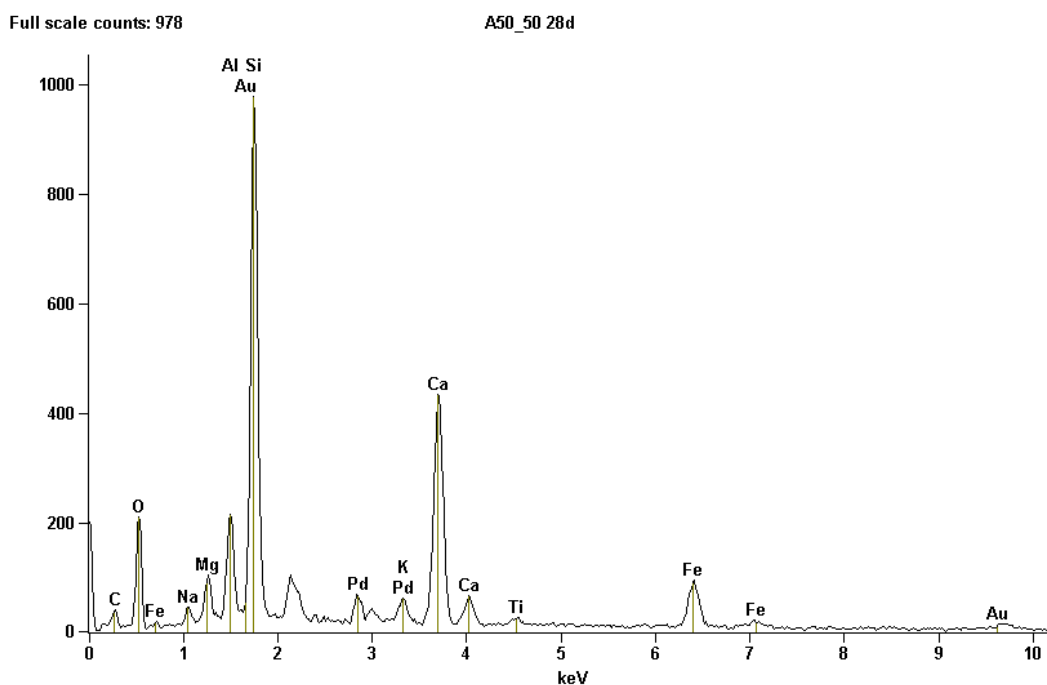
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Pd	Au
A50_50 7b(1)_pt1	-	1817	-	319	533	1298	-	1146	9610	113	178	16773	2420	834
A50_50 7b(1)_pt2	731	902	-	-	1293	6556	1092	17741	-	-	-	-	1763	460
A50_50 7b(1)_pt3	319	1462	175	-	2075	28870	1710	785	-	-	-	-	1876	642

Weight % e Compound %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Pd	Au
A50_50 7b(1)_pt1	-	20.91	-	0.66	0.84	1.55	-	1.51	16.22	0.21	0.42	41.71	4.56	11.42
A50_50 7b(1)_pt2	25.30	23.69	-	-	1.68	7.14	1.56	28.90	-	-	-	-	3.74	8.00
A50_50 7b(1)_pt3	22.53	25.55	0.52	-	2.39	29.40	2.76	1.37	-	-	-	-	4.55	10.93

	Atom %													
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50_50 7b(1)_pt1</i>	-	49.20	-	1.02	1.17	2.07	-	1.42	12.75	0.15	0.29	28.12	1.61	2.18
<i>A50_50 7b(1)_pt2</i>	44.44	31.23	-	-	1.31	5.37	0.84	15.21	-	-	-	-	0.74	0.86
<i>A50_50 7b(1)_pt3</i>	38.80	33.04	0.47	-	1.84	21.65	1.46	0.71	-	-	-	-	0.89	1.15

EDS Traço Concreto C 50,50 - 28 dias



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results A50_50 28d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	276	18.62	31.27	18.62
<i>O</i>	1589	36.81	46.42	36.81
<i>Na</i>	190	0.96	0.84	0.96
<i>Mg</i>	575	1.27	1.05	1.27
<i>Al</i>	1484	2.69	2.01	2.69
<i>Si</i>	8207	12.47	8.96	12.47
<i>K</i>	556	1.08	0.56	1.08
<i>Ca</i>	5341	11.37	5.72	11.37
<i>Ti</i>	176	0.51	0.21	0.51
<i>Fe</i>	1241	5.02	1.81	5.02
<i>Pd</i>	742	2.16	0.41	2.16
<i>Au</i>	312	7.03	0.72	7.03
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

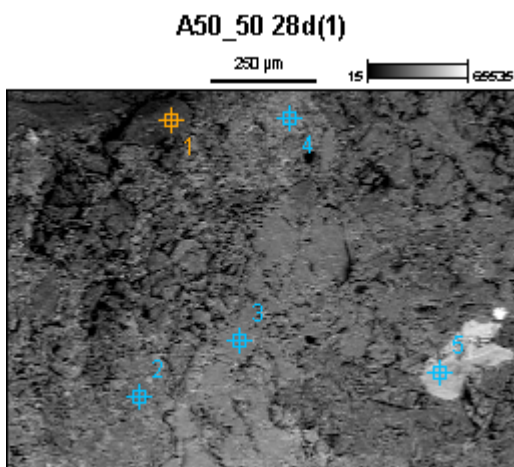
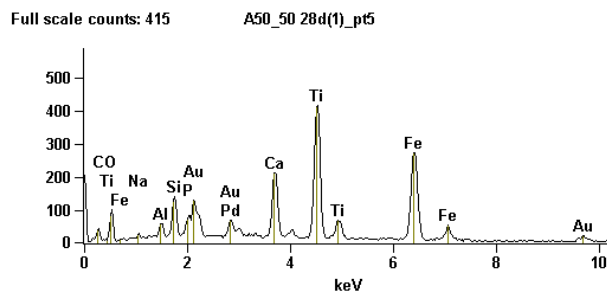
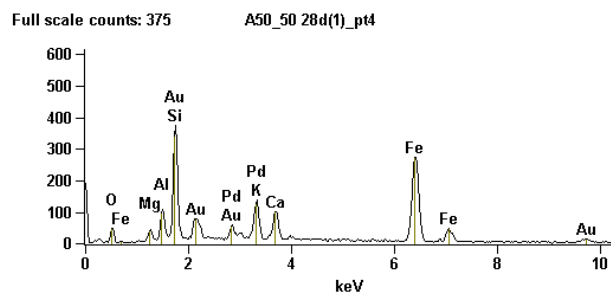
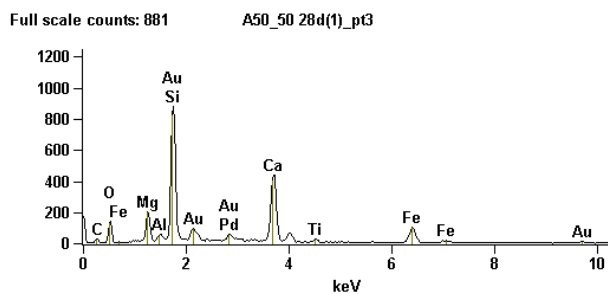
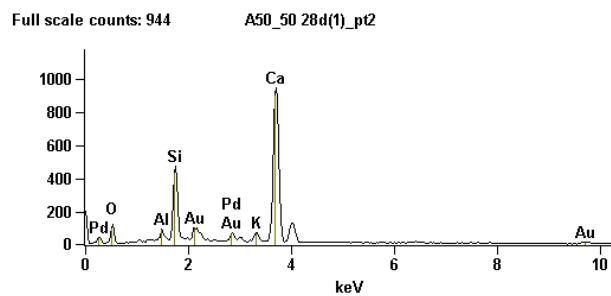
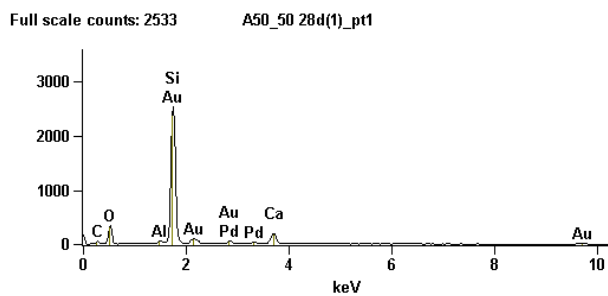


Image Name: A50_50 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50_50 28d(1)_pt1</i>	376	2316	-	-	172	22489	-	-	2460	-	-	794	273
<i>A50_50 28d(1)_pt2</i>	-	734	-	-	457	3661	-	600	11760	-	-	799	316
<i>A50_50 28d(1)_pt3</i>	274	1072	-	1499	272	7566	-	-	5496	191	1399	779	385
<i>A50_50 28d(1)_pt4</i>	-	294	-	219	705	3005	-	1448	954	-	4315	676	330
<i>A50_50 28d(1)_pt5</i>	310	707	102	-	368	1002	664	-	2561	5823	4245	1080	409

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50_50 28d(1)_pt1</i>	24.94	39.65	-	-	0.22	24.08	-	-	4.23	-	-	1.90	4.99
<i>A50_50 28d(1)_pt2</i>	-	36.10	-	-	1.29	8.39	-	1.73	38.41	-	-	3.48	10.61
<i>A50_50 28d(1)_pt3</i>	20.59	30.12	-	3.65	0.57	12.77	-	-	13.17	0.62	6.30	2.59	9.61
<i>A50_50 28d(1)_pt4</i>	-	12.82	-	1.44	3.63	12.33	-	6.84	4.92	-	37.43	4.90	15.69
<i>A50_50 28d(1)_pt5</i>	18.04	21.50	0.75	-	0.87	1.85	1.25	-	5.83	17.69	18.84	3.44	9.94

Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A50_50 28d(1)_pt1</i>	37.29	44.50	-	-	0.15	15.39	-	-	1.89	-	-	0.32	0.46
<i>A50_50 28d(1)_pt2</i>	-	61.11	-	-	1.29	8.09	-	1.20	25.96	-	-	0.89	1.46
<i>A50_50 28d(1)_pt3</i>	36.09	39.63	-	3.16	0.44	9.57	-	-	6.92	0.27	2.38	0.51	1.03
<i>A50_50 28d(1)_pt4</i>	-	31.71	-	2.34	5.32	17.37	-	6.92	4.85	-	26.52	1.82	3.15
<i>A50_50 28d(1)_pt5</i>	38.01	34.01	0.82	-	0.82	1.67	1.02	-	3.68	9.34	8.54	0.82	1.28

EDS Traço Concreto C 50,50 - 112 dias

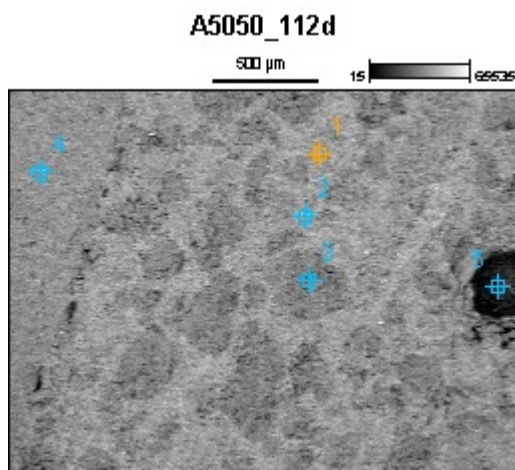
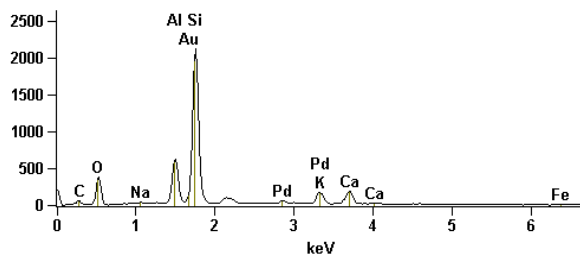


Image Name: A5050_112d

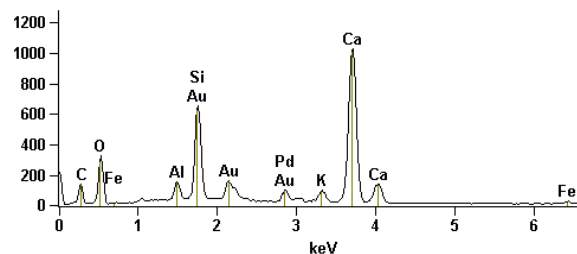
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 50

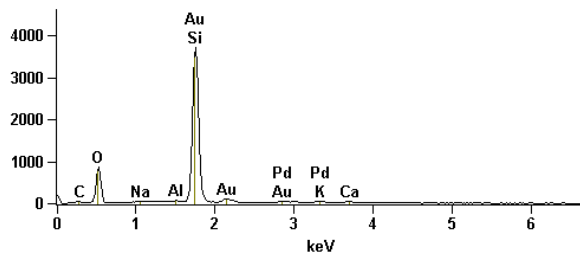
Full scale counts: 2129 A5050_112d_pt1



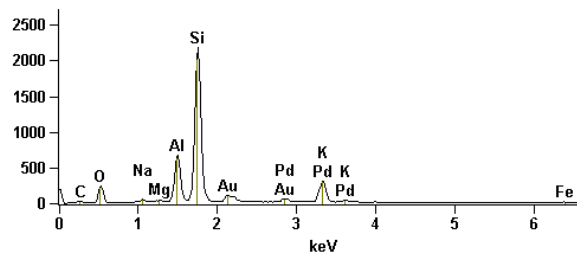
Full scale counts: 1028 A5050_112d_pt2



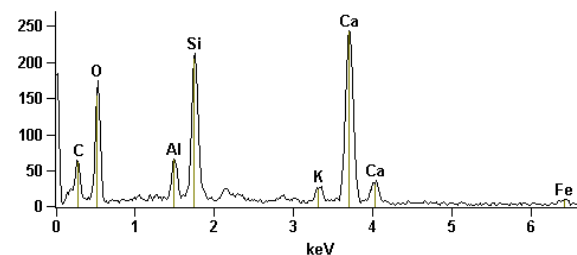
Full scale counts: 3711 A5050_112d_pt3



Full scale counts: 2178 A5050_112d_pt4



Full scale counts: 243 A5050_112d_pt5



Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Pd	Au
A5050_112d_pt1	0	2475	158	-	4707	17923	1968	1872	159	680	170
A5050_112d_pt2	1046	1886	-	-	856	5478	750	12671	335	1112	446
A5050_112d_pt3	332	5714	288	-	83	32676	511	360	-	842	398
A5050_112d_pt4	231	1527	390	176	5047	18566	3132	-	179	978	298
A5050_112d_pt5	235	974	-	-	382	1915	293	2916	140	-	-

Weight % e Compound %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Pd	Au
A5050_112d_pt1	0.00	44.98	0.74	-	8.23	29.58	4.46	4.65	0.72	2.34	4.31
A5050_112d_pt2	29.15	35.39	-	-	1.00	5.31	0.96	18.14	0.95	2.09	7.02
A5050_112d_pt3	15.99	50.08	0.72	-	0.08	25.35	0.59	0.45	-	1.46	5.29
A5050_112d_pt4	20.13	30.10	1.42	0.30	7.21	24.99	6.01	-	0.68	2.81	6.35
A5050_112d_pt5	24.65	50.35	-	-	1.57	6.62	1.25	14.15	1.41	-	-

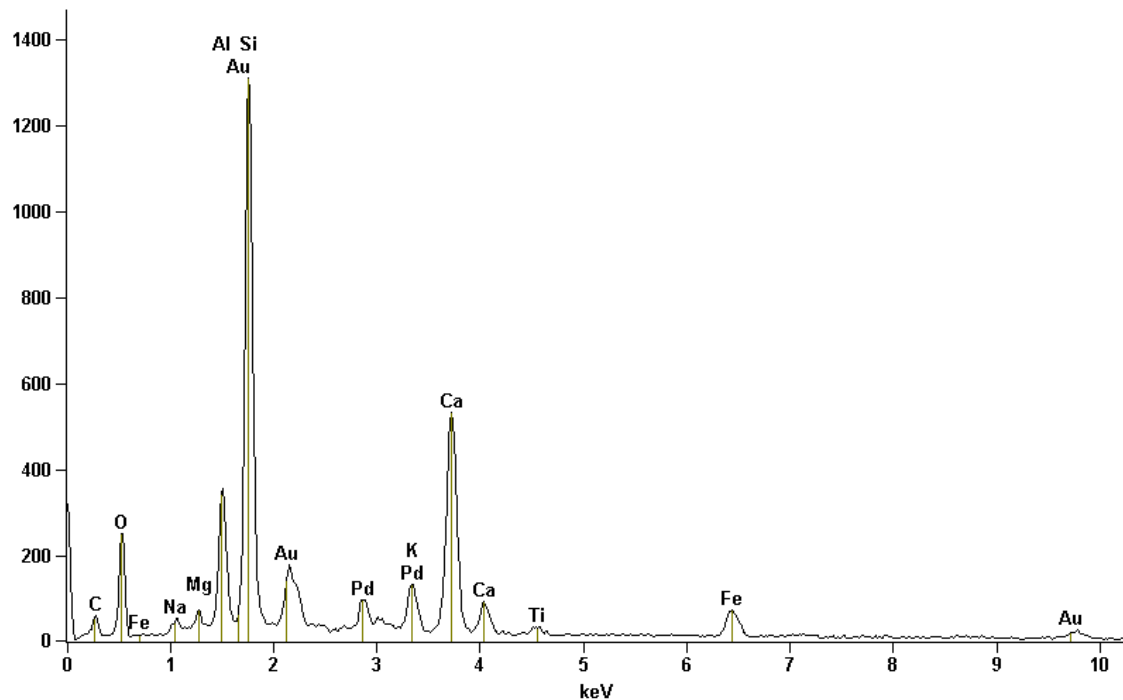
Atom %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Pd	Au
A5050_112d_pt1	0.00	62.64	0.72	-	6.79	23.46	2.54	2.58	0.29	0.49	0.49
A5050_112d_pt2	44.82	40.85	-	-	0.68	3.49	0.45	8.36	0.31	0.36	0.66
A5050_112d_pt3	24.36	57.28	0.57	-	0.05	16.51	0.28	0.20	-	0.25	0.49
A5050_112d_pt4	33.43	37.53	1.23	0.24	5.33	17.75	3.06	-	0.24	0.53	0.64
A5050_112d_pt5	34.77	53.30	-	-	0.99	3.99	0.54	5.98	0.43	-	-

EDS Traço C 75,75 - 7 dias

Full scale counts: 1311

A75_75 7b



Live Time: 30.0 sec.

Quantitative Results A75_75 7b

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	405	21.39	35.05	21.39
<i>O</i>	1788	34.80	42.80	34.80
<i>Na</i>	307	1.18	1.01	1.18
<i>Mg</i>	245	0.42	0.34	0.42
<i>Al</i>	2363	3.31	2.41	3.31
<i>Si</i>	11067	13.30	9.32	13.30
<i>K</i>	1302	2.05	1.03	2.05
<i>Ca</i>	6530	11.36	5.58	11.36
<i>Ti</i>	201	0.48	0.20	0.48
<i>Fe</i>	1026	3.41	1.20	3.41
<i>Pd</i>	1168	2.73	0.50	2.73
<i>Au</i>	300	5.58	0.56	5.58
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

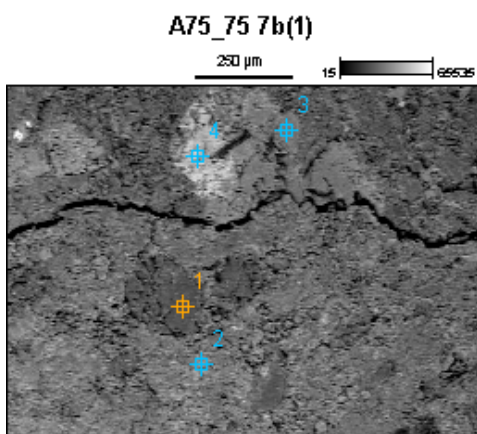


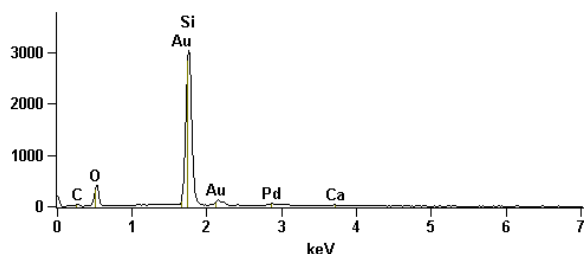
Image Name: A75_75 7b(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

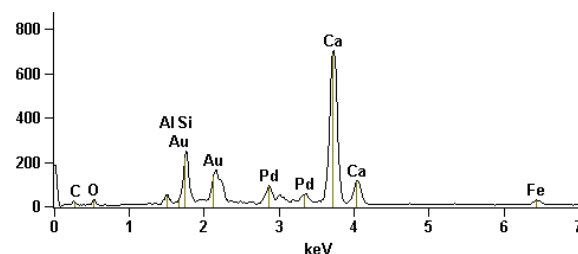
Full scale counts: 3027

A75_75 7b(1)_pt1



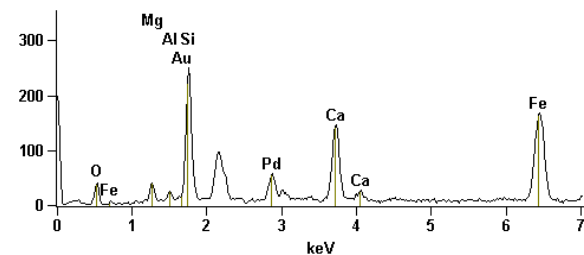
Full scale counts: 704

A75_75 7b(1)_pt2



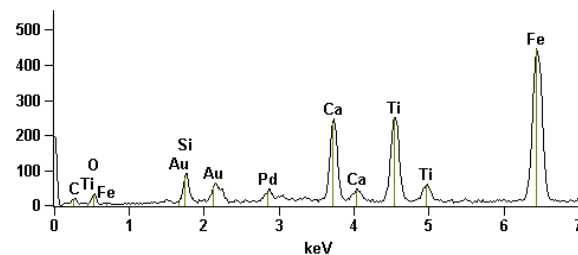
Full scale counts: 250

A75_75 7b(1)_pt3



Full scale counts: 446

A75_75 7b(1)_pt4



Net Counts

	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75_75 7b(1)_pt1	190	2683	-	-	27414	159	-	-	778	232
A75_75 7b(1)_pt2	144	190	-	252	1763	9927	-	256	1382	338
A75_75 7b(1)_pt3	-	238	302	96	1973	1816	-	2707	827	294
A75_75 7b(1)_pt4	158	238	-	-	641	3122	3618	7414	623	217

Weight % e Compound %

	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75_75 7b(1)_pt1	17.30	42.55	-	-	32.77	0.32	-	-	2.20	4.86
A75_75 7b(1)_pt2	12.55	14.26	-	0.90	5.14	42.77	-	2.08	7.83	14.48
A75_75 7b(1)_pt3	-	14.81	2.58	0.66	10.48	12.51	-	32.00	8.10	18.86
A75_75 7b(1)_pt4	12.65	8.52	-	-	1.74	9.32	14.44	43.63	2.62	7.08

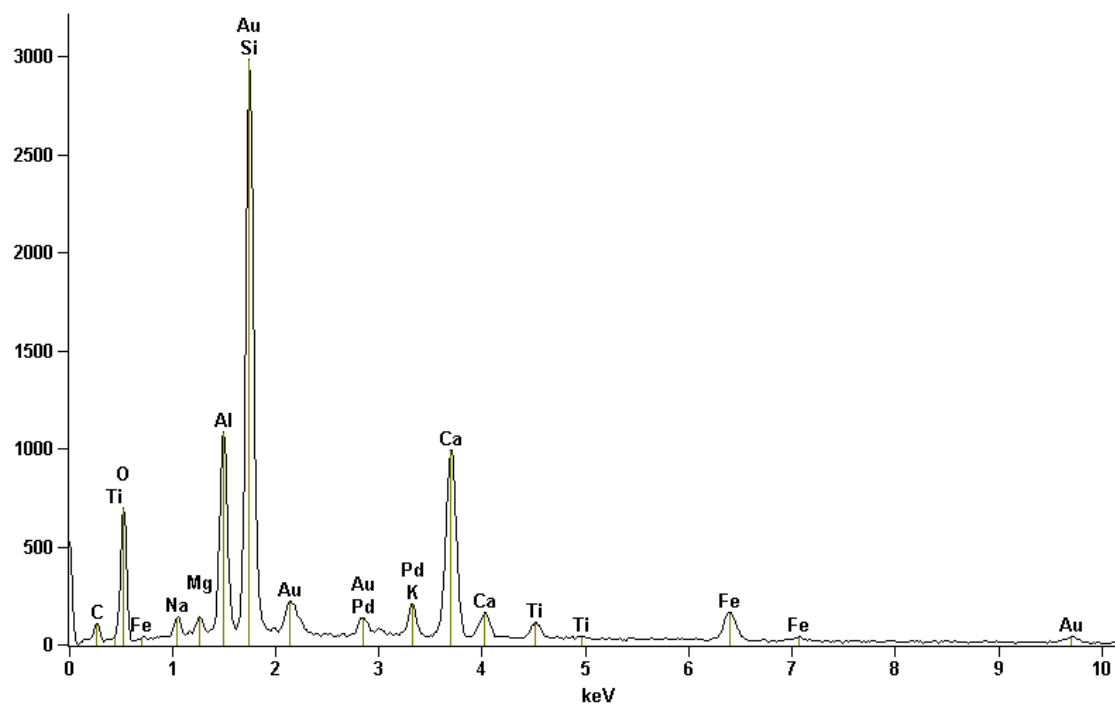
Atom %

	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Pd	Au
A75_75 7b(1)_pt1	27.07	49.99	-	-	21.93	0.15	-	-	0.39	0.46
A75_75 7b(1)_pt2	30.69	26.18	-	0.98	5.38	31.36	-	1.09	2.16	2.16
A75_75 7b(1)_pt3	-	37.23	4.27	0.98	15.00	12.56	-	23.04	3.06	3.85
A75_75 7b(1)_pt4	34.84	17.60	-	-	2.05	7.69	9.97	25.84	0.82	1.19

EDS Traço Concreto C 75,75 - 28 dias

Full scale counts: 2985

A75_75 28d



Live Time: 50.0 sec.

Quantitative Results A75_75 28d

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	871	20.86	33.72	20.86
<i>O</i>	4773	37.16	45.08	37.16
<i>Na</i>	548	0.91	0.77	0.91
<i>Mg</i>	528	0.38	0.31	0.38
<i>Al</i>	7890	4.71	3.39	4.71
<i>Si</i>	25478	13.33	9.21	13.33
<i>K</i>	1448	0.98	0.49	0.98
<i>Ca</i>	12456	9.21	4.46	9.21
<i>Ti</i>	1125	1.13	0.46	1.13
<i>Fe</i>	2413	3.42	1.19	3.42
<i>Pd</i>	1808	1.83	0.33	1.83
<i>Au</i>	767	6.08	0.60	6.08
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

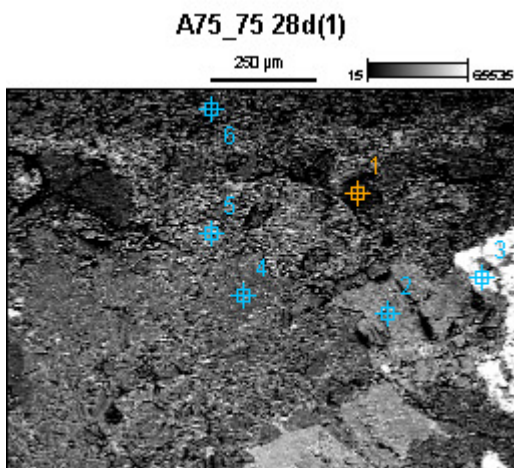
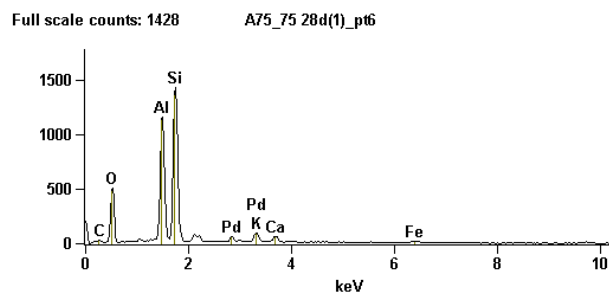
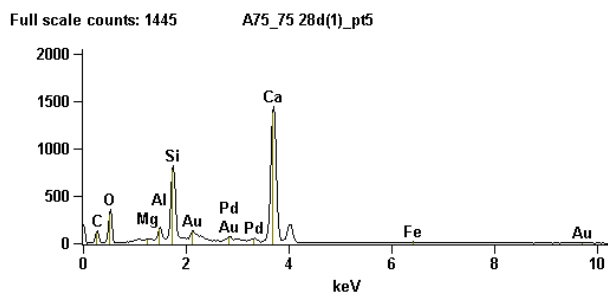
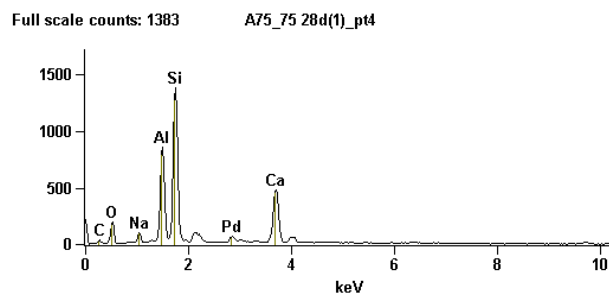
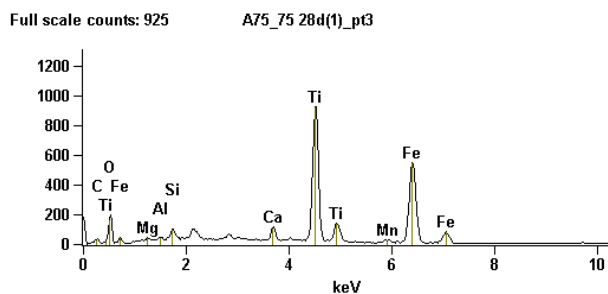
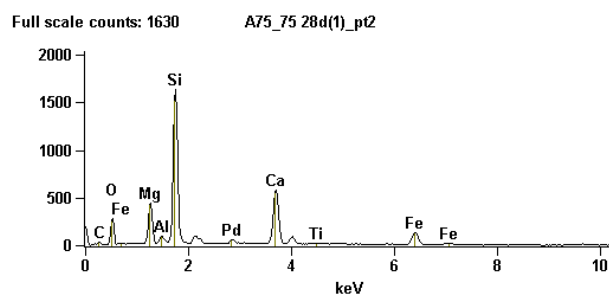
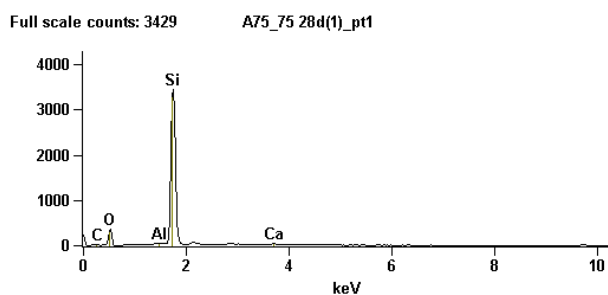


Image Name: A75_75 28d(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100



Net Counts													
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75_75 28d(1)_pt1</i>	120	2194	-	-	0	30632	-	297	-	-	-	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt2</i>	249	1752	-	3206	441	13902	-	6983	132	-	2118	805	-
<i>A75_75 28d(1)_pt3</i>	339	1499	-	161	163	741	-	1049	12390	267	8567	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt4</i>	0	1182	475	-	6723	11947	-	5816	-	-	-	855	-
<i>A75_75 28d(1)_pt5</i>	854	2148	-	112	814	6670	-	18523	-	-	219	1002	306
<i>A75_75 28d(1)_pt6</i>	272	3252	-	-	9081	12675	914	596	-	-	320	689	-

Weight % e Compound %													
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75_75 28d(1)_pt1</i>	16.01	41.19	-	-	0.00	42.11	-	0.70	-	-	-	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt2</i>	17.55	34.49	-	5.89	0.73	18.58	-	12.77	0.33	-	7.67	2.00	-
<i>A75_75 28d(1)_pt3</i>	13.61	28.41	-	0.40	0.31	1.06	-	1.57	25.70	0.82	28.13	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt4</i>	0.00	35.60	2.68	-	14.55	26.53	-	17.15	-	-	-	3.50	-
<i>A75_75 28d(1)_pt5</i>	23.40	38.87	-	0.15	0.90	6.05	-	23.92	-	-	0.57	1.69	4.44
<i>A75_75 28d(1)_pt6</i>	19.87	46.03	-	-	11.98	16.79	1.49	1.06	-	-	1.10	1.67	-

Atom %													
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A75_75 28d(1)_pt1</i>	24.57	47.46	-	-	0.00	27.64	-	0.32	-	-	-	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt2</i>	29.05	42.87	-	4.82	0.53	13.15	-	6.34	0.14	-	2.73	0.37	-
<i>A75_75 28d(1)_pt3</i>	27.86	43.65	-	0.40	0.28	0.92	-	0.96	13.19	0.37	12.38	-	-
<i>A75_75 28d(1)_pt4</i>	0.00	51.91	2.72	-	12.58	22.04	-	9.98	-	-	-	0.77	-
<i>A75_75 28d(1)_pt5</i>	36.91	46.03	-	0.12	0.63	4.08	-	11.31	-	-	0.19	0.30	0.43
<i>A75_75 28d(1)_pt6</i>	29.16	50.71	-	-	7.83	10.53	0.67	0.47	-	-	0.35	0.28	-

EDS Traço Concreto C 75,75 - 112 dias

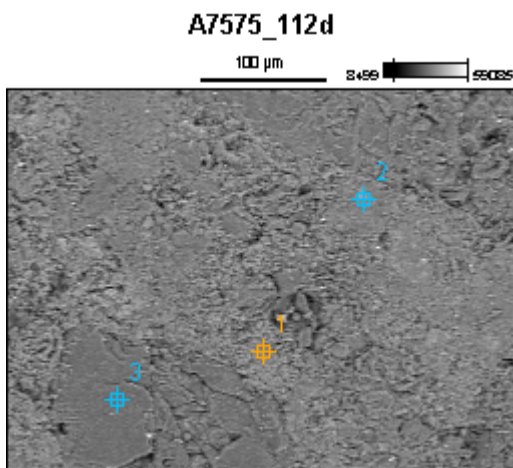


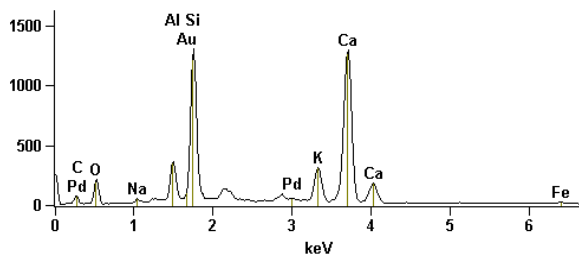
Image Name: A7575_112d

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 300

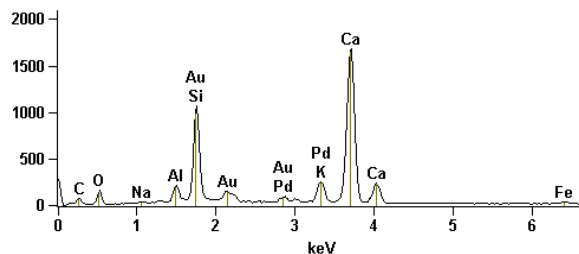
Full scale counts: 1307

A7575_112d_pt1



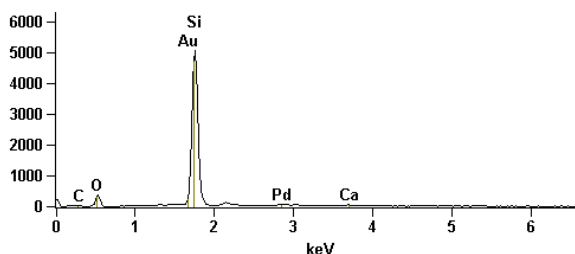
Full scale counts: 1681

A7575_112d_pt2



Full scale counts: 5066

A7575_112d_pt3



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A7575_112d_pt1</i>	555	1316	216	2240	10710	3258	15787	326	939	308
<i>A7575_112d_pt2</i>	276	783	138	1134	8451	2680	20347	521	1229	592
<i>A7575_112d_pt3</i>	262	2455	-	-	44443	-	278	-	1020	448

Weight % e Compound %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A7575_112d_pt1</i>	21.61	28.71	0.71	2.65	10.81	4.25	23.54	0.95	1.82	4.95
<i>A7575_112d_pt2</i>	11.91	21.77	0.55	1.59	9.84	4.06	35.22	1.73	2.81	10.53
<i>A7575_112d_pt3</i>	19.43	32.77	-	-	38.24	-	0.42	-	2.22	6.92

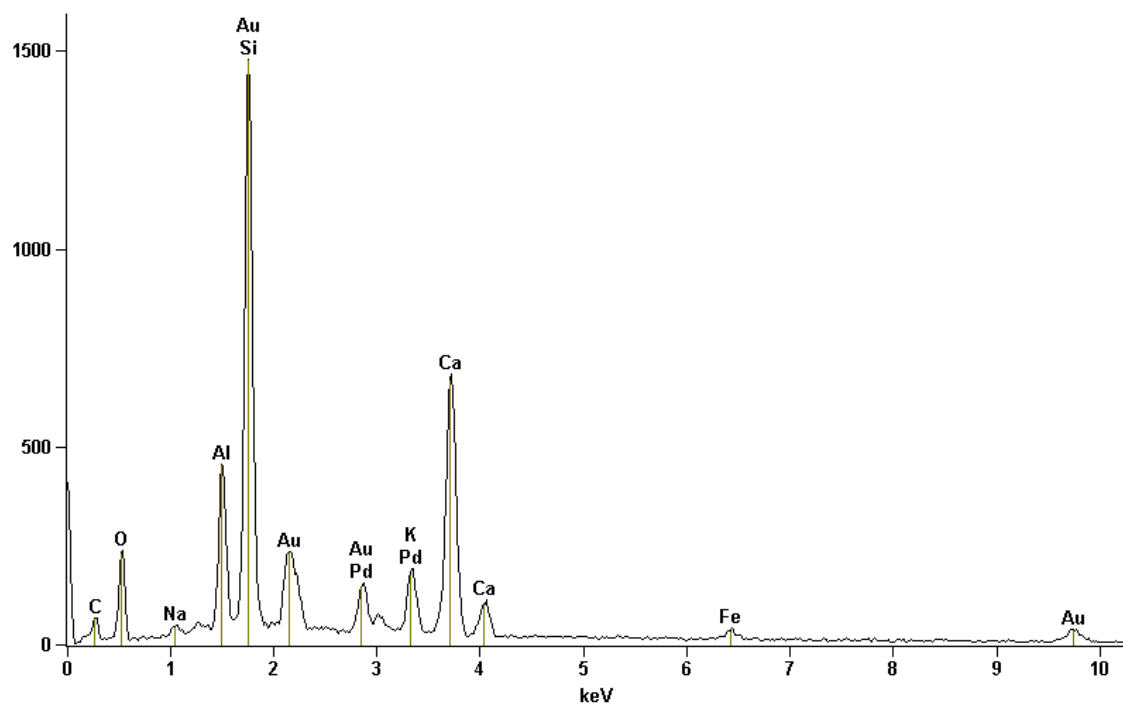
Atom %

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A7575_112d_pt1</i>	36.99	36.90	0.64	2.02	7.92	2.23	12.08	0.35	0.35	0.52
<i>A7575_112d_pt2</i>	25.57	35.08	0.61	1.52	9.03	2.68	22.65	0.80	0.68	1.38
<i>A7575_112d_pt3</i>	31.75	40.21	-	-	26.73	-	0.21	-	0.41	0.69

EDS Traço Concreto C 100,100 - 7 dias

Full scale counts: 1478

A100_100 7b



Live Time: 40.0 sec.

Quantitative Results A100_100 7b				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	457	20.13	36.90	20.13
<i>O</i>	1492	27.60	37.98	27.60
<i>Na</i>	252	0.81	0.78	0.81
<i>Al</i>	2938	3.45	2.81	3.45
<i>Si</i>	12599	12.74	9.99	12.74
<i>K</i>	1771	2.49	1.41	2.49
<i>Ca</i>	8349	12.95	7.11	12.95
<i>Fe</i>	380	1.06	0.42	1.06
<i>Pd</i>	2510	5.28	1.09	5.28
<i>Au</i>	884	13.50	1.51	13.50
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

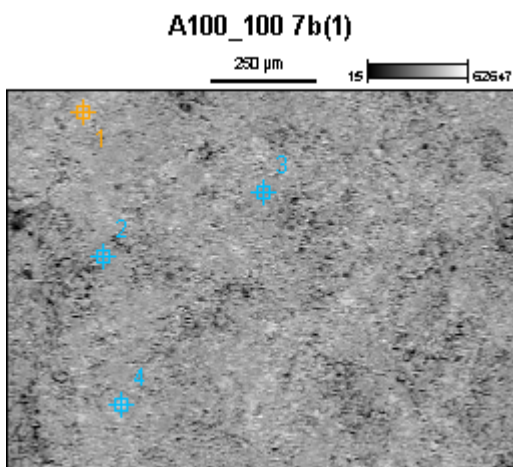
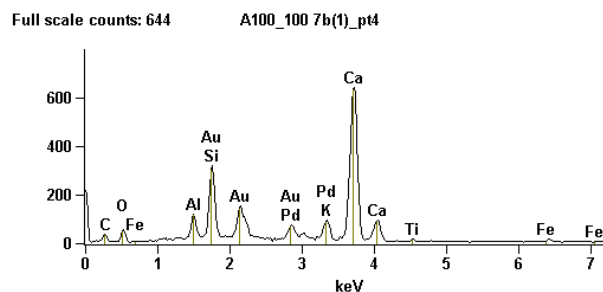
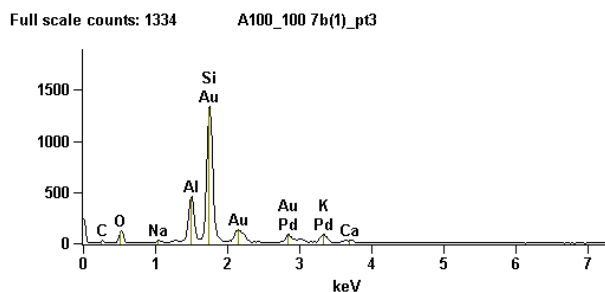
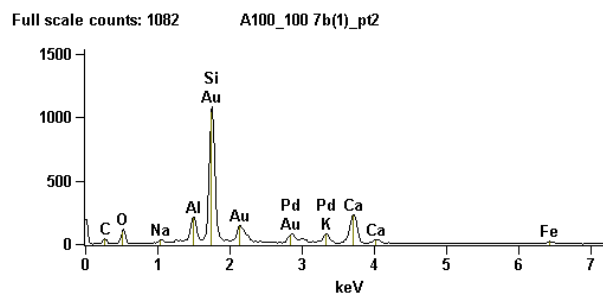
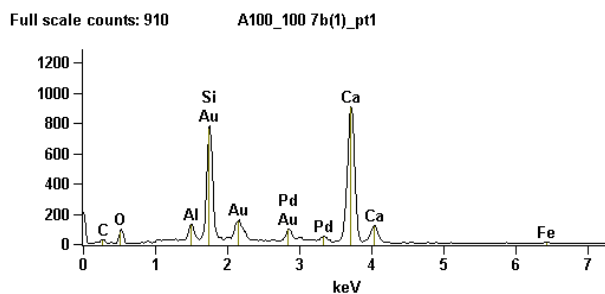


Image Name: A100_100 7b(1)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100



Net Counts

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100_100 7b(1)_pt1</i>	221	612	-	768	6784	-	12028	-	131	1433	348
<i>A100_100 7b(1)_pt2</i>	278	730	169	1465	9185	815	2868	-	279	1318	405
<i>A100_100 7b(1)_pt3</i>	0	760	162	3477	12193	984	297	-	-	1294	336
<i>A100_100 7b(1)_pt4</i>	0	422	-	684	2577	998	8355	113	107	1157	429

Weight % e Compound %

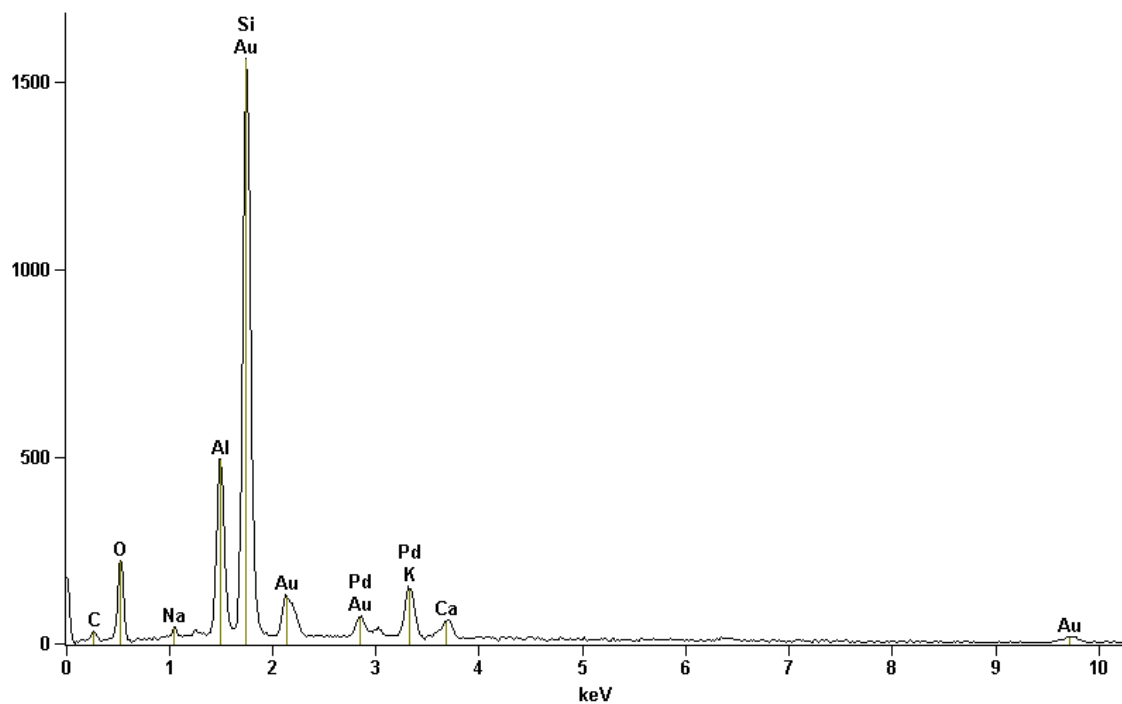
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100_100 7b(1)_pt1</i>	15.29	24.72	-	1.61	11.88	-	31.43	-	0.66	4.99	9.42
<i>A100_100 7b(1)_pt2</i>	25.41	24.80	0.97	3.11	16.92	2.16	8.32	-	1.45	5.21	11.65
<i>A100_100 7b(1)_pt3</i>	0.00	28.06	1.20	9.98	33.88	4.05	1.32	-	-	8.08	13.42
<i>A100_100 7b(1)_pt4</i>	0.00	25.91	-	2.36	7.34	3.74	35.33	0.68	0.82	6.53	17.31

	Atom %										
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>A100_100 7b(1)_pt1</i>	30.37	36.86	-	1.43	10.09	-	18.71	-	0.28	1.12	1.14
<i>A100_100 7b(1)_pt2</i>	43.87	32.14	0.87	2.39	12.49	1.15	4.30	-	0.54	1.01	1.23
<i>A100_100 7b(1)_pt3</i>	0.00	47.88	1.42	10.10	32.93	2.83	0.90	-	-	2.07	1.86
<i>A100_100 7b(1)_pt4</i>	0.00	51.85	-	2.80	8.36	3.07	28.22	0.45	0.47	1.96	2.81

EDS Traço Concreto C 100,100 - 28 dias

Full scale counts: 1562

A100_100 28d



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results A100_100 28d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	210	19.68	33.50	19.68
<i>O</i>	1367	32.17	41.11	32.17
<i>Na</i>	184	0.84	0.75	0.84
<i>Al</i>	3588	6.19	4.69	6.19
<i>Si</i>	13405	21.21	15.44	21.21
<i>K</i>	1666	3.79	1.98	3.79
<i>Ca</i>	502	1.24	0.63	1.24
<i>Pd</i>	1172	4.00	0.77	4.00
<i>Au</i>	448	10.87	1.13	10.87
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

EDS Traço Concreto C 100,100 - EDS 112 dias

A100100_112d

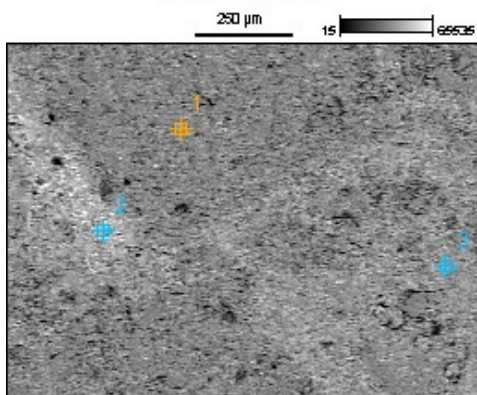
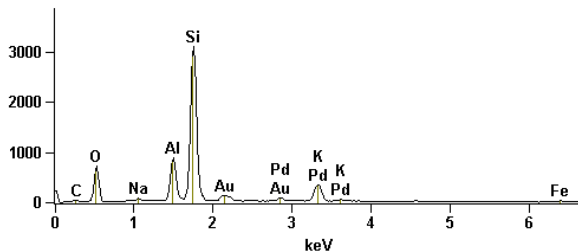


Image Name: A100100_112d

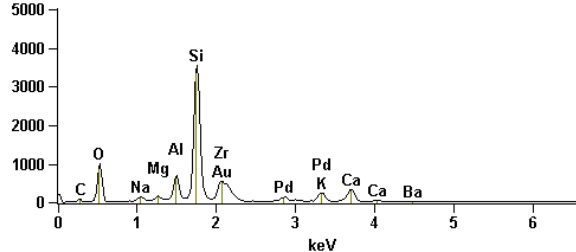
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

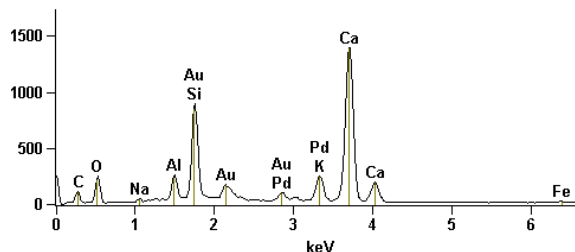
Full scale counts: 3100 A100100_112d_pt1



Full scale counts: 3544 A100100_112d_pt2



Full scale counts: 1394 A100100_112d_pt3



Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Zn	Zr	Pd	Ba	Au
A100100_112d_pt1	0	4674	297	-	6137	26703	4144	-	248	-	-	1361	-	434
A100100_112d_pt2	0	6087	966	823	4234	30681	2405	3426	-	234	7177	1808	603	758
A100100_112d_pt3	1009	1384	132	-	1396	7246	2669	17221	331	-	-	1220	-	507

Weight % e Compound %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Zn	Zr	Pd	Ba	Au
A100100_112d_pt1	0.00	48.22	0.90	-	6.88	27.55	5.98	-	0.70	-	-	2.96	-	6.81
A100100_112d_pt2	0.00	46.35	2.04	0.80	3.39	21.05	2.33	3.56	-	0.86	7.98	2.70	1.21	7.72
A100100_112d_pt3	27.89	27.45	0.39	-	1.49	6.47	3.12	22.93	0.86	-	-	2.11	-	7.29

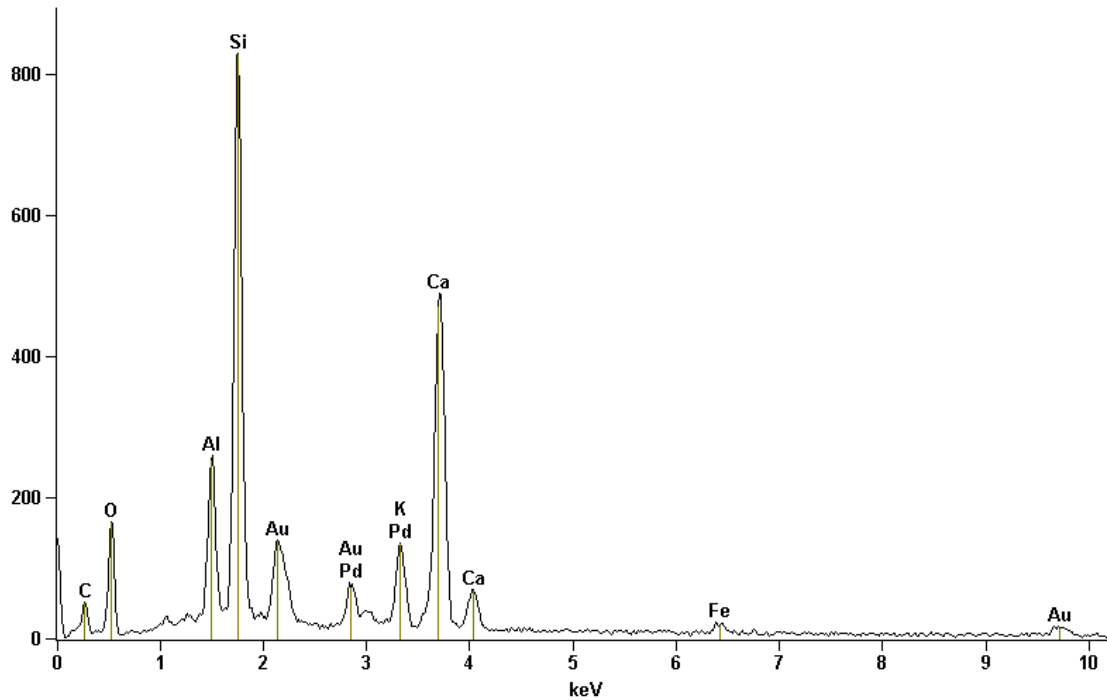
Atom %

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Zn	Zr	Pd	Ba	Au
A100100_112d_pt1	0.00	66.73	0.87	-	5.64	21.72	3.39	-	0.28	-	-	0.62	-	0.77
A100100_112d_pt2	0.00	68.71	2.11	0.78	2.98	17.77	1.42	2.11	-	0.31	2.08	0.60	0.21	0.93
A100100_112d_pt3	45.84	33.88	0.34	-	1.09	4.55	1.58	11.30	0.31	-	-	0.39	-	0.73

EDS Traço Concreto C 100,100 - EDS 180 dias

Full scale counts: 830

100,100-180d



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results 100,100-180d

<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	0	0.00	0.00	0.00
<i>O</i>	1007	36.16	61.11	36.16
<i>Al</i>	1761	4.48	4.49	4.48
<i>Si</i>	7103	15.55	14.97	15.55
<i>K</i>	1247	3.67	2.54	3.67
<i>Ca</i>	5907	19.21	12.96	19.21
<i>Fe</i>	248	1.43	0.69	1.43
<i>Pd</i>	1094	4.89	1.24	4.89
<i>Au</i>	470	14.62	2.01	14.62
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

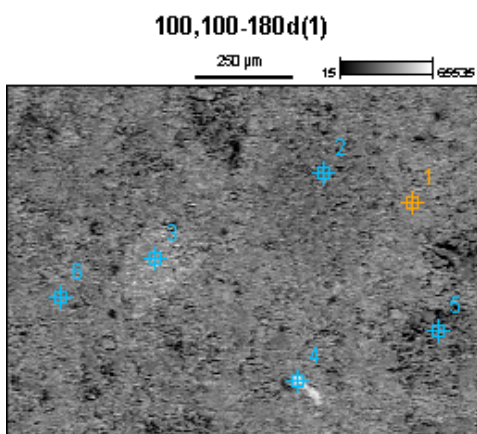
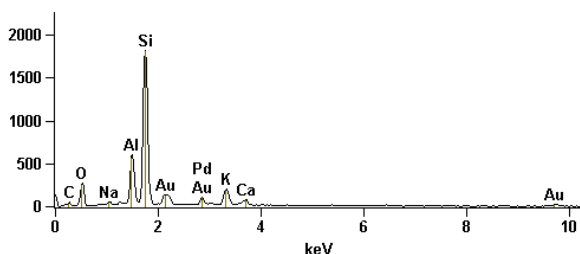


Image Name: 100,100-180d(1)

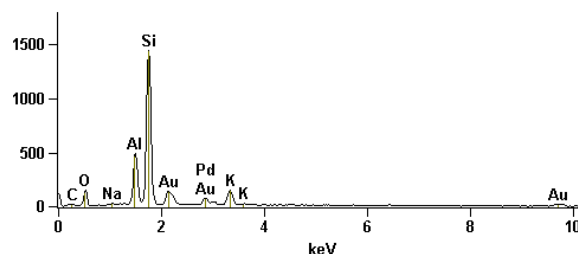
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

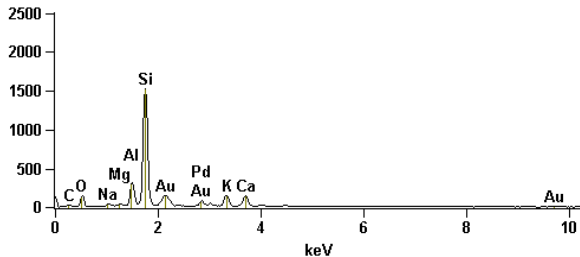
Full scale counts: 1813 100,100-180d(1)_pt1



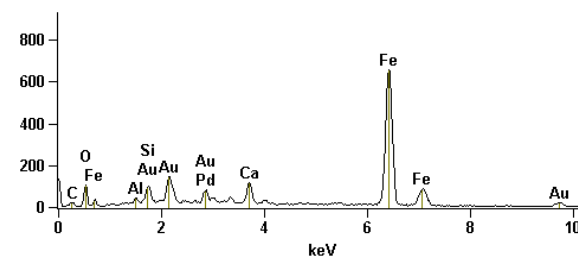
Full scale counts: 1442 100,100-180d(1)_pt2



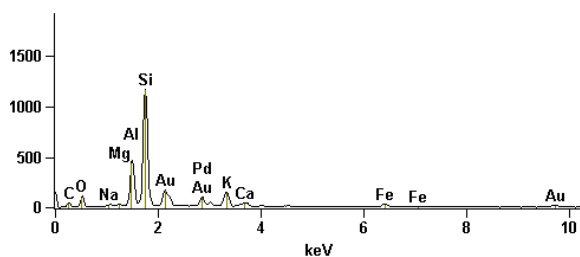
Full scale counts: 1526 100,100-180d(1)_pt3



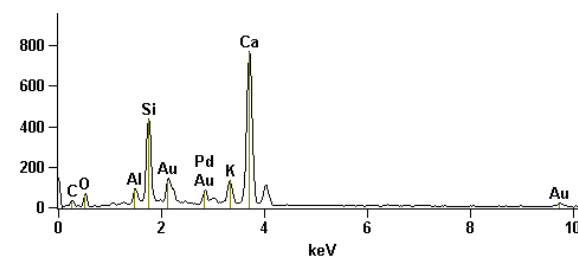
Full scale counts: 654 100,100-180d(1)_pt4



Full scale counts: 1168 100,100-180d(1)_pt5



Full scale counts: 769 100,100-180d(1)_pt6



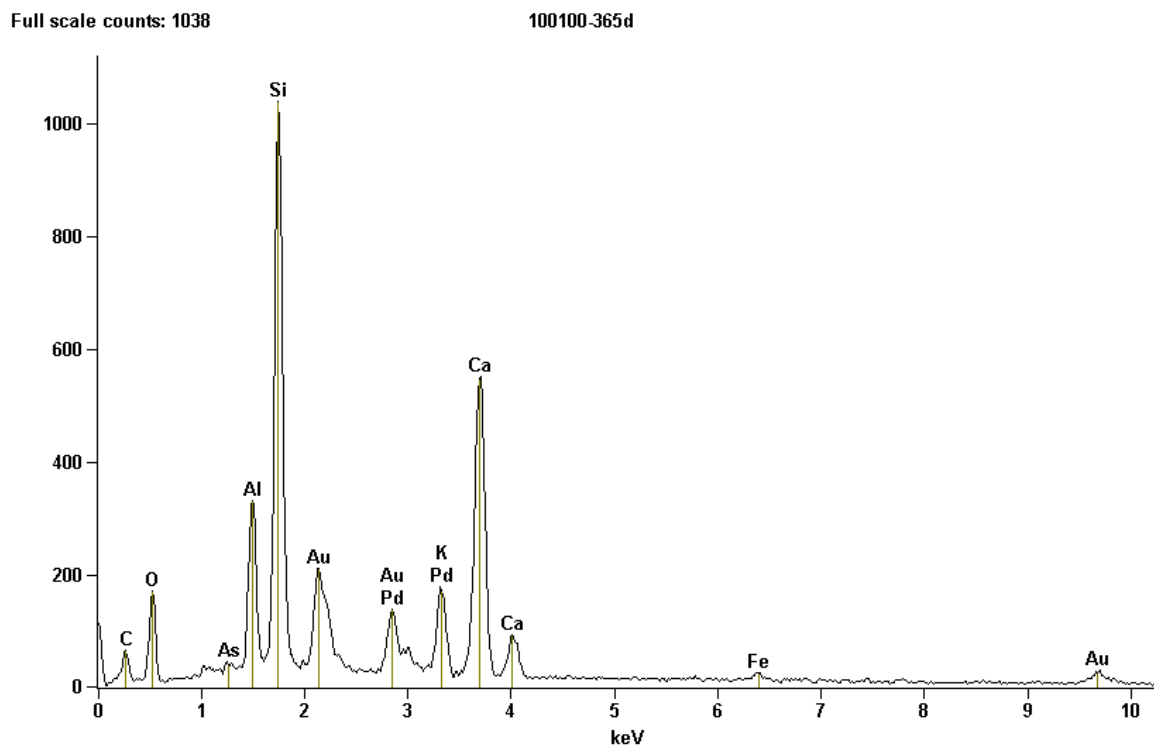
Net Counts

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Pd	Au
100,100-180d(1)_pt1	298	1852	291	-	4141	15847	2135	676	-	1554	506
100,100-180d(1)_pt2	148	1001	134	-	3685	12282	1679	-	-	1311	471
100,100-180d(1)_pt3	186	1016	238	202	2216	13312	1670	1455	-	1095	403
100,100-180d(1)_pt4	140	663	-	-	196	709	-	1352	10244	1183	440
100,100-180d(1)_pt5	0	703	149	92	3517	10011	1738	449	348	1383	459
100,100-180d(1)_pt6	350	316	-	-	502	3710	1298	9608	-	926	530

	Weight % e Compound %										
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100,100-180d(1)_pt1</i>	20.94	34.17	1.06	-	5.64	19.57	3.73	1.29	-	4.06	9.56
<i>100,100-180d(1)_pt2</i>	17.39	28.45	0.71	-	7.39	23.00	4.57	-	-	5.38	13.12
<i>100,100-180d(1)_pt3</i>	19.50	28.97	1.20	0.46	4.26	22.72	4.15	3.95	-	4.10	10.68
<i>100,100-180d(1)_pt4</i>	11.02	14.22	-	-	0.66	1.79	-	3.77	51.41	4.71	12.41
<i>100,100-180d(1)_pt5</i>	0.00	25.87	1.12	0.31	10.01	26.98	6.66	1.88	2.35	8.06	16.76
<i>100,100-180d(1)_pt6</i>	23.48	15.89	-	-	1.19	7.26	3.49	29.09	-	3.75	15.85

	Atom %										
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100,100-180d(1)_pt1</i>	34.55	42.33	0.92	-	4.14	13.81	1.89	0.64	-	0.76	0.96
<i>100,100-180d(1)_pt2</i>	31.58	38.79	0.68	-	5.98	17.87	2.55	-	-	1.10	1.45
<i>100,100-180d(1)_pt3</i>	34.03	37.97	1.10	0.40	3.31	16.96	2.23	2.07	-	0.81	1.14
<i>100,100-180d(1)_pt4</i>	30.42	29.47	-	-	0.81	2.11	-	3.12	30.51	1.47	2.09
<i>100,100-180d(1)_pt5</i>	0.00	47.15	1.42	0.38	10.81	28.00	4.96	1.36	1.23	2.21	2.48
<i>100,100-180d(1)_pt6</i>	46.75	23.75	-	-	1.05	6.18	2.14	17.36	-	0.84	1.92

EDS Traço Concreto C 100,100 - EDS 365 dias



Live Time: 20.0 sec.

Quantitative Results 100100-365d				
<i>Element</i>	<i>Net Counts</i>	<i>Weight %</i>	<i>Atom %</i>	<i>Compnd %</i>
<i>C</i>	341	18.79	35.20	18.79
<i>O</i>	1133	27.92	39.27	27.92
<i>Al</i>	2307	3.56	2.97	3.56
<i>Si</i>	8978	11.96	9.59	11.96
<i>K</i>	1672	3.10	1.79	3.10
<i>Ca</i>	6886	14.17	7.96	14.17
<i>Fe</i>	251	0.93	0.37	0.93
<i>As</i>	2	0.03	0.01	0.03
<i>Pd</i>	2276	6.26	1.32	6.26
<i>Au</i>	657	13.28	1.52	13.28
<i>Total</i>		100.00	100.00	100.00

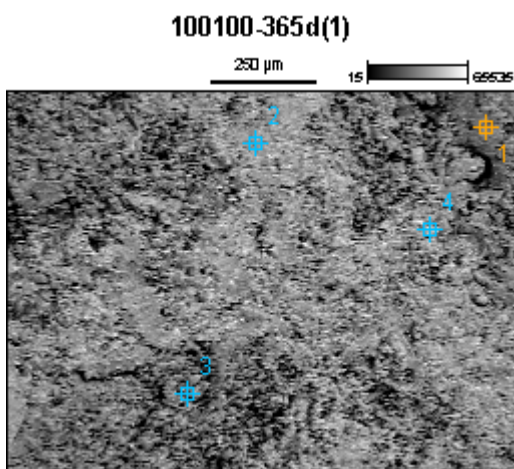
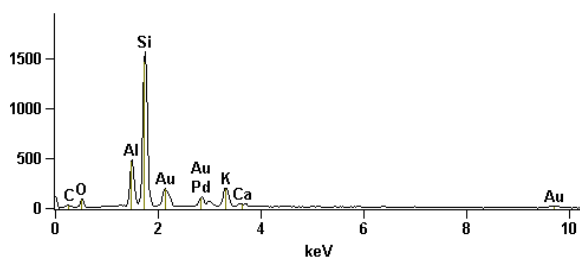


Image Name: 100100-365d(1)

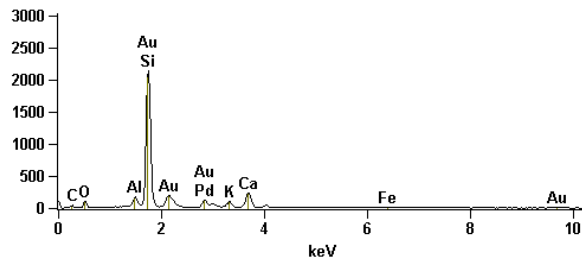
Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 100

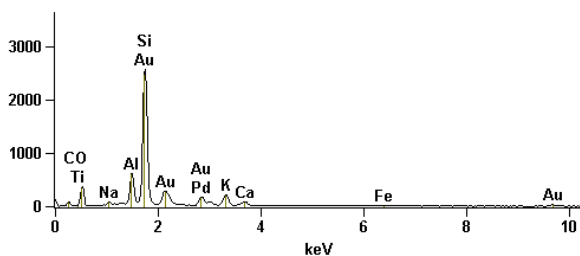
Full scale counts: 1566 100100-365d(1)_pt1



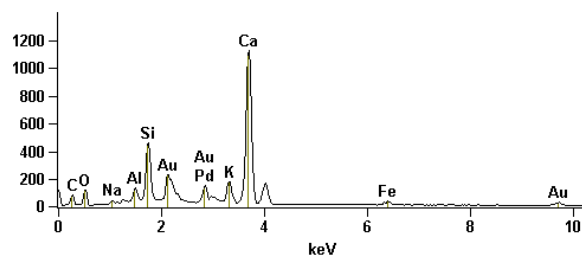
Full scale counts: 2143 100100-365d(1)_pt2



Full scale counts: 2561 100100-365d(1)_pt3



Full scale counts: 1127 100100-365d(1)_pt4



Net Counts											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100100-365d(1)_pt1</i>	231	645	-	3418	13586	2297	363	-	-	1649	660
<i>100100-365d(1)_pt2</i>	248	708	-	927	18636	799	3005	-	122	1732	692
<i>100100-365d(1)_pt3</i>	879	2441	259	4051	22240	2462	828	9	224	2837	985
<i>100100-365d(1)_pt4</i>	464	806	167	684	3618	1674	13898	-	505	2086	666

Weight % e Compound %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100100-365d(1)_pt1</i>	22.54	18.90	-	6.14	22.50	5.81	1.01	-	-	6.28	16.82
<i>100100-365d(1)_pt2</i>	21.73	19.30	-	1.51	26.20	1.79	7.26	-	0.51	5.86	15.85
<i>100100-365d(1)_pt3</i>	30.72	29.26	0.57	3.33	16.11	2.62	0.96	0.01	0.47	4.48	11.47
<i>100100-365d(1)_pt4</i>	18.44	23.64	0.76	1.11	4.81	2.95	27.64	-	1.88	5.44	13.34

Atom %											
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
<i>100100-365d(1)_pt1</i>	42.61	26.82	-	5.16	18.18	3.38	0.57	-	-	1.34	1.94
<i>100100-365d(1)_pt2</i>	41.34	27.57	-	1.28	21.32	1.04	4.14	-	0.21	1.26	1.84
<i>100100-365d(1)_pt3</i>	48.18	34.45	0.46	2.33	10.81	1.26	0.45	0.01	0.16	0.79	1.10
<i>100100-365d(1)_pt4</i>	36.76	35.39	0.80	0.98	4.10	1.80	16.52	-	0.80	1.22	1.62