



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA

**ARGAMASSAS DO GRUPO ESCOLAR AUGUSTO SEVERO/RN:
CARACTERIZAÇÃO E INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS**

**NATAL/RN
2014**

ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA

**ARGAMASSAS DO GRUPO ESCOLAR AUGUSTO SEVERO/RN:
CARACTERIZAÇÃO E INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá.

NATAL/RN

2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Sousa, Adla Kellen Dionisio

Argamassas do grupo escolar Augusto Severo/RN: caracterização e incidência de manifestações patológicas / Adla Kellen Dionisio Sousa. – Natal, RN, 2014.

141 f.; il.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Argamassas – Dissertação. 2. Manifestações patológicas – Dissertação. 3. Caracterização – Dissertação. I. Sá, Maria das Vitórias Vieira Almeida de. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 691.53

ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA

**ARGAMASSAS DO GRUPO ESCOLAR AUGUSTO SEVERO/RN:
CARACTERIZAÇÃO E INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira de Almeida de Sá – Orientadora (UFRN)

Prof. Dr. José Neres da Silva - Examinador Externo ao Programa (UFRN)

Prof. Dr. Marcos Alyssandro Soares dos Anjos Souza - Examinador Externo à
Instituição (IFRN)

Prof. Dr^a. Ângela Borges Masuero – Examinadora Externa à Instituição (UFRGS)

Natal/RN, 30 de maio de 2014.

ARGAMASSAS DO GRUPO ESCOLAR AUGUSTO SEVERO/RN: CARACTERIZAÇÃO E INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Adla Kellen Dionisio Sousa

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá

RESUMO

A busca pela preservação do patrimônio cultural deve ser uma constante, para que não haja a perda da identidade histórica e cultural de um país. Como parte deste patrimônio cultural, destaca-se a importância das edificações históricas. Para que os princípios de restauro sejam atendidos é de suma importância conhecer o estado de conservação desses bens e os materiais existentes. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo estudar as manifestações patológicas presentes nos revestimentos argamassados, bem como caracterizar as argamassas, de maior valor patrimonial, do Grupo Escolar Augusto Severo. Para isso, foi realizado um levantamento histórico da edificação, visitas *in loco* com observação visual e registro fotográfico, coleta de amostras de argamassas de revestimento e caracterização por meio de análise visual e laboratorial, FRX, DRX, TG/DTG e MEV-EDS. A partir das observações realizadas, foram identificadas manifestações patológicas como: fissuras, desprendimento do revestimento, sujidade, eflorescência, mofo e bolor, além da utilização de material inadequado à base de cimento. Constatou-se que as manifestações patológicas foram intensificadas devido à falta de cobertura em alguns pontos e, sobretudo pelo abandono da edificação, que há muitos anos não passa por restauração ou qualquer outro tipo de manutenção preventiva e corretiva. Os resultados das técnicas em laboratório indicaram que as argamassas estudadas são à base de cal, de natureza calcítica, e agregado silicoso, com presença de argila em duas amostras. Das amostras coletadas, duas são compostas por cal, areia e argila e duas por cal e areia. Neste sentido, ressalta-se que é de relevante importância a realização de inspeções e manutenções periódicas, bem como a realização de restauração com a utilização de material compatível com o original.

Palavras-chave: argamassas históricas, manifestações patológicas, caracterização.

MORTAR FROM THE GRUPO ESCOLAR AUGUSTO SEVERO/RN: CHARACTERIZATION AND INCIDENCE OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS

Adla Kellen Dionisio Sousa

Adviser: Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá

ABSTRACT

The search for cultural heritage preservation should be a constant, in order to minimize the loss of historical and cultural identity of a country. As part of this cultural heritage, highlights the importance of historical buildings. For the principles of restoration are met it is important to know the state of conservation and the existing materials. Given the above, this work aims to study the pathological manifestations of the mortar coating from the Grupo Escolar Augusto Severo. For this, was conducted historical survey of the building, on-site visits with visual observation, collecting samples of mortar coating and characterization through visual and laboratory analysis, XRF, XRD, TG/DTG, OM and SEM-EDS. From the observations, pathological manifestations were found as: cracks, detachment of the coating, dirt, use of inappropriate material basis of cement, efflorescence, mold and mildew and also incompatible material base of cement. It was found that the pathological manifestations were intensified due to lack of coverage in some spots and especially the abandonment of the building, that many years does not have restoration or any other type of preventive and corrective maintenance. The results of laboratory tests indicated that the mortars studied are based on lime, with calcitic nature, and siliceous aggregate, with the presence of clay in two samples. From the samples collected, two are composed of lime, sand and clay and two by lime and sand. In this regard, it is important to conduct periodic inspections and maintenance, as well as carrying out restoration with use of material compatible with the original.

Keywords: historical mortars, pathological manifestations, characterization.

Sem a cultura, e a liberdade relativa que ela pressupõe, a sociedade, por mais perfeita que seja, não passa de uma selva. É por isso que toda a criação autêntica é um dom para o futuro.

(Albert Camus)

Dedico este trabalho.

Aos meus pais, Alcimário e Ana Lúcia, pelos
valerosos ensinamentos ao longo da vida.

À minha irmã, Arissia Kelly.

As minhas avós, Maria das Graças (*in memoriam*) e
Maria Modesta.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve presente comigo em todos os momentos, me fornecendo forças e disposição para persistir, me dando equilíbrio e paciência para persistir. Tudo o que eu posso escrever é pouco para descrever a minha eterna gratidão ao Senhor, por me acompanhar em todas as ocasiões e me dar tantas felicidades.

Aos meus pais e minha irmã, por estarem ao meu lado todos esses anos, pela compreensão durante a minha ausência nas comemorações familiares, por me acompanhar nos momentos de sucesso e de angústia e pelo enorme amor e carinho. Sinto-me grata a Deus por tê-los ao meu lado.

A Leonardo Henrique, pelo companheirismo durante todos esses anos, pela compreensão, tristezas e felicidades compartilhadas. Obrigada pela constante ajuda e pela troca de conhecimentos. Agradeço a Deus por estar na minha vida.

A minha orientadora Profa. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá, que me acolheu com tanto carinho na UFRN, pela sugestão do assunto da pesquisa, pelos aconselhamentos, por todas as orientações nos momentos de dúvidas e por sempre confiar e acreditar na minha capacidade. Sem seu estímulo e dedicação este trabalho não seria possível, agradeço a Deus tê-la colocado na minha vida.

A Professora Natália Vieira, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, a Petterson Dantas, da Superintendência de Infraestrutura da UFRN pelas contribuições e pelos conhecimentos em relação ao GEAS. A Ivanildo Soares, Engenheiro Civil do IPHAN, pela informação sobre o grupo de estudo do GEAS e por sua disposição em ajudar.

A Superintendência de Infraestrutura da UFRN por ceder as plantas do GEAS.

Aos bolsistas Rayanderson Saraiva e Orlando Almeida que colaboraram com a parte experimental da pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil, Sr. Francisco Braz e Sandro Ricardo pela presteza na realização da parte laboratorial.

A Carla Laíse e Igor Zumba, técnicos do Laboratório de Difração e Fluorescência de raios-X, e a Roberto, técnico do Laboratório de Análise Térmica, pela boa vontade na realização das análises.

Aos colegas de mestrado, pela troca de conhecimentos, alegria e companhia.

A CAPES/FAPERN pela bolsa concedida para esta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE QUADROS.....	xvii
LISTA DE EQUAÇÕES	xvii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xviii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Estrutura da dissertação.....	3
Capítulo 2	5
Fundamentação Teórica	5
2.1. Argamassas de revestimentos antigos.....	5
2.1.1. Definição e composição de argamassas antigas	5
2.1.2. Função das argamassas nas alvenarias históricas	8
2.1.3. Métodos de caracterização de argamassas antigas.....	10
2.2. Estado da arte – Caracterização de argamassas antigas	16
2.3. Manifestações patológicas em argamassas de revestimento antigas.....	23
2.3.1. Umidade	25
2.3.1.1. Eflorescência	27
2.3.1.2. Desprendimento do revestimento.....	28
2.3.1.3. Mofo e bolor.....	30
2.3.2. Sujidade	31
2.3.3. Intervenção com material a base de cimento	34
2.3.4. Fissuras.....	36
2.3.5. Casos de manifestações patológicas em argamassas de revestimento de edificações antigas.....	37
Capítulo 3	41
Metodologia da pesquisa	41
3.1. Levantamento das manifestações patológicas do GEAS.....	42
3.2. Caracterização das argamassas do GEAS.....	44
3.2.1. Coleta das amostras.....	45
3.2.2. Preparação das amostras para análise	51
3.2.3. Métodos de Caracterização	51

3.2.3.1. Fluorescência de raios-X (FRX)	51
3.2.3.2. Difração de raios-X (DRX)	52
3.2.3.3. Análise termogravimétrica (TG)	52
3.2.3.4. Microscopia eletrônica de varredura com EDS (MEV-EDS).....	53
Capítulo 4.....	54
Apresentação e análise dos resultados.....	54
4.1. Análise Histórica do Grupo Escolar Augusto Severo.....	54
4.2. Levantamento das manifestações patológicas nos revestimentos de argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo.....	57
4.2.1. Manifestações patológicas nas fachadas.....	57
4.2.2. Manifestações patológicas nos ambientes internos.....	66
4.3. Caracterização das argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo.....	79
4.3.1. Análise visual das amostras.....	79
4.3.2. Fluorescência de raios-X.....	82
4.3.3. Difração de raios-X.....	83
4.3.4. Análise termogravimétrica.....	86
4.3.5. MEV-EDS.....	95
Capítulo 5.....	111
Conclusões.....	111
Sugestões para trabalhos futuros.....	113
Referências.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo da cal aérea.....	7
Figura 2.2: Imagem petrográfica de seção fina de argamassas à base de cal.....	8
Figura 2.3: Amostra de argamassa observada no microscópio ótico, com presença do ligante e de fragmentos cerâmicos.....	14
Figura 2.4: Influências dos componentes na coloração da argamassa.....	15
Figura 2.5: Observação no microscópio estereoscópico, onde se pode notar a presença de fragmentos cerâmicos e pedaços de cal e de agregados silicosos.....	17
Figura 2.6: Curva da análise térmica realizada, mostrando a perda de água adsorvida e a decomposição dos compostos.....	18
Figura 2.7: Imagem do MEV, mostrando partículas de calcita no ponto 1 e agregado silicoso no ponto 2.....	20
Figura 2.8: Imagem do MEV com imagens de aragonita em argamassas da Igreja de San Lorenzo em Milão.	20
Figura 2.9: Presença de eflorescência através de manchas esbranquiçadas.....	28
Figura 2.10: Exemplo de expulsão de argamassa com conseqüente desprendimento de revestimento.	29
Figura 2.11: Exemplo de expulsão de argamassa em estágio avançado até a exposição da alvenaria, mostrando tijolos cerâmicos e argamassa de assentamento.....	30
Figura 2.12: Presença de fungos no topo da parede.....	31
Figura 2.13: Exemplo de sujidade em fachada, principalmente nos detalhes arquitetônicos.....	34
Figura 2.14: Revestimento inadequado de cimento: destacamento e degradação da base.....	36
Figura 3.1: Metodologia utilizada na pesquisa.....	41
Figura 3.2: Legenda das manifestações patológicas presentes nos revestimentos argamassados do GEAS.....	43
Figura 3.3: Metodologia utilizada na 2ª etapa da pesquisa, para a caracterização das argamassas de revestimentos do GEAS.....	45
Figura 3.4: Coleta da amostra na fachada frontal do GEAS.....	46
Figura 3.5: Coleta da amostra em ambiente interno do GEAS.....	46

Figura 3.6: Planta Baixa do GEAS.....	47
Figura 3.7: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra da fachada frontal.....	48
Figura 3.8: Imagem do local da amostra na fachada.....	48
Figura 3.9: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do ambiente 01	48
Figura 3.10: Imagem do local da amostra no ambiente 01.....	48
Figura 3.11: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do corredor 01.....	48
Figura 3.12: Imagem do local da amostra no corredor 01.....	48
Figura 3.13: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do ambiente 02.....	49
Figura 3.14: Imagem do local da amostra no ambiente 02.....	49
Figura 3.15: Pesagem e armazenamento das amostras da argamassa de revestimento do GEAS.....	49
Figura 3.16: Desagregação do material.....	51
Figura 4.1: Localização do Grupo Escolar Augusto Severo (destacado em vermelho).....	55
Figura 4.2: Fachada Frontal do GEAS.....	55
Figura 4.3: Planta baixa GEAS mostrando cada região conforme a época de construção.....	56
Figura 4.4: Fachada frontal do GEAS, mostrando os danos encontrados.....	57
Figura 4.5: Detalhe de parte da fachada frontal, mostrando a presença de manchas de umidade, desprendimento do revestimento, mofo e bolor, e sujeidade.....	58
Figura 4.6: Detalhe de parte da fachada frontal, mostrando a presença de manchas de umidade, desprendimento do revestimento, mofo e bolor, e sujeidade.....	60
Figura 4.7: Detalhe da fachada frontal, mostrando sujeidade na cimalha e nos detalhes arquitetônicos.....	60
Figura 4.8: Detalhe da fachada frontal, mostrando sujeidade e desprendimento do revestimento na parede.....	61
Figura 4.9: Fachada lateral esquerda do GEAS, mostrando os danos encontrados.....	62

Figura 4.10: Detalhe da fachada lateral esquerda, mostrando sujidade na parte superior e a parábola de sujidade no meio da fachada.....	63
Figura 4.11: Detalhe da fachada lateral esquerda, mostrando sujidade no guarda-corpo, manchas de umidade e utilização de material inadequado.....	64
Figura 4.12: Fachada lateral direita do GEAS, mostrando os danos encontrados....	64
Figura 4.13: Detalhe da fachada lateral direita, mostrando manchas escuras de umidade na base da parede e no guarda-corpo.....	65
Figura 4.14: Detalhe da fachada lateral direita, mostrando sujidade.....	66
Figura 4.15: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 01.....	66
Figura 4.16: Detalhe da planta baixa do ambiente 01 com indicação das imagens.....	66
Figura 4.17: Ilustrando o desprendimento do revestimento e manchas de umidade.....	67
Figura 4.18: Eflorescência observada na imagem da Figura 4.17, com maior ampliação.....	68
Figura 4.19: Manchas umidade e mofo e bolor na base da parede.....	68
Figura 4.20: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 02.....	69
Figura 4.21: Detalhe da planta baixa do ambiente 02 com indicação das imagens.....	69
Figura 4.22: Ilustrando manchas de umidade, desprendimento com exposição da alvenaria e fissuração.....	70
Figura 4.23: Ilustrando manchas de umidade, sujidade, mofo e bolor e uso de material inadequado.....	71
Figura 4.24: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 07.....	72
Figura 4.25: Detalhe da planta baixa do ambiente 07 com indicação das imagens.....	72
Figura 4.26: Ilustrando manchas de umidade em toda a parede e presença de mofo e bolor na parte inferior e superior da parede.....	73
Figura 4.27: Ilustrando manchas de umidade na parte superior e mofo e bolor na parte inferior, no lado direito da imagem.....	73
Figura 4.28: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 14.....	74
Figura 4.29: Planta baixa do ambiente 14 com indicação das imagens.....	74
Figura 4.30: Ilustrando manchas de umidade na parede.....	75
Figura 4.31: Ilustrando manchas de umidade no revestimento argamassado.....	75

Figura 4.32: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 20.....	76
Figura 4.33: Detalhe da planta baixa do ambiente 20 com indicação das imagens.....	76
Figura 4.34: Manchas de umidade com presença de mofo e bolor.....	77
Figura 4.35: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 22.....	77
Figura 4.36: Detalhe da planta baixa do ambiente 22 com indicação das imagens.....	77
Figura 4.37: Manchas de umidade e presença de mofo e bolor.....	78
Figura 4.38: Ilustrando mofo e bolor no revestimento argamassado.....	78
Figura 4.39: Aspecto visual da amostra GEAS-F-01, coletada na fachada frontal.....	79
Figura 4.40: Aspecto visual da amostra GEAS-I-01, coletada no ambiente 01.....	80
Figura 4.41: Aspecto da amostra GEAS-I-02, coletada no corredor 01.....	80
Figura 4.42: Aspecto visual da amostra GEAS-I-03, coletada no ambiente 02.....	81
Figura 4.43: Difratoograma argamassa GEAS-F-01.....	84
Figura 4.44: Difratoograma argamassa GEAS-I-01.....	84
Figura 4.45: Difratoograma argamassa GEAS-I-02.....	85
Figura 4.46: Difratoograma argamassa GEAS-I-03.....	85
Figura 4.47: TG/dTg da amostras GEAS-F-01.....	88
Figura 4.48: TG/dTg da amostras GEAS-I-01.....	88
Figura 4.49: TG/dTg da amostras GEAS-I-02.....	89
Figura 4.50: TG/dTg da amostras GEAS-I-03.....	90
Figura 4.51: Proporção CO ₂ /H ₂ O em relação a %CO ₂ comparando as argamassas do GEAS com os dados de classificação de Moropoulou et al. (2005).....	93
Figura 4.52: Proporção CO ₂ /H ₂ O em relação a %H ₂ O _{hidr.} das argamassas do GEAS.....	94
Figura 4.53: Micrografia da argamassa GEAS-F-01, mostrando a pasta de cal carbonatada e agregados, ampliação de 200x.....	96
Figura 4.54: Micrografia com detalhe da argamassa GEAS-F-01, ampliação de 800x.....	96
Figura 4.55: Espectro – EDS realizado no ponto 1 indicado na Figura 4.54 referente a argamassa GEAS-F-01.....	97
Figura 4.56: GEAS-F-01- Micrografia ilustrando a região delimitada na Figura 4.54, ampliação de 1500x.....	98

Figura 4.57: GEAS-F-01- Análise espectroscópica de toda a região ilustrada na Figura 4.56.....	98
Figura 4.58: GEAS-F-01 - Micrografia da imagem da Figura 4.56, ampliação de 3000x.....	99
Figura 4.59: Micrografia da amostra GEAS-I-01, ampliação de 200x.....	99
Figura 4.60: GEAS-I-01 - Micrografia ilustrando a região do ponto 1 indicado na Figura 4.59, ampliação de 800x.....	100
Figura 4.61: GEAS-I-01 - Análise espectroscópica do ponto A na Figura 4.60.....	100
Figura 4.62: GEAS-I-01 - Micrografia da região delimitada na Figura 4.60 e indicada pelo ponto 2, com ampliação de 1500x.....	101
Figura 4.63: GEAS-I-01 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.62.....	101
Figura 4.64: GEAS-I-01 - Ampliação de 3000x da área delimitada pelo círculo da Figura 4.62, ampliação de 3000x.....	102
Figura 4.65: Micrografia da amostra GEAS-I-02, ampliação de 200x.....	103
Figura 4.66: GEAS-I-02 - Micrografia ilustrando a região delimitada pelo círculo na Figura 4.65, ampliação de 800x.....	103
Figura 4.67: GEAS-I-02 - Micrografia da região delimitada na Figura 4.66, ampliação de 1500x.....	104
Figura 4.68: GEAS-I-02 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.67.....	104
Figura 4.69: GEAS-I-02 - Micrografia da área delimitada pelo círculo da Figura 4.67, ampliação de 3000x.....	105
Figura 4.70: Micrografia da argamassa GEAS-I-03, ampliação de 200x.....	106
Figura 4.71: GEAS-I-03 - Micrografia ilustrando a região delimitada pelo círculo na Figura 4.70, ampliação de 800x.....	106
Figura 4.72: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica do ponto A na microscopia da Figura 4.71.....	107
Figura 4.73: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica do ponto B na microscopia da Figura 4.71.....	107
Figura 4.74: GEAS-I-03 - Micrografia da região delimitada pelo círculo na Figura 4.70, ampliação de 1500x.....	108
Figura 4.75: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.74.....	109

Figura 4.76: GEAS-I-03 - Micrografia da região especificada na Figura 4.74, ampliação de 3000x.....	109
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Requisitos técnicos versus classificação da argamassa.....	9
Tabela 2.2: Dados de composição das amostras obtidos por dissolução em HCl.....	19
Tabela 4.1 Descrição dos principais aspectos observados na análise visual de cada amostra de argamassa do GEAS.....	81
Tabela 4.2: FRX das argamassas do GEAS.....	82
Tabela 4.3: Composição mineralógica das argamassas por DRX e sua intensidade.....	86
Tabela 4.4: Perdas de massa observadas nas amostras e temperatura de decomposição do carbonato.....	91
Tabela 4.5: TG/DTG do GEAS com % de perda de massa da água higroscópica, quimicamente ligada, %CO ₂ e CO ₂ /H ₂ O _{hidr.}	91
Tabela 4.6: Classificação das argamassas históricas com base nos resultados da TG/DTG de acordo com Moropoulou et al. (2005).	92
Tabela 4.7: Estimativa de percentagem dos materiais e do teor aglomerante/agregado das argamassas do GEAS.....	94
Tabela 4.8: Composição quantitativa das argamassas de acordo com o resultado do EDS para ampliação de 1500x.....	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Relação das técnicas utilizadas pelos pesquisadores e conclusões obtidas.....	22
Quadro 2.2: Relação das manifestações patológicas encontradas de acordo com os pesquisadores e os métodos utilizados.....	40
Quadro 3.1: Ficha do local de extração das amostras do GEAS.....	48
Quadro 3.2: Registro da amostra, local, massa, substrato e local de extração das amostras do GEAS.....	50
Quadro 4.1: Quadro 4.1: Mapa de danos na fachada frontal.....	57
Quadro 4.2: Quadro 4.2: Mapa de danos na fachada lateral esquerda do GEAS.....	62
Quadro 4.3: Mapa de danos na fachada lateral direita do GEAS.....	64
Quadro 4.4: Planta baixa do GEAS e do ambiente 01.....	66
Quadro 4.5: Planta baixa do GEAS e do ambiente 02.....	69
Quadro 4.6: Planta baixa do GEAS e do ambiente 07.....	72
Quadro 4.7: Planta baixa do GEAS e do ambiente 14.....	74
Quadro 4.8: Planta baixa do GEAS e do ambiente 20.....	76
Quadro 4.9: Planta baixa do GEAS e do ambiente 22.....	77

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1	6
Equação 2.2.....	6
Equação 2.3.....	6
Equação 2.4.....	6
Equação 2.5.....	7

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS – Espectroscopia de Absorção Atômica

ATR-IR – Espectroscopia no Infravermelho por Reflexão Total Atenuada

DRX – Difração de raios-X

DSC – Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial

DTA – Análise Térmica Diferencial

DTG – Derivada primeira da TG

FRX – Fluorescência de raios-X

GEAS – Grupo Escolar Augusto Severo

IF – Espectroscopia de Infravermelho

FT-IF – Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

MEV-EDS – Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva

MO – Microscópio Óptico

PIM - Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

TG/TGA - Análise Termogravimétrica

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

INFRA-UFRN – Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Capítulo 1

Introdução

Um edifício histórico é aquele que possui características significativas, como materiais, valor arquitetônico, cultural e histórico, que devem ser valorizadas, e, portanto, mantidas para as gerações futuras. Assim, a busca pela preservação do patrimônio cultural nacional deve ser empreendida de forma sistemática sob pena de levar à perda da identidade histórica e cultural de um país.

O conhecimento de uma edifica

ção histórica, principalmente da sua estrutura, requer informação sobre a sua concepção, sobre as técnicas utilizadas na sua construção, sobre os processos de degradação e dano, sobre alterações que a tenham afetado e, finalmente, sobre o seu estado atual (ICOMOS, 2004).

Deste modo, para que os princípios do restauro, de autenticidade e integridade sejam atendidos, é de suma importância se conhecer os materiais existentes nos edifícios históricos e o seu estado de conservação. O conhecimento dos danos existentes nos patrimônios históricos e das propriedades das argamassas é essencial para identificar os materiais utilizados na sua produção e para avaliar o estado de conservação do revestimento, além disso, auxilia na elaboração do plano de intervenção e permite o emprego de argamassas de substituição compatíveis. As informações das argamassas são adquiridas através da caracterização por meio de técnicas empregadas em laboratório, as quais permitem a identificação dos componentes da argamassa. Acerca disso, Kanan (2008) relata que o sucesso do trabalho de investigação é alcançado combinando as técnicas laboratoriais e recolhendo informações sobre o bem e não com um único método de análise.

Os revestimentos das edificações acumulam a função de proteger e revestir os edifícios em relação às ações climáticas e aos agentes agressivos em geral. Nos revestimentos antigos os materiais utilizados na sua composição eram mais

deformáveis e tinham um grau de porosidade maior do que os empregados atualmente. Os materiais que foram aplicados nas construções antigas são em geral de cal e areia, e podem conter adições de materiais pozolânicos, ou materiais inorgânicos.

A constituição dos materiais utilizados nas argamassas de revestimento variou muito, ao longo dos séculos, na sua forma e constituição. Apesar disso, é imprescindível para a conservação da edificação o conhecimento do material original, de forma a satisfazer a compatibilidade física, mecânica e de durabilidade dos edifícios históricos.

Neste sentido, é de fundamental importância uma avaliação do contexto histórico da edificação, com o objetivo de analisar a existência de intervenções, em qual época foi realizada e o tipo de material aplicado. Como a análise histórica permite obter uma noção do material aplicado na época da intervenção, facilita a identificação da presença de manifestações patológicas no revestimento e o que pode ter causado seu desenvolvimento.

Segundo Ioshimoto (1988), as manifestações patológicas nos revestimentos mais significativas podem ser classificadas, para fins de identificação, em três grandes grupos: umidade, fissuras ou trincas e descolamento de revestimentos. As anomalias são causadas por um ou mais fatores, os quais podem ser identificados através da análise dos sintomas encontrados e do entendimento dos mecanismos dos fenômenos ocorridos.

No Brasil, a prática preservacionista está a cargo, principalmente, do órgão federal de preservação criado desde 1937, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Esta prática, com todos os desafios e dificuldades a ela inerentes, tem observado momentos de maior ou menor investimento nacional. Atualmente, encontra-se em fase de implementação o Programa de Aceleração do Crescimento para Cidades Históricas (PAC-Cidades Históricas) financiado pelo Governo Federal, no qual o Grupo Escolar Augusto Severo/RN está inserido.

A utilização do Grupo Escolar Augusto Severo/RN como estudo de caso exemplifica uma demonstração do valor do monumento, pois é um patrimônio histórico que não sofre manutenção adequada e já passou por várias intervenções,

acompanhando sempre os materiais que eram usados em cada época na qual foi realizada. Ainda hoje a edificação permanece como forte marco na arquitetura e como primeira escola normal do estado do Rio Grande do Norte, onde apresenta vestígios de materiais originais de mais de 100 anos de história, que datam de 1908.

Diante do exposto, pode-se afirmar que é relevante a disponibilidade de informações que auxiliem a restauração de patrimônios históricos. Sob este prisma, com este trabalho pretende-se contribuir com informações referentes ao estado atual da edificação e as argamassas de revestimento históricas.

1.1. Objetivos

A pesquisa tem como objetivo principal analisar as manifestações patológicas dos revestimentos argamassados e caracterizar as argamassas de revestimentos do Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), através de observação visual e do emprego de técnicas de caracterização.

Os objetivos específicos dessa pesquisa são sintetizados a seguir:

- identificar e avaliar as principais manifestações patológicas nos revestimentos de parede argamassados do Grupo Escolar Augusto Severo;
- identificar o aglomerante e o agregado utilizado na argamassa de revestimento do GEAS;
- fornecer informações que possibilitem uma futura elaboração de argamassa de restauro;
- contribuir para o conhecimento de argamassas antigas, em relação a sua composição e seu estado de conservação.

1.2. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos, conforme descrito a seguir.

O segundo capítulo apresenta uma sucinta revisão sobre argamassas antigas, com ênfase na caracterização das argamassas de revestimento, e sobre manifestações patológicas em revestimentos antigos.

No terceiro capítulo é mostrada a metodologia da pesquisa, onde é apresentado o método utilizado para identificação das manifestações patológicas e as técnicas para caracterização das argamassas de revestimento que foram realizadas durante a pesquisa.

No quarto capítulo encontram-se a apresentação e análise dos resultados obtidos na pesquisa.

Para finalizar, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1. Argamassas de revestimentos antigos

2.1.1. Definição e composição de argamassas antigas

As argamassas são utilizadas desde o antigo Egito, sua definição e composição evoluíram com o tempo. Assim, além da cal e areia, era frequente o uso de pozolana, óleo, cinzas, fibras e pó de tijolo.

Belidor¹ (1755) apud Santiago (2007) descreve que: “Argamassa. É um composto de cal e areia, ou de cal e pó de material cerâmico, para unir as pedras. Dizemos que a argamassa é gorda quando tem muita cal.”.

Para Veiga (2006a), as argamassas antigas são constituídas em geral de cal aérea e areia, com o uso ou não de adições minerais e orgânicas.

A cal é um dos materiais de construção mais antigos e seus diversos tipos dependem da matéria-prima utilizada na sua fabricação e do processo de queima. Segundo Margalha (2011), os gregos foram os pioneiros no uso da cal em revestimento, seguidos pelos etruscos que deixaram indícios do seu emprego em cisternas e túmulos, porém foram os romanos, com as enormes construções em seu vasto império, que aprimoraram e expandiram as argamassas de cal. A origem das cales pode ser da queima de conchas ou corais ou de rochas carbonáticas, que podem ser compostas de calcita (carbonato de cálcio) ou dolomita (carbonato de cálcio e magnésio) ou ainda magnesita (carbonato de magnésio).

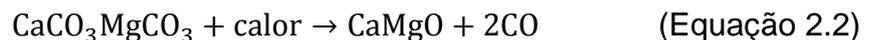
Veiga et al. (2004a) expõe que a cal pode ser aérea, gorda ou magra, dolomítica ou cálcica, ou pode ser hidráulica, fracamente, medianamente ou fortemente hidráulica. As cales aéreas gordas são originárias de calcários com teor

¹ BELIDOR, Bernard Forest de. *Dictionnaire portatif de l'ingenieur*. Paris: Charles-Antoine Jombert, 1755. p. 193 – *Mortier. C'est un composé de chaux & de sable, ou de chaux & de ciment, pour liaisonner les pierres. On dit que le mortier est gras, lorsqu'il y a beaucoup de chaux.*

de carbonato maior ou igual a 99%, isto é, quase puros, já as magras resultam de calcários que possuem entre 1% e 5% de argila ou outras impurezas. A cal aérea é cálcica quando é composta por óxido de cálcio (CaO), dolomítica quando além do CaO existe óxido de magnésio (MgO) e magnesiana quando é composta apenas de óxido de magnésio.

Na produção da cal foram utilizadas diversas fontes de matéria-prima, que passou por várias etapas até se obter a cal. Essas etapas, conhecidas pelo ciclo da cal aérea, Figura 2.1, equivale às reações físicas e químicas que o carbonato de cálcio sofre em três processos, conforme Kanan (2008):

- **Calcinação:** Queima do calcário ou outros tipos de matéria-prima compostas principalmente de carbonato de cálcio (CaCO₃), que sofre decomposição em temperaturas superiores a 850/900°C liberando anidrido carbônico (CO₂) e óxido de cálcio (CaO), sendo este último chamado de cal virgem e que se forma como um resíduo. A Equação 2.1 apresenta a reação para a cal cálcica e a Equação 2.2 descreve a reação da cal dolomítica.

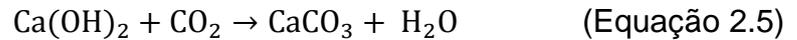


- **Hidratação:** É a reação entre o óxido de cálcio (CaO) e a água, formando o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), chamado de cal hidratada, onde ocorre reação exotérmica, ou seja, com desprendimento de calor, Equação 2.3 (cal cálcica) e Equação 2.4 (cal dolomítica).



- **Carbonatação:** É a reação de endurecimento da argamassa feita com cal aérea, onde o hidróxido de cálcio da argamassa fresca reabsorve o anidrido carbônico existente no ar e se transforma em CaCO₃ novamente, o qual tem características físicas de desempenho diferente do carbonato de

cálcio da matéria-prima do calcário primitivo. Esse processo pode ser observado na Equação 2.5.



Segundo Motta (2004), o aglomerante (cal) ocupa cerca de 20% do volume da argamassa pronta e os agregados ocupam aproximadamente 80%, evidenciando assim a importância dos agregados nas propriedades das argamassas. O agregado (areia) utilizado no passado podia ser de jazida, natural de rio, de conchas (de origem calcária), tijolos (esmagado) e até de pedras como os mármore e os dolomitos. Nas argamassas de cal, o tipo e a granulometria da areia vão influir na cor, textura, resistência, porosidade e muitos outros aspectos (KANAN, 2008).

Assim, considerando argamassas históricas, conforme Duran et al. (2008) a cal (como ligante) contribui na trabalhabilidade e elasticidade das argamassas, enquanto o agregado contribui nas propriedades mecânicas, como agente de enchimento e controle nos problemas decorrentes da retração. Para Carasek (2012), o agregado miúdo atua como esqueleto evitando a retração nas argamassas e, portanto reduzindo o aparecimento de manifestações patológicas.

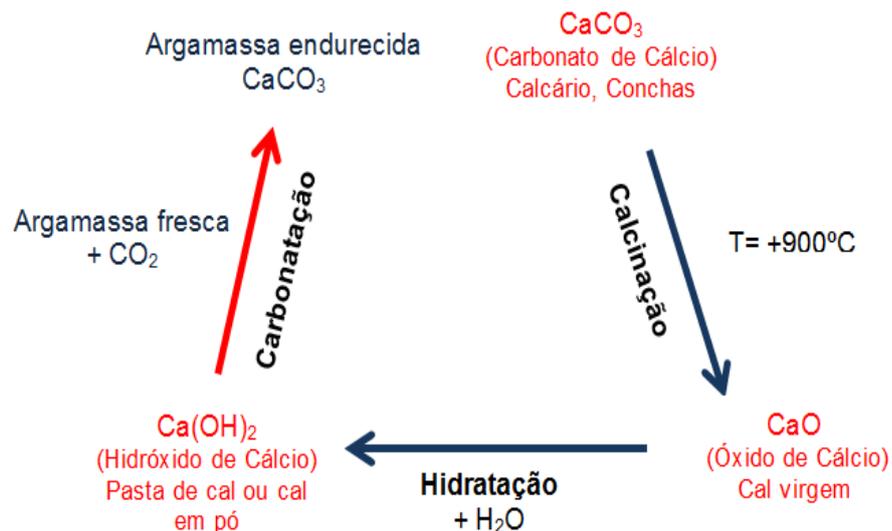


Figura 2.1: Ciclo da cal aérea.

Fonte: Kanan (2008), Adaptado.

Eventualmente adicionavam-se aditivos as argamassas de cal. Segundo Kanan (2008) foram empregados no passado aditivos orgânicos, como, proteínas

(clara de ovo, caseína do leite), óleo de animais (peixe), polissacarídeos (mucilagem vegetal), vegetais (linhaça), gorduras (sebo), fibras vegetais e de animais. A Figura 2.2 apresenta exemplos de argamassa a base de cal com incorporação de aditivos.

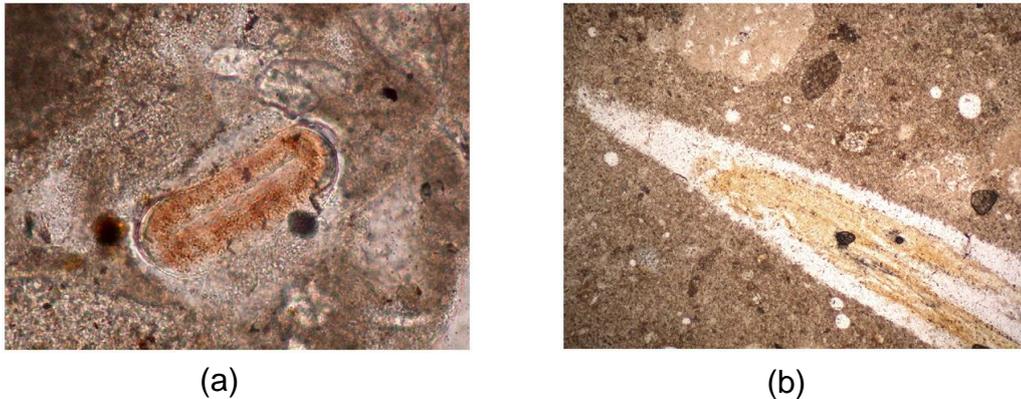


Figura 2.2: Imagem petrográfica de seção fina de argamassas à base de cal: (a) com adição de pelos; (b) com fibra vegetal.
Fonte: Blaeuer e Kueng, 2007.

2.1.2. Função das argamassas nas alvenarias históricas

Para Hughes (2012), a alvenaria é composta por elementos (tijolos, pedra, etc) e argamassa, que quando combinados formam elementos de alvenaria: paredes, arcos, pisos, e colunas. Deste modo, as argamassas tem sido parte complementar da alvenaria por muitos anos, sendo assim necessário compreendê-las, para manutenção eficaz e para assegurar a durabilidade futura da estrutura.

As funções que as argamassas antigas à base de cal cumprem nas alvenarias tradicionais são muito importantes e colaboram com a aparência e a conservação da edificação, pois ao absorver os impactos do ambiente impedem a degradação da alvenaria. Assim sendo, as argamassas funcionam como uma camada de sacrifício, a qual deve se degradar mais rápido do que o substrato.

Conforme Kanan (2008) e Hughes (2012), as diversas funções das argamassas exigem características específicas:

- argamassas de assentamento: exercem função estrutural;
- argamassas de rejuntamento: desempenham a funções de proteção ao ar e à água e decorativa;

- argamassa de revestimento externo: protegem das ações externas;
- argamassas de revestimento interno: cumprem funções estéticas, de conforto e decorativas;
- argamassas decorativas: em estuques, proporcionam proteção e acabamento aos elementos arquitetônicos e às superfícies;
- argamassas de assentamento de azulejos: exercem a função de colagem.

Estas funções exigem diversos requisitos às argamassas, os quais possuem distintos níveis de importância. Hughes (2012) avaliou a importância dos requisitos funcionais para cada tipo de argamassa relacionando os requisitos técnicos com a classificação dos tipos de argamassa, como pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Requisitos técnicos versus classificação da argamassa.

Esquema de classificação 0 = sem importância a 3 = muito importante.

Requisitos Técnicos	Classificação dos Tipos de Argamassa				
	Assentamento	Rejuntamento	Revestimento externo	Reparo	Revestimento interno
Aderência	3	3	3	2	3
Resistência mecânica (flexão e compressão)	2*	2*	1*	2*	1*
Deformação e elasticidade (E)	3	3	2	3	1
Proteção às ações climáticas					
Resistência à penetração da água	2	3	3	1	1
Resistência ao gelo	2	3	3	1	0
Dilatação térmica	1	1	3	1	3
Permeabilidade ao vapor d'água	2	3	3	1	3
Comportamento à molhagem e secagem	2	3	3	1	2
Estética	1	3	3	0	3

*Em relação ao substrato os valores de resistência e deformação da argamassa devem ser menores do que da alvenaria.

Fonte: Hughes (2012), Adaptada.

2.1.3. Métodos de caracterização de argamassas antigas

Devido à evolução cada vez mais rápida dos materiais para revestimento, principalmente dos aglomerantes, e a frequente necessidade de restaurações nas edificações históricas. Há uma consonância entre vários pesquisadores como, Groot et al. (1999), Alvarez et al. (1999), Gleize et al. (2000), Callebaut et al. (2001) dentre outros, que antes de qualquer restauração nessas edificações, é necessário fazer um estudo dos materiais originais existentes, utilizando-se técnicas para caracterização e identificação dos materiais tradicionais, como natureza do aglomerante e do agregado e a relação entre ambos. O uso desses procedimentos, que utilizam recursos tecnológicos avançados, possibilita com a caracterização a utilização de argamassa para o restauro compatível com a original.

Argamassas históricas do período Helenístico, Bizantino, Otomano e posteriores da Grécia foram caracterizadas por Moropoulou et al. (1995 e 2000), através do emprego de Difração de raios-x (DRX), análises térmicas, análise petrográfica pelo microscópio ótico, espectroscopia no infravermelho e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS. As argamassas foram classificadas em argamassas típicas de cal, de cal com tijolo esmagado, argamassas de gesso, de gesso com cal, de cal com pozolana e de cal com entulhos de alvenaria. Os pesquisadores verificaram que as características microestruturais das argamassas são fundamentais para manter a compatibilidade e que uma estrutura muito densa de uma argamassa, como a de cimento que possui poros com raios pequenos é incompatível com a alvenaria e pode provocar sua corrosão por sais.

Segundo Moropoulou et al. (1995), Bakolas et al. (1995 e 1998) e Paama et al. (1998), a análise térmica de argamassas históricas permitem diferenciar os tipos de argamassas e conseqüentemente seus componentes, tais como: argamassa típica de cal, de cal com cerâmica esmagada, com gesso, entre outras. De acordo com esses pesquisadores, a partir de reações ocorridas em faixas de temperaturas específicas foi possível obter conclusões sobre a origem do aglomerante.

Bakolas et al. (1995 e 1998) e Moropoulou et al. (1995) atribuíram as transformações que ocorrem em temperaturas abaixo de 120°C à perda de água higroscópica, ou seja, água fisicamente adsorvida. Valores de perda de massa

acima de 1% nessa faixa de temperatura, conforme Bakolas et al. (1998), indicam misturas de natureza hidráulica, essa característica é muito benéfica para distinguir argamassas com aglomerantes hidráulicos de argamassas feitas somente de cal, as quais tem na maioria das vezes baixo teor de água higroscópica. Esse autor verificou ainda que a perda de massa no intervalo de temperatura de $120 \pm 200^\circ\text{C}$ é atribuído à água de cristalização dos sais hidratados.

Esses pesquisadores, que realizaram a análise térmica, atribuíram as perdas de massa no intervalo de temperatura entre 200°C e 600°C , a água quimicamente ligada ou a cátions interlamelares hidratados, o que sugere a presença de compostos hidráulicos no aglomerante. Nessa faixa de temperatura pode ocorrer ainda:

- na faixa entre $250 \pm 280^\circ\text{C}$ ocorre desidratação da hidromagnesita (BAKOLAS et al., 1995);
- entre 350 a 420°C desidratação do hidróxido de magnésio (CHIARI², 1992 apud MOROPOULOU et al., 1995);
- entre 400 e 520°C a desidratação do hidróxido de cálcio (MOROPOULOU et al., 1995 e PAAMA et al., 1998);
- em $450 \pm 520^\circ\text{C}$ acontece a decomposição do carbonato de magnésio (PAAMA et al., 1998);
- em cerca de 470°C ocorre a descarbonatação da aragonita (MACKENZIE³, 1970 apud MOROPOULOU et al., 1995);
- entre 500 e 600°C decomposição de carbonatos.

Acima de 600°C , entre 700 e 900°C ocorre decomposição da calcita, com pico endotérmico em cerca de 840°C , já a dolomita apresenta pico endotérmico a 860°C .

Alvarez et al. (1999 e 2000) estudaram amostras de argamassas antigas da catedral de Pamplona, através do ataque químico com ácido clorídrico, estudos

² G. Chiari, M.L. Santarelli and G. Toracca, *Materiali e Strutture*, 3 (1992) 111-137.

³ R.C. Mackenzie, in *Differential Thermal Analysis 2*, 1st edn., Academic Press, London, 1970.

granulométricos, difração de raios-X, análise térmica, cromatografia de íons e técnicas de espectrofotometria. Os métodos indicaram que é do tipo calcítica e os agregados silicosos e presença de sais solúveis em algumas amostras. A partir do ataque químico os autores observaram que não ocorreu a destruição do agregado com o método, logo esse procedimento pode ser utilizado para vários tipos de argamassas, exceto para as argamassas que o agregado é de origem calcária, devido ao fato de o ataque dissolver os compostos desse tipo.

As argamassas de revestimento do Palácio Cruz e Sousa, em Florianópolis/SC, foram caracterizadas por Gleize et al. (2000) a partir de DRX, análise térmica e MEV com EDS, foi identificado como ligante principal o carbonato de cálcio presente na forma de calcita em uma amostra e vaterita na outra e os resultados indicaram que a argamassa é composta por um mistura de cal com pozolana importada provavelmente de terras romanas. De acordo com Bessler e Rodrigues (2008) calcita, aragonita e vaterita são polimorfos do carbonato de cálcio. Polimorfos ou alótropos são materiais que possuem a mesma constituição química, mas forma cristalina diferente.

Um sistema de caracterização foi elaborado por Veiga et al. (2001), utilizando técnicas de observação e análise em laboratório, capazes de identificar as diferentes camadas e os tipos de composto, através dos seguintes ensaios:

- observação no Microscópio Ótico (MO), para detectar fibras de materiais, camadas diferentes e aspecto do agregado;
- ataque químico em ácido clorídrico (HCl), que permite determinar o teor de areia e a reconstituição do traço;
- distribuição granulométrica da areia para identificar o grão;
- absorção atômica do resíduo solúvel do ataque químico para identificar sais solúveis;
- difração de raios -X para determinar os componentes minerais;
- análise térmica: termogravimétrica (TG) e térmica diferencial (DTA) - para determinar o teor e o tipo da cal;

- microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplado com EDS para verificar a morfologia dos componentes e identificar processos de deterioração microestruturais;
- espectroscopia no infravermelho para identificar compostos de natureza orgânica.

Ensaio adaptado de absorção por capilaridade e de resistência mecânica foram realizados por Veiga et al. (2004b). O teste de capilaridade foi feito utilizando um cesto de arame e uma gaze de geotêxtil, a amostra foi colocada em água, dentro do conjunto cesto mais gaze, e foram feitas medidas periódicas. Os autores verificaram que as argamassas com agregado dolomítico apresentaram maior resistência. Observaram ainda, que quanto maior a absorção do material menor a resistência.

Vários pesquisadores como Franzini et al. (1999) e Callebaut et al. (2001), tentaram determinar a hidraulicidade de argamassas antigas com base em resultados combinados de análises químicas e microscópicas. Neste aspecto, Elsen et al. (2004) estudaram a composição das argamassas da catedral de Notre Dame em Tournai, na Bélgica, Patrimônio Mundial da UNESCO, através de análise química e microscópica. Foi verificado que valores elevados de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3) representam maiores valores de hidraulicidade e índice de cimentação do material, a maioria das amostras tiveram grau de hidraulicidade elevado. Além disso, foram identificados nódulos de cal geralmente arredondados aparecendo na matriz da argamassa, algumas vezes com fissuras de retração, agregados de calcário, cerâmica esmagada e variedades de quartzo. Através dessas análises eles conseguiram estimar a relação ligante/agregado que variou de 0,3 até 2,5.

A partir da determinação da relação aglomerante/agregado por meio de ataque ácido, determinação do tamanho das partículas por análise granulométrica, análise da microestrutura através do microscópio ótico, determinação da mineralogia por difração de raios-X (DRX), análise da composição química (FRX) e análise térmica (TGA), Velosa et al. (2007) conseguiram caracterizar as argamassas romanas de Conímbriga, em Portugal, em argamassas de cal calcítica, areia

composta por quartzo e adição de cerâmica esmagada, foram observados grãos de calcita visíveis na matriz da argamassa, o que sugere que o processo de calcinação não ocorreu completamente. A Figura 2.3 ilustra a argamassa observada no microscópio ótico, com presença da cal, de partículas de cerâmica e pode ser observada uma descontinuidade entre o ligante e os fragmentos de cerâmica. O ponto “a” indica o preenchimento de descontinuidade entre o ligante e as partículas de cerâmica e o ponto “b” indica grãos de quartzo na matriz cerâmica.

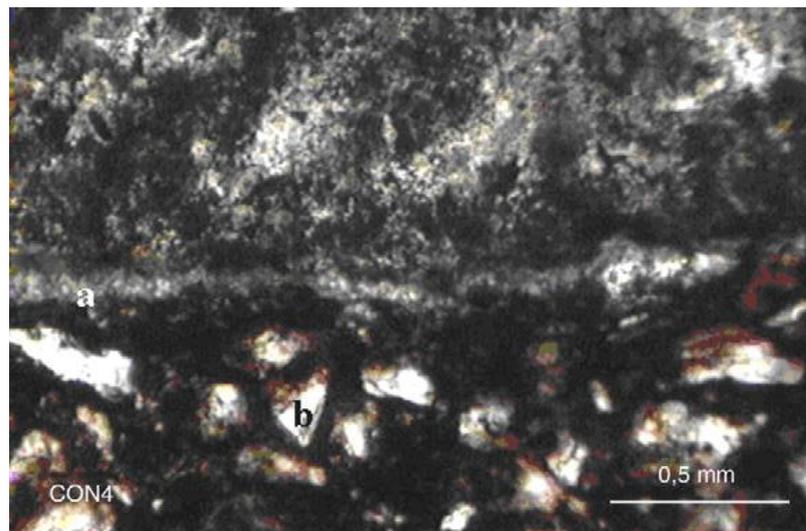


Figura 2.3: Amostra de argamassa observada no microscópio ótico, com presença do ligante e de fragmentos cerâmicos.

Fonte: Velosa et. al., 2007.

As argamassas de edifícios históricos de arte de Sevilha foram caracterizadas por Duran et al. (2008) com uso de análise térmica, difração de raios-X, fluorescência de raios-X espectroscopia no infravermelho e MEV. O DRX mostrou que a maioria das argamassas são constituídas de calcita e sílica, na análise térmica um dos picos que mostra a decomposição dos materiais mostrou um pico endotérmico devido a desidratação do gesso (100-150 °C), o que não foi detectado nas análises de DRX e FRX. Nesse estudo foi constatada a presença de fibras que foram confirmadas pela espectroscopia de infravermelho (IF), pelo MEV e microscópio ótico. As fibras encontradas foram de celulose e lignina, o IF apresentou ainda bandas atribuídas a polissacarídeos.

Para garantir a conservação do patrimônio e a utilização de argamassa compatível com a original, além da constituição das argamassas antigas é de

fundamental importância segundo Tavares et al. (2003), conhecer também as características da coloração. A cor das argamassas é importante para a fabricação de argamassas de reparo com características semelhantes as originais em relação às propriedades químicas, físicas e estéticas.

Os materiais que constituem as argamassas, tanto a cal como a areia e adições, influenciam diretamente na sua cor. Conforme Veiga e Velosa (2008), o uso de materiais pozolânicos, como a terra, permite fabricar argamassas de diferentes cores. Ainda segundo as autoras, a cor das terras utilizadas deve-se a presença de minerais de ferro, a goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$), que fornece a cor amarela e a hematita (Fe_2O_3), que atribui a cor vermelha.

Na Figura 2.4 é possível observar a influência dos componentes na argamassa. A Figura 2.4 (a) ilustra a influência do agregado vulcânico, o qual forneceu a argamassa características de cor cinza, enquanto que na Figura 2.5 (b) o uso do agregado cerâmico moído com mistura de cal de cor clara, atribuiu a argamassa uma tonalidade rosada.



(a)



(b)

Figura 2.4: Influências dos componentes na coloração da argamassa: (a) argamassa de S. Miguel, Açores, com agregado vulcânico; (b) argamassa da Estação Arqueológica de Conímbriga contendo cerâmica moída.

Fonte: Veiga e Velosa, 2008.

No item 2.2 será apresentado o estado da arte quanto à caracterização das argamassas antigas objetivando subsidiar a discussão dos resultados encontrados na pesquisa realizada.

2.2. Estado da arte – Caracterização de argamassas antigas

Conforme Hughes (2012), para a manutenção correta de forma que assegure a durabilidade futura de edifícios históricos, é preciso o entendimento das argamassas existentes, como relação a sua durabilidade e resistência ao meio ambiente. Além disso, é importante conhecer a composição das argamassas originais e suas propriedades. É muito importante a consciência da exigência da concepção de argamassas que trabalham com a preservação do tecido existente (HUGHES, 2012).

No Brasil, as argamassas históricas de nove edificações de Santa Catarina foram caracterizadas por Gleize et al. (2009), por meio de técnicas de difração de raios-X (XRD), análise termogravimétrica (TG), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) e espectroscopia de absorção atômica (AAS). Das análises concluíram que as argamassas têm como ligante principal a cal calcítica fabricada a partir de conchas, as quais foram totalmente carbonatadas. Em algumas argamassas foram identificadas cales com impurezas, provavelmente devido à produção. Verificou-se ainda na mistura a presença de barro e pequenos fragmentos cerâmicos.

A Igreja de Santa Maria de Évora (Catedral de Évora), localizada em Évora/Portugal, cidade classificada pela UNESCO como Patrimônio da Humanidade, teve suas argamassas caracterizadas por Adriano et al. (2009). As argamassas, de diferentes períodos de construção e conservação, caracterizadas principalmente por análise petrográfica e MEV. Os resultados mostraram a presença de cal calcítica e dolomítica, agregados com presença de sílica e em algumas argamassas observou-se a presença de tijolos esmagados e nódulos de cal, como ilustrado na Figura 2.5, onde é visível a presença de fragmentos cerâmicos e nódulos de cal.

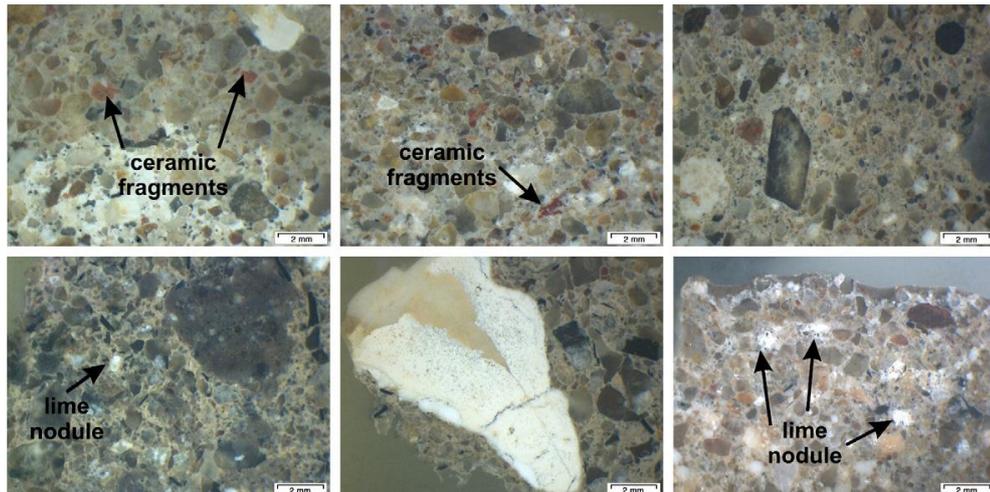


Figura 2.5: Observação no microscópio estereoscópico, onde se pode notar a presença de fragmentos cerâmicos e pedaços de cal e de agregados silicosos.

Fonte: Adriano et. al., 2009.

Argamassas históricas de cal medievais da Suécia foram analisadas por Balksten (2010). Com uso da técnica DRX foi possível identificar a cal como calcítica e com o emprego do Microscópio Eletrônico de Varredura com ampliação de 25000x foi possível observar a estrutura de microporos na cal. Através da observação no microscópio ótico foi possível verificar argamassas com pequena quantidade de agregados, com microfissuras, com pedaços de madeira queimada, nódulos de cal e ainda argamassas com agregados feitos de conchas do mar.

Por meio de caracterização química e mineralógica Sanjurjo-Sánchez et al. (2010) estudaram as argamassas do templo de Santa Eulalia de Bóveda, na Espanha, as amostras foram analisadas por DRX e por ativação com nêutrons. Nas análises foram encontrados quartzo, feldspatos, calcita e mica, logo a cal é de origem calcítica.

O edifício neoclássico do Parlamento Grego com elevado valor arquitetônico e histórico teve suas argamassas históricas analisadas por Karoglou et al. (2011), com o emprego da difração de raios-X, análise térmica (TG/DTA) foi identificado como componente principal a calcita e em menor quantidade o quartzo, gesso e a muscovita. Conforme o estudo realizado, a presença do gesso é atribuída ao processo de sulfatação do carbonato de cálcio, devido à poluição atmosférica onde a edificação esta localizada. A análise térmica confirmou a elevada porcentagem de carbonato de cálcio, com agregados principalmente de natureza calcítica, derivados

de um calcário moído natural. No estudo não foram identificados pigmentos naturais nem artificiais, logo a cor da argamassa foi atribuída à presença dos agregados.

Rodrigues et al. (2013) caracterizaram argamassas internas e externas da Ruína de São Miguel Arcanjo (1687), Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, desde 1983, localizada no estado de Rio Grande do Sul. O emprego de DRX e de espectroscopia no infravermelho por reflexão total atenuada (ATR-IR), as quais revelaram a presença da cal calcítica em todas as amostras, aragonita (provavelmente originada da carapaça de caramujo) nas amostras internas e hidroxiapatita (fosfato de cálcio cristalino de origem animal) nas externas. Com a análise termogravimétrica no estudo foi possível confirmar a presença da cal calcítica, como ilustrado na Figura 2.6, onde é representada a curva da análise de uma amostra. Nesta, pode-se observar a desidratação do Ca(OH)_2 , não identificado no DRX, e a decomposição da calcita. A análise no MEV e EDS, além de confirmar a natureza do ligante e do agregado de natureza silicosa, revelou a presença de fibras orgânicas.

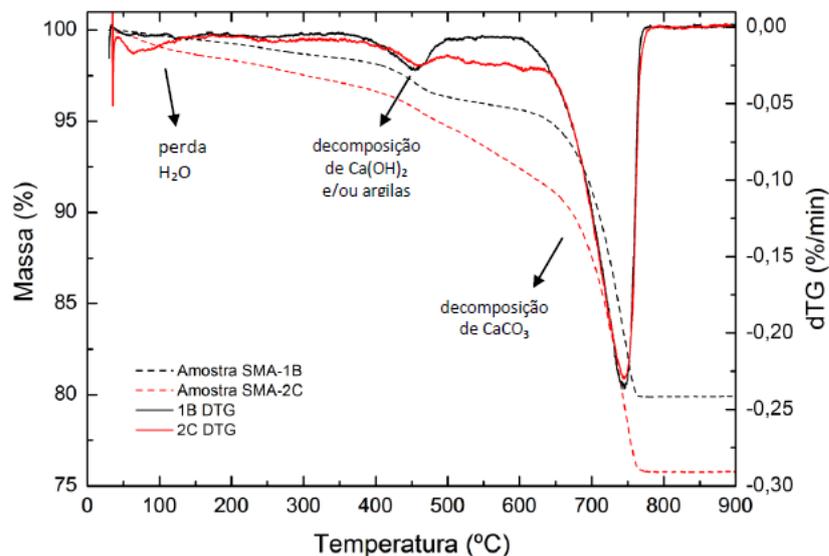


Figura 2.6: Curva da análise térmica realizada, mostrando a perda de água adsorvida e a decomposição dos compostos.

Fonte: Rodrigues et. al., 2013.

Silvoso e Silva (2013) estudaram as argamassas do Palácio Universitário da UFRJ, onde foram realizados os ensaios de massa específica, análise no microscópio ótico, FRX, DRX, análise térmica (TG/DTA/DSC) e ataque com HCl. Os resultados mostraram a presença de argamassas com alto teor de cal de natureza

calcítica, agregados calcários e conchas marinhas. O elevado teor de cálcio na análise do FRX e de resíduo solúvel obtido do ataque com ácido clorídrico (HCl), este último apresentado na Tabela 2.2, fornecem claros indícios de que os agregados são de natureza calcária e, portanto são atacados pelo HCl durante o processo de dissolução, isso impede a determinação correta da relação ligante/agregados.

Tabela 2.2: Dados de composição das amostras obtidos por dissolução em HCl.

Amostras	Fração insolúvel (%)	Fração solúvel (%)
PU04	20	80
PU05	16	84
PU10	30	70
PU12	26	74

Fonte: Silvos e Silva, 2013.

Souza e Carneiro (2013) analisaram as argamassas do Convento de Santo Antônio, em Recife/PE, as amostras foram submetidas a ensaio de granulometria, análise térmica (TG/DTA), FRX, DRX, microscopia petrográfica e MEV. Os resultados indicaram que o aglomerante utilizado foi a cal, originada da queima de conchas, isto é, da calcinação de calcário marinho. Foram observadas a presença de restos desse material, indicando um processo incompleto de calcinação. No estudo, a análise térmica no intervalo de 200°C a 600°C apresentou perda maior que 3%, o que indica que a argamassa é composta também por barro, sendo classificada, portanto, como bastarda.

Bertolini et al. (2013), caracterizaram o aglomerante de argamassas de diferentes idades da Igreja de San Lorenzo em Milão. Com base nas análises de DRX, térmica (TG) e por MEV, foi identificado como aglomerante principal a cal magnesiana, com presença de calcita, sendo que algumas argamassas apresentam forma que se assemelham a estrutura romboédrica, característica da aragonita (polimorfo do carbonato de cálcio). Na Figura 2.7, pode-se observar na micrografia a presença da calcita no ponto 1, compatível com sua estrutura cristalina com forma hexagonal, na qual o carbonato de cálcio é normalmente encontrado devido ao processo de carbonatação, e do agregado silicoso no ponto 2. Já na Figura 2.8 é possível observar na micrografia da presença de aragonita. Ainda de acordo com o estudo, em algumas amostras de argamassas foram observadas uma matriz cor de

rosa devido à introdução de partículas de tijolos de terra, provavelmente devido à moagem da cal. Nessas argamassas estudadas foi observada na maioria das amostras a presença de gipsita, com partículas distribuídas de forma aleatória e sua existência não alterou as camadas da superfície das argamassas, assim, segundo os pesquisadores, é possível concluir que a gipsita foi adicionada intencionalmente durante a fabricação da argamassa, logo não é um produto resultante da reação do aglomerante devido à ação do enxofre causada pela poluição.

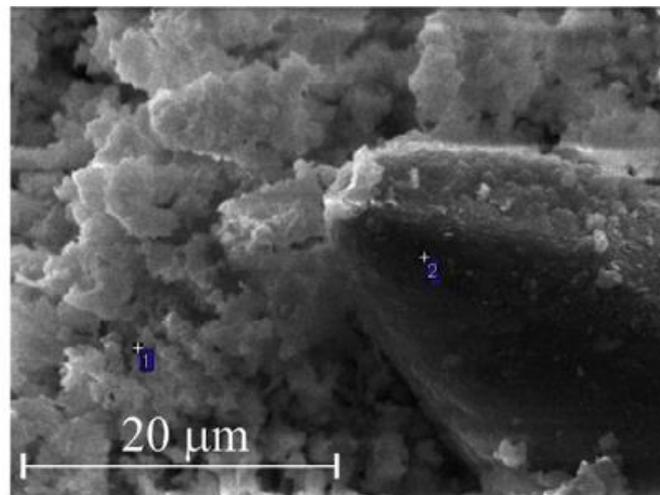


Figura 2.7: Imagem do MEV, mostrando partículas de calcita no ponto 1 e agregado silicoso no ponto 2.
Fonte: Bertolini et. al., 2013.

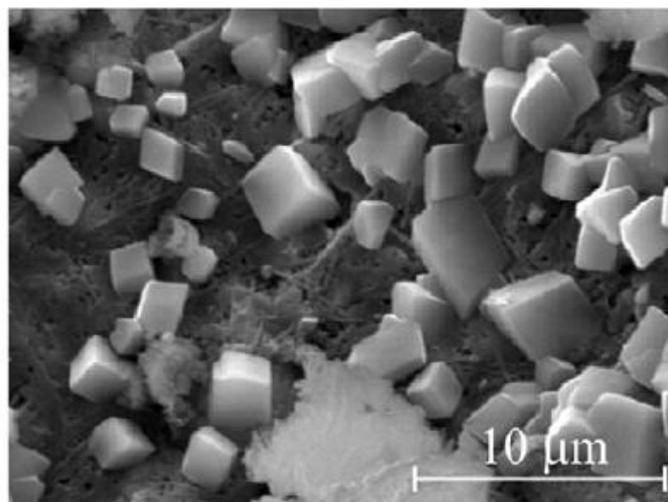


Figura 2.8: Imagem do MEV com imagens de aragonita em argamassas da Igreja de San Lorenzo em Milão.
Fonte: Bertolini et. al., 2013.

Argamassas romanas e árabes foram caracterizadas por Garofano et al. (2013) com o emprego de técnicas analíticas de difração de raios-X, fluorescência

de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, microscopia petrográfica, análise térmica diferencial e termogravimétrica (DTA/TG), análise granulométrica e porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM). Os resultados de DXR, FRX e microscopia petrográfica revelaram que o aglomerante presente é a cal de natureza calcítica em todas as amostras analisadas, que foi misturada com agregados de areia de rio, quartzo (SiO_2). Na microscopia petrográfica e no MEV foram observadas a presença de fibras orgânicas nas amostras árabes. Com base na análise térmica foi calculado o teor de carbonato de cálcio nas amostras, a partir da perda de massa entre as temperaturas de 620°C e 780° , nessa faixa de temperatura ocorreu a quebra do carbonato de cálcio e a emissão do CO_2 . O teor de CaCO_3 das argamassas romanas foi de 22%, com proporção aglomerante/agregados de 1:3,5, já as argamassas árabes apresentaram 29% de teor de CaCO_3 . No entanto, os resultados de teor de carbonato de cálcio obtido a partir do ataque ácido foram diferentes, 28% para as argamassas romanas e 41% para as árabes. Essa diferença entre as duas técnicas, segundo os pesquisadores, deve-se provavelmente a erros de medição. Os resultados mostraram ainda que as argamassas árabes eram mais porosas do que as romanas, e, conseqüentemente menos densas. Os dados da distribuição granulométrica mostraram argamassas romanas compostas por agregados com melhor distribuição granulométrica, enquanto as argamassas árabes apresentaram excesso de finos. Os resultados das análises mostram a cuidadosa seleção dos materiais realizada pelos romanos, o que indica maior conhecimento sobre a fabricação de argamassas de cal do que os árabes.

Yaseen et al. (2013) estudaram as argamassas de edificações antigas da cidade de Jerash, na Jordânia, com uso de microscopia petrográfica, MEV e análise de DRX e FRX. Foi identificado como aglomerante principal a cal de natureza calcítica, com presença de nódulos de cal, o que pode ser devido a baixa quantidade de água utilizada na hidratação da cal ou ao processo incompleto de carbonatação da cal. A análise no microscópio petrográfico mostrou uma coesão aglomerante/agregado e alta reatividade da cal, o que pode ser devido a queima suave do calcário cru. Os resultados apresentaram dois tipos de agregados. Algumas argamassas possuem agregados de calcita, gesso e quartzo, enquanto outras amostras são compostas por agregados constituídos de calcita, gesso, argila e pozolana esmagada.

Fang et al. (2014) analisaram argamassas chinesas e verificaram que por meio de técnicas analíticas, com uso de reagentes químicos, e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, é possível identificar a presença de amido, açúcar, sangue, proteína e outros aditivos orgânicos. Os resultados mostraram a presença de açúcar e sangue nas argamassas antigas.

No Quadro 2.1 são apresentadas, de forma sucinta, as técnicas utilizadas para caracterização de argamassas antigas nas pesquisas mais recentes, conforme o ano e os resultados obtidos pelos pesquisadores.

Quadro 2.1: Relação das técnicas utilizadas pelos pesquisadores e conclusões obtidas.

Pesquisador/Ano	Métodos	Conclusões
Gleize et al. (2009)	DRX, TG, FT-IR AAS.	O aglomerante encontrado foi a cal calcítica fabricada a partir de conchas. Nas argamassas foi identificada a presença de barro e pequenos fragmentos cerâmicos.
Adriano et al. (2009)	Análise petrográfica e MEV.	Os resultados mostraram a presença de cal calcítica e dolomítica e agregados silicosos. Algumas argamassas tinham tijolos esmagados e nódulos de cal.
Balksten (2010)	DRX, MEV e MO.	O aglomerante de todas as argamassas foi a cal. Algumas argamassas tinham agregados feitos de conchas do mar, resíduos de madeira queimada e nódulos de cal.
Sanjurjo-Sánchez et al. (2010)	DRX e análise de ativação por nêutrons.	O aglomerante encontrado foi de origem calcítica e foram identificados quartzo, feldspatos, e mica.
Karoglou et al. (2011)	DRX e TG/DTA.	O componente principal encontrado foi calcita e em menor quantidade o quartzo, gesso e a muscovita. Os agregados são principalmente de origem calcária.
Rodrigues et al. (2013)	DRX, ATR-IR, TG/DTA MEV com EDS.	A cal foi identificada com calcítica em algumas amostras e em outras aragonita. Os agregados de natureza silicosa e foi observada a presença de fibras.
Silvoso e Silva (2013)	FRX, DRX, TG/DTA/DSC, MO e ataque com HCl.	Foram identificadas argamassas com alto teor de cal de natureza calcítica. Agregados de natureza calcária e presença de conchas marinhas.

Quadro 2.1: Continuação: Relação das técnicas utilizadas pelos pesquisadores e conclusões.

Pesquisador/Ano	Métodos	Conclusões
Souza e Carneiro (2013)	FRX, DRX, TG/DTA, análise petrográfica e MEV.	O aglomerante encontrado foi a cal resultante da calcinação de conchas. A argamassa é bastarda, pois contém barro.
Bertolini et al. (2013)	DRX, TG E MEV.	O aglomerante principal identificado foi a cal magnesiânica, com presença de calcita e em algumas amostras aragonita. E o agregado silicoso.
Garofano et al. (2013)	DRX, FRX, MEV, análise petrográfica, TG/DTA, granulometria e PIM.	O aglomerante encontrado foi a cal de natureza calcítica e o agregado foi o quartzo. Foi observada a presença de fibras.
Yaseen et al. (2013)	DRX, FRX, análise petrográfica, MEV.	O aglomerante foi a cal de natureza calcítica. Algumas argamassas apresentaram agregados de calcita, gesso e quartzo e outras os agregados presentes eram de calcita, gesso, argila e pozolana esmagada.
Fang et al. (2014)	Técnicas analíticas – reagentes químicos	Foi identificada a presença de açúcar e sangue.

2.3. Manifestações patológicas em argamassas de revestimento antigas

Os revestimentos e acabamentos de elementos de construção dos edifícios têm um importantíssimo papel a desempenhar, já que constituem a “pele” que assegura a proteção desses elementos, em relação às ações agressivas de natureza química e mecânica (APPLETON, 2011).

Segundo Pagnussat (2003), a manutenção em edificações antigas normalmente é tratada com displicência ou é ignorada. Assim, as argamassas de revestimento antigas ficam expostas a diversos agentes agressivos, devido a ações ambientais e do próprio homem. As manifestações patológicas podem ainda ser causadas pelos próprios materiais ou ações agressivas de natureza, física, química, mecânica ou biológica. Conforme Magalhães (2002), é frequente se observar várias

manifestações patológicas nas partes externas das edificações antigas por permanecerem em contato direto com o meio ambiente.

Embora as degradações possam manifestar-se na superfície, sendo assim imediatamente visíveis através de uma inspeção superficial (eflorescências, porosidade elevada etc.), existem também processos de degradação que só podem ser detectados através de ensaios mais sofisticados (ICOMOS, 2004).

Neste aspecto, é fundamental a realização de um diagnóstico para identificar as causas dos danos, que segundo ICOMOS (2004) pode ser feito com base em três aspectos:

- análise histórica – para entender a evolução da edificação e conseqüentemente dos materiais utilizados;
- análise qualitativa – refere-se à observação visual do estado atual da edificação;
- análise quantitativa – com a realização de modelagem matemática e ensaios.

Conforme ICOMOS (2004), o diagnóstico pode ser difícil, pois o que se tem disponível nas edificações que apresentam manifestações patológicas são os efeitos, enquanto a causa é que tem que ser determinada. Diante disso, a experiência e um bom conhecimento das manifestações patológicas são essenciais para o correto diagnóstico.

São múltiplos os danos encontrados em revestimentos antigos de argamassas e que podem vir isolados ou acompanhados de outras manifestações patológicas, esses danos podem ser: sujeira; desagregação do revestimento com ou sem exposição da alvenaria; mofo e bolor; musgos; eflorescência; intervenção com material a base de cimento e fissuras. Essas manifestações patológicas são descritas a seguir do item 2.3.1 ao item 2.3.4. No item 2.3.5 será apresentado de casos de manifestações patológicas em edificações antigas.

2.3.1. Umidade

A umidade é um dos problemas mais frequentes que ocorrem nas edificações e que podem afetar os revestimentos argamassados, ocasionando desconforto estético, além de contribuir para a deterioração dos materiais e, portanto, afetando a vida útil da construção. Para o desenvolvimento da grande maioria das manifestações patológicas nas construções a presença da umidade é fundamental.

A água desenvolve um papel decisivo nas anomalias geradas nos revestimentos de edifícios, por dois motivos principais: primeiro, a água, em forma líquida ou de vapor está intimamente envolvida em todas as reações químicas que podem causar degradação; segundo, a água em forma líquida tem uma importante função ao levar um componente químico em direção ao outro, realizando, deste modo, um contato físico entre os dois elementos, sem o qual a reação química entre eles não poderia acontecer (NAPPI E LALANE, 2010).

Segundo com Perez (1988), conforme a origem e a forma de manifestação, a umidade se classifica em:

- umidade de obra: incorporada durante o processo de construção;
- umidade de infiltração: decorrente da água da chuva que penetra na edificação;
- umidade por condensação: decorrente do vapor de água fica condensado no interior dos elementos ou na superfície da edificação;
- umidade acidental: causada por vazamentos do sistema de coleta e/ou distribuição de água da edificação;
- umidade ascensional: proveniente da absorção de água existente no solo pela fundação.

A umidade de obra, incorporada durante o processo de construção, é a umidade presente na edificação após o fim das atividades da obra, a qual normalmente tende a desaparecer gradativamente. No caso de obras de restauração, segundo Lersch (2003), não são tomados os devidos cuidados com a

água utilizada nas intervenções, assim problemas relacionados a este tipo de umidade, provavelmente são provenientes de intervenções recentes.

A umidade de infiltração, proveniente da absorção e penetração da água da chuva, conforme Lersch (2003), não está associada somente a ação da chuva, mas a combinação da ação da chuva com o vento. Perez (1988) relata que as características que regulam a penetração de água de chuva são a forma e a constituição dos materiais empregados, os quais são determinantes para a intensidade dos fenômenos de difusão, absorção de umidade e capilaridade, e ainda para a ação da força da gravidade na penetração da água nas fissuras. O autor comenta ainda que determinados aspectos, os quais são necessários e importantes de serem avaliados, devem ser considerados, como:

- as condições climáticas do local, como a direção e intensidade do vento, além das precipitações na região da edificação;
- detalhes arquitetônicos nas fachadas, como pingadeiras e molduras, que protegem as janelas, portas e paredes;
- estanqueidade à água dos elementos, como paredes e sistema de pintura, e dos componentes como portas e janelas;
- programa para manutenção e avaliação do desempenho da edificação ao longo do tempo, por meio da análise da durabilidade das soluções empregadas.

A umidade por condensação, proveniente do vapor de água presente no ambiente, segundo Lersch (2003), ocorre quando a superfície do material possui temperatura mais baixa do que a temperatura do ponto de orvalho.

A umidade acidental é proveniente de vazamentos do sistema de distribuição e/ou coleta de água da edificação (PEREZ, 1988). Para Lersch (2003), no caso de edificações históricas, a presença desse tipo de umidade normalmente ocorre devido à falta de cuidado em relação a águas servidas e águas paradas.

A umidade ascensional é decorrente da absorção da água existente no terreno pelas fundações, que acaba migrando para os pisos e as paredes da

edificação. Em paredes de alvenaria de tijolo, o horizonte de capilaridade, ou seja, a altura que a umidade ascensional pode alcançar chega, em média, a 80cm, podendo alcançar a altura máxima de 1,50m (SEELE⁴, 2000 apud LERSCH, 2003). Este mecanismo provoca além das manchas nas regiões próximas ao solo, zonas erodidas acompanhadas por bolor, criptoflorescências e eflorescências (LERSCH, 2003).

Conforme Nappi e Lalane (2010), a presença de água gera danos que podem ser manifestar de diversas formas, assim para cada caso há vários indícios diferentes que o revestimento apresenta, os quais podem ser identificados visualmente ou por meio de ensaios e análises. Ainda de acordo com Nappi e Lalane (2010), juntamente com a água pode ocorrer o transporte de sais dissolvidos, como carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos, os quais também tendem a danificar o revestimento.

Logo, a umidade pode propiciar o transporte de sais solúveis, a dissolução dos materiais de construção, a proliferação de mofo, bolor e musgos e o descolamento do revestimento.

2.3.1.1. Eflorescência

Conforme Verçoza (1991), eflorescência é o aparecimento de formações salinas na superfície dos materiais. Manchas esbranquiçadas e pó branco acumulado são características de eflorescência. No caso de argamassas de revestimento de edificações antigas a cristalização de sais solúveis oriundos da umidade e a existência da cal não carbonatada são fatores que podem provocar o aparecimento desse tipo de anomalia, e que podem atuar simultaneamente ou não. No entanto, a circulação de água é a condição principal para o aparecimento desse dano.

De acordo com Uemoto (1988), a eflorescência é composta de sais metais alcalinos e alcalino-terrosos, solúveis ou parcialmente solúveis em água. A formação do depósito salino é decorrente da dissolução desses sais no elemento saturado

⁴ SEELE, J. Restauro de edificações históricas. Tópicos especiais em engenharia. Porto Alegre: NORIE/CPGEC/UFRGS; 2000. Apostila.

pela água da chuva ou do solo, que migra para a superfície, onde a água é evaporada e o sal depositado na superfície (LANNES, 2011).

As eflorescências, segundo Souza (1997), podem ter aspecto de depósitos pulverulentos, e podem alterar a cor da superfície dos revestimentos, nos tons esverdeado, esbranquiçado, amarelado, acinzentado, ou pretos. Ainda conforme o autor, as eflorescências de cor branca e pulverulentas se apresentam sobre a argamassa na forma de um véu, este tipo modifica o aspecto estético das argamassas, mas não prejudica a sua durabilidade, normalmente, são casos frequentes da presença de sulfatos de cálcio e magnésio, carbonatos de sódio e de potássio, sulfatos de sódio e de potássio.

Apesar de a eflorescência ser considerada mais um dano de ordem estética, segundo Uemoto (1988), ela deve ser estudada, pois é consequência de um problema com maior gravidade na edificação, que é a presença de umidade. A Figura 2.9 ilustra a presença de eflorescência no revestimento de uma parede.



Figura 2.9: Presença de eflorescência através de manchas esbranquiçadas.

Fonte: Lannes, 2011.

2.3.1.2. Desprendimento do revestimento

Em prédios históricos, a penetração de água na estrutura interna da alvenaria é a causa mais comum para perda da adesão entre revestimentos argamassados e a alvenaria. A umidade ascendente, originária do solo que atinge a alvenaria por capilaridade, pode causar o aumento de volume da argamassa de revestimento,

resultando na expulsão do revestimento, em relação à alvenaria. Além disso, os sais transportados juntamente com a água, de acordo com Nappi e Lalane (2010), se cristalizam gerando forças expansivas que podem provocar o descolamento do revestimento.

Conforme Verçoza (1991), a presença de criptoflorescências, crescimento de sais ou cristais no interior dos materiais, nas paredes pode ocorrer entre a alvenaria de tijolos e a argamassa de revestimento, causando o descolamento da argamassa. A Figura 2.10 ilustra um exemplo de aumento de volume causando a expulsão da argamassa e conseqüente descolamento do revestimento, com perfil a esquerda mostrando um exemplo do corte de uma parede com aumento de volume da argamassa de revestimento.



Figura 2.10: Exemplo de expulsão de argamassa com conseqüente desprendimento de revestimento.

Fonte: Pereira, 2008.

De acordo com Pereira (2008) e Sá e Sousa (2014), quando o desprendimento do revestimento atinge um estágio mais avançado, essa manifestação patológica pode se refletir no substrato, ou seja, nos tijolos e na argamassa de assentamento, pois a área danificada fica totalmente exposta às intempéries. A Figura 2.11 ilustra a expulsão da argamassa em estágio avançado, com exposição dos tijolos e da argamassa de assentamento.

O desprendimento do revestimento pode ocorrer em forma de placa, chamado de descolamento, ou em forma de pulverulência, chamado de desagregação ou

descolamento com pulverulência. Segundo Cincotto (1988), no descolamento em placas, o revestimento mostra-se endurecido quebrando com dificuldade, enquanto a desagregação do revestimento apresenta o descolamento da película de tinta que arrasta o revestimento junto, o qual se desagrega com facilidade.



Figura 2.11: Exemplo de expulsão de argamassa em estágio avançado até a exposição da alvenaria, mostrando tijolos cerâmicos e argamassa de assentamento.

Fonte: Pereira, 2008.

2.3.1.3. Mofo e bolor

Na conservação do patrimônio histórico o problema de micro-organismos é relevante e segundo Shirakawa et al. (1995), geralmente requer soluções específicas. Conforme Peres (2004), a presença da umidade é fundamental para o a proliferação de fungos.

Esses micro-organismos necessitam de umidade relativa alta no ambiente e temperatura baixa. Segundo Alucci et al. (1988), a iluminação do ambiente não é necessária para o crescimento dos fungos, no entanto, pode interferir no processo de produção, já que com o ambiente iluminado a temperatura irá se elevar.

A composição das argamassas e dos revestimentos em geral, por exemplo, devido à incorporação de determinados constituintes orgânicos, pode também facilitar o desenvolvimento de organismos vivos com capacidade de deterioração (VEIGA, 2011).

O desenvolvimento de fungos em revestimentos interno ou de fachada causa alterações estéticas pela formação de manchas escuras indesejáveis (SHIRAKAWA et al., 1997).

Manchas de mofo e bolor são causadas por fungos. No mofo as manchas se apresentam como pontos pretos, enquanto o bolor se apresenta em relevo, e de acordo com Peres (2004) através de manchas esverdeadas ou escuras. Para Alucci et al. (1988), o bolor é resultado do desenvolvimento de micro-organismos e é uma alteração que pode ser observada a olho nu nos materiais. A Figura 2.12 ilustra a presença de fungos no topo de uma parede.

Para Shirakawa et al. (1995), mesmo se o material utilizado no revestimento interno tiver todos os nutrientes indispensáveis para o crescimento dos fungos, o bolor não surgirá até que exista umidade suficiente para o seu desenvolvimento. Ainda segundo a pesquisadora, a existência de água absorvida, imprescindível para o crescimento do fungo, é uma condição necessária para o aparecimento, manutenção e extensão do bolor no revestimento.



Figura 2.12: Presença de fungos no topo da parede.

Fonte: Pereira, 2008.

2.3.2. Sujidade

O pó atmosférico e as fumaças pretas são as principais causas da degradação estética das fachadas dos edifícios por sujidades concentradas em seus paramentos (PETRUCCI, 2000).

A poluição atmosférica é resultado de atividades industriais e comerciais, além da emissão de poluentes dos automóveis. Os poluentes emitidos para a atmosfera podem ser divididos em três categorias: partículas sólidas, poeiras e areias, emitidas principalmente por unidades industriais; fumos e partículas de pequenas dimensões que coagulam formando a fuligem e gases (SOUSA, 2005).

Segundo Veiga (2011), esses os gases existentes na atmosfera, que podem ser dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de carbono (CO₂), atuam por via seca ou por via úmida. Ainda conforme Veiga (2011), por via seca se depositam na superfície, já por via úmida se dissolvem na água da chuva, baixando o seu pH, essas águas ácidas em contato com as argamassas formam sais que causam danos à edificação.

As partículas de sujeidade que entram em contato com a superfície da fachada tendem a permanecer aderidas ao suporte pela presença de diferentes forças de atração (ESTOUP⁵, 1997 apud PETRUCCI, 2000).

Conforme Petrucci (2000), o choque produzido pelo contato entre a partícula e a superfície é o que irá permitir ou não a adesão da partícula. Segundo a autora, os manchamentos (sujidades) das superfícies das fachadas de edificações são fortemente influenciados pela ação do vento e da chuva, os quais desempenham papel importante na forma que a sujeidade assume, sendo as principais ações desses agentes:

- o depósito e adesão das partículas de contaminação atmosférica sobre superfícies das fachadas;
- a lavagem de algumas zonas das fachadas ocasionada pela deposição direta da água da chuva;
- o escoamento da chuva sobre as superfícies das fachadas, arrastando a sujeira depositada no caminho.

O vento (por sua velocidade e direção) serve de veículo às partículas sujas, à água de chuva, e atua, com sua própria força e a energia cinética das partículas que

⁵ ESTOUP, J. M. Salissures et nettoyage des façades d'immeubles. CSTB magazine, n.109, p.39-41, 1997.

transporta, na modificação da distribuição da sujeira depositada sobre as superfícies das fachadas (PETRUCCI, 2000).

A temperatura ambiental e a umidade relativa do ar também influenciam nos manchamentos das superfícies, pois contribuem para criar condições ambientais que beneficiam ou dificultam a deposição e adesão das partículas. Segundo Vallejo⁶ (1990) apud Petrucci (2000), o vapor de água influencia na contaminação do ar, pois compõe um dos motivos principais de agregação de partículas, produzindo partículas mais grossas e, conseqüentemente com facilidade de sedimentação.

Ainda conforme os pesquisadores, a temperatura atua na diluição dos contaminantes na atmosfera e na modificação do vapor de água no ambiente e da umidade interna do material de revestimento das fachadas. Assim, a influência da temperatura é positiva, pois reduz a umidade relativa do ar e, segundo Carrié et al.⁷ (1975) apud Petrucci (2000), diminui o risco de condensação e conseqüentemente do aumento de deposição e adesão das partículas nas superfícies. Além disso, a insolação provoca a evaporação da umidade que se localiza sobre a superfície e no interior dos poros do revestimento das fachadas.

Petrucci (2000) ressalta, que a geometria da fachada influencia diretamente na deposição das partículas de sujeira, maior nos pavimentos inferiores, e ainda na incidência de ventos e chuvas, essenciais, como relatado anteriormente, para o modelo de manchamento que se formará.

Na Figura 2.13 é possível observar manchas de sujeiras resultantes de lavagem e ainda deposições. Os manchamentos são mais evidenciados nos detalhes arquitetônicos, quando a fachada sofre alteração da forma geométrica.

⁶ VALLEJO, F. J. L. Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica; análisis y prevención. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

⁷ CARRIE, C.; MOREL, D; FOURQUIN, J. Salissures de façades. Paris: Eyrolles, 1975.



Figura 2.13: Exemplo de sujidade em fachada, principalmente nos detalhes arquitetônicos.

Fonte: Lannes, 2011.

2.3.3. Intervenção com material a base de cimento

Segundo Veiga (2006b), sempre que é necessária a reparação de revestimentos pensa-se imediatamente na substituição do revestimento existente por outro que proteja o revestimento da água.

Porosas, espessas e sem cortes de capilaridade, as paredes antigas absorviam água a partir das fundações, que subia por capilaridade ascendente e ia impregnando a parede durante os períodos mais úmidos, mas evaporava facilmente para o exterior, através dos revestimentos de cal, assim que as condições climáticas o permitiam. Podiam deste modo, manter um equilíbrio hídrico razoável, conservando-se em boas condições durante séculos (VEIGA, 2006).

Assim, com a substituição de um revestimento de cal, que é permeável à água, por uma argamassa a base de cimento, menos permeável, o equilíbrio da parede é alterado.

Veiga (2003) destaca que esta atitude tem três grandes desvantagens:

- científica: perdem-se informações das antigas técnicas construtivas, o que pode ser parcialmente resolvido pelo registro minucioso dos revestimentos retirados, coleta, arquivo e registro fotográfico das amostras;
- estética: descaracteriza os edifícios, pois a técnica empregada ficará marcada para sempre e a diferença é sempre sensível, e se não ocorrer de imediato, a médio ou longo prazo poderá ocorrer, mesmo melhorando a cor e textura;
- técnica: a alteração nas características dos revestimentos influencia no funcionamento da parede, o que pode acarretar rápida degradação. Este aspecto é mais preocupante, pois não há a perda somente dos revestimentos, mas também das paredes e, até mesmo de toda a edificação.

Neste sentido, é importante respeitar o equilíbrio da parede, mantendo os revestimentos tradicionais e reparando-os quando possível.

Nas edificações históricas, o emprego de materiais a base de cimento é inadequado, pois propriedades diferentes. Desta forma trabalham de forma diferente das argamassas a base de cal, e assim podem induzir a fissuração do revestimento, e ainda os sais que podem existir no cimento podem causar expansão que ocasionam o aparecimento de fissuras e o descolamento do revestimento, como ilustrado na Figura 2.14.

A respeito do uso de material incompatível, Veiga (2011) relata que nas argamassas de cimento a causa da formação de etringita é a reação que ocorre entre os sulfatos e aluminatos existentes nos produtos de hidratação do cimento Portland, essa reação ocorre após o endurecimento da argamassa e é altamente expansiva, assim há o desenvolvimento de elevadas tensões na estrutura porosa (no revestimento em contato com o a argamassa a base de cimento). Essas tensões podem levar ao surgimento de fissuras em torno da área do revestimento preenchida com cimento, quando da realização do reparo.



Figura 2.14: Revestimento inadequado de cimento: destacamento e degradação da base.

Fonte: Veiga (2006b).

2.3.4. Fissuras

Segundo Peres (2004) fissuras são pequenas aberturas que podem surgir tanto na estrutura como nos revestimentos.

De acordo com Thomaz (1989), as fissuras podem ser decorrentes de movimentações térmicas, movimentações higroscópicas, deformação excessiva das estruturas, recalques diferenciais de fundações, retração de produtos à base de cimento e alterações químicas dos materiais de construção.

As fissuras nas alvenarias podem ocorrer em locais onde só existe revestimento (sem abertura), em áreas onde se localizam portas e janelas, no encontro de paredes e ainda entre materiais diferentes. De acordo com Appleton (2011), a forma como esses danos evoluem, a formação de uma ou várias fissuras e a espessura da abertura, está ligada a inúmeros fatores, entre eles a constituição e condição da própria alvenaria.

Conforme Cincotto (1988), as fissuras sobre os revestimentos argamassados podem ser classificadas em horizontais e mapeadas. As fissuras horizontais aparecem ao longo de toda a parede e sua causa é provavelmente devido a expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Já as fissuras mapeadas, tem forma variada e são distribuídas pela superfície e sua causa é devido a retração da argamassa de base. As fissuras podem ser causas também, segundo Veiga (2011), por ações dinâmicas, como

efeitos sísmicos, vibrações causadas pelo tráfego, ou ainda devido a alterações no uso da edificação ou pelo próprio envelhecimento dos materiais.

2.3.5. Casos de manifestações patológicas em argamassas de revestimento de edificações antigas

Antes da restauração de edifícios antigos é necessário conhecer o estado de conservação, e, conseqüentemente os danos presentes. Vários pesquisadores analisaram as manifestações patológicas em edificações históricas a fim de contribuir para uma adequada reabilitação.

A fim de estudar os danos em edifícios históricos Armesto-González et al. (2010) estudaram uma metodologia que combina o uso da tecnologia do laser scanner terrestre com técnicas de processamento digital de imagens. Os resultados na edificação avaliada mostraram diferentes teores de umidade na edificação analisada, e o potencial da utilização da técnica para o reconhecimento e caracterização dos danos em materiais de construção.

Barbosa et al. (2010), estudaram as manifestações patológicas do Cine-Theatro Central da cidade de Juiz de Fora/MG, edifício histórico tombado pelo IPHAN. Nos revestimentos foram encontrados problemas de umidade, causados por infiltração, e fissuras na união das paredes, causadas por atuação de sobrecargas, nas aberturas de janelas com inclinação de 45° e nas paredes externas, estas últimas causadas por variações de temperatura.

Figueiredo et al. (2011), analisaram as manifestações patológicas de edificações (solares, sobrados e moradias térreas) do centro histórico de São Luís do Maranhão. Foi verificado que a alta umidade relativa do ar e a longa duração do período de chuvas contribuíram para acelerar a deterioração dessas edificações. Os problemas observados foram fissuras e desagregação do revestimento, causados principalmente por fatores climáticos. Além disso, foi observado que nas paredes externas a desagregação do revestimento era mais evidente, devido a maior exposição às chuvas.

Os principais danos de várias edificações antigas de Portugal foram analisados por Fragata et al. (2011), através de observação visual e ensaios *in situ*

não destrutivos, utilizando umidímetro portátil, marcadores colorimétricos para identificar a presença de sais e durômetro portátil e um esclerômetro de pêndulo. As principais patologias encontradas nos revestimentos foram causadas pela presença da umidade e foram identificadas como manchas escuras de umidade, perda de aderência, perda de coesão, que na maioria dos casos eram associadas à presença de sais.

As manifestações patológicas de várias edificações históricas de Sobral/CE, a maioria com mais de cem anos e uma delas com mais de 300 anos, foram analisadas Santos et al. (2013). Nos revestimentos de argamassa foram observadas com maior frequência fissuras, umidade e deslocamento da argamassa de revestimento, provocados por ausência na manutenção ou manutenção precária, ou devido à variação da temperatura, ou ainda devido à associação desses fatores.

A igreja histórica de Nossa Senhora da Conceição do distrito de Patriarca em Sobral/CE, teve suas manifestações patológicas verificadas por Amorim et al. (2013). Os danos encontrados nas argamassas de revestimento foram manchas de umidade e principalmente fissuras causadas por movimentações higroscópicas, movimentações térmicas, por sobrecarga na alvenaria e por recalque diferencial no solo. Foi verificado que os danos não comprometem a estrutura da edificação, mas afetam a sensação estética, além de facilitar a ação de agentes agressivos que podem danificar ainda mais a edificação.

Cavalcante et al. (2013), analisaram as manifestações patológicas do convento de São Frei Pedro Gonçalves, localizado no centro histórico de João Pessoa/PB. As anomalias encontradas foram manchas de mofo, bolor; crescimento de vegetação não intencional; descolamento do revestimento de argamassa e fissuras; essas manifestações patológicas foram causadas principalmente pela umidade e por movimentações térmicas.

Paoletti et al. (2013), analisaram por meio da termografia de infravermelho, método não destrutivo, sondagens termográficas em patrimônios históricos e culturais de L'Aquila (Itália) e seus arredores. As sondagens foram realizadas antes (2007-2008) e após o terremoto (2009-2010) para analisar as patologias e sua evolução antes e após esse evento. As mudanças de temperatura no emprego da

técnica é o que ajuda na identificação das anomalias e de suas características. Foi observada umidade capilar, devido ao solo, ataque biológico e presença de fissuras. Os pesquisadores verificaram que após o terremoto fissuras e rachaduras que eram visíveis apenas na análise das imagens térmicas após o terremoto se tornaram visíveis.

Parisi e Augenti (2013) analisaram as consequências dos danos causados por terremotos em várias construções históricas na Itália e em outros países do mundo. Eles verificaram que os terremotos causam graves danos a essas edificações, as quais se mostraram frágeis diante desse fenômeno, como fissuras e rachaduras, e dependendo da intensidade do terremoto algumas edificações estudadas tiveram colapso parcial.

As manifestações patológicas da Igreja de Almofala em Itarema-CE foram avaliadas por Monteiro et al. (2013). As principais manifestações observadas nos revestimento foram fissuras devido à retração hidráulica e a falta de juntas de dilatação. No entanto, os pesquisadores observaram que apesar da localização próxima ao ambiente marinho, a igreja permanece erguida, mostrando assim a qualidade dos materiais utilizados antigamente.

O Quadro 2.2 apresenta de forma sucinta as manifestações patológicas encontradas em edificações históricas, conforme os pesquisadores/ano e os métodos utilizados. De acordo com as pesquisas realizadas, as manifestações patológicas mais frequentes em revestimentos antigos de argamassas são principalmente danos causados pela umidade e fissuras.

Quadro 2.2: Relação das manifestações patológicas encontradas de acordo com os pesquisadores e os métodos utilizados.

Pesquisador/Ano	Métodos	Manifestações patológicas
Armesto-González et al. (2010)	Tecnologia do laser scanner terrestre e técnicas de processamento digital de imagens	Diferentes teores de umidade presentes.
Barbosa et al. (2010)	Observação visual	Umidade e fissuras.
Figueiredo et al. (2011)	Observação visual	Fissuras e desagregação do revestimento
Fragata et al. (2011)	Observação visual e ensaios <i>in situ</i> não destrutivos	Manchas escuras de umidade, perda de aderência e perda de coesão.
Santos et al. (2013)	Observação visual	Fissuras e trincas, umidade e deslocamento da argamassa de revestimento.
Amorim et al. (2013)	Observação visual	Manchas de umidade e principalmente fissuras
Cavalcante et al. (2013)	Observação visual	Manchas de mofo, bolor, crescimento de vegetação não intencional, descolamento do revestimento de argamassa e fissuras.
Paoletti et al. (2013)	Termografia de infravermelho	Umidade capilar, devido ao solo, ataque biológico e presença de fissuras. Fissuras e rachaduras mais evidentes após terremoto.
Parisi e Augenti (2013)	Análise de informações	Fissuras e rachaduras
Monteiro et al. (2013)	Observação visual	Fissuras

Capítulo 3

Metodologia da pesquisa

A análise do estado de conservação da edificação e a análise experimental das argamassas de revestimento são fundamentais nesse estudo. Logo, a pesquisa envolveu duas etapas. Na primeira etapa foi realizada uma análise histórica da edificação, o levantamento das manifestações patológicas dos revestimentos argamassados e análise do estado de conservação do GEAS. A segunda etapa consistiu na caracterização das argamassas de revestimento da região de maior valor histórico do GEAS. O esquema apresentado na Figura 3.1, ilustra a metodologia utilizada na pesquisa.



Figura 3.1: Metodologia utilizada na pesquisa.

3.1. Levantamento das manifestações patológicas do GEAS

Para a realização do levantamento das manifestações patológicas seguiu-se o que determina o ICOMOS (2004). Inicialmente foi realizada uma análise histórica e em seguida a análise qualitativa da edificação.

Neste sentido, foi realizada uma investigação histórica do Grupo Escolar Augusto Severo, com o objetivo de compreender a concepção da edificação, a importância da construção, sua evolução com o tempo e alterações que ocorreram de uso e que possam ter alterado os materiais e ter causado danos ao patrimônio. Em seguida foi analisada a situação atual da arquitetura do GEAS, para identificação dos ambientes, existência de ampliações e intervenções que a edificação sofreu ao longo dos anos.

Posteriormente, foram feitas visitas *in loco* na edificação e realizado extenso registro fotográfico. Depois essa etapa, foi executado o levantamento para identificação das manifestações patológicas dos revestimentos argamassados e analisado o estado de conservação desses revestimentos e as causas de deterioração, os quais são muito relevantes para um diagnóstico preciso das manifestações presentes. Além disso, o registro de fotos possibilitou obter-se um arquivo memorial da edificação para estudos e intervenções futuras.

A análise do estado de conservação foi realizada avaliando atentamente o estado de conservação das paredes e de cada ambiente em geral, com identificação dos agentes de degradação e caracterização dos danos nas fachadas e nos ambientes internos da edificação. O levantamento das manifestações patológicas foi realizado com base nos objetivos do ICOMOS (2004), os quais são:

- identificar as degradações e os danos;
- determinar se os danos estão ou não estabilizados;
- decidir se existiu ou não risco imediato;
- identificar quaisquer efeitos do meio ambiente sobre a construção.

A edificação foi analisada inicialmente pelo exterior e em seguida cada ambiente interno. Nas fachadas foi realizado também um mapeamento dos danos através da observação visual das fotografias, as informações dos danos foram

mapeadas no plano vertical de forma a ilustrar o estado de conservação completo no revestimento argamassado da fachada. De posse do levantamento, da identificação e do mapeamento foram feitos quadros com o mapa de danos e as imagens de cada fachada. Cada quadro contém a representação gráfica da fachada com indicação através de setas da posição da foto que ilustra o dano no mesmo quadro. A ordem de apresentação das fachadas foi frontal, lateral esquerda, lateral direita.

Nos ambientes internos as informações dos danos também foram feitas nos revestimentos argamassados, os quais serão apresentados em quadros, mostrando as imagens de cada ambiente. Primeiro são apresentados os ambientes interno do pavimento térreo e em seguida do pavimento superior. Para melhor entendimento, foi identificado na planta baixa de cada edificação a localização do ambiente em estudo e ao lado foi colocada a imagem da planta baixa do ambiente indicando a direção das fotografias. Internamente a edificação é composta por 22 ambientes, 03 corredores e 03 pátios. No entanto, serão apresentados alguns ambientes nos quais foram observadas manifestações patológicas nos revestimentos argamassados.

Após a conclusão do levantamento, identificação das manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa, análise do estado de conservação e mapeamento de danos (no caso da fachada), foi realizado estudo das anomalias com o objetivo de reconhecer as causas e origens, sejam elas ocasionadas pela natureza ou decorrentes de processos de intervenção. Para melhor identificação das manifestações patológicas foi adotada a legenda ilustrada na Figura 3.2. Cada cor indica um dano específico, sendo possível identificar, a localização das anomalias apresentadas e no caso do mapa de danos a dimensão da manifestação patológica.

	MANCHAS ESCURAS DE UMIDADE		SUJIDADE
	EFLORESCÊNCIA		USO DE MATERIAL INCOMPATÍVEL
	DESPRENDIMENTO DO REBOCO		PRESENÇA DE VEGETAÇÃO
	MOFO E BOLOR		FISSURAS

Figura 3.2: Legenda das manifestações patológicas presentes nos revestimentos argamassados do GEAS.

3.2. Caracterização das argamassas do GEAS

Para realizar a caracterização foram escolhidas as argamassas dos revestimentos da região mais antiga, ou seja, de 1908, por se tratarem de argamassas com maior valor histórico. Considerando a data de construção da edificação provavelmente não contém cimento, já que este surgiu na metade do século XIX. Assim, caracterizar as argamassas dessa região é de suma importância para a realização da restauração do GEAS.

A metodologia aplicada para o estudo das argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo (1908) consistiu na utilização de técnicas de caracterização de materiais. Esses métodos se complementam e podem fornecer informações importantes sobre os materiais utilizados nas argamassas do estudo.

As amostras extraídas foram todas de revestimento. Durante a coleta do material procurou-se retirar uma quantidade capaz de se realizar todos os procedimentos necessários à caracterização e agredir o mínimo possível o monumento. As técnicas de caracterização foram escolhidas com base em trabalhos realizados por vários pesquisadores, conforme descrito no capítulo anterior, no que se refere à caracterização de argamassas antigas.

Assim para análise do revestimento argamassado retirado do GEAS, optou-se por realizar as técnicas de caracterização microestrutural, térmica, mineralógica e química, abaixo relacionadas:

- fluorescência de raios-X (FRX);
- difração de raios X (DRX);
- análise termogravimétrica (TG);
- microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS).

Para caracterização da argamassa do GEAS foi aplicado o procedimento de acordo com o esquema da Figura 3.3.

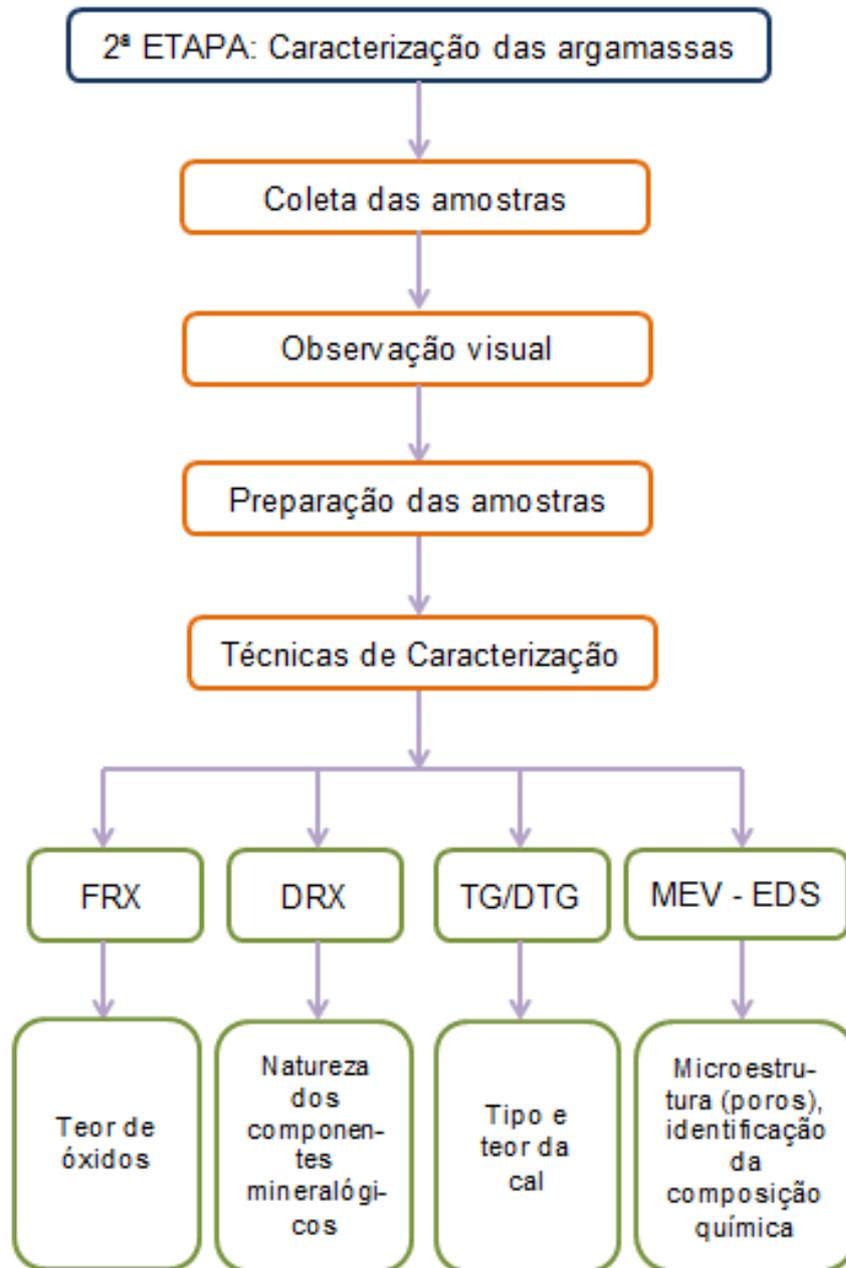


Figura 3.3: Metodologia utilizada na 2ª etapa da pesquisa, para a caracterização das argamassas de revestimentos do GEAS.

3.2.1. Coleta das amostras

A retirada das amostras foi realizada com base na metodologia de Veiga et al. (2001) e Kanan (2008), na qual visa extrair amostras representativas, sem danos e em quantidade mínima possível para não causar danos ao patrimônio. Procurou-se para retirada das amostras locais visíveis que estivessem livres de deterioração, e com vestígios de material original.

Para demarcação e coleta das amostras das argamassas, usou-se uma talhadeira e um martelo como ilustrado na Figura 3.4 e 3.5, que mostram a coleta na fachada e uma coleta em ambiente interno. Durante a extração da amostra da fachada, representada na Figura 3.4, o revestimento foi sofrendo desagregação, devido a isso o local ficou com maior abertura do que o local de coleta nos ambientes internos.

As amostras foram retiradas a uma altura aproximada de 1,50m do nível do piso. Foram coletadas 4 exemplares, um da fachada frontal, um do ambiente 01 (vestíbulo), um do ambiente 02 (sala de aula) e um do corredor 01. A Figura 3.6 indica na planta baixa da edificação o local de retirada de cada amostra. No Quadro 3.1, as Figuras de 3.7 a 3.14 ilustram para melhor visualização em escala maior, os locais de retirada das amostras e suas respectivas imagens ao lado.



Figura 3.4: Coleta da amostra na fachada frontal do GEAS.



Figura 3.5: Coleta da amostra em ambiente interno do GEAS.

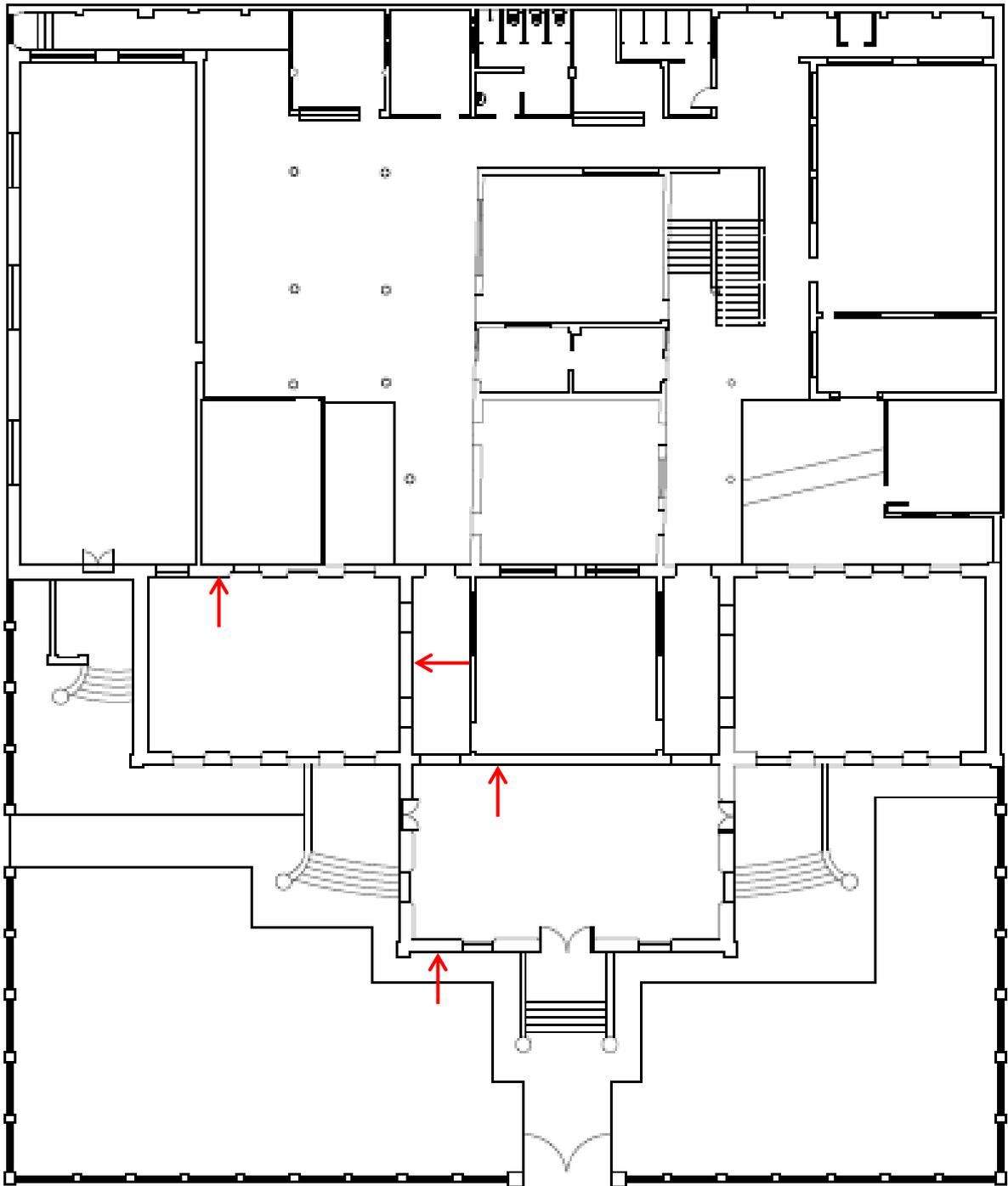
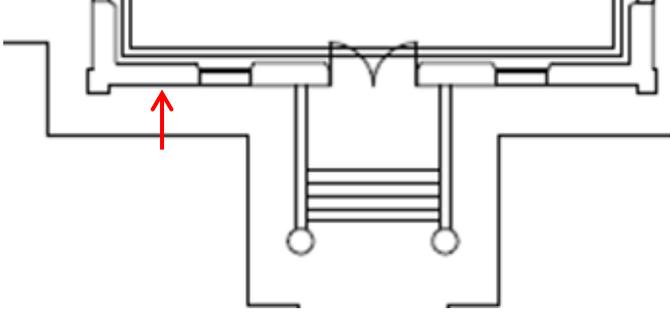
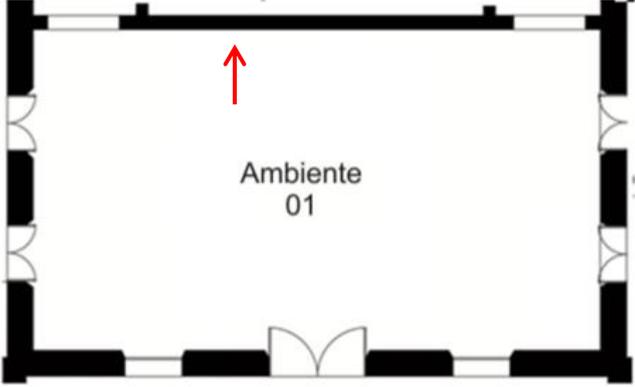
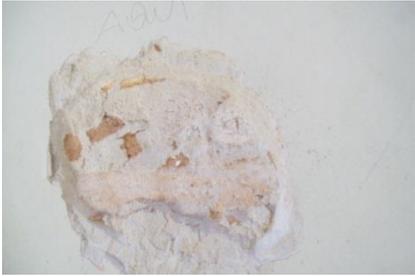
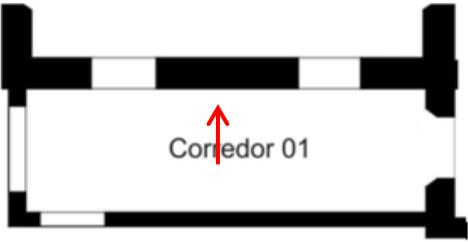


Figura 3.6: Planta Baixa do GEAS. As setas indicam o local da retirada das amostras.

Fonte: Material cedido pela Superintendência de Infraestrutura da UFRN (INFRA-UFRN), Adaptado.

Quadro 3.1: Ficha do local de extração das amostras do GEAS.

	
<p>Figura 3.7: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra da fachada frontal. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN, Adaptado.</p>	<p>Figura 3.8: Imagem do local da amostra na fachada.</p>
	
<p>Figura 3.9: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do ambiente 01. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN, Adaptado.</p>	<p>Figura 3.10: Imagem do local da amostra no ambiente 01.</p>
	
<p>Figura 3.11: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do corredor 01. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN, Adaptado.</p>	<p>Figura 3.12: Imagem do local da amostra no corredor 01.</p>

	
<p>Figura 3.13: Esquema em planta baixa, local da extração da amostra do ambiente 02. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN, Adaptado.</p>	<p>Figura 3.14: Imagem do local da amostra no ambiente 02.</p>

O material recolhido foi pesado e em seguida acondicionado em recipientes plásticos e identificados, como ilustrado na Figura 3.15, com o objetivo de mantê-lo o mais íntegro possível. Todo material coletado foi devidamente fotografado e registrado por meio de descrição macroscópica da amostra. Foi também analisado quanto a cor, a aderência ao substrato, quanto a presença de manifestações patológicas visíveis, a espessura e em relação a amostra ser compacta ou quebradiça.



Figura 3.15: Pesagem e armazenamento das amostras da argamassa de revestimento do GEAS.

O Quadro 3.2 ilustra as imagens do fragmento de cada amostra, a identificação da amostra, o peso, o substrato e o local de retirada.

Quadro 3.2: Registro da amostra, local, massa, substrato e local de extração das amostras do GEAS.

Fragmento da Amostra	Identificação da Amostra	Massa	Substrato	Local de extração
	GEAS-F-01	200g	Parede – tijolo de barro	Fachada Frontal
	GEAS-I-01	187g	Parede – tijolo de barro	Ambiente 01 (vestíbulo)
	GEAS-I-02	196g	Parede – tijolo de barro	Corredor 01
	GEAS-I-03	205g	Parede – tijolo de barro	Ambiente 02 (sala de aula)

 Amostra externa da fachada

 Amostra interna

3.2.2. Preparação das amostras para análise

Após a extração, as amostras foram observadas a olho nu e fotografadas. A observação visual é importante, para verificar as características macroscópicas das camadas de revestimento, a textura, cor e tipo dos agregados.

Parte das amostras foi desagregada, como ilustrado na Figura 3.16, cuidadosamente utilizando um almofariz de porcelana, um martelo de borracha, uma mão de gral e luva de borracha. Após a fragmentação, uma parte do material foi destorroada até se obter uma fração passante na peneira $\phi = 0,074\text{mm}$ (#200) e se obter uma fração fina, e então foram encaminhados para serem analisados pelas diferentes técnicas de caracterização. O restante da amostra, em forma de fragmentos intactos, foi separado para a análise no MEV.



Figura 3.16: Desagregação do material.

3.2.3. Métodos de Caracterização

3.2.3.1. Fluorescência de raios-X (FRX)

A determinação da composição química foi feita através de fluorescência de raios X (FRX) por energia dispersiva em um equipamento Shimadzu, modelo EDX-720. Os espectros de fluorescência de raios X foram obtidos depositando-se o pó em um porta-amostra formado por um filme plástico de polietileno, que apresenta

baixa absorção de Raios-X na faixa de energia de interesse. A análise química da argamassa foi realizada no Laboratório de Difração e Fluorescência de Raios-X do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

3.2.3.2. Difração de raios-X (DRX)

Para análise da composição mineralógicas das argamassas, natureza do aglomerante e agregado foi empregada a técnica de Difração de raios-X. O equipamento utilizado foi Shimadzu XRD - 7000 com uma fonte de radiação Cu, tensão de 40kV e corrente de 30mA e filtro monocromador de níquel, do Laboratório de Difração e Fluorescência de Raios-X do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Foram efetuadas varreduras com intervalo de leitura $5^\circ < 2\theta < 80^\circ$ e velocidade de varredura de 5°/min. A identificação dos picos e padrões de difração foi feita com o programa da Philips X'Pert HighScore versão 2.0a (PANALYTICAL, 2004).

3.2.3.3. Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica foi realizada no Laboratório de Análise Térmica do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, em um equipamento STA449 F3, de marca Netzsch. Do resultado da TG foi possível obter a DTG, que é a primeira derivada da curva da TG em relação à temperatura, e indica os picos de ocorrência de desidratação e decomposição dos compostos. Para aplicação da técnica foram adotadas as seguintes condições:

- atmosfera de Argônio com fluxo de 60 mL/min;
- cadinho de alumínio;
- taxa de aquecimento de 10°C/min;
- faixa de temperatura entre 30° a 1000 °C.

3.2.3.4. Microscopia eletrônica de varredura com EDS (MEV-EDS)

As amostras foram analisadas quanto a sua microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura, por elétrons retroespalhados, modelo TM 3000, marca Hitachi, utilizando 15 kV, acoplado com EDS modelo Swift ED 3000, marca Oxford Instruments. A análise foi realizada no Laboratório de Difração e Fluorescência de Raios-X do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Capítulo 4

Apresentação e análise dos resultados

4.1. Análise Histórica do Grupo Escolar Augusto Severo

Segundo Ferreira e Dantas (2006), de 1908 a 1913 ocorreram várias mudanças significativas em Natal/RN, como, a introdução do bonde, do telefone, do telégrafo, da iluminação elétrica, do serviço de limpeza pública e do abastecimento de água, além desses equipamentos surgiu também a Escola Normal e o Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), os dois em 1908.

O prédio do antigo GEAS constitui mais um projeto do arquiteto Herculano Ramos, tendo sido inaugurado em 1908 (MELO E FILHO, 2007).

É um monumento federal localizado na Praça Augusto Severo, nº 261, no bairro da Ribeira, Natal/RN, como ilustrado na Figura 4.1. A edificação é caracterizada pelo estilo eclético, marcado pelos elementos de *Art Nouveau*. De acordo com a pesquisa de Moreira (2005), na fachada estão presentes: a estátua da deusa da sabedoria, vasos de bronze, duas águias sobre a sacada principal, além de detalhes florais em baixo relevo que contornam a edificação e fortes elementos de características históricas. O edifício apresenta um aspecto notável, assim como as edificações no bairro da Ribeira. Além do estilo eclético a edificação apresenta características do modernismo.

O edifício do GEAS, cuja fachada frontal está ilustrada na Figura 4.2, está inserido em um terreno de 1.794,00 m², demarcado por um muro de alvenaria com gradil de ferro, e possui uma área construída de 540,00 m². A edificação está no nível de 1,20 m, em relação à Praça Augusto Severo, pé direito com altura de 4,50m, com paredes de alvenaria externa com espessura de 50cm e interna de 30cm (MOREIRA, 2005).

A parte original da edificação foi construída em 1908 e é a região de maior valor patrimonial. No ano de 1910, de acordo com Pereira (2012), foi realizada a primeira ampliação no GEAS, e em 1960 houve uma segunda ampliação com características modernistas mais marcantes. Ainda conforme Pereira (2012), no

prédio funcionou de 1908 a 1954 a Escola Normal de Natal e o anexo do Atheneu Norte-Riograndense, sendo este último de 1952 a 1954. Entre 1956 a 1973 abrigou a Faculdade de Direito da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e entre 1999 a 2001 abrigou a Secretaria Pública do Estado. O prédio encontra-se em processo de reestruturação com a existência de projeto para transformá-lo em um Centro de Extensão Cidadania e Cultura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.



Figura 4.1: Localização do Grupo Escolar Augusto Severo (destacado em vermelho).

Fonte: Google Maps, Adaptado.



Figura 4.2: Fachada Frontal do GEAS.

A planta baixa da edificação identificando cada época de construção é apresentada na Figura 4.3. Pode-se observar que a maior parte da construção é da década de 1960, seguida pelo período de 1908 e 1910.

Foi verificado que a edificação encontra-se em área grande comércio e próxima à zona costeira. Foram identificadas 3 regiões, com ano de construção diferentes, e dois pavimentos, térreo e superior, este último mais recente. De acordo com cada época foram aplicados distintos materiais na edificação, a qual sofreu vários tipos de intervenção, sem a devida preocupação com a conservação dos materiais existentes.



Figura 4.3: Planta baixa GEAS mostrando cada região conforme a época de construção.

Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN, Adaptado.

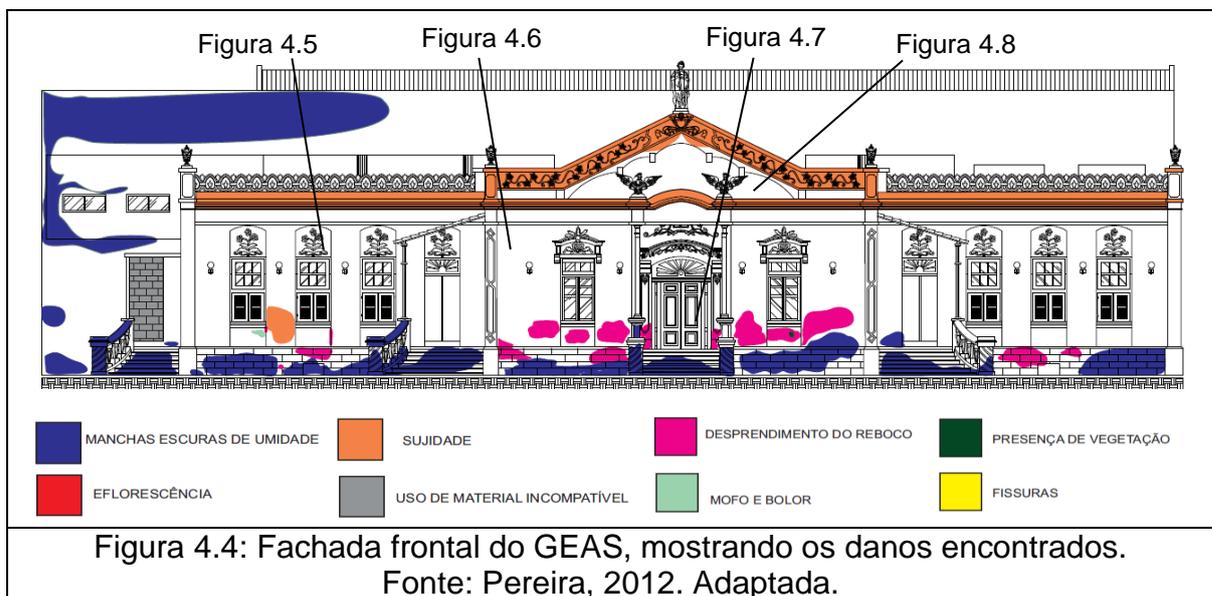
4.2. Levantamento das manifestações patológicas nos revestimentos de argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo

Para manter a integridade de um edifício antes de uma intervenção é imprescindível a conservação do material original da construção. Logo é fundamental conhecer o estado de conservação da edificação para planejar sua restauração, principalmente quando se trata de um patrimônio histórico.

4.2.1. Manifestações patológicas nas fachadas

O Quadro 4.1 ilustra o mapeamento de danos da fachada frontal com indicação das imagens da fachada referente a cada figura. Na Figura 4.4 é possível observar manchas devido a umidade, desprendimento do revestimento e manchas de sujeidade na parte de cima da fachada, na cimalha e nos detalhes arquitetônicos. Nas Figuras 4.5 a 4.8 essas manifestações patológicas são melhores observadas.

Quadro 4.1: Mapa de danos na fachada frontal.



A Figura 4.5 ilustra a presença de manchas de umidade (indicada pela seta azul), desprendimento do revestimento (indicado pela seta rosa), presença de mofo e bolor (indicada pela seta verde) e ainda sujeidade (indicada pela seta laranja). As manchas de umidade podem ser observadas na parte de baixo da imagem, principalmente no canto direito, onde a manifestação da patologia é evidenciada, apresentando tonalidade escura. Essas manchas foram possivelmente causadas por umidade ascensional proveniente da absorção de água do solo, com o tempo essas

manchas umidade podem ter se tornando mais escuras devido à deposição de materiais nos poros do revestimento. Segundo Perez (1988), a água do solo migra por capilaridade através dos elementos da edificação em contato com o solo. Assim, essa migração da água além das manchas de umidade observadas, causou a expansão do revestimento, resultando no seu desprendimento como pode ser observado na figura em questão.

É possível observar que entre as duas janelas da esquerda há presença de sujeira. A umidade ascensional pode ter facilitado a deposição e adesão de partículas no local. E a existência de vegetação na edificação, como pode ser observado na Figura 4.5, pode ter influenciado na deposição das partículas, pois dificulta a insolação da parede, favorecendo portanto a permanência da umidade. De acordo com Petrucci (2000), a insolação provoca a evaporação da umidade na superfície do revestimento da fachada e no interior dos poros e microporos, dificultando a deposição e adesão das partículas na superfície do revestimento. A falta de insolação e a umidade contribuíram para o desenvolvimento de mofo e bolor observado na parte de baixo da janela da esquerda.

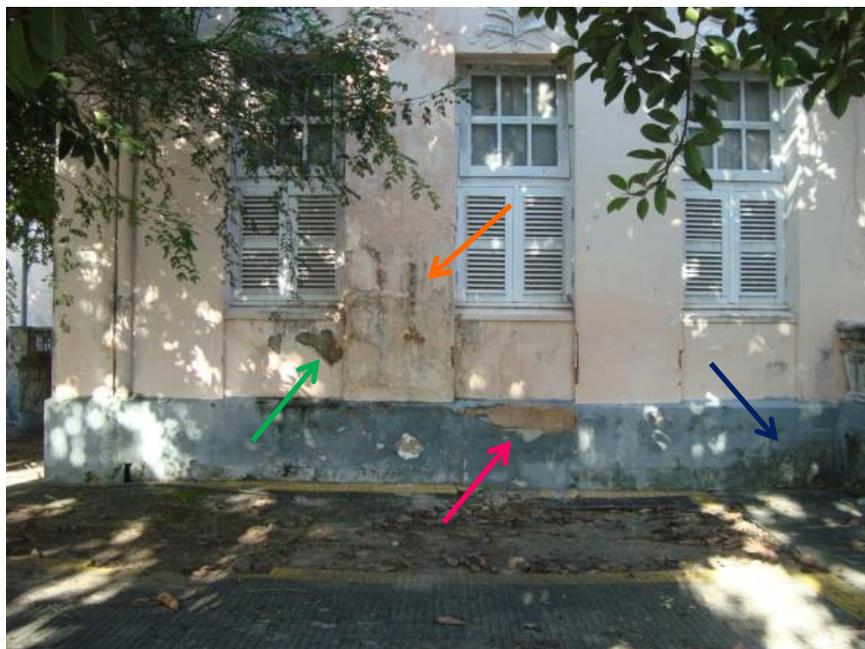


Figura 4.5: Detalhe de parte da fachada frontal, mostrando a presença de manchas de umidade, desprendimento do revestimento, mofo e bolor, e sujeira.

A Figura 4.6 ilustra detalhe da fachada com manchas de umidade na parte inferior da fachada (indicada pela seta azul), acompanhada de desprendimento do revestimento (indicado pela seta rosa) em alguns pontos, além de manchas de sujeira (indicada pela seta laranja). As manchas de umidades foram causadas pela umidade ascensional, devido a absorção de água por capilaridade, como relatado anteriormente. A presença da água pode ter causado a expansão do revestimento e seu consequente desprendimento, como mencionado anteriormente.

Nessa Figura pode-se observar a presença de sujeira na parte de cima da fachada, na cimalha e nos detalhes arquitetônicos. Como relatado na fundamentação teórica, conforme Petrucci (2000), a geometria da fachada influencia diretamente na deposição das partículas de sujeira. Além da geometria, Peres (1988) e Ulsamer⁸ (1975) apud Vieira (2005), observaram que as saliências introduzidas sobre as superfícies das fachadas irão determinar o maior ou menor grau de dissipação do fluxo de água da chuva, de adesão de partículas de sujeiras, proporcionando assim condições favoráveis ou não para o estado de conservação do revestimento das fachadas das edificações.

Na Figura 4.6 a saliência da cimalha e dos detalhes arquitetônicos na parte superior favoreceram o incremento de sujeira observado no detalhe da fachada do GEAS, e melhor ilustrado na Figura 4.7. É possível observar ainda na Figura 4.6 um escorrimento com característica de lavado sujo, indicado pela seta na cor preta, ocasionado pela inclinação da platibanda. Esse escorrimento de sujeira foi favorecido pela água da chuva que carregou para baixo partículas depositadas na parte de cima da platibanda.

A orientação da fachada frontal para direção oeste, onde recebe maior incidência solar e a predominância do vento em Natal, segundo Barros et al. (2013) na direção sudeste, influenciaram positivamente para menor ocorrência de sujeira ao longo da parede. A maior incidência solar na fachada reduz da umidade relativa do ar, e conseqüentemente, reduz o risco de deposição e adesão das partículas nas superfícies dos paramentos, como mencionado na fundamentação teórica.

⁸ ULSAMER, F. A umidade na construção civil. Barcelona: Ediciones CEAC AS, 1975.



Figura 4.6: Detalhe de parte da fachada frontal, mostrando manchas de umidade, desprendimento do revestimento e sujeira.



Figura 4.7: Detalhe da fachada frontal, mostrando sujeira na cimalha e nos detalhes arquitetônicos.

Quando o desprendimento do revestimento atinge um estágio avançado pode ocorrer, conforme Pereira (2008), a expulsão do revestimento com exposição da alvenaria como ilustrado na Figura 4.8. Essa manifestação patológica pode ser observada nas laterais da porta da entrada principal do GEAS. No canto direito da imagem é possível observar o desprendimento do revestimento na forma de desagregação.

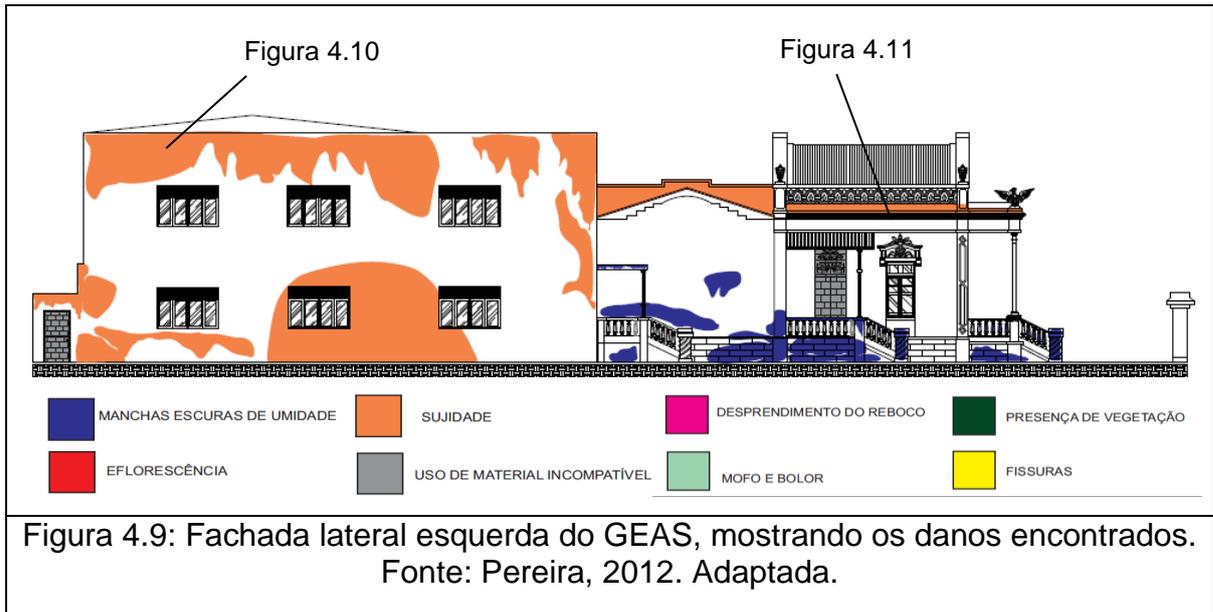
Essa Figura apresenta ainda sujeidade nos detalhes arquitetônicos na lateral esquerda da porta e no guarda-corpo da escada de acesso a edificação. A cobertura na entrada pode ter favorecido a presença da umidade e a consequente deposição e adesão das partículas no detalhe ao lado da porta. No guarda-corpo é possível que as saliências nos elementos arquitetônicos favoreceram a deposição e adesão das partículas.



Figura 4.8: Detalhe da fachada frontal, mostrando sujeidade e desprendimento do revestimento na parede.

O Quadro 4.2 ilustra o mapa de danos da fachada lateral esquerda do GEAS, com indicação das imagens da fachada referente a cada detalhe da fachada. Na Figura 4.9 pode-se observar manchas de umidade, utilização de material inadequado e sujeidade. Nas Figuras 4.10 e 4.11 essas manifestações patológicas são melhores observadas.

Quadro 4.2: Mapa de danos na fachada lateral esquerda do GEAS.



A Figura 4.10 ilustra sujidade na parte de cima da fachada e no meio em forma de parábola. Segundo Vieira (2005), a porosidade do revestimento das fachadas influencia na quantidade de água de escoamento, devido a absorção de água pelos materiais. Na Figura, o revestimento externo em argamassa é a base de cimento e, portanto, possui poros de menor diâmetro, dificultando a evaporação da água na superfície da fachada, facilitando assim a deposição e adesão das partículas. Além disso, essa fachada não recebe muita insolação, isso associado a alta umidade relativa do ar da cidade de Natal, que segundo Barros et al. (2013) é em média 79,3% e raramente ultrapassa valores menores que 74%. Esses fenômenos favorecem ainda mais a impregnação das partículas no revestimento.

É possível observar na Figura que a ausência de pingadeiras na platibanda, forneceu um plano contínuo na superfície da fachada, favorecendo o escoamento da água e a impregnação das partículas na parte superior da parede.

A parábola de sujidade observada no meio da figura é, conforme Couper⁹ (1972) apud Robinson e Baker (1977), um padrão típico de umedecimento pela chuva de uma parede voltada para a chuva dirigida pelo vento. Segundo Robinson e Baker (1977), a chuva dirigida ou carregada pelo vento forma um ângulo com a

⁹ COUPER, R. R. Drainage from vertical surfaces. In: Wind-Driven Rain and the Multi Storey Building. Australia, Division of Building Research, CSIRO, 1972. (Paper, 4).

vertical. De acordo com Petrucci (2000), esse ângulo depende unicamente do vento e de suas oscilações tanto em magnitude como em direção. Assim, percebe-se que a ação do vento e do conjunto chuva-vento resultou na formação da “parábola” de sujidade observada na fachada lateral esquerda do GEAS.



Figura 4.10: Detalhe da fachada lateral esquerda, mostrando sujidade na parte superior e a parábola de sujidade no meio da fachada.

Observa-se na Figura 4.11 manchas de umidade, sujidade nos detalhes do guarda-corpo e uso de material inadequado. As manchas de umidade (indicada pela seta azul) foram causadas possivelmente pela umidade ascensional, já mencionada anteriormente, oriunda da absorção de água por capilaridade. Os manchamentos/sujidades (indicados pela seta laranja) nos detalhes arquitetônicos do guarda-corpo foram causados pela deposição e adesão de partículas, favorecidas pelas saliências arquitetônicas.

O uso de material inadequado (indicado pela seta cinza), deve-se ao fato de que o detalhe da fachada mostrado nessa Figura pertence a época de 1908 da edificação, quando ainda não existia cimento. O revestimento nesse local é constituído de cal, areia e argila, como identificado no item 4.3 sobre a caracterização das argamassas. Assim, o uso de material a base de cimento, segundo Veiga (2003) descaracteriza e pode alterar as características de funcionamento da parede.



Figura 4.11: Detalhe da fachada lateral esquerda, mostrando sujidade no guarda-corpo, manchas de umidade e utilização de material inadequado.

O Quadro 4.3 apresenta o mapeamento de danos na fachada lateral direita do GEAS. A Figura 4.12 ilustra manchas de umidade e sujidade, além de indicar as Figuras correspondentes aos detalhes da fachada que serão mostrados.

Quadro 4.3: Mapa de danos na fachada lateral direita do GEAS.

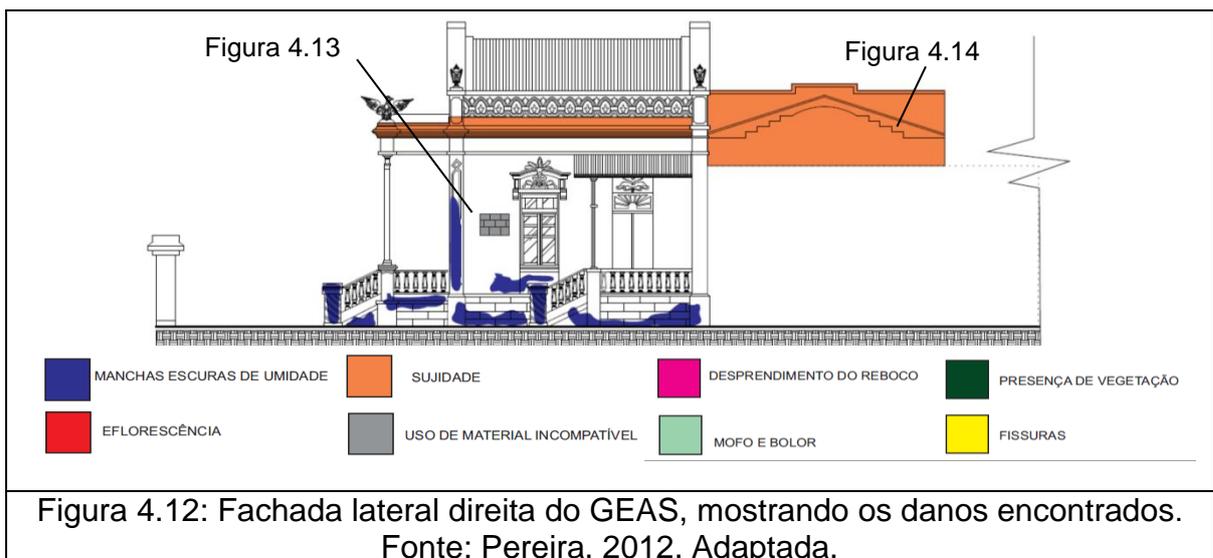


Figura 4.12: Fachada lateral direita do GEAS, mostrando os danos encontrados.
Fonte: Pereira, 2012. Adaptada.

A Figura 4.13 ilustra manchas escuras de umidade (indicada pela seta azul) na base da parede e sujidade no guarda-corpo e na parte de cima da parede (indicada pela seta laranja), na cimalha.

As manchas de umidade que aparecem na parte inferior do revestimento, pelo seu aspecto, foram causadas provavelmente por umidade ascensional, já observada anteriormente nas outras fachadas.

A sujeidade observada no guarda-corpo e na cimalha foi causada pela deposição de adesão de partículas na superfície do revestimento. As saliências nesses elementos arquitetônicos, como mencionado anteriormente, favorece a incrustação das partículas. Além disso, a alta umidade relativa do ar da cidade, a localização da edificação em área comercial, na qual há grande fluxo de veículos, influenciam diretamente na sujeidade. Segundo Petrucci (2000), as principais causas da degradação estética das fachadas dos edifícios por sujeidades são o pó atmosférico e as fumaças pretas.



Figura 4.13: Detalhe da fachada lateral direita, mostrando manchas escuras de umidade na base da parede e no guarda-corpo.

Na Figura 4.14 pode-se observar sujeidade (indicada pela seta laranja), com característica de lavado sujo. Segundo Vieira (2005) o acúmulo de sujeira, devido à deposição e adesão de partículas, proporciona que a água da chuva carregue para baixo grande quantidade de partículas, deixando o revestimento da fachada com sujeidade reforçada, causando contraste diferenciado sobre a superfície da fachada.



Figura 4.14: Detalhe da fachada lateral direita, mostrando sujidade.

4.2.2. Manifestações patológicas nos ambiente internos

O Quadro 4.4 mostra na Figura 4.15 a planta baixa da edificação destacando o ambiente 01 e na Figura 4.16 o ambiente 01 em planta baixa com a indicação das vistas e das figuras correspondentes. Nas Figuras 4.17 e 4.19 são apresentadas imagens das vistas. Nesse ambiente foram observadas manchas de umidade, mofo e bolor, e eflorescência.

Quadro 4.4: Planta baixa do GEAS e do ambiente 01.

<p>Figura 4.15: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 01. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>	<p>Figura 4.16: Detalhe da planta baixa do ambiente 01 com indicação das imagens. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>

A Figura 4.17 ilustra manchas de umidade (indicada pela seta azul), desprendimento do revestimento (indicado pela seta rosa) e eflorescência. As manchas de umidade observadas foram causadas provavelmente pela umidade ascensional, também observada na fachada da edificação, correspondente a mesma parede, já ilustrada na Figura 4.6.

O desprendimento do revestimento pode ter sido causado pela expansão do revestimento, ocasionado pela umidade ascensional. Do lado direito, próximo a porta, o desprendimento do revestimento observado pode ter sido causado pela umidade ascensional ou ainda devido a existência de eflorescência no local, melhor observada na Figura 4.18. Segundo Nappi e Lalane (2010), os sais transportados junto com a água se cristalizam gerando forças expansivas que podem provocar o descolamento do revestimento.

A eflorescência ilustrada na Figura 4.18 foi causada possivelmente por sais que foram carregados juntamente com a água que ascendeu por capilaridade. Segundo Arnold e Zehnder¹⁰ (1990) apud Nasser (2004) com a evaporação da umidade presente no revestimento ou com a diminuição da umidade relativa do ambiente ocorre a cristalização dos sais. Na Figura em questão observa-se que a eflorescência é de cor branca e se apresenta na forma de véu.



Figura 4.17: Ilustrando o desprendimento do revestimento e manchas de umidade.

¹⁰ ARNOLD, A. ZEHNDER, K. Salt weathering on monuments. In.: Advanced workshop "analytical methodologis for the investigation of damaged stones", 1990, Pavia, Italy. Anais... Pavia, 1990, p. 31-57.



Figura 4.18: Eflorescência observada na imagem da Figura 4.17, com maior ampliação.

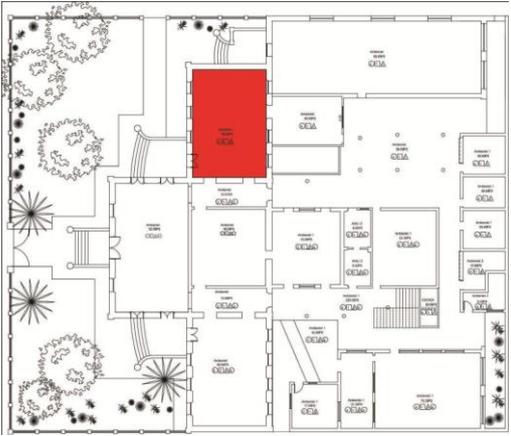
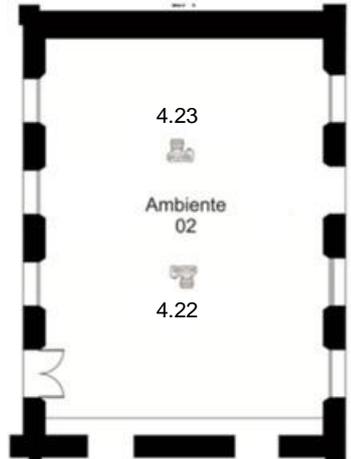
Na Figura 4.19 é possível observar manchas de umidade na parte superior e inferior da parede. Na parte superior da parede, problemas na cobertura da edificação causou a infiltração da água da chuva no revestimento. É possível que juntamente com a água da chuva que foi escoada foi carregada sujeira existente na cobertura. Isso pode ter causado a sujidade observada na parte de cima da parede, devido a impregnação das partículas de sujeira no revestimento. Na parte inferior, a umidade ascensional pode ter causado as manchas e sua permanência pode ter causado o desenvolvimento de mofo e bolor no canto esquerdo da porta.



Figura 4.19: Manchas umidade e mofo e bolor na base da parede.

No Quadro 4.5 é apresentada na Figura 4.20 a planta baixa da edificação destacando o ambiente 02. A Figura 4.21 ilustra o ambiente 01 em planta baixa com a indicação das vistas e a figuras correspondentes. Nas Figuras 4.22 e 4.23 são apresentadas imagens das vistas. Nesse ambiente foram observadas manchas de umidade, sujidade, mofo e bolor, desprendimento do revestimento, fissuração e utilização de material inadequado.

Quadro 4.5: Planta baixa do GEAS e do ambiente 02.

	
<p>Figura 4.20: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 02. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>	<p>Figura 4.21: Detalhe da planta baixa do ambiente 02 com indicação das imagens. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>

A Figura 4.22 ilustra manchas de umidade (indicada pela seta azul), desprendimento do revestimento (indicada pela seta rosa) e fissuração (indicada pela seta amarela).

As manchas de umidade foram causadas provavelmente pela umidade ascensional, devido à absorção da água do solo, por capilaridade, como já discutido anteriormente. A presença constante da umidade pode ter provocado a expansão do revestimento acarretando o seu desprendimento, e em alguns pontos a exposição da alvenaria.

Observa-se ainda nessa Figura, fissura vertical ao longo do revestimento causada provavelmente devido a deformação da estrutura de madeira que também é observada nesta Figura. Segundo Thomaz (1989), uma das causas de fissuras é a deformação excessiva das estruturas.



Figura 4.22: Ilustrando manchas de umidade, desprendimento com exposição da alvenaria e fissuração.

Na Figura 4.23 é possível observar manchas de umidade (indicada pela seta azul), sujeira (indicada pela seta laranja), mofo e bolor (indicados pela seta verde) e utilização de material inadequado com cimento (indicado pela seta cinza).

As manchas de umidade na imagem foram causadas provavelmente por umidade ascensional, devido a absorção de água por capilaridade proveniente do solo da edificação, já discutida anteriormente. A sujeira observada na Figura 4.23 foi causada pela penetração da água da chuva no ambiente e consequentemente na parede, devido a problemas na estrutura da cobertura, como ausência de algumas telhas. O escoamento da água da chuva na parede possivelmente carregou sujeira existente nos elementos da cobertura, causando a sujeira observada.

Assim, a existência da umidade na parte inferior facilitou a deposição e adesão de partículas levadas pelo escoamento da água da chuva. A permanência da umidade favoreceu o desenvolvimento de mofo e bolor, principalmente nos cantos da parede, onde é possível observar manchas escuras. Segundo Lersch (2003), o crescimento de fungos em revestimentos das edificações causa o aparecimento de manchas escuras.

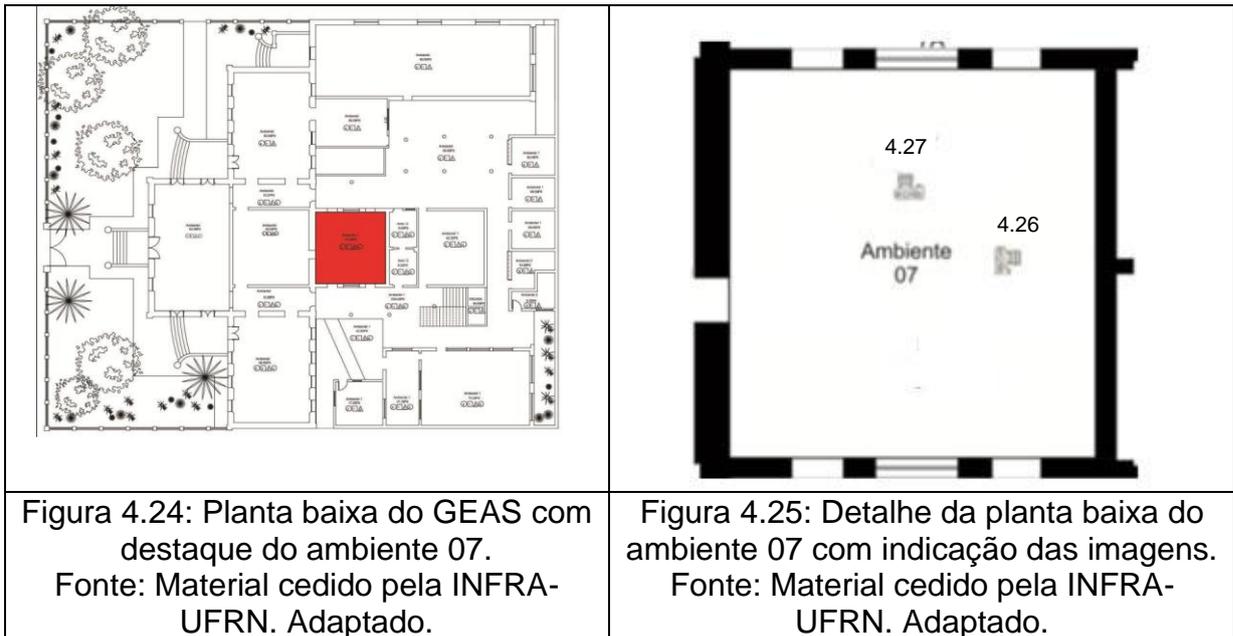
Os revestimentos antigos são constituídos normalmente de cal e areia. Nesse ambiente do GEAS, ainda da época de 1908, a argamassa de revestimento caracterizada no item 4.3, foi identificada como sendo constituída de cal, areia e argila. Neste aspecto, a utilização de argamassa com cimento, como pode-se observar na Figura 4.23 é inadequada para revestimento antigo. Segundo Veiga (2003), o uso de material inadequado, como relatado na fundamentação teórica, descaracteriza a edificação, altera as características dos revestimentos, além de perder informações sobre os materiais originais que foram aplicados.



Figura 4.23: Ilustrando manchas de umidade, sujidade, mofo e bolor e uso de material inadequado.

O Quadro 4.6 ilustra na Figura 4.24 a planta baixa da edificação destacando o ambiente 07, da época de 1910. E a Figura 4.25 mostra a planta baixa desse ambiente com a indicação de cada figura correspondente a imagem de cada parede. Nas Figuras 4.26 e 4.27 são apresentadas imagens das vistas. Nesse ambiente foram observadas manchas de umidade e mofo e bolor.

Quadro 4.6: Planta baixa do GEAS e do ambiente 07.



A Figura 4.26 ilustra manchas generalizadas de umidade (indicada pela seta azul) e presença de mofo e bolor (indicada pela seta verde) na parte superior e principalmente na parte inferior. As manchas de umidades foram causadas pela infiltração da água na parede, devido a problemas na laje de cobertura do ambiente. É possível observar manchas de umidade com aspecto de escorrimento no meio da parede devido a penetração de água.

As manchas escuras na parte inferior da parede foram ocasionadas provavelmente devido ao crescimento de mofo e bolor, favorecido pela permanência contínua da umidade ascensional no revestimento e pela umidade de infiltração, da água da chuva.

Na Figura 4.27 pode-se observar manchas de umidade de infiltração devido a penetração da água da chuva na parte superior no lado direito e assim como na Figura 4.26, mofo e bolor causado pela umidade de infiltração e pela umidade ascensional, já discutida anteriormente.



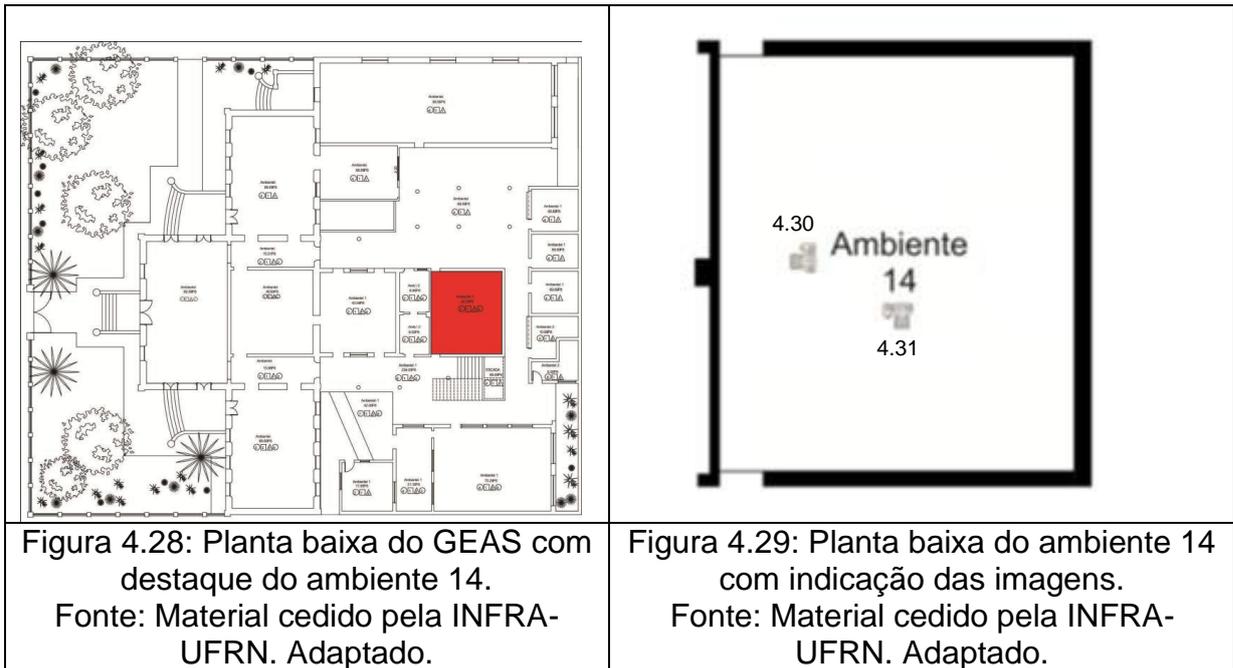
Figura 4.26: Ilustrando manchas de umidade em toda a parede e presença de mofo e bolor na parte inferior e superior da parede.



Figura 4.27: Ilustrando manchas de umidade na parte superior e mofo e bolor na parte inferior, no lado direito da imagem.

O Quadro 4.7 apresenta na Figura 4.28 a planta baixa da edificação com destaque para o ambiente 14, da época de 1960, e na Figura 4.29 um detalhe da planta baixa do ambiente 14 com a indicação das imagens das paredes. As Figuras 4.30 a 4.31 ilustram manchas de umidade generalizada em todas as paredes.

Quadro 4.7: Planta baixa do GEAS e do ambiente 14.



As Figura 4.30 e 4.31 ilustram manchas de umidade generalizada na parede. As manchas de umidade observadas no meio da parede e na parte superior foram causadas pela infiltração da água da chuva nas paredes devido a problemas na laje de cobertura. Observa-se que em alguns pontos as manchas são mais escuras, isso deve-se a maior absorção da água. Nessa região as argamassas são a base de cimento, as quais por ter poros com raios pequenos favorecem a permanência da umidade influenciando na absorção e portanto na intensidade das manchas.

Na Figura 4.30 observa-se na parte inferior manchas de umidade com tonalidade escura, essas manchas foram causadas provavelmente por umidade ascensional, devido a migração da água do solo por capilaridade, como já discutido anteriormente.



Figura 4.30: Ilustrando manchas de umidade na parede.



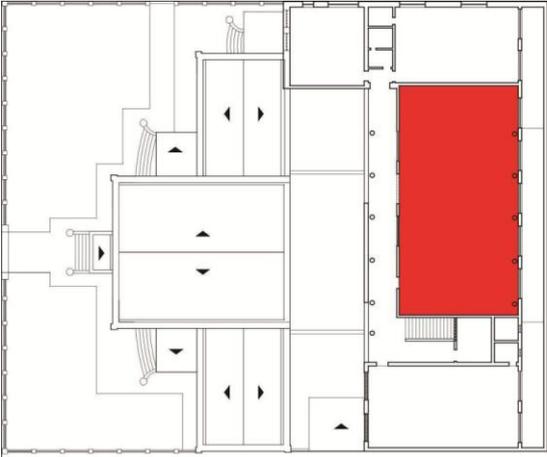
Figura 4.31: Ilustrando manchas de umidade no revestimento argamassado.

No pavimento superior da edificação, as manifestações patológicas observadas nos revestimentos argamassados foram causadas por umidade. No ambiente 20 foram verificadas manchas de umidade e mofo e bolor.

A Figura 4.32, apresentada no Quadro 4.8, ilustra a planta baixa do GEAS destacando em vermelho o ambiente 20 e na Figura 4.33 um detalhe da planta baixa

do ambiente com indicação das figuras correspondentes imagens que ilustram as manifestações patológicas observadas.

Quadro 4.8: Planta baixa do GEAS e do ambiente 20.

	
<p>Figura 4.32: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 20. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>	<p>Figura 4.33: Detalhe da planta baixa do ambiente 20 com indicação das imagens. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>

A Figura 4.34 ilustra mofo e bolor (indicado pela seta verde) no lado direito da imagem, causado possivelmente pela permanência intensa da umidade devido a infiltração da água da chuva por buracos existentes na laje de cobertura do ambiente.

Segundo Araújo¹¹ (2003) apud Sobrinho (2008), nas construções antigas, principalmente as que se encontram em estado avançado de envelhecimento, a umidade de infiltração da chuva está sempre presente nas alvenarias. No GEAS, pelas manifestações patológicas verificadas, observou-se a falta de manutenção e o estado de degradação da edificação, facilitando a permanência da umidade de infiltração, deixando o ambiente úmido e, conseqüentemente propício para o crescimento de mofo e bolor.

¹¹ ARAUJO, A. B. Humidade e degradação nos edifícios: considerações sobre o projeto, os materiais, a execução, a utilização, a manutenção e deterioração. Revista Internacional Construlink, v. 3, n. 8, p. 1-10, 2003.



Figura 4.34: Manchas de umidade com presença de mofo e bolor.

O Quadro 4.9 apresenta na Figura 4.35 a planta baixa do GEAS com destaque para o ambiente 22 e na Figura 4.36 a planta baixa do ambiente 22 com indicação dos registros fotográficos correspondentes a cada Figura que ilustra as manifestações patológicas desse ambiente. Foram observadas manchas de umidade e mofo e bolor.

Quadro 4.9: Planta baixa do GEAS e do ambiente 22..

<p>Figura 4.35: Planta baixa do GEAS com destaque do ambiente 22. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>	<p>Figura 4.36: Detalhe da planta baixa do ambiente 22 com indicação das imagens. Fonte: Material cedido pela INFRA-UFRN. Adaptado.</p>

A Figura 4.37 ilustra manchas de umidade (indicadas pela seta azul) causadas pela infiltração da água da chuva devido a existência de aberturas na laje

de cobertura e a ausência de janelas no ambiente. Nesse ambiente, da época de 1960, a argamassa de revestimento é a base de cimento, a qual possui poros com raio de menor diâmetro. Assim, a evaporação da umidade é dificultada, favorecendo a absorção de água pelo revestimento. Com o ambiente úmido, o revestimento se tornou propício para o crescimento de mofo e bolor (indicado pela seta verde), como pode ser observado principalmente do lado esquerdo da imagem. Na Figura 4.38 é possível observar que o mofo e bolor no revestimento se apresenta de forma generalizada.



Figura 4.37: Manchas de umidade e presença de mofo e bolor.

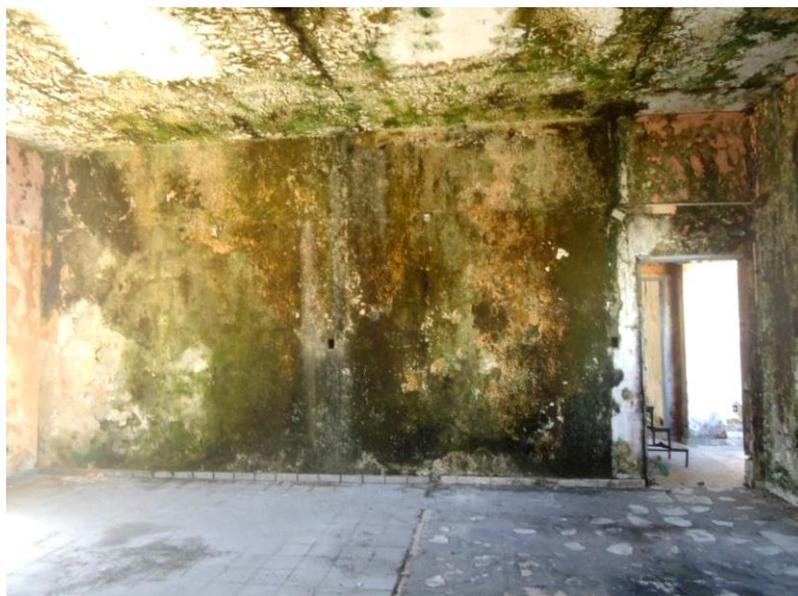


Figura 4.38: Ilustrando mofo e bolor no revestimento argamassado.

4.3. Caracterização das argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo

4.3.1. Análise visual das amostras

A seguir é relatado o resultado da observação visual das argamassas coletas no GEAS e apresentados os registros fotográficos das amostras nas Figuras 4.39 a 4.42.

Visualmente a amostra da fachada (GEAS-F-01), ilustrada na Figura 4.39, é constituída de apenas uma camada com cerca de 1,5cm de espessura. Não há a presença de manifestações patológicas visíveis, apresenta coloração castanho claro com agregados de mesma cor e pode-se observar pequenos pontos de cor preta e nódulos de cal de pequena dimensão. A argamassa apresenta aspecto quebradiço e pouco resistente.



Figura 4.39: Aspecto visual da amostra GEAS-F-01, coletada na fachada frontal.

A amostra GEAS-I-01, ilustrada na Figura 4.40, constituída de duas camadas, é uma argamassa de cor clara com cerca de 2cm de espessura, sem danos visíveis e com agregados de cor clara e castanho claro. A argamassa apresenta um aspecto resistente e compacto.

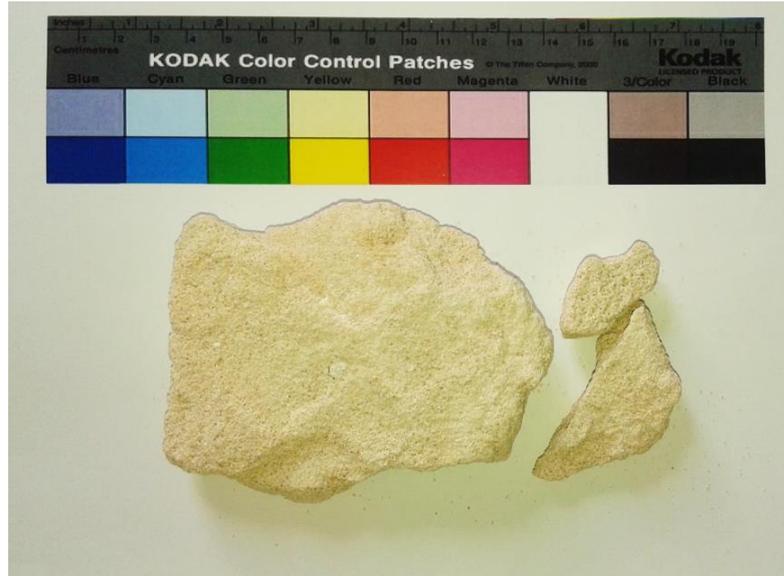


Figura 4.40: Aspecto visual da amostra GEAS-I-01, coletada no ambiente 01.

A argamassa GEAS-I-02, ilustrada na Figura 4.41, é constituída por uma única camada de cor clara com uma espessura de cerca de 2,0cm, agregados de cor clara e castanho claro e ausência de manifestações patológicas visíveis. A argamassa apresenta um aspecto compacto e resistente.

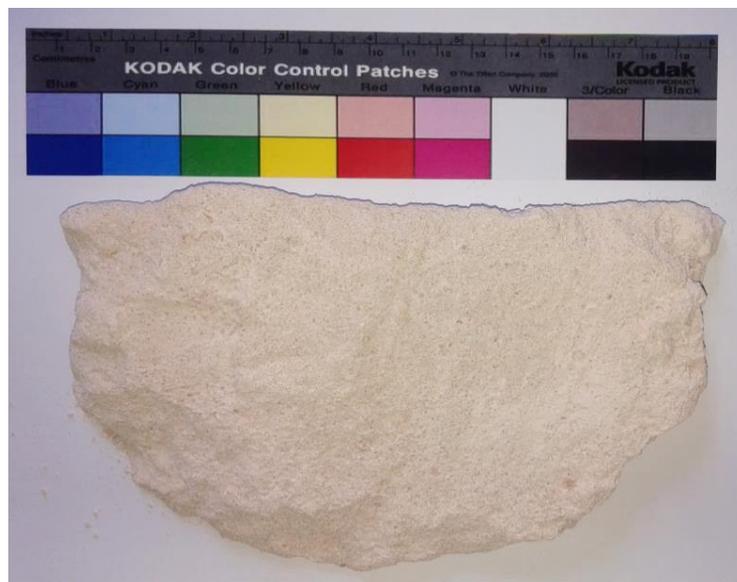


Figura 4.41: Aspecto da amostra GEAS-I-02, coletada no corredor 01.

A observação visual da amostra GEAS-I-03, ilustrada na Figura 4.42, evidencia a presença de uma única camada com aproximada 1,8cm de espessura. A argamassa apresenta coloração castanho claro com agregados de mesma cor. Nessa amostra foi possível observar pequenos pontos de cor preta e nódulos de cal

de pequena dimensão. Não foram observados danos visíveis a olho nu e a amostra apresenta aspecto quebradiço e pouco resistente.



Figura 4.42: Aspecto visual da amostra GEAS-I-03, coletada no ambiente 02.

A Tabela 4.1 apresenta uma descrição sucinta dos principais aspectos observados nas amostras do GEAS.

Tabela 4.1: Descrição dos principais aspectos observados na análise visual de cada amostra de argamassa do GEAS.

Amostras	Nº de camadas	Cor	Espessura (cm)	Manifestações patológicas	Outros Aspectos
GEAS-F-01	1	Castanho claro	1,5	não	Pouco resistente, quebradiça, pequenos nódulos de cal.
GEAS-I-01	2	Clara	2,0	não	Resistente, compacta
GEAS-I-02	1	Clara	2,0	não	Resistente, compacta.
GEAS-I-03	1	Castanho claro	1,8	não	Pouco resistente, quebradiça, pequenos nódulos de cal.

Foi observado que as amostras GEAS-F-01 e GEAS-I-03 são semelhantes, possuem cor idênticas, espessura próxima, apenas uma camada e são provavelmente argamassas originais da época de 1908. As duas amostras apresentam nódulos de cal e pontos pretos visíveis, são pouco resistentes e se

quebram facilmente. De acordo com Yaseen et al.(2013), a presença de nódulos de cal indica que a cal não sofreu hidratação completa, ou seja, que foi hidratada com uma quantidade mínima de água. Os pontos pretos podem ser resíduos de carvão originado do processo de fabricação da cal que podem ter sido incorporados. Visualmente essas amostras apresentam partículas finas e a sua cor castanho claro é provavelmente devido a presença de argila (barro) incorporada nessas amostras, como será demonstrado no DRX das amostras.

As amostras GEAS-I-01 E GEAS-I-02 também apresentam semelhanças quanto à cor, espessura igual de 2,0 cm, aspecto resistente e compacto e possivelmente são resultantes de alguma intervenção realizada próxima a 1908, ano de construção da região de coleta dessas amostras. Essas amostras foram retiradas da mesma região das amostras GEAS-F-01 e GEAS-I-03, no entanto, apresentam características visíveis diferentes. Logo, é possível que em uma época próxima a da construção (1908), tenha ocorrido algum tipo de intervenção nessas paredes, pois foi observado que a argamassa possui cor clara e visivelmente não possui presença de cimento.

4.3.2. Fluorescência de raios-X

Os resultados da fluorescência de raios-X das amostras são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: FRX das argamassas do GEAS.

Compostos	GEAS-F-01 (%)	GEAS-I-01 (%)	GEAS-I-02 (%)	GEAS-I-03 (%)
CaO	57,58	89,99	81,71	64,96
SiO ₂	13,23	5,96	10,33	8,95
Fe ₂ O ₃	18,66	3,16	4,57	15,08
ZrO ₂	3,20	-	1,46	4,59
Al ₂ O ₃	3,04	-	-	2,92
TiO ₂	1,68	-	0,68	1,31
K ₂ O	1,23	0,43	0,53	0,84
SrO	0,98	0,46	0,73	0,91
MnO	0,29	-	-	0,31
ZnO	0,11	-	-	0,12

As argamassas GEAS-F-01 e GEAS- I-03, apresentam no FRX maior teor de óxido de cálcio seguido de hematita (óxido de ferro) e sílica (óxido de silício). A presença da hematita, e ainda zircônio, óxido de alumínio, dióxido de titânio, óxido de potássio, óxido de estrôncio, óxido de magnésio e óxido de zinco, podem indicar a presença de argila, como será apresentado nos resultados da difração de raios-X. O óxido de silício nas duas amostras pode indicar ainda a presença de areia, o que foi observado durante a desagregação do material. O alto teor de hematita pode ter atribuído a tonalidade avermelhada como foi observado na análise visual. Como relatado na fundamentação teórica, segundo Veiga et al. (2008) a hematita atribui a cor vermelha as argamassas. Provavelmente devido a presença de outros compostos e dos agregados a cor das amostras apresenta uma cor castanho clara.

Nos resultados do FRX das amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02, foi identificado maior quantidade de óxido de cálcio e sílica (óxido de silício). Essas amostras apresentaram ainda hematita (óxido de ferro), óxido de potássio e óxido de estrôncio. Na argamassa GEAS-I-02 ainda foi identificado zircônio e dióxido de titânio. Na análise visual dessas argamassas foi observada a coloração clara, assim a presença desses compostos pode ser devido ao contato da argamassa com os tijolos de barro da alvenaria.

Todas as argamassas apresentaram FRX com elevado teor de óxido de cálcio, o que indica provavelmente, conforme Yaseen et al. (2013), que as argamassas coletadas no GEAS são ricas em cal.

4.3.3. Difração de raios-X

Na análise dos difratograma de DRX das argamassas, representados nas Figuras 4.43 a 4.46, foi possível identificar em todas as argamassas o carbonato de cálcio de natureza calcita e sílica na forma de quartzo.

No DRX da argamassa GEAS-F-01, ilustrado na Figura 4.43, foi identificada a presença de calcita, quartzo e caulinita. A caulinita indica a presença de argila na argamassa, confirmando, portanto o resultado do FRX da amostra.

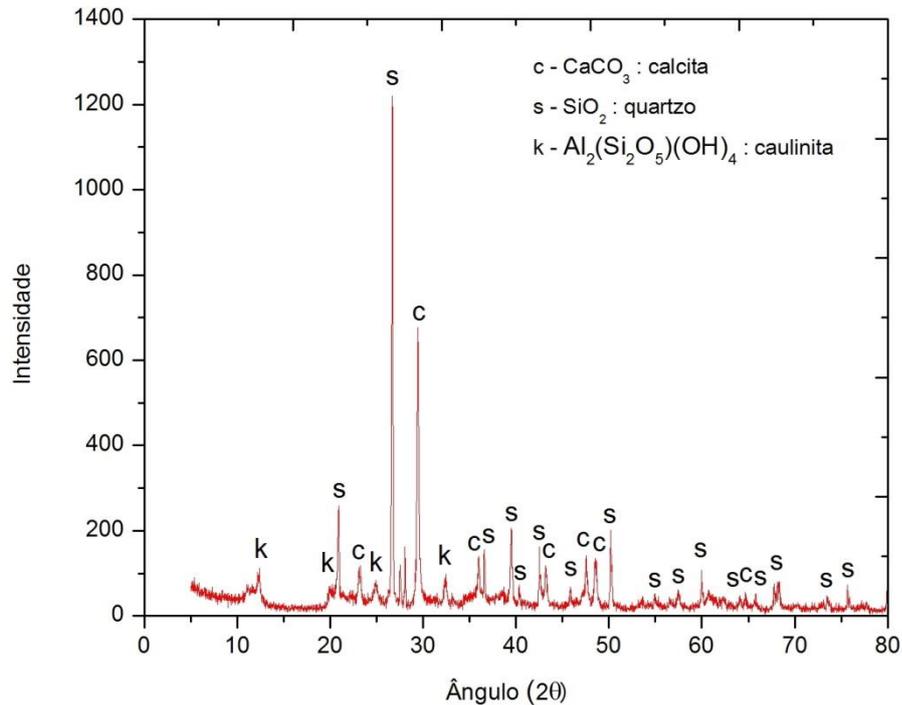


Figura 4.43: Difratoograma da argamassa GEAS-F-01.

A amostra GEASI-01, ilustrada na Figura 4.44, apresentou no resultado do DRX calcita e quartzo.

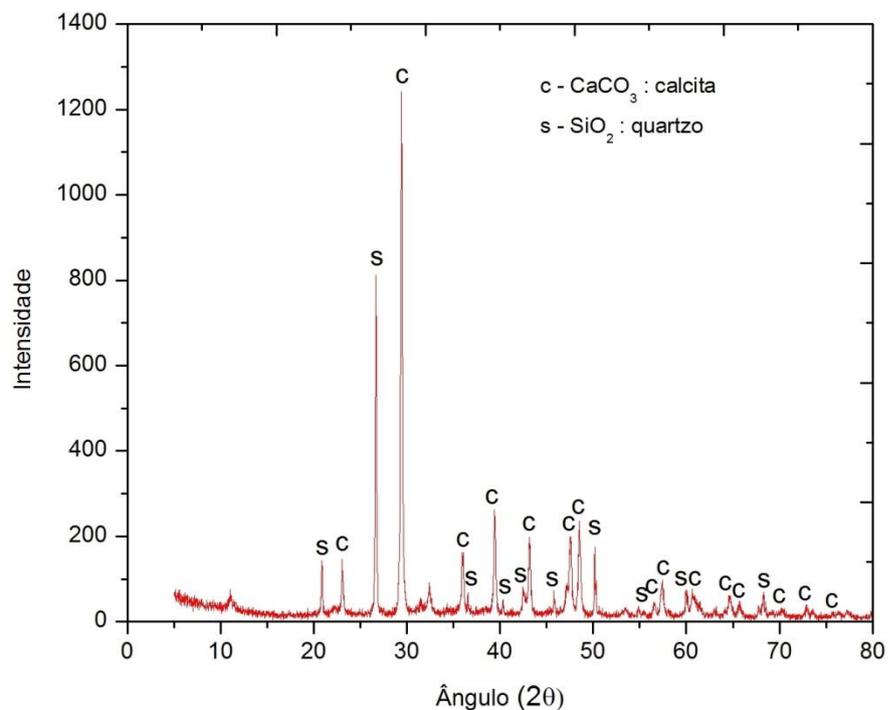


Figura 4.44: Difratoograma da argamassa GEAS-I-01.

No difratograma da amostra GEAS-I-02, apresentado na Figura 4.45, foi identificado a presença de calcita e quartzo.

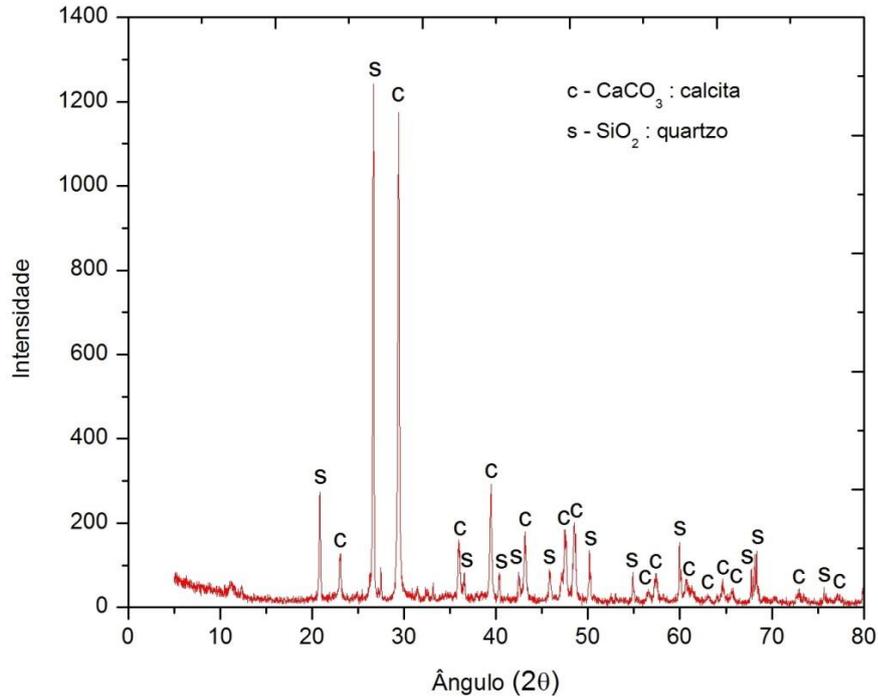


Figura 4.45: Difratoograma da argamassa GEAS-I-02.

No resultado do DRX da amostra GEAS-I-03, ilustrado na Figura 4.46, mostrou a presença de calcita, quartzo e caulinita. O aparecimento da caulinita, assim como na amostra GEAS-F-01 indica a existência de argila na amostra. O difratograma dessa argamassa mostrou resultados muito semelhantes aos da amostra GEAS-F-01, confirmando os resultados da análise visual e do FRX das duas amostras, os quais também foram parecidos.

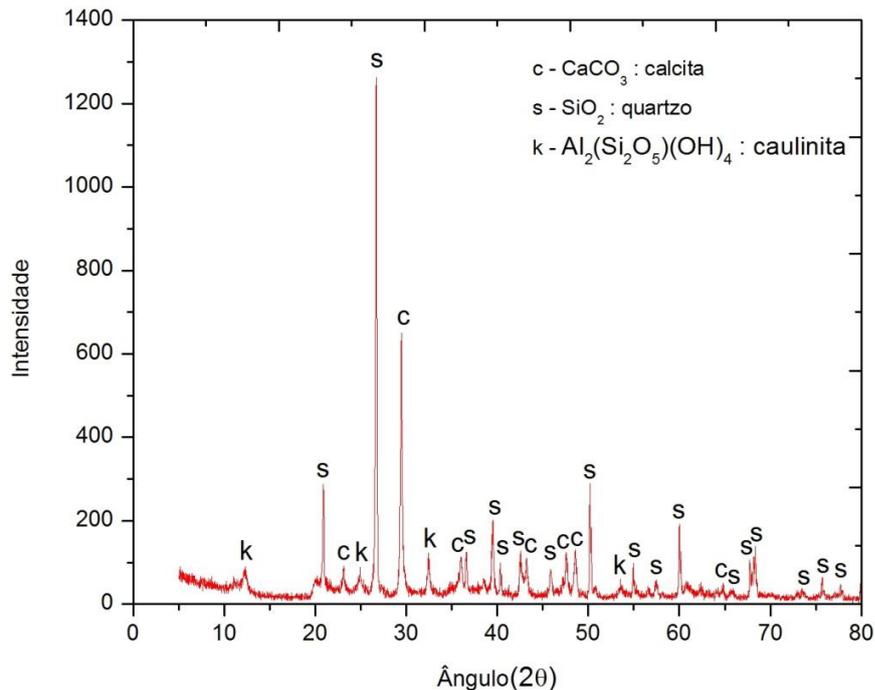


Figura 4.46: Difratoograma da argamassa GEAS-I-03.

Observando-se os difratogramas de todas as amostras, pode-se verificar que as argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03 são originais e constituídas provavelmente de cal, areia e argila. Enquanto as amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02 possivelmente foram argamassas utilizadas em alguma intervenção no GEAS, em época próxima das outras amostras, pois os resultados do FRX e do DRX indicam que essas argamassas são de cal e areia.

A Tabela 4.3 apresenta as argamassas de acordo com a identificação dos compostos cristalinos e sua intensidade, conforme os resultados do DRX.

Tabela 4.3: Composição mineralógica das argamassas por DRX e sua intensidade.

Compostos cristalinos identificados	GEAS-F-01	GEAS-I-01	GEAS-I-02	GEAS-I-03
Calcita	++	+++	+++	++
Quartzo	+++	++	+++	+++
Caulinita	+	-	-	+

Convenção: +++: intensidade forte; ++: intensidade média; +: intensidade fraca; - = não detectado.

Comparando-se as argamassas que foram coletadas, nos difratogramas das amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02 e conforme a Tabela 4.6, o composto químico que mais se destaca é a calcita, enquanto nas argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03, apesar do destaque da calcita, o composto que aparece com maior intensidade é o quartzo.

4.3.4. Análise termogravimétrica

Através da análise termogravimétrica (TG/DTG) é possível observar a perda de massa e os picos de temperaturas nas argamassas analisadas. As Figuras 4.47 a 4.50 ilustram as curvas TG e DTG de cada amostra.

Os dados obtidos a partir da TG foram analisados, utilizando um padrão convencional de faixas de temperatura relatados na literatura por Bakolas et al. (1995 e 1998), Moropoulou et al. (1995), Ingo et al. (2004) e Genestar e Pons (2006):

- $T < 120^{\circ}\text{C}$: perda de água adsorvida da argamassa;
- $120\text{-}200^{\circ}\text{C}$: perda de água a partir dos sais hidratados;
- $200\text{-}600^{\circ}\text{C}$: perda de água quimicamente ligada, que indica à presença de compostos hidráulicos;
- $T > 600^{\circ}\text{C}$: perda de CO_2 a partir da decomposição dos carbonatos.

Foi observada em todas as amostras perda de massa entre 350°C e 550°C . Nas argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03 a perda nesse intervalo representa a desidratação da argila, do tipo caulinita como observado no DRX. Nas amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02 a perda indica a provável desidratação do $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pois segundo Moropoulou et al. (1995) a perda entre $400\text{-}520^{\circ}\text{C}$ refere-se ao $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Nos gráficos ilustrando os resultados da análise termogravimétrica, as perdas acima de 600°C estão relacionadas a presença de carbonatos, ou seja, quando ocorre a decomposição do carbonato de cálcio, na forma de calcita, de acordo com os resultados de DRX. Segundo Moropoulou et al. (1995) a decomposição do carbonato de cálcio na forma de calcita, ocorre com um pico endotérmico por volta de 840°C , no entanto, conforme Bakolas et al. (1998) uma menor temperatura de decomposição indica a presença de sais solúveis, de outros compostos minerais presentes na argamassa ou uma rede cristalina defeituosa. Nas argamassas do GEAS o pico de decomposição da calcita ocorreu em temperatura abaixo de 840°C , o que confirma a existência de argila.

Na análise termogravimétrica da amostra GEAS-F-01, ilustrada na Figura 4.47, observa-se pico endotérmico intenso de desidratação da argila por volta de 450°C e de decomposição da calcita em 682°C , sendo este último o maior pico.

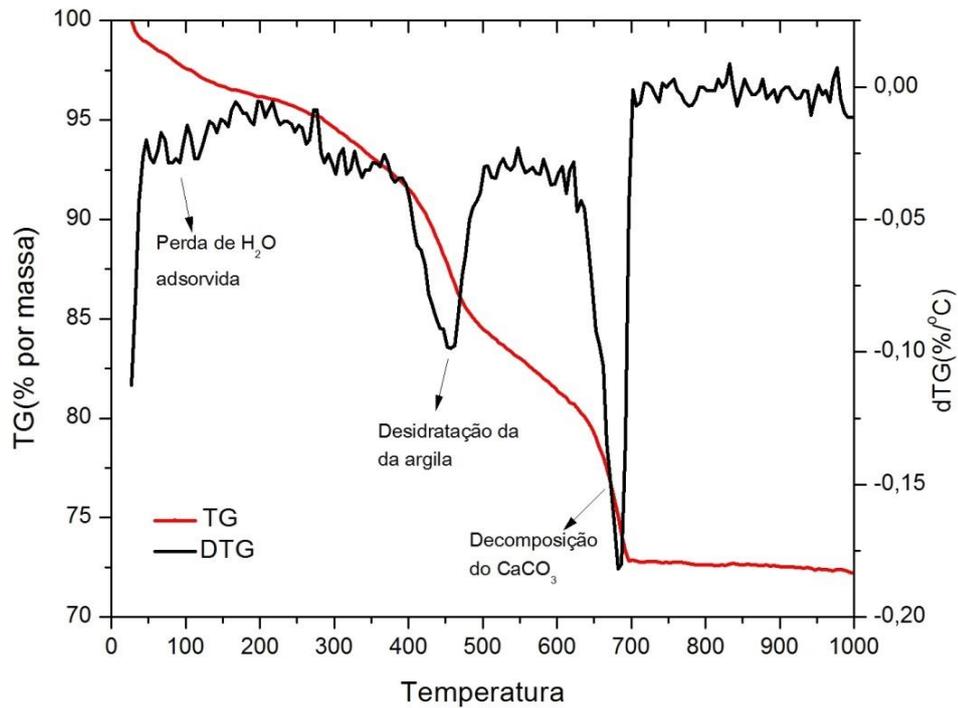


Figura 4.47: TG/dTG da amostra GEAS-F-01.

O termograma da argamassa GEAS-I-01, ilustrado na Figura 4.48, apresenta pico endotérmico de desidratação do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por volta de 400°C e pico menor de decomposição da calcita em 697°C.

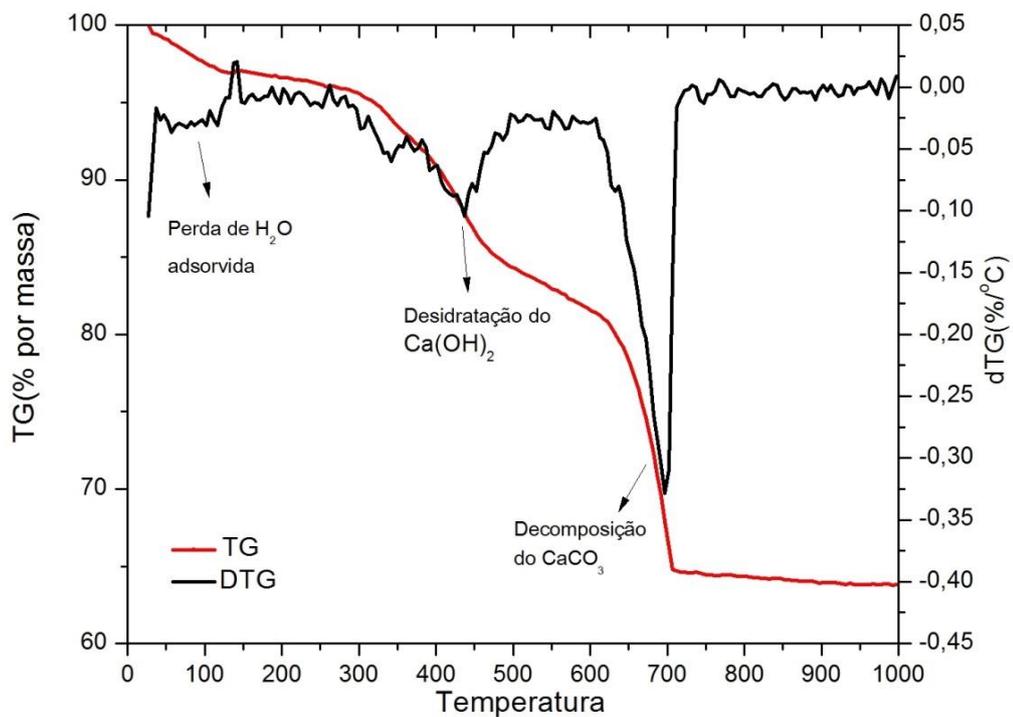


Figura 4.48: TG/dTG da amostra GEAS-I-01.

A Figura 4.49 apresenta o termograma da amostra GEAS-I-02, é possível observar um pequeno pico de desidratação do Ca(OH)_2 por volta de 450°C e pico de decomposição do carbonato de cálcio, na forma de calcita, em 722°C .

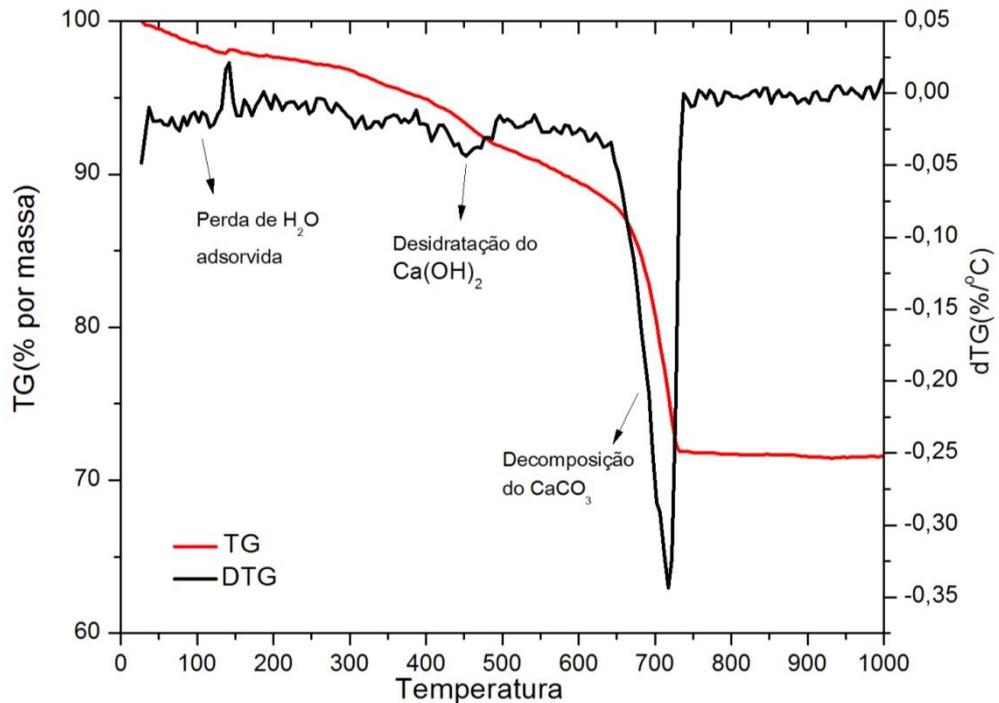


Figura 4.49: TG/dTG da amostra GEAS-I-02.

No termograma da amostra GEAS-I-03, apresentado na Figura 4.50, é possível observar um pico endotérmico intenso por volta de 450°C devido a desidratação da argila e outro pico de decomposição do carbonato de cálcio, na forma de calcita, em 722°C .

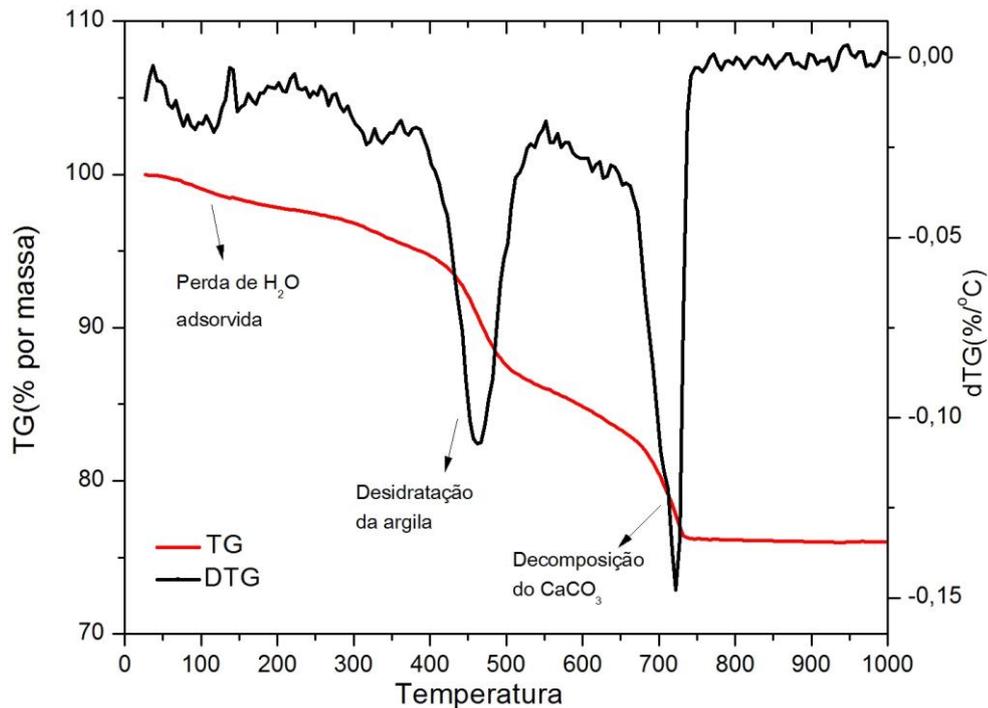


Figura 4.50: TG/dTG da amostra GEAS-I-03.

Nos termogramas das argamassas GEAS-I-01 e GEAS-I-02 foi observada a desidratação do $\text{Ca}(\text{OH})_2$, não identificado no DRX. A ausência desse composto no DRX dessas amostras pode estar relacionada a pequena amostra que é utilizada nas análises e ainda devido a dificuldade em desfragmentar os nódulos de cal devido a desagregação das argamassas.

Quando se compara todas as amostras coletadas é possível observar que as amostras GEAS-F-01 e GEAS-I-03 possuem resultados de TG/DTG muito semelhantes, com maiores picos de desidratação da argila, quando comparadas com as argamassas GEAS-I-01 e GEAS-I-02, ratificando, portanto, a presença desse material nas amostras, como verificado nos resultados de FRX e DRX.

A Tabela 4.4 apresenta as perdas de massa de cada amostra analisada e a temperatura de decomposição do carbonato de cálcio. É possível verificar que para temperaturas acima de 600°C as perdas de massas são maiores do que nos outros intervalos de temperatura. Que as argamassas GEAS-I-01 e GEAS-I-02 possuem maior perda de massa nessa faixa de temperatura e ainda que as temperaturas de decomposição do carbonato de cálcio das argamassas são próximas, sendo maior para as amostras GEAS-I-02 e GEAS-I-03.

Tabela 4.4: Perdas de massa observadas nas amostras e temperatura de decomposição do carbonato.

Amostra	T<120°C (%)	120-200°C (%)	200-400°C (%)	T>600°C (%)	Temperatura de decomposição do carbonato
GEAS-F-01	2,32	0,93	4,71	9,09	682°C
GEAS-I-01	2,46	0,40	5,79	17,70	697°C
GEAS-I-02	1,65	0,46	2,76	17,86	722°C
GEAS-I-03	1,27	0,84	3,18	8,78	722°C

A Tabela 4.5 apresenta a perda de massa do GEAS, correspondente à água higroscópica (T<120°C), a água quimicamente ligada (200-600°C), relacionada a compostos hidráulicos, dos carbonatos (T>600°C) e ainda a relação CO₂/H₂O_{hidr.}. De acordo com Bakolas et al. (1998), a relação entre a percentagem de CO₂ e a percentagem de peso atribuída a água hidráulica é de significativa importância, pois essa razão pode dar indicações sobre a natureza hidráulica da mistura. A partir de dados da análise térmica, Moropoulou et al. (2005) classificaram as argamassas históricas segundo os níveis de hidraulicidade do material, conforme pode ser observado na Tabela 4.6.

Tabela 4.5: TG/DTG do GEAS com % de perda de massa da água higroscópica, quimicamente ligada, %CO₂ e CO₂/H₂O_{hidr.}

Amostra	% H ₂ O água higroscópica	%H ₂ O hidráulica	%CO ₂	CO ₂ /H ₂ O _{hidr}
GEAS-F-01	2,32%	14,86%	9,09%	0,61
GEAS-I-01	2,46%	15,10%	17,70%	1,17
GEAS-I-02	1,65%	8,23%	17,86%	2,17
GEAS-I-03	1,27%	13,05%	8,78%	0,67

A relação CO₂/H₂O_{hidr.} nas amostras varia de 0,61 a 2,17, portanto os agregados utilizados na fabricação das argamassas em estudo são de natureza silicosa, confirmando os resultados das técnicas anteriores. Segundo Bakolas et al. (1998) e Moropoulou et al. (2005), essa proporção é geralmente superior a 10 para agregados de natureza calcária, enquanto que para agregados silicosos essa relação é menor.

Comparando-se os resultados do GEAS na Tabela 4.5 com os resultados de Moropoulou et al. (2005) na Tabela 4.6, e ainda analisando a Figura 4.51, o qual compara os resultados da razão $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ em relação a $\% \text{CO}_2$ das argamassas do GEAS com os dados de classificação de Moropoulou et al. (2005), pode-se classificar as argamassas.

No entanto, conforme Marques (2005), os dados da Tabela 4.6, típicos da análise termogravimétrica para argamassas a base de cal, devem ser sempre avaliados levando em conta os dados obtidos para os agregados e nas observações microscópicas, já que inúmeros fatores podem influenciar os resultados. Assim, para fins práticos, avaliando as incertezas em relação as amostras e na elaboração dos ensaios, é importante considerar os resultados obtidos nas técnicas anteriores, FRX e DRX.

Portanto, para fins práticos de classificação, as argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03 são de cal, areia e argila e as argamassas GEAS-I-01 e GEAS-I-02 de cal e areia.

Tabela 4.6: Classificação das argamassas históricas com base nos resultados da TG/DTG de acordo com Moropoulou et al. (2005).

Tipo de argamassa	H₂O fisicamente adsorvida (%)	H₂O quimicamente ligada (%)	CO₂%	CO₂/H₂O_{quim.} ligada
Argamassa de cal típica	<1	<3	>32	10 ^a , 7,5-10 ^b
Argamassa de cal com portlandite inalterada	>1	4-12	18-34	1,5-9
Argamassa de cal hidráulica	>1	3,5-6,5	24-34	4,5-9,5
Argamassa de cal e pozolana natural	4,5-5	5-14	12-20	<3
Argamassa de cal e pozolana artificial	1-4	3,5-8,5	22-29, 10-19 ^c	3-6

^a Agregado de calcário natural; ^b Agregado I de silicoaluminato natural; ^c Concreto Bizantino.

Fonte: Moropoulou et al. (2005).

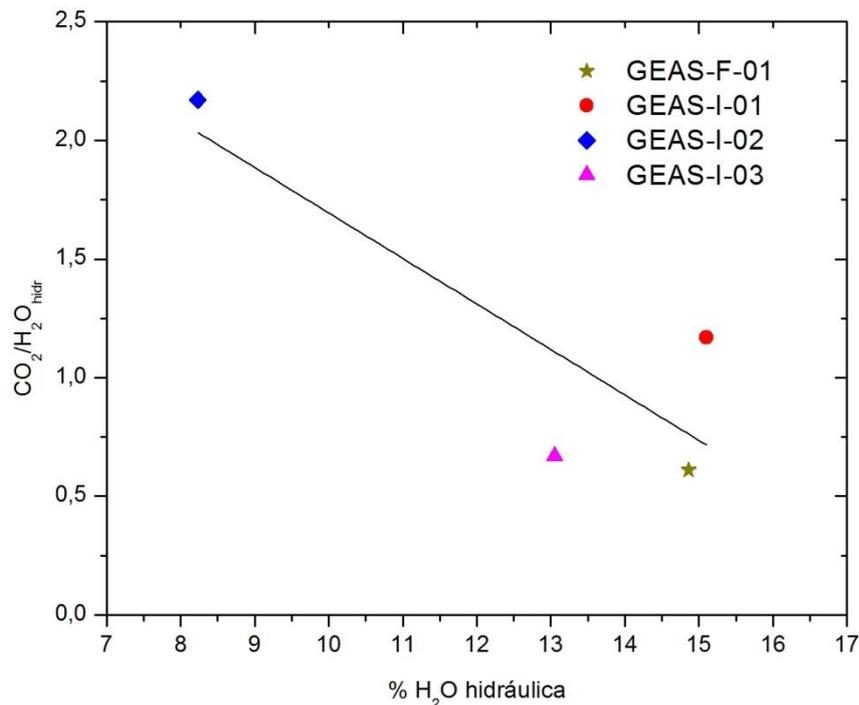


Figura 4.52: Proporção CO₂/H₂O em relação a %H₂O_{hidr.} das argamassas do GEAS.

Segundo Garofano et al. (2013) e Bertolini et al. (2013) é possível por meio da análise térmica obter a percentagem de carbonato de cálcio através da %CO₂ (CaCO₃ → CO₂ + CaO). Para isso dividiu-se a massa molecular do CaCO₃ (100,0869 g/mol) pela massa molecular do CO₂ (44,01 g/mol), resultando em 2,27. A partir da percentagem de carbonato de cálcio calculou-se a percentagem de agregado e, portanto, foi possível estimar o teor aglomerante/agregado (traço). A Tabela 4.7 apresenta a percentagem de carbonato de cálcio, de agregado e ainda a relação aglomerante/agregado para as argamassas do GEAS estudadas.

Tabela 4.7: Estimativa de percentagem dos materiais e do teor aglomerante/agregado das argamassas do GEAS.

Amostra	%CO ₂	%CaCO ₃	%Agregado	Aglomerante/agregado
GEAS-F-01	9,09%	20,63%	79,37%	1:3,85
GEAS-I-01	17,70%	40,18%	59,82%	1:1,49
GEAS-I-02	17,86%	40,54%	59,46%	1:1,47
GEAS-I-03	8,78%	19,93%	80,07%	1:4,02

Esses dados confirmam as semelhanças entre as argamassas estudadas, principalmente entre as amostras GEAS-F-01 e GEAS-I-03, e entre GEAS-I-01 e

GEAS-I-02, como relatado anteriormente. De acordo com os resultados, as amostras GEAS-F-01 e GEAS-I-03 apresentam a relação aproximada de aglomerante/agregado de 1:4, traço menos resistente, confirmando assim a observação visual dessas argamassas quanto ao aspecto quebradiço e pouco resistente. As amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02 apresentaram teor aglomerante/agregado de 1:2, relação mais resistente, ratificando também os resultados da observação visual, em que essas amostras apresentam aspecto compacto e resistente.

4.3.5. MEV-EDS

Os resultados do MEV-EDS são apresentados a seguir. A observação e os resultados do EDS são importantes, pois servem para dar informações adicionais e ainda confirmar ou não os resultados encontrados por meio do FRX, DRX e Análise Térmica.

A micrografia da amostra GEAS-F-01 é ilustrada na Figura 4.53, com aumento de 200x, pode-se observar a pasta de cal carbonatada e agregados de pequena e maior dimensão, estes últimos em maior evidência. O detalhe da área indicada nesta imagem é apresentado na Figura 4.54.

A Figura 4.54 ilustra uma aproximação de 800x, na qual é possível observar agregados de menor dimensão envolvidos em pasta de cal carbonatada. Na pasta de cal pode-se analisar a porosidade do material, pois como relatado por diversos pesquisadores as argamassas históricas são porosas. A Figura 4.55 apresenta o EDS realizado no ponto 1 da Figura 4.54. Nessa figura pode-se identificar a pasta de cal carbonatada composta de magnésio, silício, sulfato (enxofre), potássio, cálcio, manganês, ferro e estrôncio. Tendo predominância de cálcio e ferro.

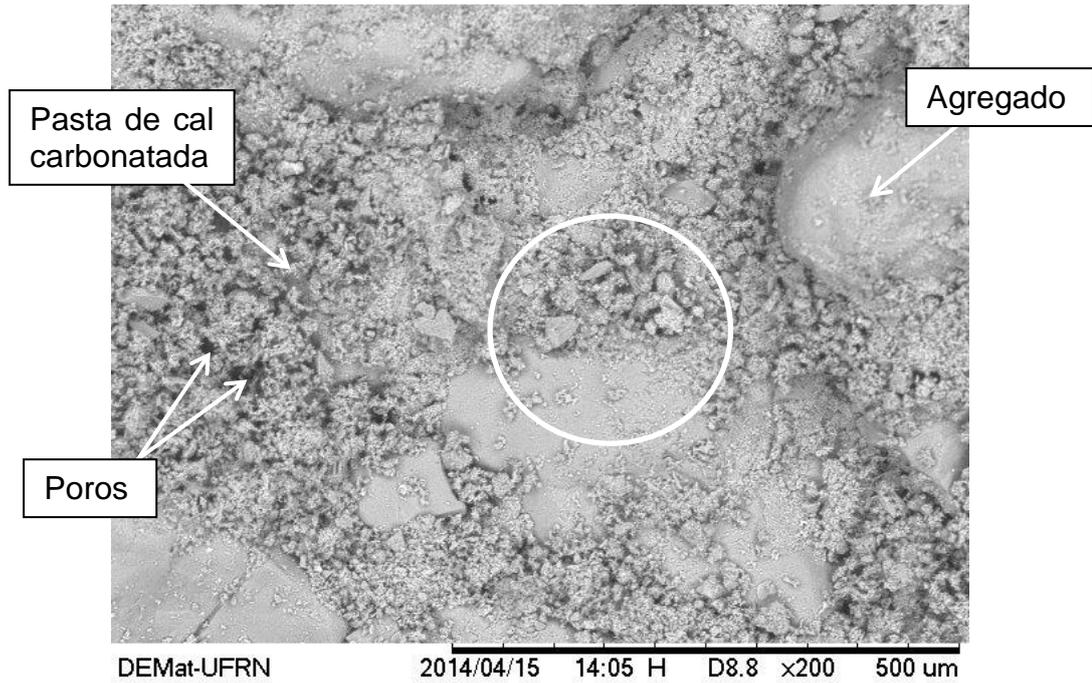


Figura 4.53: Micrografia da argamassa GEAS-F-01, mostrando a pasta de cal carbonatada e agregados, ampliação de 200x.

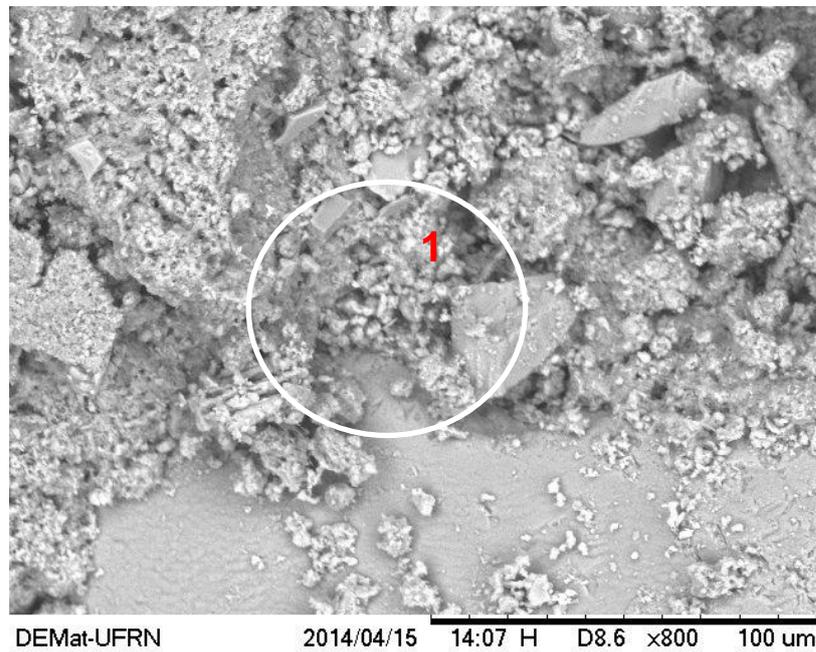


Figura 4.54: Micrografia com detalhe da argamassa GEAS-F-01, ampliação de 800x.

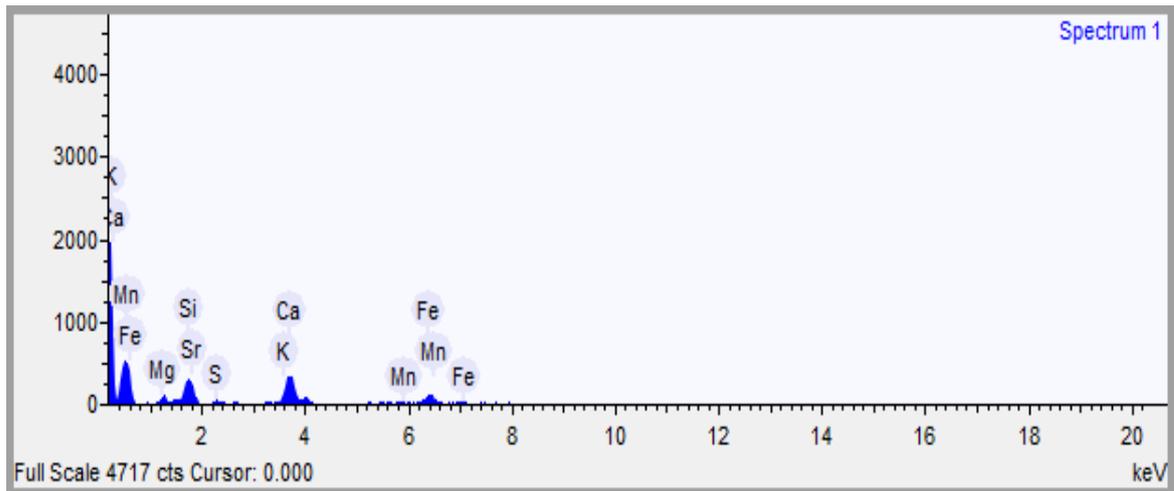


Figura 4.55: Espectro – EDS realizado no ponto 1 indicado na Figura 4.54 referente a argamassa GEAS-F-01.

A região delimitada pelo círculo na Figura 4.54 é representada na Figura 4.56. Nessa Figura, com ampliação de 1500x, é possível observar a pasta de cal carbonatada que envolve o agregado, a porosidade da pasta e ainda presença de fraturas no agregado.

A análise espectroscópica, ilustrada na Figura 4.57, de toda a área da micrografia da Figura 4.56, revela a presença de magnésio, silício, sulfato (enxofre), potássio, cálcio, manganês e ferro. O EDS dessa área apresenta predominância de silício e principalmente cálcio, devido a maior existência de pasta de cal na região. A presença de sulfato, tanto no EDS dessa imagem como no EDS da Figura 4.53, não verificada nas outras análises, pode ser resultante da presença de vestígios de carvão ou da contaminação da argamassa, causada pelo ataque por sais através da ascensão de umidade por capilaridade. Já a existência de magnésio, também não verificada nas outras análises, pode ser atribuída à presença de vestígios de carvão devido a processo de produção da cal e/ou a areia.

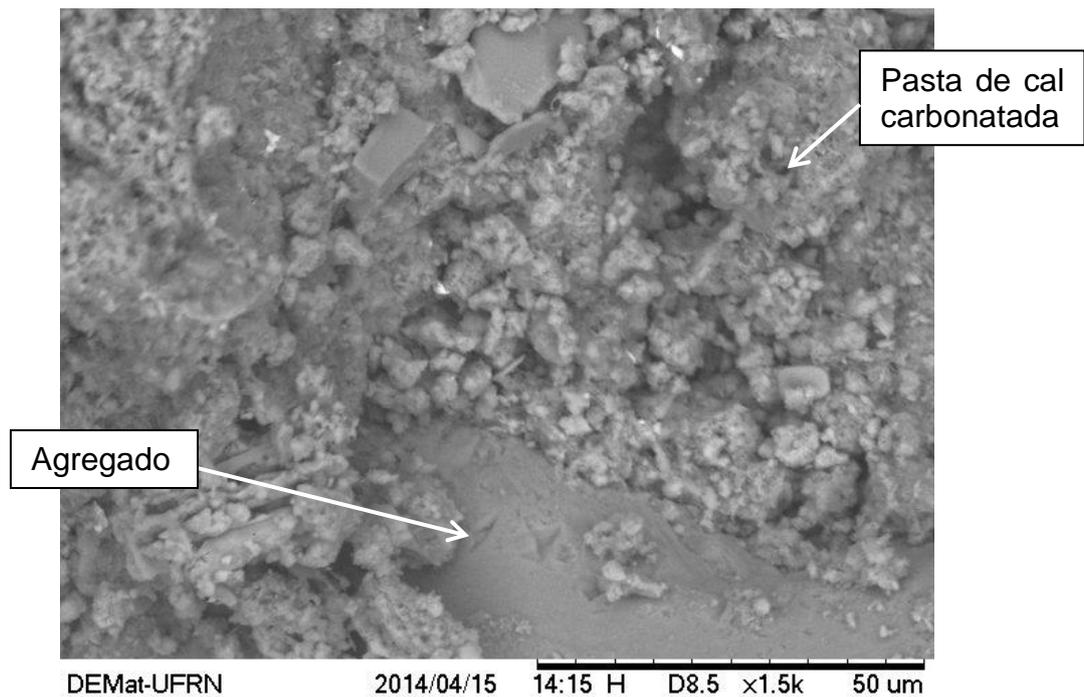


Figura 4.56: GEAS-F-01- Micrografia ilustrando a região delimitada na Figura 4.54, ampliação de 1500x.

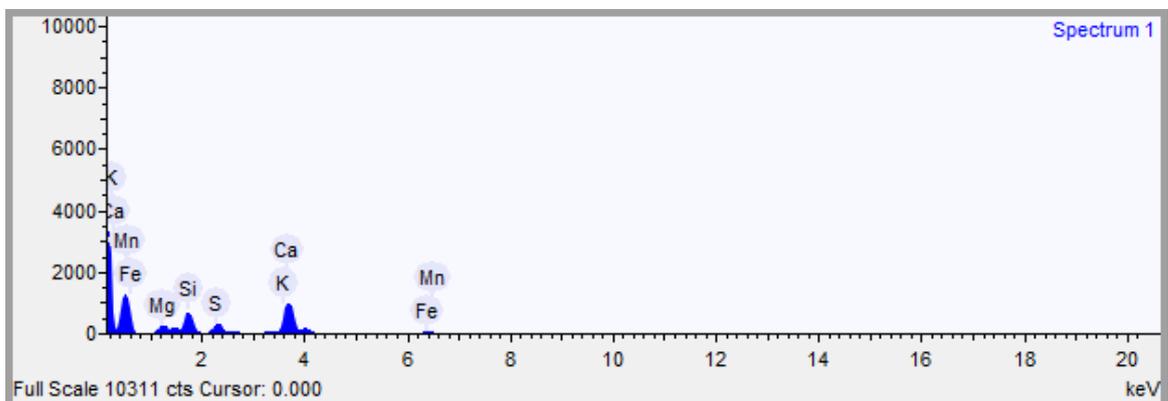


Figura 4.57: GEAS-F-01 - Análise espectroscópica de toda a região ilustrada na Figura 4.56.

Na Figura 4.58, com ampliação de 3000x da imagem da Figura 4.56, pode-se observar melhor a pasta de cal, verifica-se ainda a presença de fraturas no agregado.

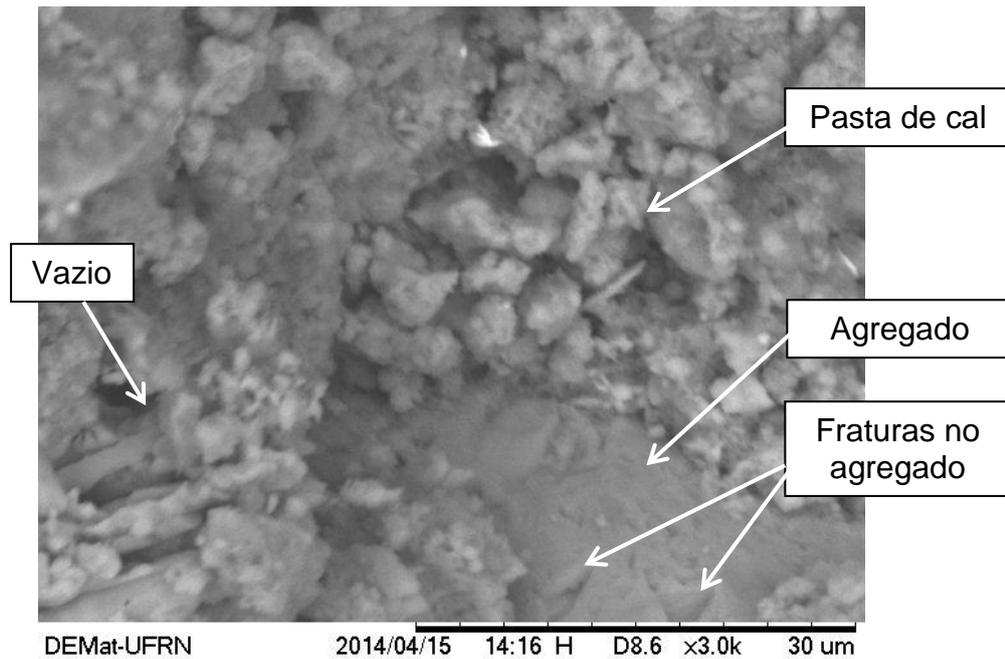


Figura 4.58: GEAS-F-01 - Micrografia da imagem da Figura 4.56, ampliação de 3000x.

A micrografia ilustrada na Figura 4.59 é da argamassa GEAS-I-01, pode-se verificar a pasta de cal carbonatada, do agregado e a existência de poros com grandes e pequenas aberturas. Observa-se claramente a pasta de cal envolta dos agregados. A região delimitada pelo círculo e identificada pelo número 1 é apresentada na Figura 4.60.

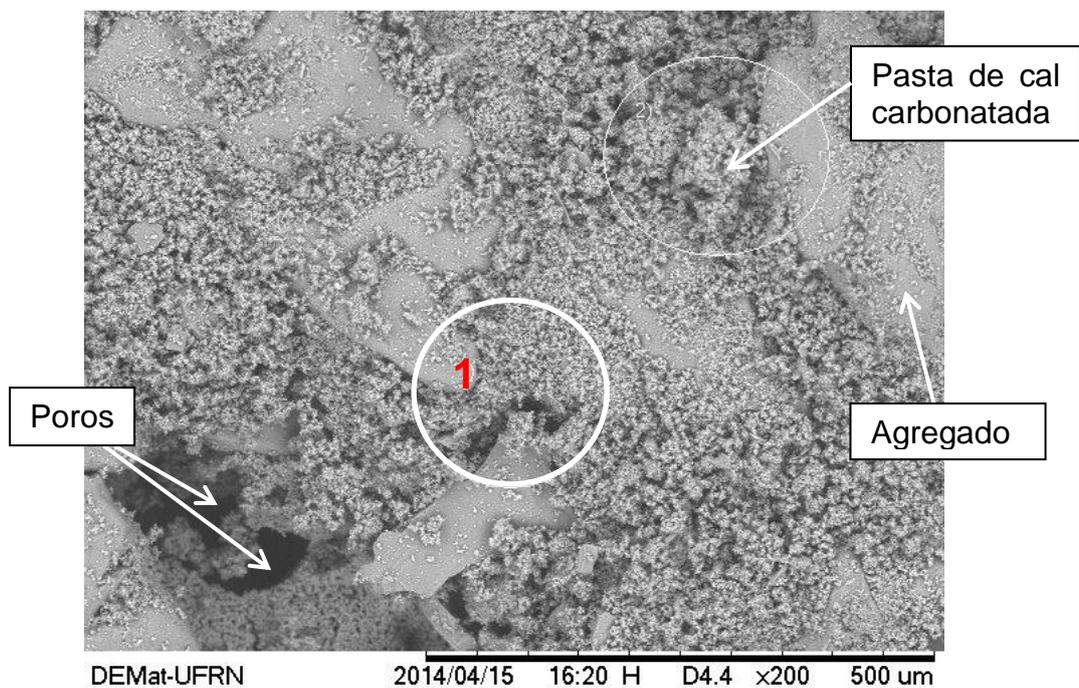


Figura 4.59: Micrografia da amostra GEAS-I-01, ampliação de 200x.

A região ilustrada na Figura 4.60 mostra a intensa presença da pasta de cal, a existência do agregado a esquerda, com pasta de cal carbonatada ao redor e de grandes poros. A análise espectroscópica do ponto A indicado é apresentada na Figura 4.61, na qual há a predominância do cálcio e do magnésio, não detectado no DRX e FRX da amostra. Os outros constituintes químicos que aparecem na análise são silício, ferro e estrôncio

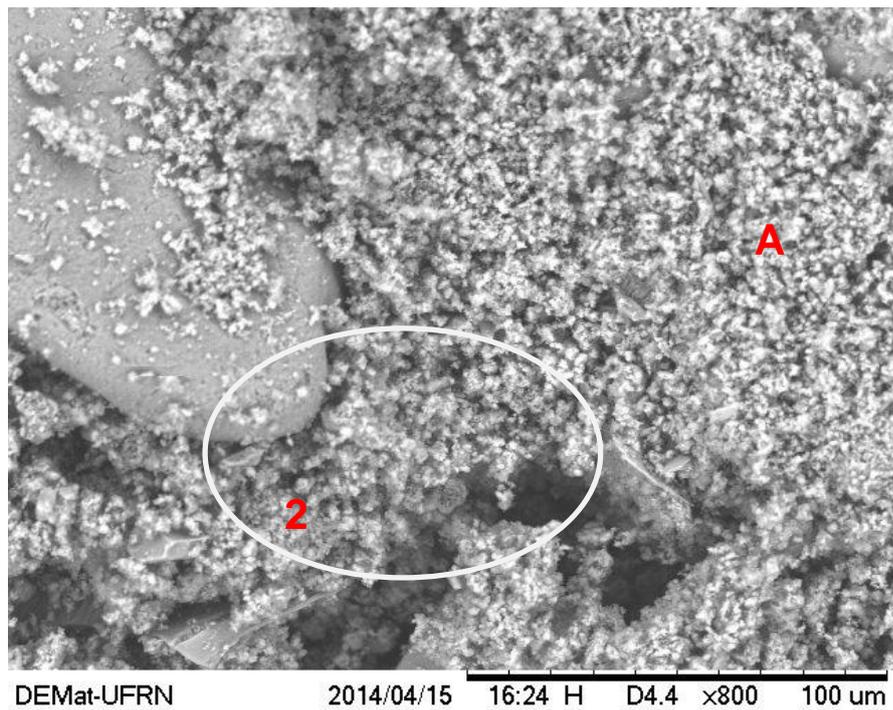


Figura 4.60: GEAS-I-01 - Micrografia ilustrando a região do ponto 1 indicado na Figura 4.59, ampliação de 800x.

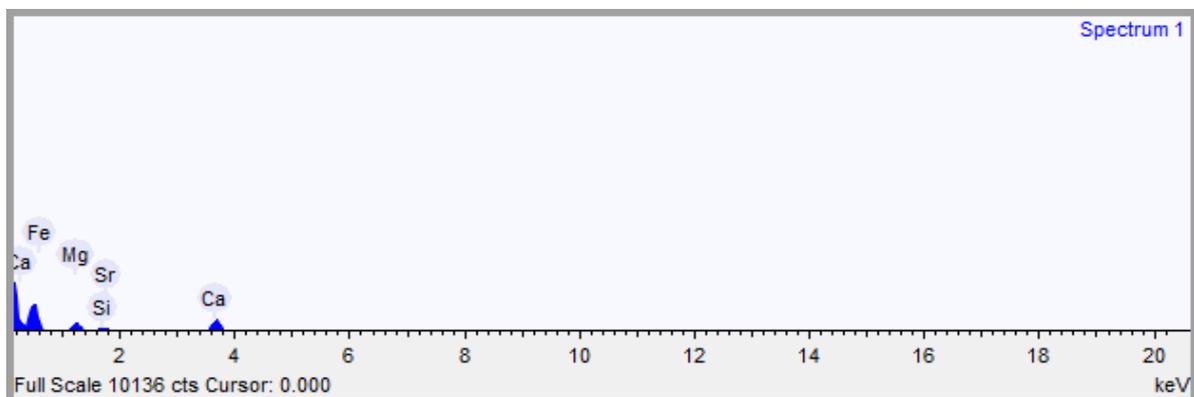


Figura 4.61: GEAS-I-01 - Análise espectroscópica do ponto A na Figura 4.60.

A micrografia da região delimitada e indicada pelo ponto 2 na Figura 4.60 é apresentada na Figura 4.62. Observa-se claramente vazios a direita com relevantes espessuras e pequenos vazios em toda a área. Na análise espectroscópica da região completa, ilustrada na Figura 4.63, pode-se observar a presença de magnésio, silício, potássio, cálcio, ferro e estrôncio. Tendo predominância de cálcio e silício. A maior presença do cálcio está relacionada à maior existência de pasta de cal carbonatada na imagem. O aparecimento no EDS do magnésio pode ser atribuído à existência de cinzas de carvão na pasta de cal devido ao processo de calcinação da cal, o magnésio também pode estar relacionado à areia utilizada na fabricação da argamassa.

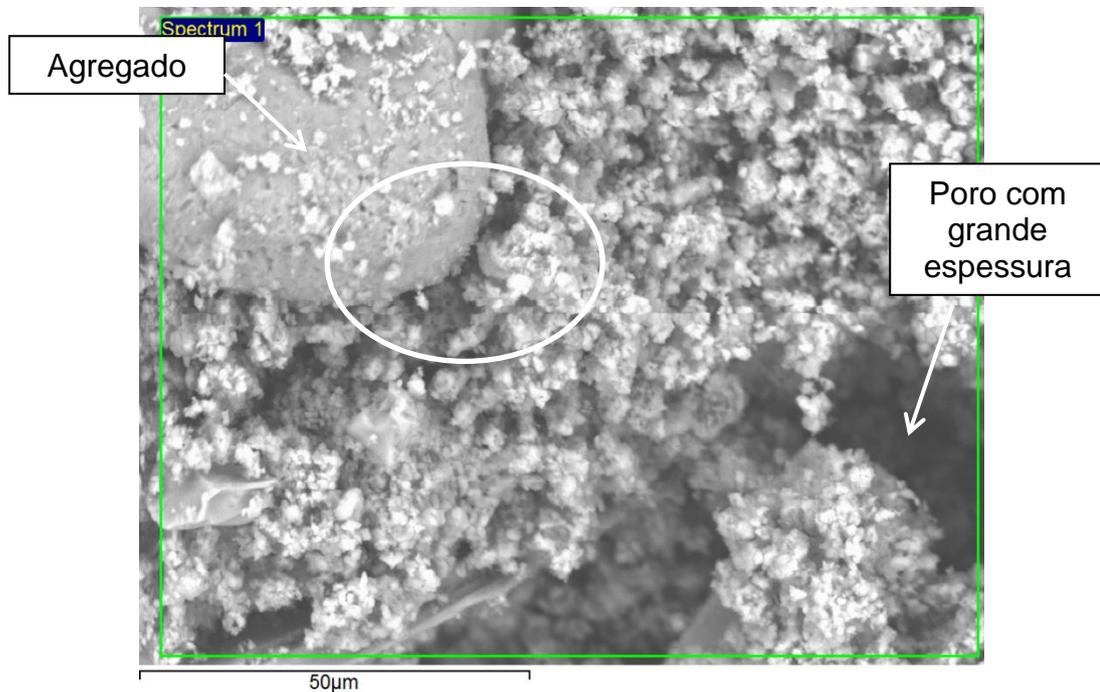


Figura 4.62: GEAS-I-01 - Micrografia da região delimitada na Figura 4.60 e indicada pelo ponto 2, com ampliação de 1500x.

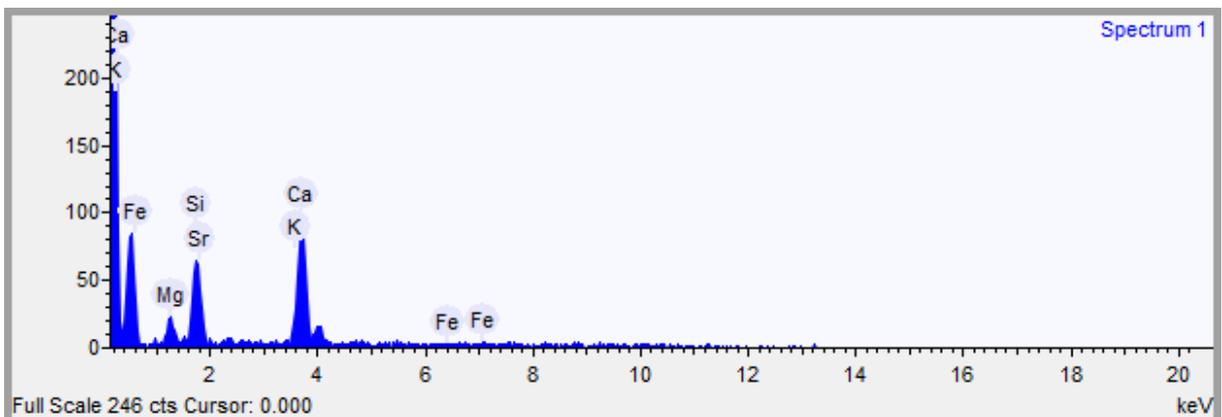


Figura 4.63: GEAS-I-01 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.62.

Na Figura 4.64 esta ilustrada a área delimitada pelo círculo na Figura 4.62. Nessa figura pode-se observar a região de contato entre a pasta de cal e o agregado, é possível verificar que na maior parte do entorno do agregado há uma separação entre o agregado e a pasta, devido a presença de pequenos poros entre o agregado e a pasta.

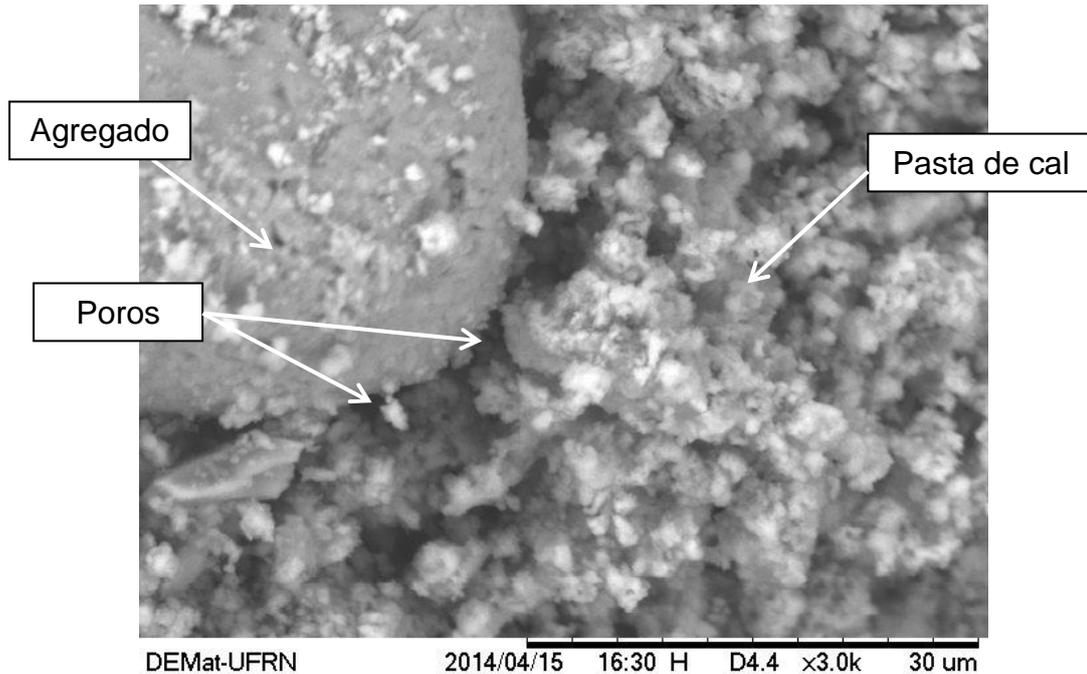


Figura 4.64: GEAS-I-01 - Ampliação de 3000x da área delimitada pelo círculo da Figura 4.62, ampliação de 3000x.

A Figura 4.65 apresenta a micrografia da argamassa GEAS-I-02. É possível observar a presença de agregados e da pasta de cal. Pode-se verificar ainda a grande quantidade de pequenos vazios existente na amostra. A região delimitada na figura em questão é ilustrada na Figura 4.66, com ampliação de 800x.

Na Micrografia da Figura 4.66, pode-se observar a densa presença da pasta de cal e de minúsculos poros. Observa-se claramente que o poro indicado à esquerda tem profundidade considerável, mostrando assim a forte porosidade da argamassa.

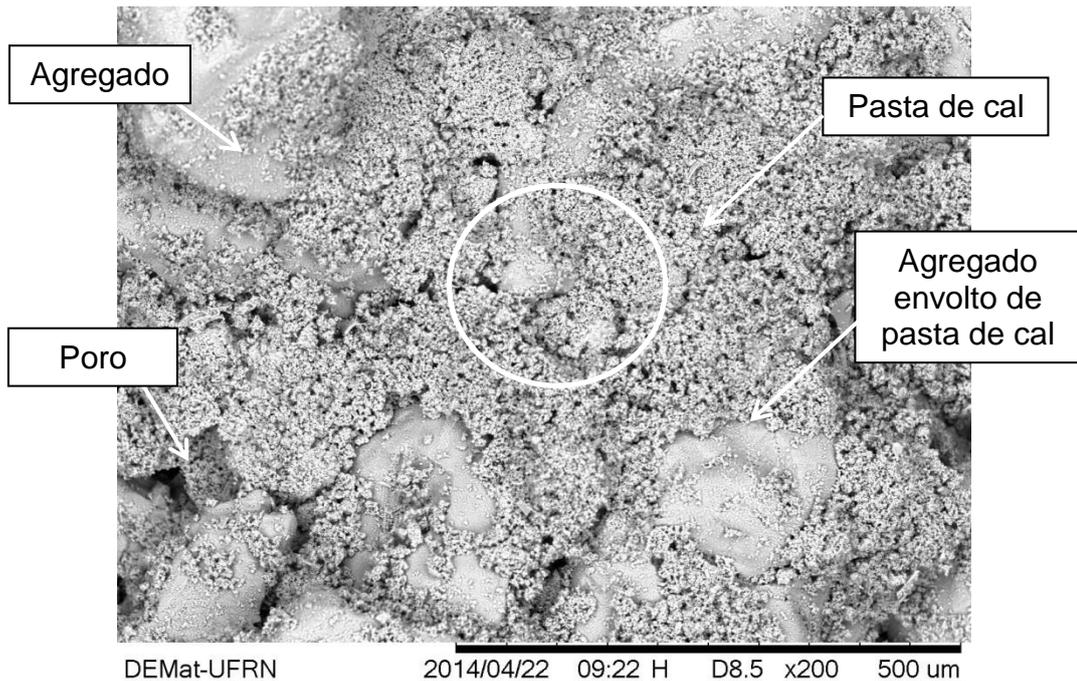


Figura 4.65: Micrografia da amostra GEAS-I-02, ampliação de 200x.

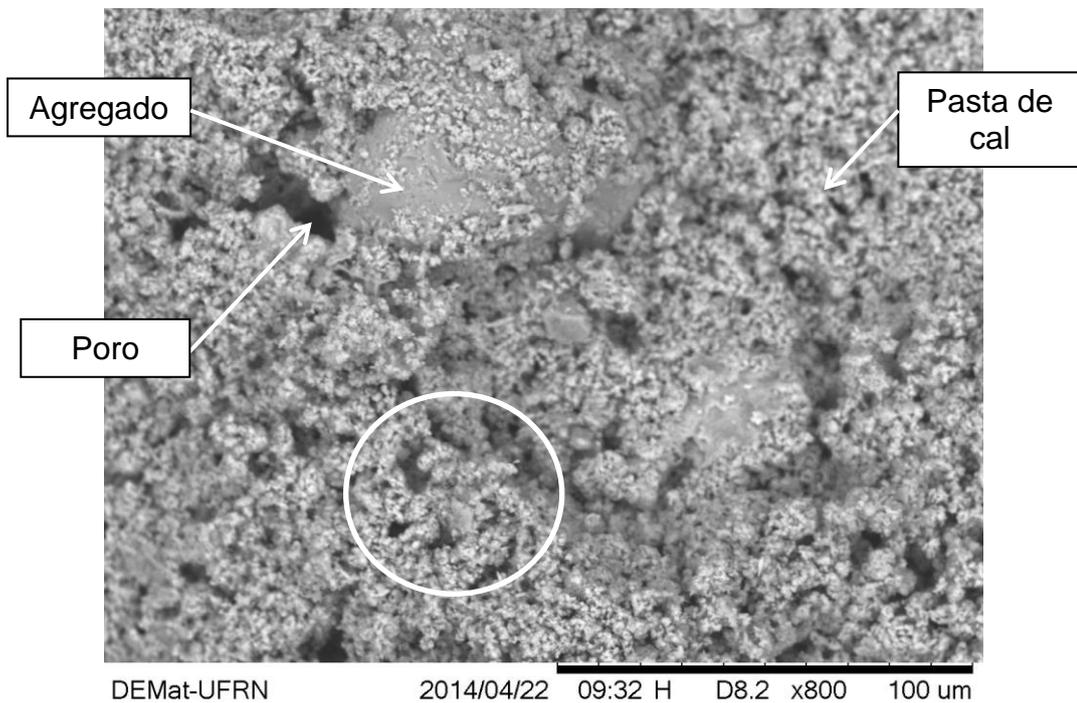


Figura 4.66: GEAS-I-02 - Micrografia ilustrando a região delimitada pelo círculo na Figura 4.65, ampliação de 800x.

A Figura 4.67 mostra uma ampliação de 1500x da região delimitada pelo círculo na Figura 4.66. Nessa ilustração verifica-se claramente a existência dos poros na pasta de cal, evidenciando a porosidade da amostra. Na análise

espectroscópica da região completa, ilustrada na Figura 4.68, é possível observar a presença de magnésio, silício, cálcio, manganês, ferro e estrôncio. Tendo predominância de cálcio e o magnésio. A maior presença do cálcio está relacionada à maior existência de pasta de cal carbonatada na imagem. O aparecimento do magnésio na análise pode ser devido vestígios de cinzas de carvão na pasta de cal devido ao processo de calcinação da cal. O magnésio também pode estar relacionado à areia utilizada na fabricação da argamassa.

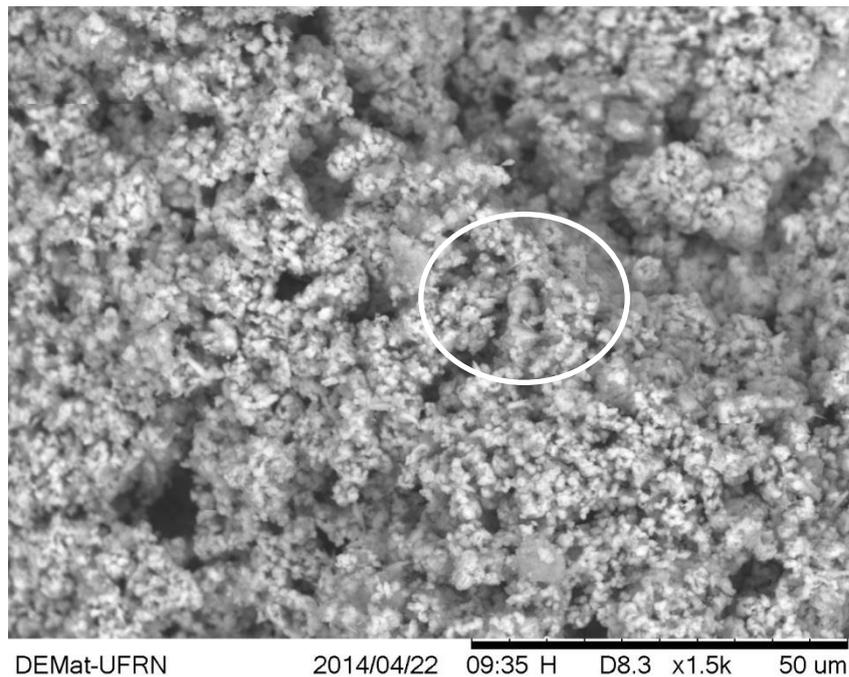


Figura 4.67: GEAS-I-02 - Micrografia da região delimitada na Figura 4.66, ampliação de 1500x.

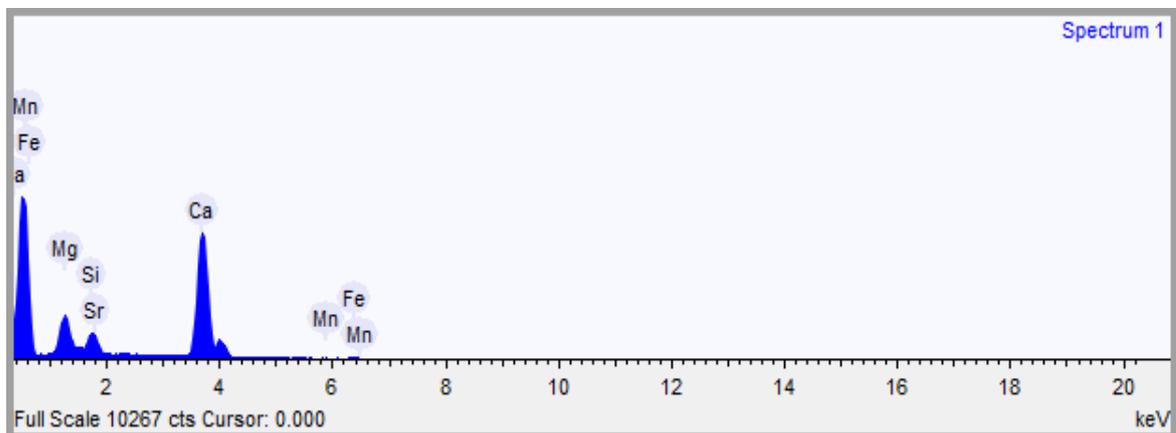


Figura 4.68: GEAS-I-02 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.67.

Na Figura 4.69 esta ilustrada a área delimitada pelo círculo na Figura 4.67. Nessa figura pode-se observar uma região somente de cal carbonatada com presença de pequenos vazios e um vazio maior à esquerda.

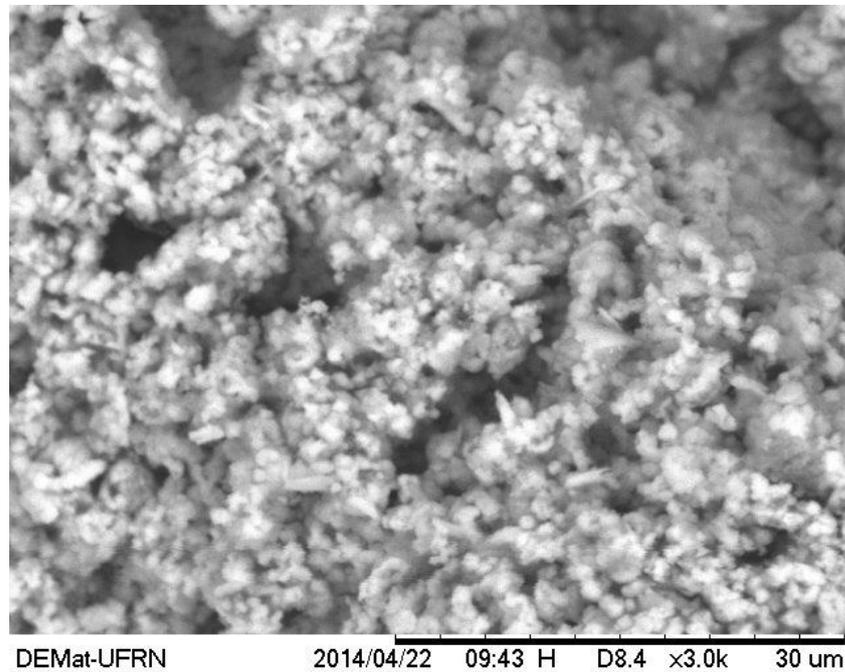


Figura 4.69: GEAS-I-02 - Micrografia da área delimitada pelo círculo da Figura 4.67, ampliação de 3000x.

A micrografia da argamassa GEAS-I-03 esta ilustrada na Figura 4.70. Pode-se verificar a presença de agregados, pasta de cal carbonatada, pequenos nódulos de cal e poros. Os nódulos de cal estão relacionados à incompleta carbonatação da cal durante a queima do calcário. A região delimitada nessa figura é ilustrada na Figura 4.71, com ampliação de 800x.

A Micrografia da Figura 4.71, pode-se observar poros com maior profundidade e vazios na área de contato entre a pasta de cal carbonatada e o agregado.

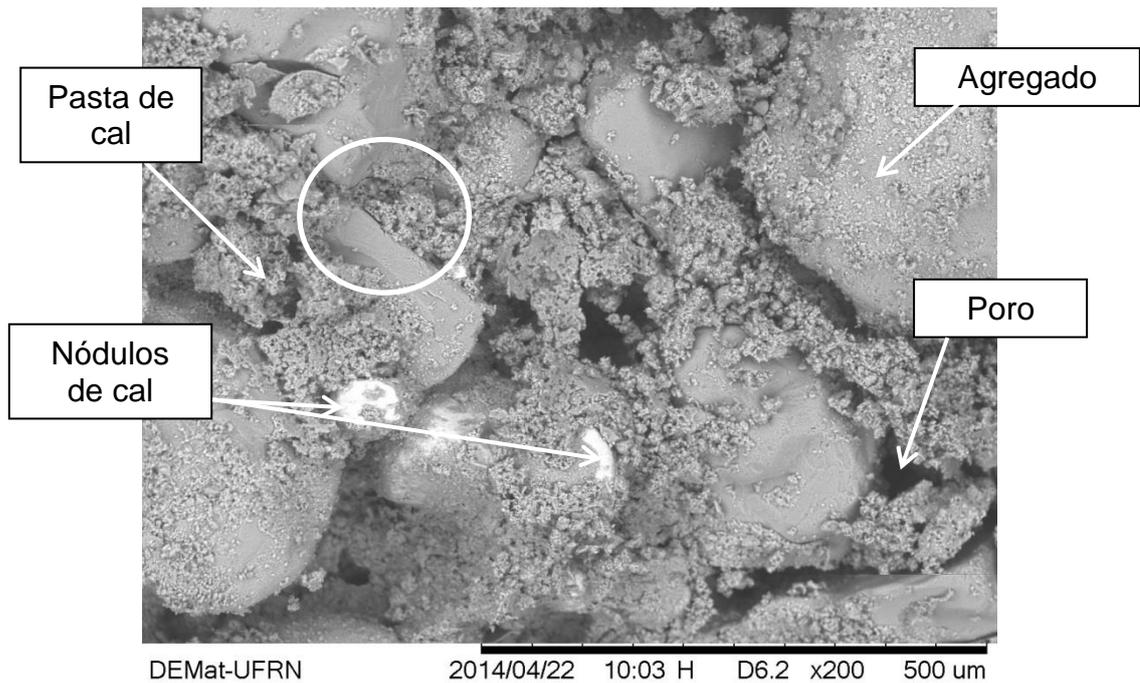


Figura 4.70: Micrografia da argamassa GEAS-I-03, ampliação de 200x.

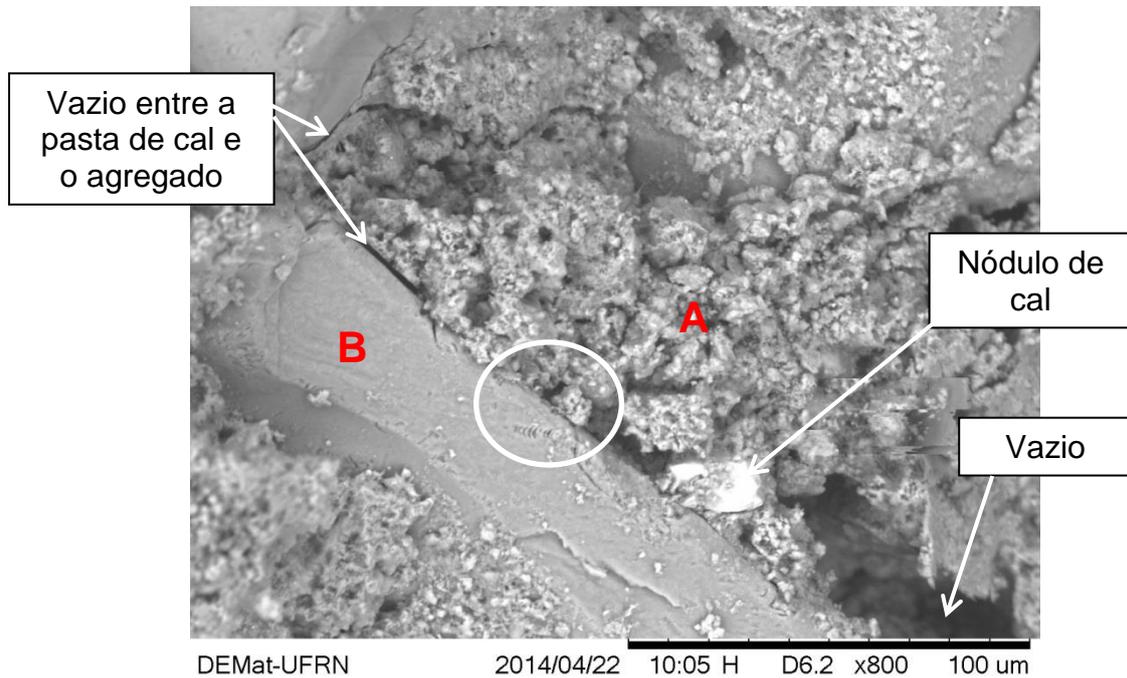


Figura 4.71: GEAS-I-03 - Micrografia ilustrando a região delimitada pelo círculo na Figura 4.70, ampliação de 800x.

A análise espectroscópica do ponto “A” está ilustrada na Figura 4.72. Nessa Figura é possível observar a presença de oxigênio, magnésio, sílica, cálcio, titânio, manganês, ferro, estrôncio e zircônio. Tendo predominância de oxigênio e silício. A

maior presença do oxigênio pode estar relacionada a vestígios de carvão existente na amostra oriundos do processo de calcinação está relacionada à maior existência de pasta de cal carbonatada na imagem. O aparecimento do magnésio na análise pode ser devido a vestígios de cinzas de carvão na pasta de cal ou relacionado à areia utilizada na fabricação da argamassa.

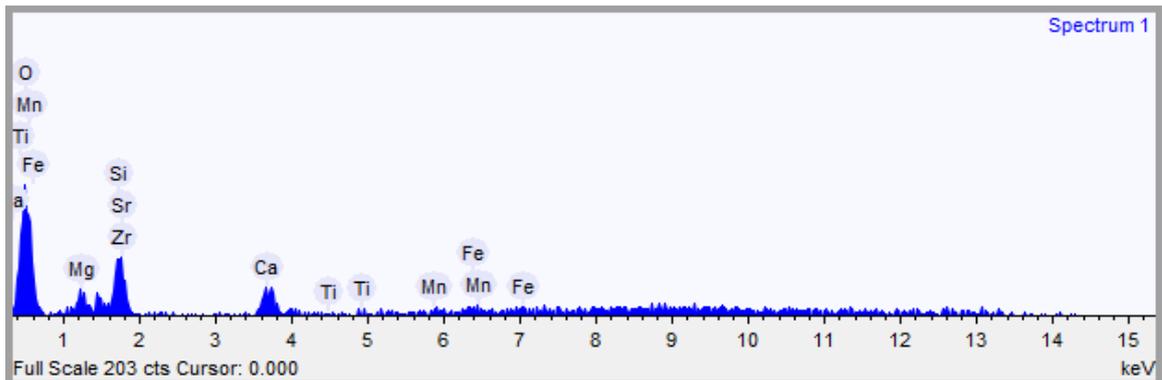


Figura 4.72: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica do ponto A na microscopia da Figura 4.71.

A Figura 4.73 ilustra a análise espectroscópica do ponto “B” da Figura 4.71. Nessa figura é possível observar a presença de magnésio, alumínio, silício, cálcio, titânio, ferro, estrôncio, zinco e zircônio. Tendo predominância de silício e cálcio. O aparecimento do magnésio na análise pode ser devido a vestígios de cinzas de carvão na pasta de cal ou relacionado à areia utilizada na fabricação da argamassa. E a presença do alumínio pode ser atribuída à argila existente na amostra ou a areia utilizada na fabricação da argamassa.

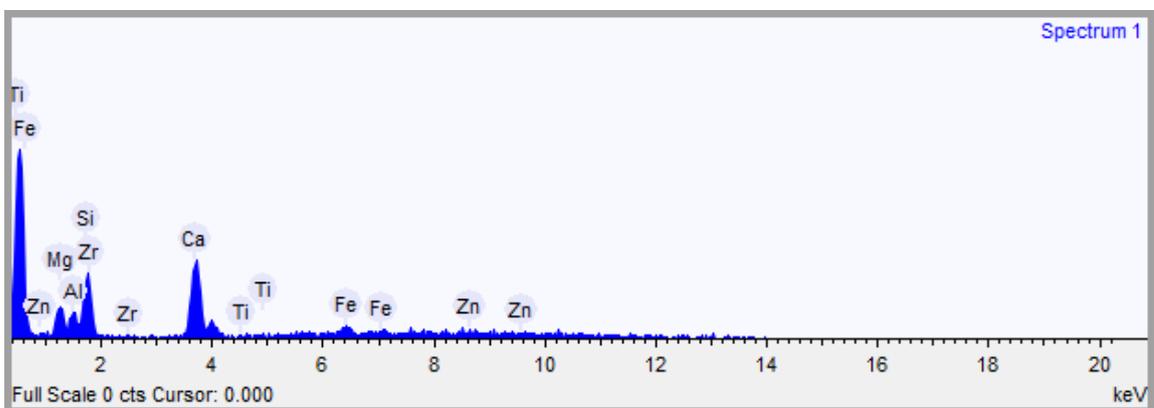


Figura 4.73: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica do ponto B na microscopia da Figura 4.71.

O vazio na região de contato do agregado e da pasta de cal carbonatada apresentado na Figura 4.71, é melhor ilustrado na Figura 4.74, com ampliação de 1500x. Nessa figura é possível observar a presença de poros na região de contato e de fraturas no agregado, confirmados na ampliação de 3000x ilustrada na Figura 4.76.

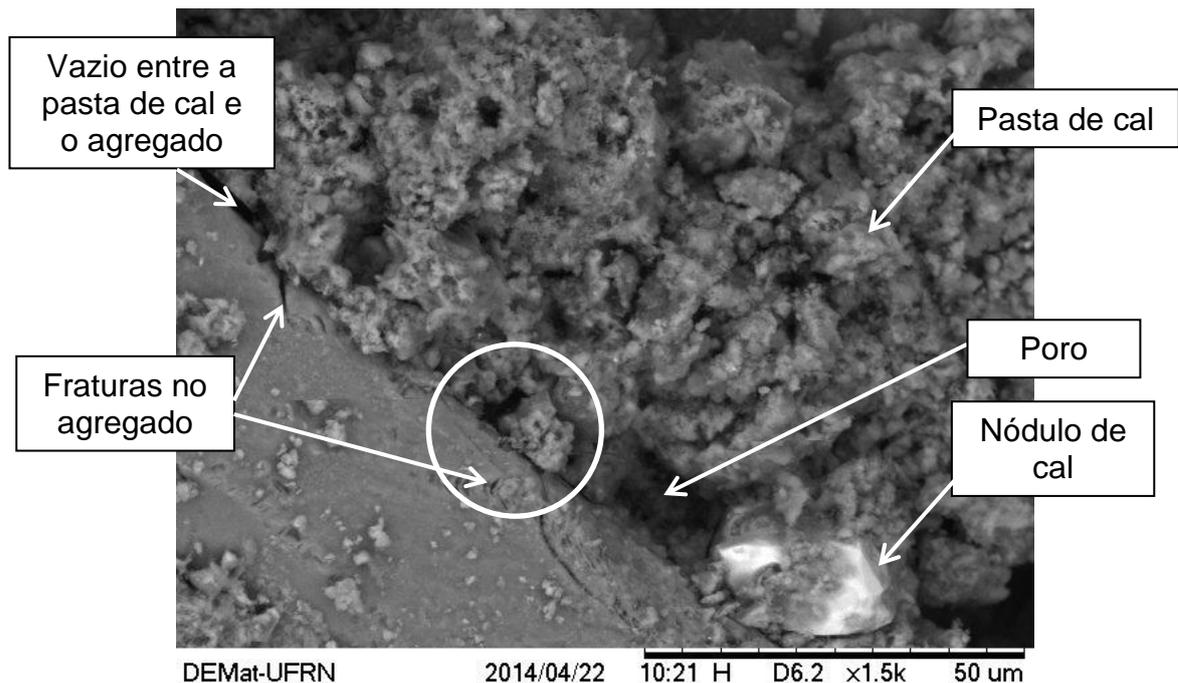


Figura 4.74: GEAS-I-03 - Micrografia da região delimitada pelo círculo na Figura 4.70, ampliação de 1500x.

A análise espectroscópica de toda a área da Figura 4.74 é apresentada na Figura 4.75. Nessa figura é possível observar a presença de titânio, sulfato, zircônio, tântalo, magnésio, silício, cálcio, ferro, estrôncio, alumínio e zinco. Tendo predominância de silício e cálcio. A presença do tântalo pode estar relacionada a alguma contaminação durante a fabricação da argamassa, ou estar relacionada a contaminação de um dos materiais constituintes da amostra.

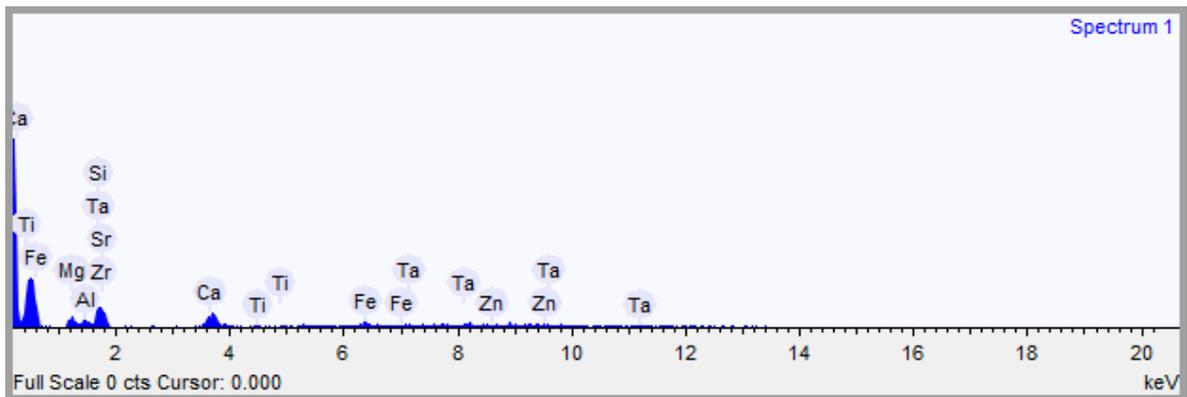


Figura 4.75: GEAS-I-03 - Análise espectroscópica da microscopia da Figura 4.74.

A Figura 4.76 evidencia a presença de fraturas no agregado e vazios na área de contato do agregado com a pasta de cal.

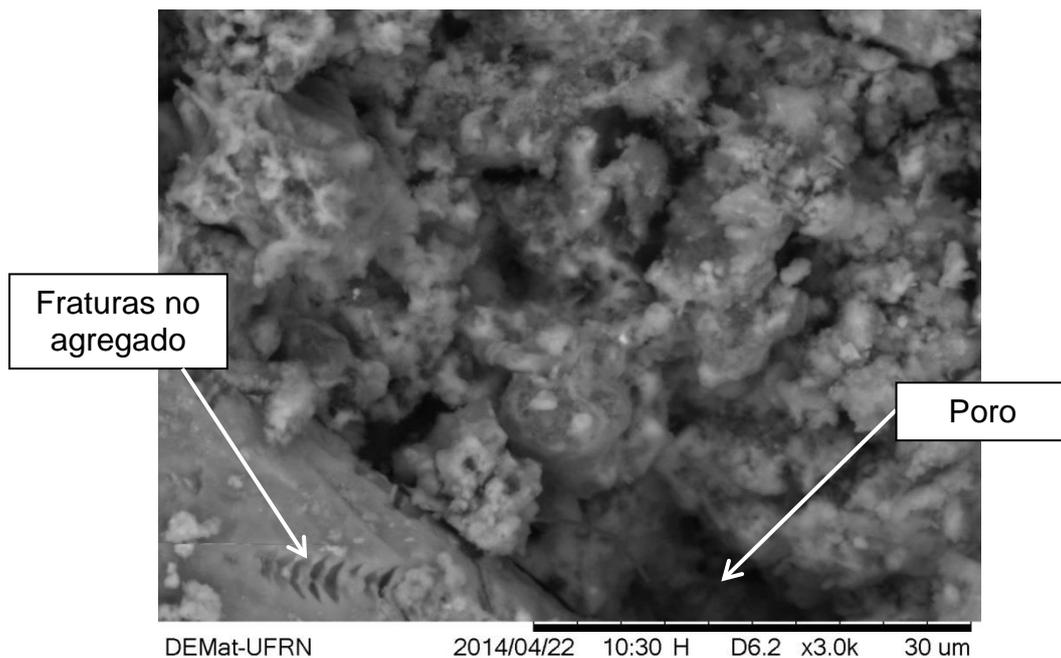


Figura 4.76: GEAS-I-03 - Micrografia da região especificada na Figura 4.74, ampliação de 3000x.

Na Tabela 4.8 é possível observar a composição quantitativa das argamassas do GEAS de acordo com o resultado obtido no EDS das micrografias com ampliação de 1500x. Os compostos em maior quantidade nas argamassas do GEAS é o cálcio

e o silício. O ferro aparece em quantidade relevante nas argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03, confirmando assim o resultado do FRX.

Tabela 4.8: Composição quantitativa das argamassas do GEAS de acordo com o resultado do EDS para ampliação de 1500x.

Compostos identificados	GEAS-F-01	GEAS-I-01	GEAS-I-02	GEAS-I-03
Cálcio	+++	+++	+++	+++
Silício	++	++	+	+++
Ferro	+	vtg	vtg	++
Magnésio	+	+	++	++
Potássio	vtg	vtg	-	-
Sulfato	++	-	-	vtg
Manganês	vtg	-	vtg	-
Estrôncio	-	vtg	vtg	vtg
Zircônio	-	-	-	vtg
Titânio	-	-	-	vtg
Tântalo	-	-	-	vtg
Zinco	-	-	-	++

Convenção: +++: muito abundante; ++: abundante; +: pouco abundante; - = não detectado; vtg: vestígios de presença.

Capítulo 5

Conclusões

Este trabalho teve por objetivo estudar as argamassas de revestimento do Grupo Escolar Augusto Severo/RN, para analisar as manifestações patológicas e caracterizar as argamassas da região de maior valor histórico para aperfeiçoar os conhecimentos dos materiais utilizados nas construções históricas do Rio Grande do Norte e do Brasil.

A partir dos resultados apresentados no Capítulo 4 e discutidos no Capítulo 5, são apresentadas a seguir as principais conclusões fundamentadas nos resultados e nas análises e discussões do capítulo anterior.

No levantamento das manifestações patológicas do GEAS foi possível constatar o preocupante estado de degradação da edificação, especificamente em relação aos revestimentos argamassados. Tal preocupação se deve ao fato da grande quantidade de danos que foram observados de forma generalizada. As manifestações patológicas encontradas foram principalmente devido à umidade, as quais são manchas escuras, mofo e bolor, desprendimento do revestimento, eflorescência. Desses danos, os que foram verificados com maior frequência são manchas de umidade e mofo e bolor. Além disso, foram observadas fissuras, sujidade, utilização de material inadequado à base de cimento na região mais antiga da edificação.

A maior intensidade dos danos foi observada na região mais recente do GEAS, de 1960, onde a argamassa de revestimento é a base de cimento, material mais heterogêneo. Quando se compara as argamassas à base de cal com as argamassas a base de cimento, por ser menos permeável, as argamassas de cimento dificultam a evaporação da água. Isso favorece o aparecimento de manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa, principalmente relacionadas à umidade.

Na caracterização das argamassas da região de maior valor histórico do GEAS foi possível observar que as argamassas coletadas são ricas em cal, com

aglomerante de origem calcítica de natureza mineral e areia de origem silicosa. Portanto não há presença de cimento nas argamassas, as quais são realmente tradicionais apenas a base de cal.

Nas argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03 foi identificada a presença de argila na forma de caulinita, como mostrado nos resultados do DRX e pelo intenso pico de desidratação na TG. A existência de nódulos de cal nessas argamassas pode estar relacionada com o processo de fabricação da cal, o qual por ser bastante rudimentar antigamente, não permitia a carbonatação completa da cal. As argamassas GEAS-I-01 e GEAS-I-02, possuem cor, aspectos de resistência e resultados das técnicas de caracterização semelhantes.

As argamassas GEAS-F-01 e GEAS-I-03, originais, são constituídas de cal, areia e argila, enquanto as amostras GEAS-I-01 e GEAS-I-02, resultantes de intervenção, são compostas por cal e areia.

Por meio das análises no MEV foi possível observar a pasta de cal carbonatada e os agregados. Foi observado claramente a presença de vazios, comprovando a forte porosidade dessas argamassas, e, portanto, a alta permeabilidade, dificultando o desenvolvimento de manifestações patológicas relacionadas a umidade.

Portanto, destaca-se a importância do conhecimento do bem restaurado. Este conhecimento passa tanto pela pesquisa histórica quanto pelo mapeamento das manifestações patológicas que afetam o bem e pela caracterização dos materiais existentes.

Este trabalho contribuiu de forma significativa para o conhecimento das manifestações patológicas e das argamassas de revestimento do GEAS, as quais guardam relevantes informações das construções antigas do estado e do país em relação aos materiais utilizados antigamente e das técnicas de execução. Neste sentido, ressalta-se que é de relevante importância a realização de inspeções e manutenções periódicas, bem como a realização de restauração dessas edificações por profissionais e empresas que detenham conhecimento e capacitação técnica exigida para tal fim, incluindo informações sobre os materiais empregados antigamente nas construções.

Sugestões para trabalhos futuros

Considerando a importância e atenção que devem ser dadas as edificações históricas, muitas delas tombadas como patrimônio histórico, destaca-se que toda pesquisa que envolve preservação assegura aos trabalhos de restauração as populações futuras o conhecimento das patologias, dos materiais e das técnicas utilizadas para construção desses patrimônios, os quais são informações relevantes para a preservação e manutenção dessas edificações.

Assim, recomendam-se as seguintes pesquisas nas edificações históricas:

1. Análise das manifestações patológicas de outras edificações históricas do Rio Grande do Norte;
2. Estudos das patologias através de ensaios não-destrutivos *in situ*;
3. Caracterização das argamassas de revestimento de outros patrimônios históricos e de edificações antigas;
4. Caracterização das argamassas de assentamento;
5. Reconstituição do traço
6. Avaliação da durabilidade de argamassas de edifícios antigos;
7. Formulação de argamassas compatíveis para restauração do GEAS e de outros patrimônios históricos;
8. Estudo da durabilidade de revestimentos para edifícios antigos.

Referências

ADRIANO, P.; SILVA, A. Santos; VEIGA, R.; MIRÃO, J.; CANDEIAS, A.E.. Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora. *Materials Characterization*, v. 60, n. 7, p.610-620, jul. 2009.

ALUCCI, M.P.; FLAUZINO, W.D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. In: *Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas*. Editora Pini, São Paulo, 1988, p.565-570.

AMORIM B.R.; FARRAPO, M.A.F.; FURTADO, F.A.; MONTEIRO L.M.S; COELHO, F.C.A.. Estudo da atual situação da capela do distrito de Patriarca, Sobral- CE. In: *IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras*, 2013, João Pessoa-PB. Anais Cinpar 2013.

ALVAREZ, J.I.; MARTÍN, A.; CASADO, P.J. García; NAVARRO, I.; ZORNOZA, A.. Methodology and validation of a hot hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars. *Cement and Concrete Research*, p. 1061-1065, 1999.

ALVAREZ, J.I. NAVARRO, I.; CASADO, P.J. García. Thermal, mineralogical and chemical studies of the mortars used in the cathedral of Pamplona. *Thermochimica Acta*, n.365, p.177-187, 2000.

APPLETON, João. *Reabilitação de Edifícios Antigos: - Patologias e Tecnologia de Intervenção*. 2. ed. Portugal: Orion, 2011. 716 p.

ARMESTO-GONZÁLEZ, J.; RIVEIRO-RODRÍGUEZ, B.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; RIVAS-BREA, M. T.. Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings. *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n. 12, p.3037-3047, dez. 2010.

BAKOLAS, A.; BISCONTIN, G.; CONTARDI, V.; FRANCESCHI, E.; MOROPOULOU, A.; PALAZZI, D.; ZENDRI, E.. Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice. *Thermochimica Acta*, p. 817-828, 1995.

BAKOLAS, A.; BISCONTIN, G.; MOROPOULOU, A.; ZENDRI, E.. Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta*, n.321, p. 151-160, 1998.

BALKSTEN, Kristin. Understanding Historic Mortars and their Variations – a Condition for Performing Restorations with Traditional Materials. In: 2nd Historic mortars conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop, 2., 2010, Praga/República Checa. RILEM, 2010. p. 11 - 18.

BARBOSA, M. T. G.; POLISSENI, A. E.; TAVARES, F. M.. Patologias de Edifícios Históricos Tombados. In: I Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2010, Rio de Janeiro.

BARROS, J. D.; FURTADO, M. L. S.; COSTA, A. M. DE B.; MARINHO, G. S.; SILVA, F. M.. Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull. Sociedade e Território, Natal, v. 25, n. 2, p.78-92, jul/dez, 2013.

BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; GASTALDI, M.; LOLLINI, F.; REDAELLI, E.. Binder characterisation of mortars used at different ages in the San Lorenzo church in Milan. Materials Characterization, v. 80, n. , p.9-20, jun. 2013.

BESSLER, K. E.; RODRIGUES, L. C.. Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. Química Nova. São Paulo, p. 178-180. 12 dez. 2008.

BLAEUER, C.; KUENG, A.. Examples of microscopic analysis of historic mortars by means of polarising light microscopy of dispersions and thin sections. Materials Characterization. Vol. 58, p. 1199-1207, 2007.

CALLEBAUT, A.; ELSEN, J.; BALEN, K. Van; VIAENE; W.. Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium). Natural hydraulic lime or cement? Cement and Concrete Research, n.31, p.397-403, 2001.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C.. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 28. p. 893-944.

CAVALCANTE, R.P.; CARVALHO, J.P.S.; SILVA, L.F.C.. As manifestações patológicas em edificações históricas: um estudo de caso no convento de São Frei Pedro Gonçalves. In: IX Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, 2013, João Pessoa/Brasil.

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In: Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão

de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Editora Pini, São Paulo, 1988, p.549-554.

DURAN, A.; ROBADOR, M. D.; HARO, M. C. J.; RAMIREZ-VALLE, V.. Study by thermal analysis of mortars belonging to wall paintings corresponding to some historical buildings of Sevillian art. *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, v. 92, n. 1, p.353-359, abr. 2008.

ELSEN, J.; BRUTSAERT, A.; DECKERS, M.; BRULET, R.. Microscopical study of ancient mortars from Tournai Belgium. *Materials Characterization*, v. 53, n. 2-4, p.289-294, nov. 2004.

FANG, S. Q.; ZHANG, H.; ZHANG, B. J.; ZHENG, Y.. The identification of organic additives in traditional lime mortar. *Journal Of Cultural Heritage*, v. 15, n. 2, p.144-150, mar/abr. 2014.

FERREIRA, A. L.; DANTAS, G. (Org). *Surge et ambula: a construção de uma cidade moderna Natal, 1890-1940*. Natal: EDUFRN, 2006. 305 p.

FIGUEIREDO, M. G.; VARUM, H.; COSTA, A.. Patologias que afetam o sistema construtivo das edificações do século XIX em São Luís do Maranhão. In: 7º Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, 2011, Fortaleza.

FRAGATA, A.; VEIGA, M. R.; VELOSA, A. L.; TAVARES, M. L.. Casos de estudo: metodologia de diagnóstico e soluções de reparação para revestimentos com problemas de humidade em edifícios antigos. In: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2011, Belo Horizonte/MG.

FRANZINI, M.; LEONI, L.; LEZZERINI, M.; SARTORI, F.. On the binder of some ancient mortars. *Mineralogy and Petrology* n. 67, p. 59 – 69, 1999.

GAROFANO, I.; ROBADOR, M. D.; DURAN, A.. Materials Characteristics of Roman and Arabic Mortars and Stuccoes from the Patio De Banderas in the Real Alcazar of Seville (Spain). *Archaeometry*, jun. 2013. DOI: 10.1111/arc.12041.

GENESTAR, C.; PONS, C.; MÁZ, A.. Analytical characterisation of ancient mortars from the archaeological Roman city of Pollentia (Balearic Islands, Spain). *Analytica Chimica Acta*, n. 557, p.373-379, 2006.

GLEIZE, P.; SILVA, D. A.; NAPPI, S.. Ancient rendering mortars from a Brazilian palace: Its characteristics and microstructure. *Cement and Concrete Research*. n. 30, p. 1609-1614, 2000.

GLEIZE, P.J.P.; MOTTA, E.V., SILVA, D.A.; ROMAN, H.R.. Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). *Cement and Concrete Composites*, v. 31, n. 5, p.342-346, maio 2009.

GROOT, Caspar J.W.P.; J.M.BARTOS, Peter; HUGHES, John J.. Historic Mortars: Characteristics and tests - concluding summary and state-of-the-art. *International RILEM Workshop On Historic Mortars Characteristics And Tests Paisley*. Scotland, p. 443-454, 1999.

HUGHES, John J. The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars. *Materials and Structures: RILEM TC 203-RHM: Repair mortars for historic masonry*. Scotland, UK, p. 1287-1294, 2012.

ICOMOS – International Council on Monuments and Sites. *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do patrimônio arquitetônico*. Tradução para Português por: Paulo B. Lourenço e Daniel V. Oliveira. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. 2004.

INGO, G.M.; FRAGALÀ, I.; BULTRINI, G.; CARO, T.; RICCUCCI, C.; CHIOZZINI, G.. Thermal and microchemical investigation of Phoenician–Punic mortars used for lining cisterns at Tharros (western Sardinia, Italy). *Thermochimica Acta*, n. 418, p.53-60, 2004.

IOSHIMOTO, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. In: *Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas*. Editora Pini, São Paulo, 1988, p.545-548.

KANAN, M. I. C.. *Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos a Base de Cal*. Cadernos Técnicos 8. IPHAN/Programa Monumenta, Brasília, 2008.

KAROGLOU, M.; BAKOLAS, A.; KOULOUMBI, N.; MOROPOULOU, A.. Reverse engineering methodology for studying historic buildings coatings: The case study of the Hellenic Parliament neoclassical building. *Progress In Organic Coatings*, v. 72, n. 1-2, p.202-209, set./out. 2011.

LANNES, L. D.. Reincidência de danos em prédio histórico preservado. 2011. 278 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

LERSCH, Inês Martina. Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MAGALHÃES, A. Cristian. Patologia de revestimentos antigos. LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, Outubro de 2002.

MARGALHA, M. G.. Argamassas: Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Universidade de Évora – Engenharia Civil, 2011. 32 p.

MELO, C. M. S.; FILHO, R. O. S. (Org.). Centro Histórico de Natal. Natal/RN: IPHAN, 2007. 75 p.

MOREIRA, A. Z. M.. Um espaço pioneiro de modernidade educacional: Grupo Escolar Augusto Severo - Natal/RN (1908 -1913). 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K.. Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. *Thermochimica Acta*, p. 779-795, 1995.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K.. Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, p. 45-58. 34, 2000.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; ANAGNOSTOPOULOU, S.. Composite materials in ancient structures. *Cement & Concrete Composites*, n. 27, p.295-300, 2005.

MOTTA, E. V. Caracterização de Argamassas de Edificações Históricas de Santa Catarina. 2004, 114f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NAPPI, S. C. B.; LALANE, M. M.. A Salinidade em Edifícios Antigos. In: VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, 2010, Córdoba/Argentina.

PAAMA, Lilli; PITKANEN, Ilkka; RONKKOMAKI, Hannu; PERAMAKI, Paavo. Thermal and infrared spectroscopic characterization of historical mortars. *Thermochimica Acta*. V. 320, pag. 127-133. 1998.

PAGNUSSAT, D. T.; PAULETTI, C.; POSSER, N. D.; MASUERO, A. B. Avaliação das manifestações patológicas em fachadas de prédio histórico na cidade de Porto Alegre. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003.

PAOLETTI, D.; AMBROSINI, D.; SFARRA, S.; BISEGN, F.. Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation. *Journal Of Cultural Heritage*, v. 14, n. 2, p.116-121, mar./abr. 2013.

PARISI, Fulvio; AUGENTI, Nicola. Earthquake damages to cultural heritage constructions and simplified assessment of artworks. *Engineering Failure Analysis*, v. 34, p.735-760, dez. 2013.

PEREIRA, Renata Lopes (Org.). Relatório Técnico Mapa de Danos & Recomendações de Restauro. Recife: 2008. 60 p.

PEREIRA, A. C.. A contribuição de técnicas modernas de reabilitação estrutural para autenticidade e integridade de edificações patrimoniais. 2012. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

PERES, R. M.. Manifestações patológicas em edificações. Editora da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004, 87p.

PEREZ, A.R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1º parte). . In: Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Editora Pini/IPT, São Paulo, 1988, p. 571-574.

PETRUCCI, Helena Maria Cabeda. A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

ROBINSON, G.; BAKER, M. C. Wind-driven rain and buildings. Ottawa: National Research Council Canada, Division of Building Research, 1975. (Technical Paper, 445).

RODRIGUES, P. N.; ISAIA, G. C.; SOARES, M. R. F.. Caracterização das argamassas históricas da Ruína de São Miguel Arcanjo, RS, Brasil. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2013, Fortaleza.

SÁ, M. V. V. A.; SOUSA, A. K. D.. Relatório Técnico: Mapa de Danos & Recomendações de Restauo: Grupo Escola Augusto Severo. Natal: UFRN, 2014. 85 p.

SANJURJO-SÁNCHEZ, J.; TRINDADE, M.J.; BLANCO-ROTEA, R.; GARCIA, R. B.; MOSQUERA, D. F.; BURBIDGE, C.; PRUDÊNCIO, M.I.; DIAS, M.I.. Chemical and mineralogical characterization of historic mortars from the Santa Eulalia de Bóveda temple, NW Spain. Journal Of Archaeological Science, v. 37, n. 9, p.2346-2351, set. 2010.

SANTIAGO, C. C.. Argamassas tradicionais de cal. Salvador-ba: Edufba, 2007. 202 p.

SANTOS, M.W.L.C.; MONTEIRO, L.M.S.; FURTADO, F.A.; CARNEIRO, M.D.; MESQUITA, E.F.T.; COELHO, F.C.A.. Incidência de manifestações patológicas em edificações históricas de Sobral - CE. In: VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, 2013, João Pessoa/Brasil.

SILVOSO, M. M.; SILVA, D. B. C.. Caracterização experimental exploratória das argamassas de revestimento do Palácio Universitário da UFRJ. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2013, Fortaleza.

SHIRAKAWA, M. A.; MONTEIRO, M. B. B.; SELMO, S. M. S.; CINCOTTO, M. A.. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1995, Goiânia.

SHIRAKAWA, M. A.; CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M.P.; GAMBALE, W.. Atividade de água e biodeterioração de argamassas por fungos filamentosos. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997, Salvador - BA.

SOBRINHO, Mario Marques Beato. Estudo da ocorrência de fungos e da permeabilidade em revestimentos de argamassa em habitações de interesse social

– estudo de caso na cidade de Pitangueiras/SP. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP.

SOUSA, V.; PEREIRA, F. D.; BRITO, J.. Revestimentos Tradicionais: Principais Causas de Degradação. Engenharia Civil/UM, v. 23, 2005.

SOUZA, G.F. Eflorescências nas argamassas e revestimento. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997, Salvador.

SOUZA, M. L.; CARNEIRO, A. M. P.. Caracterização de argamassa de assentamento do convento de Santo Antônio em Recife-PE. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2013, Fortaleza.

TAVARES, M.; VEIGA, M. R., AGUIAR, J.. Conservação e restauro de antigos revestimentos exteriores: caracterização de alguns casos (do século XVII e XIX na zona de Lisboa). In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003.

THOMAZ, Ercio. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989. 194 p.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. In: Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Editora Pini, São Paulo, 1988, p.561-564.

VEIGA, M.R., Aguiar, J., SANTOS, Silva. A., CARVALHO, F. Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. Proceedings of the 3rd International Seminar on Historical Constructions, Guimarães, 2001, 353-362.

VEIGA, M. Rosário. Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. 3^o ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC, Maio de 2003.

VEIGA, M. R.; AGUIAR, J.; SILVA, A. S.; CARVALHO, F.. Conservação e renovação de revestimento de paredes de edifícios antigos. Cadernos de edifícios 9. Lisboa: LNEC, 2004a. 126 p.

VEIGA, M. Rosário; MAGALHÃES, Ana Cristian; BOKAN-BOSILIKOV, Violeta. Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results. In: 13TH International brick and block masonry conference Amsterdam, 2004b, Amsterdam, 2004.

VEIGA, M. R.. Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. *Arquitectura Ibérica*, v. 12, p.36-45, 2006a.

VEIGA, M. Rosário. *Intervenções em Revestimentos Antigos: Conservar, Substituir Ou... Destruir*. Janeiro 2006. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios. Porto: 20 e 21 de Março de 2006b.

VEIGA, M. R.; VELOSA, A.L.. A cor das argamassas. *Revista Construção Magazine*, maio 2008.

VEIGA, Maria do Rosário. *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: Métodos e materiais*. Lisboa: LNEC, 2011. 230 p.

VELOSA, A.L.; COROADO, J.; VEIGA, M. R.; ROCHA, F.. Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. *Materials Characterization*, p. 1208-1216, 2007.

VERÇOZA, Ênio José. *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.

VIEIRA, A. de A.. *Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre : estudo de caso*. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YASEEN, I. A. B.; AL-AMOUSH, H.; AL-FARAJAT, M.; MAYYAS, A.. Petrography and mineralogy of Roman mortars from buildings of the ancient city of Jerash, Jordan. *Construction And Building Materials*, v. 38, p.465-471, jan. 2013.