

DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS EM PEDRA CALCÁRIA

MIGUEL ÂNGELO MARTINS TINOCO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Doutor Fernando Pedro Fernandes Pereira

Coorientador: Doutora Joana Fernandes Maia

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu tio João

A fortuna favorece os corajosos

Virgil

AGRADECIMENTOS

A finalização do presente documento foi realizada devido a um extenso período de trabalho que marca um objetivo importante no meu caminho académico e por tal gostaria de agradecer a algumas pessoas que fizeram com que tal fosse possível.

À minha família, em especial aos meus pais, Manuel e Paula, que sem eles não poderia ser possível a realização do mestrado não só pela paciência de me permitir faltar a muitas coisas devido a trabalhos e períodos de stress mas também ao suporte constante que me forneceram.

Aos meus orientadores da tese, Doutor Fernando Pedro Fernandes Pereira e Doutora Joana Fernandes Maia pela insaciável paciência para me ensinar e transmitir conhecimento durante toda a realização do documento.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Pedro que foi companheiro desde o primeiro dia, pelo espírito de entreaajuda entre nós e pela amizade que tivemos ao longo destes últimos 5 anos.

Aos meus amigos do secundário, Francisco e Eduardo, que se mantiveram comigo até à presente data pela melhor amizade que alguma vez experienciei.

À minha amiga Francisca do curso de Mecânica que apesar de nos termos conhecido tarde na nossa jornada académica não poderia pedir por melhor pessoa por ter aparecido na minha vida durante o meu tempo na FEUP.

À minha amiga Francisca do curso de Metalurgica que foi alvo de muitos desabafos no pouco tempo que nos conhecemos.

RESUMO

O presente trabalho tem por objeto o estudo da durabilidade de revestimentos em fachadas de pedra calcária por intermédio de ensaios de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão.

Como casos de estudo, selecionaram-se dois edifícios construídos no ano 2000 com revestimento em pedra calcária, localizados no concelho de Matosinhos, para avaliar a permeabilidade à água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten tendo-se realizado um total de 48 ensaios. Foram analisadas todas as orientações das fachadas dos edifícios quer nas zonas do seio do revestimento e como nas juntas das pedras calcárias. Além disso, avaliou-se a influência da altura nos resultados obtidos e a exposição aos ambientes de envelhecimento natural. Foram também avaliadas camadas do revestimento dos edifícios localizadas no tardo da pedra calcária.

No presente trabalho obteve-se as conclusões de que a altura do edifício tem uma importância significativa no combate à permeabilidade da água líquida. À medida que a altura aumenta maior será também a absorção de água por parte do revestimento. É também possível inferir que a zona da junta tem de ter especial cuidado de impermeabilização pois é uma zona que, em geral, absorve mais água do que o seio da pedra calcária. Por fim, para além dos cuidados anteriores, é preciso também ter em atenção a orientação da fachada pois diferentes orientações de fachada estão sujeitas a elementos naturais de forma diferente e esse facto aumenta ou diminui a quantidade de volume de água absorvido.

PALAVRAS-CHAVE: pedra calcária, revestimento exterior, permeabilidade à água líquida, envelhecimento natural, orientação solar

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the durability of coatings on limestone facades through tests of permeability to liquid water under low pressure.

As case studies, two buildings built in 2000 with limestone cladding, located in the municipality of Matosinhos, were selected to evaluate the permeability to liquid water under low pressure using Karsten tubes, with a total of 48 tests. All the orientations of the facades of the buildings were analysed, both in the areas within the cladding and in the limestone joints. In addition, the influence of height on the results obtained and exposure to natural aging environments were evaluated. Coating layers of buildings located on the back of the limestone were also evaluated.

In the present work, the conclusions were obtained that the height of the building has a significant importance in combating the permeability of liquid water. As the height increases, the coating absorbs more water. It is also possible to infer that the joint area needs special care in terms of waterproofing, as it is an area that, in general, absorbs more water than the limestone core. Finally, in addition to the above precautions, it is also necessary to pay attention to the orientation of the façade, as different orientations of the façade are subject to natural elements in different ways and this fact increases or decreases the amount of water absorbed.

KEYWORDS: limestone, exterior rendered walls, liquid water permeability, natural aging, solar orientation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO	2
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 FACHADAS.....	5
2.1.1 VIDA ÚTIL DAS FACHADAS	6
2.1.2 DIVISÃO FUNCIONAL DE REVESTIMENTOS	8
2.1.3 CARACTERÍSTICAS EXIGÊNCIAIS DE REVESTIMENTOS.....	12
2.1.4 REABILITAÇÃO EM PORTUGAL	14
2.1.5 IMPERMEABILIZAÇÃO	14
2.2 FACHADAS DE PEDRA CALCÁRIA.....	16
2.2.1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MACROSCÓPICAS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS CALCÁRIOS.....	20
2.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS DE PERMEABILIDADE À ÁGUA LÍQUIDA	21
2.4 CASOS DE ESTUDO COM RECURSO A TUBO DE KARSTEN	26
2.4.1 ESTUDO DE JANG E VILES.....	26
2.4.2 ESTUDO DE ARROMBA E BELLEI.....	27
2.4.3 ESTUDO DE DUARTE E GALVÃO.....	28
2.4.4 ESTUDO DE FLORES-COLEN E DUARTE	31
3 CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	37
3.1 CASO DE ESTUDO 1	37
3.2 CASO DE ESTUDO 2	42
3.3 METODOLOGIA DE ENSAIO	46
3.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ENSAIO	49
3.4.1 CASO DE ESTUDO 1	51

3.4.2 CASO DE ESTUDO 2	53
------------------------------	----

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

57

4.1 CASO DE ESTUDO 1	57
-----------------------------------	-----------

4.1.1 FACHADA SUL	57
-------------------------	----

4.1.1.1 Seio	57
--------------------	----

4.1.1.2 Junta.....	58
--------------------	----

4.1.1.3 Análise de fachada	58
----------------------------------	----

4.1.2 FACHADA ESTE	60
--------------------------	----

4.1.2.1 Seio	60
--------------------	----

4.1.2.2 Junta.....	61
--------------------	----

4.1.2.3 Análise de fachada.....	59
---------------------------------	----

4.1.3 FACHADA NORTE	62
---------------------------	----

4.1.3.1 Seio	63
--------------------	----

4.1.3.2 Junta.....	63
--------------------	----

4.1.3.3 Análise de fachada	63
----------------------------------	----

4.1.4 FACHADA OESTE	63
---------------------------	----

4.1.4.1 Seio	64
--------------------	----

4.1.4.2 Junta.....	64
--------------------	----

4.1.4.3 Análise de fachada	64
----------------------------------	----

4.1.5 COMPARAÇÃO GERAL ENTRE FACHADAS	65
---	----

4.2 CASO DE ESTUDO 2	67
-----------------------------------	-----------

4.2.1 FACHADA NORTE	67
---------------------------	----

4.2.1.1 Seio	67
--------------------	----

4.2.1.2 Junta.....	67
--------------------	----

4.2.1.3 Análise de fachada	67
----------------------------------	----

4.2.2 FACHADA SUL	69
-------------------------	----

4.2.2.1 Seio	69
--------------------	----

4.2.2.2 Junta.....	69
--------------------	----

4.2.2.3 Análise de fachada	69
----------------------------------	----

4.2.3 FACHADA ESTE	70
--------------------------	----

4.2.3.1 Seio	70
--------------------	----

4.2.3.2 Junta.....	70
--------------------	----

4.2.3.3 Análise de fachada	70
----------------------------------	----

4.2.4 FACHADA OESTE	71
---------------------------	----

4.2.4.1 Seio	71
4.2.4.2 Junta.....	71
4.2.4.3 Análise de fachada.....	72
4.2.5 ANÁLISE DE CASOS PARTICULARES	72
4.2.6 COMPARAÇÃO GERAL ENTRE ORIENTAÇÕES DE FACHADA	73
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE CASOS DE ESTUDO	75

5 CONCLUSÕES

77

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

77

5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....

78

ANEXO I REGRAS DE QUALIDADE DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES.....

82

ANEXO II ENSAIOS DE CASO DE ESTUDO 1

83

ANEXO III ENSAIOS DE CASO DE ESTUDO 2.....

109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da repartição das obras licenciadas e concluídas entre construção nova e reabilitação [8].	2
Figura 2 – Evolução das fachadas ao longo dos anos [10].	5
Figura 3 – Evolução das fachadas desde os anos 90 até ao presente [10].	6
Figura 4 – Revestimento de parede por fixação direta ao suporte [14].	10
Figura 5 – Revestimento de parede por fixação indireta de agramos e pontos de argamassa [14].	10
Figura 6 – Revestimento de paredes por fixação indireta ao suporte de gatos resistentes [14].	10
Figura 7 – Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante [9].	11
Figura 8 – Coeficiente de absorção de água dos materiais utilizados no estudo utilizando os materiais de impermeabilização do estudo e processos de envelhecimento [16].	16
Figura 9 – Principais tipos de acabamento de pedra natural [15].	18
Figura 10 – Parede de pedra calcária Moleano [23].	19
Figura 11 – Parede de pedra calcária Moca Creme [2].	19
Figura 12 – Pedra calcária semi-rijo (branca) [23].	20
Figura 13 – Aparelho do ensaio de teor de humidade [25].	22
Figura 14 – Equipamento de determinação da permeabilidade em provetes de reboco segundo Cashier [26].	23
Figura 15 – Equipamento de permeabilidade em betões [26].	23
Figura 16 – Equipamento de permeabilidade de paredes <i>in situ</i> [26].	24
Figura 17 – Tubos de Karsten [27].	25
Figura 18 – Tubos de Karsten <i>in situ</i> [27].	25
Figura 19 – Secção horizontal do tubo de Karsten <i>in situ</i> [27].	26
Figura 20 – Resultados de ensaios de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten de laboratório e de <i>in situ</i> (N = 82) [30].	27
Figura 21 – Resultados do ensaio com o ensaio de permeabilidade à água líquida utilizando os tubos de Karsten após (a) 28 dias e (b) 90 dias [31].	28
Figura 22 – Paredes testadas no caso de estudo 3 [4].	29
Figura 23 – Absorção de água nas paredes ao longo de 49 meses no estudo de Duarte e Galvão [4].	30
Figura 24 – Evolução dos resultados do ensaio com recurso aos tubos de karsten ao longo do tempo no estudo de Duarte e Galvão [4].	30
Figura 25 – Absorção de água nas paredes tradicionais no estudo de Flores-Colen e Duarte [25].	34
Figura 26 – Absorção de volume de água nas paredes não tradicionais no estudo de Flores-Colen e Duarte [25].	34
Figura 27 – Resultados em média do ensaio de de permeabilidade de água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten nas paredes não tradicionais, dependendo da rugosidade das mesmas no caso de estudo 4 [25].	35
Figura 28 – Influência da meteorologia na sensibilidade do ensaio de de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de karsten nas paredes tradicionais no caso de estudo 4 [25].	35
Figura 29 – Distância do mar à localização do edifício do caso de estudo 1.	38
Figura 30 – Visualização em planta do lote do caso de estudo 1.	38
Figura 31 – Fachada orientada a Sul da parede do caso de estudo 1.	39

Figura 32 – Fachada orientada a Este do caso de estudo 1.	39
Figura 33 – Fachada orientada a Norte do caso de estudo 1.	40
Figura 34 – Fachada orientada a Oeste do caso de estudo 1.	40
Figura 35 – Moleanos M11.	41
Figura 36 – Delimitação do revestimento de fachada que foi sujeito a reabilitação.	42
Figura 37 – Distância do mar à localização do edifício do caso de estudo 2.	42
Figura 38 – Visualização em planta dos lotes do caso de estudo 2.	43
Figura 39 – Fachada orientada a Norte da parede do caso de estudo 2.	43
Figura 40 – Fachada orientada a Este da parede do caso de estudo 2.	44
Figura 41 – Fachada orientada a Sul da parede do caso de estudo 2.	44
Figura 42 – Fachada orientada a Oeste da parede do caso de estudo 2.	44
Figura 43 – Moca Creme Relvinha [32].	45
Figura 44 – Revestimento Dekton Protek [33].	46
Figura 45 – Representação da colagem do tubo de Karsten no revestimento da fachada (Juntas).	47
Figura 46 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada (Seio da pedra).	47
Figura 47 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada no local do piso térreo.	48
Figura 48 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada no topo da fachada.	48
Figura 49 – Divisão de partes do acrónimo da identificação dos casos de estudo.	50
Figura 50 – Visualização do edifício em plano 3D.	52
Figura 51 – Local onde foram realizados os estudos para a zona resguardada do caso de estudo 1.	53
Figura 52 – Imagem identificativa do revestimento degradado do caso de estudo 2.	54
Figura 53 – Imagem identificativa do local resguardado do edifício do caso de estudo 2.	55
Figura 54 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Sul (Seio) do caso de estudo 1	59
Figura 55 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Sul (Junta) do caso de estudo 1	60
Figura 56 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Este (Seio) do caso de estudo 1	62
Figura 57 – Volume de água absorvida na fachada orientada a Este (Junta) do caso de estudo 1.	62
Figura 58 – Volume de água absorvida da Norte do caso de estudo 1.	63
Figura 59 – Volume de água absorvida da Oeste do caso de estudo 1.	64
Figura 60 – Resultados ao fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 1.	66
Figura 61 – Resultados ao fim de 60 minutos da absorção de capilaridade do caso de estudo 1.	66
Figura 62 – Volume de água absorvida da fachada norte (seio) do caso de estudo 2.	68
Figura 63 – Volume de água absorvida da fachada norte (junta) do caso de estudo 2.	68
Figura 64 – Volume de água absorvida da fachada sul do caso de estudo 2.	70
Figura 65 – Volume de água absorvida da fachada este do caso de estudo 2.	71
Figura 66 – Volume de água absorvida da fachada oeste do caso de estudo 2.	72
Figura 67 – Volume de água absorvida de casos especiais do caso de estudo 2.	73
Figura 68 – Resultados ao fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 2.	75

Figura 69 – Resultados da absorção de capilaridade fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 2.....	75
---	----

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Tabela 1 – Materiais utilizados no estudo de Soulios, Jan de Place Hansen [16].	15
Tabela 2 – Materiais impermeabilizantes utilizados no estudo de Soulios, Jan de Place Hansen [16].	16
Tabela 3 – Caracterização Geral das paredes expostas no estudo de Galvão, Duarte [4].	29
Tabela 4 – Resultados do ensaio do ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten após 49 meses no estudo de Duarte e Galvão adaptado de Galvão, Duarte [4].	29
Tabela 5 – Legendagem das paredes e tipo de textura de acabamento no estudo de Flores-Colen e Duarte adaptado de Duarte, Flores-Colen [25].	32
Tabela 6 – Divisão das paredes em fachadas tradicionais e em fachadas não tradicionais adaptado de Duarte, Flores-Colen [25].	33
Tabela 7 – Descrição dos ensaios de tubo de Karsten no primeiro caso de estudo.	52
Tabela 8 – Descrição de casos de estudo do segundo caso de estudo.	54

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

W_i – Quantidade de água absorvida por unidade de área (ml/cm²)

Q_i – Quantidade de água absorvida num determinado período (ml)

A – Área (m²)

V_t – Volume de água absorvido (ml)

EUA- Estados Unidos da América

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

UV – Ultravioleta

N – Número de ensaios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

CV – coeficiente de variação

Nº - número

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do presente documento focaram-se no estudo dos revestimentos em pedra calcária de fachadas. Os revestimentos de fachada de pedra calcária serão analisados relativamente à sua durabilidade essencialmente tendo por base um ensaio não destrutivo de permeabilidade à água líquida (Tubo de Karsten).

A pedra é um material essencial para a construção de edifícios. Desde há muitos anos que a pedra é utilizada para construir abrigos, templos e monumentos. A principal vantagem do uso da pedra é ser eco sustentável [1]. Existem os seguintes subtipos de pedras mais utilizados na construção: mármore, arenito, granito, pedra ardósia e pedra calcária [1]. No âmbito deste trabalho, apenas se irão analisar as pedras calcárias.

Os principais mercados para a exportação da matéria prima de pedra calcária Portuguesa são o Reino Unido, Bélgica e França. Estes mercados têm sido fiéis compradores deste tipo de produtos por muitos anos, como alternativa mais económica e rápida às suas pedras locais. Além destes mercados, tem havido um grande aumento da procura para fachada em pedra calcária portuguesa de países do Médio Oriente, onde projetos de grande escala aparecem todos os dias. Outros países com procura interessante são a Índia, Canadá e EUA [2].

Desde a antiguidade os revestimentos tiveram um papel importante nas temáticas de proteção, nivelamento e acabamento das fachadas [3]. Os revestimentos das paredes dos edifícios são aplicadas de forma a assegurar proteção contra agentes mecânicos, químicos e de degradação física. Desta forma os revestimentos das paredes do edifício são de importância significativa para a durabilidade de um edifício e por outro lado para determinar o conforto no mesmo [4].

A durabilidade pode ser definida como a capacidade do material de resistir ao desgaste e à decadência e de continuar a cumprir a sua função após um período e utilização estendida. Uma alteração física, química ou mecânica de uma pedra pode ser associada a uma imposição natural ou humana. Os materiais podem ser sujeitos a diferentes reações como resposta aos agentes degradantes sendo a escolha de materiais que assegurem as exigências de durabilidade muito importante [5].

De forma a assegurar que o edifício tenha condições higrotérmicas adequadas é necessário para tal a implementação de ensaios in situ. Estas inspeções baseiam-se em inspeção visual e, quando possível, requerem o uso de técnicas de testes complementares [6]. Estas técnicas deverão

preferencialmente ser não intrusivas de forma a não comprometer a estética e o desempenho dos elementos [7].

A reabilitação de edifícios tem recebido menos atenção nos últimos anos tendo a percentagem de edifícios licenciados para reabilitações assim como a percentagem de edifícios concluídos de reabilitação vindo a diminuir [8]. Presente na Figura 1 estão os dados em específico da percentagem de edifícios licenciados e concluídos tendo em conta as obras de reabilitação.

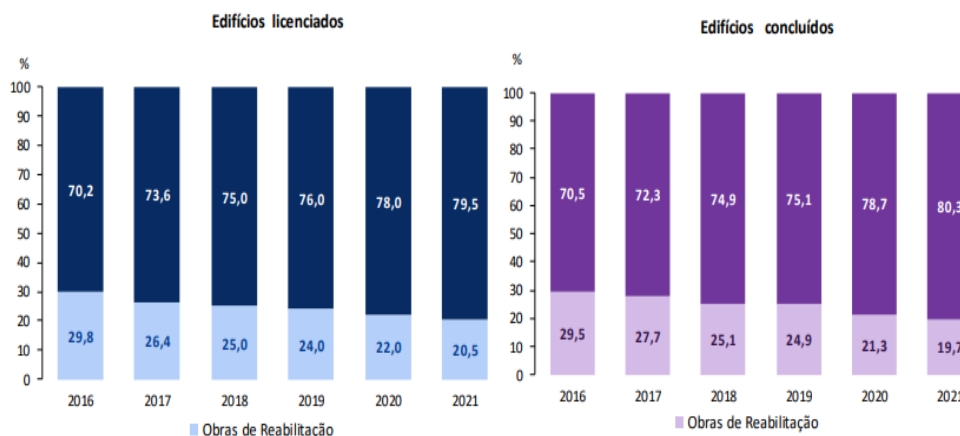


Figura 1 – Evolução da repartição das obras licenciadas e concluídas entre construção nova e reabilitação [8].

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho consiste na elaboração de um estudo sobre a durabilidade de revestimentos em fachadas de pedra calcária, contribuindo com métodos de análise comparativa com potencial de serem utilizados em estudos de inspeção e diagnóstico e reabilitação de edifícios similares.

O principal objetivo do presente trabalho consiste na análise de dois casos de estudo, ambos construídos no mesmo ano, mas com pedras calcárias de revestimento diferentes e em diferentes localizações, uma perto da zona marítima e outra mais longe. A análise consiste em comparar o impacto que as condições atmosféricas tiveram no estado de conservação dos revestimentos com o auxílio de um ensaio de medição de permeabilidade à água líquida.

Para tal, neste trabalho irá utilizar-se o ensaio de medição da permeabilidade à água líquida a baixa pressão com recurso a tubos de Karsten e irá ser feita uma interpretação dos resultados obtidos em ambas as zonas.

1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

Este documento divide-se em 6 capítulos. No presente capítulo, faz-se uma breve introdução sobre o que é abordado na dissertação, uma definição clara dos objetivos que se pretendem alcançar e estrutura e organização da mesma. No capítulo 2 pode-se encontrar uma extensa pesquisa sobre o assunto do documento que incorpora temas como a evolução das fachadas e os diferentes tipos de revestimentos das mesmas, os diferentes tipos de pedra calcária e ensaios que permitem obter o desempenho do revestimento da parede quando induzido com condições de humidade ou infiltração de água. É também realizada uma pesquisa sobre casos de estudo utilizando os tubos de Karsten para comparação em capítulos posteriores.

No capítulo 3 entra-se numa área mais relativa ao presente trabalho. Expõe-se claramente os casos de estudo que são alvo da dissertação que inclui uma explicação da zona onde os casos se localizam, o tipo de pedra calcária que se encontrava no revestimento da fachada e as soluções que foram adotadas na reabilitação do revestimento. Inclui uma explicação da metodologia do ensaio que estará por detrás dos resultados finais.

No capítulo 4 encontram-se os resultados obtidos por ensaios realizados ao longo de semanas estando exposto em tabelas com uma introdução geral no início de cada sub-capítulo de forma a facilitar a compreensão das tabelas.

No capítulo 5 analisa-se os resultados que estão expostos no capítulo 4. Aqui é exposto primeiramente em cada caso de estudo um gráfico geral com o valor dos resultados do volume de água absorvido ao fim de 60 minutos especificando depois gráficos em todas as fachadas para comparação entre si das diferentes zonas de ensaio. É também feita uma comparação com os resultados que foram alvo de pesquisa no estado da arte.

No último capítulo são apresentadas as conclusões gerais sobre a dissertação desenvolvida onde é feita uma reflexão sobre o tema abordado.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 FACHADAS

A construção de edifícios, mais especificamente de fachadas de o século XX até ao século XXI pode ser definida, de forma simples e resumida pelas soluções adotadas para as fachadas em cada década de acordo com a seguinte sequência representada na Figura 2 e Figura 3 [9]:

- Até à década de 40 eram utilizadas paredes de pedra simples ou era utilizado tijolo maciço perfurado espessas;
- Na década de 50 as paredes começaram a utilizar paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
- Na década de 60 começou-se a adotar a solução de utilizar paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
- Na década de 70 em vez das paredes duplas de tijolo espesso que se utilizava na década de 60 começaram-se a utilizar paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida;
- Na década de 80 começou-se a usar paredes duplas de tijolo com isolamento térmico, ocupando total ou parcialmente a caixa-de-ar permitida pela caixa-de-ar;
- Por fim, desde a década de 90 até à atualidade, a solução de reforço pelo exterior de isolamento térmico (Sistema ETICS) adotada até à atualidade prevaleceu devido a vantagens como: eliminação de a maior parte das pontes térmicas, aumento da durabilidade das fachadas, possibilidade de execução em edifícios ocupados e a não redução de espaço habitável.

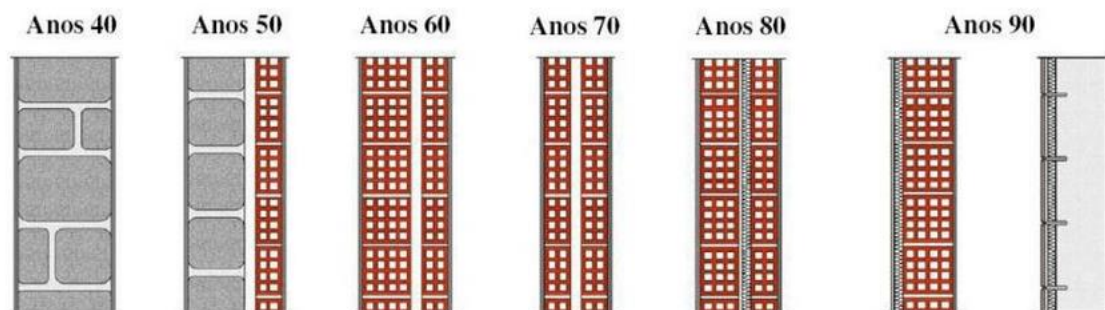


Figura 2 – Evolução das fachadas ao longo dos anos [10].

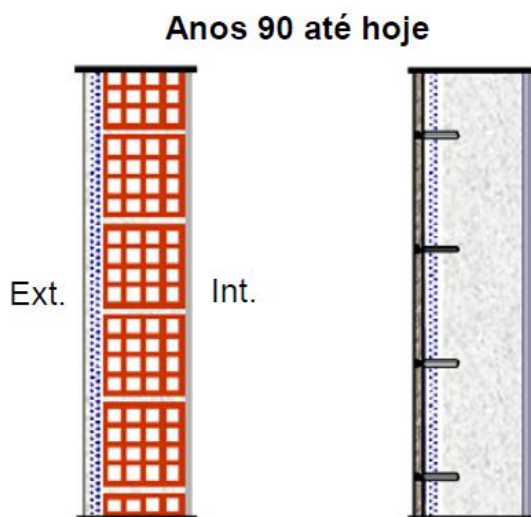


Figura 3 – Evolução das fachadas desde os anos 90 até ao presente [10].

No entanto, na atualidade, não importa apenas o bom desempenho da fachada. Apesar de ser um fator decisivo, a qualidade estética das fachadas é fundamental para atrair potenciais investimentos num mercado que é altamente competitivo. A imagem transmitida por uma fachada é não só de extrema importância para causar uma boa impressão num comprador como também para tornar os espaços onde se encontram mais agradáveis e atrativos.

2.1.1 VIDA ÚTIL DAS FACHADAS

A vida útil ou período de serviço de um edifício é o período durante o qual as construções civis são expectáveis ou excedem os níveis mínimos estabelecidos para o seu funcionamento correto, de ordem intrínseca ao elemento, normativa ou subjetiva, num cenário de manutenção recorrente [11]. A utilização de materiais mais duráveis e a utilização de materiais com uma maior vida útil contribui diretamente para a redução de despejo na produção, emissão de gases poluentes e, consequentemente, assiste na possibilidade de se chegar a sustentabilidade, ainda que a definição durabilidade e de vida útil não seja normalizada [5]. É possível dividir-se a vida útil em 3 fatores diferentes [11]:

- Vida útil funcional – refere-se ao período de tempo durante a qual é possível a utilização e habitação de uma determinada construção sem a necessidade de ocorrerem alterações generalizadas;
- Vida útil económica – refere-se ao período de tempo que decorre até que o propósito inicial da construção seja substituída por outra construção mais rentável;
- Vida útil física – refere-se ao período de tempo no qual o edifício se mantém adequado tendo em conta as exigências que nele são colocadas.

Verifica-se, assim, que a vida útil ou período de serviço de um edifício trata-se de um conceito relativo que depende de níveis mínimos de desempenho para o edifício considerado, de diversas especificações de quem avalia determinada individualidade, seja este o desempenho de uma impermeabilização, a viabilidade económica de uma solução de caixilharia ou o padrão mínimo de conforto de uma solução de caixilharia ou o padrão mínimo de conforto de uma habitação. Depende também do respetivo contexto social, económico, político, estético, ambiental ou normativo que se adequam à sua avaliação [11].

Tendo em conta dificuldade de ser possível estabelecer um valor de vida útil expectável para uma construção vários autores propõem uma subdivisão do problema nas seguintes categorias diferenciadas [11]:

- Deterioração física;
- Obsolescência económica;
- Obsolescência funcional;
- Obsolescência tecnológica;
- Obsolescência ou mudanças no contexto social;
- Mudanças ou obsolescência do contexto envolvente;
- Alterações normativas;
- Obsolescência visual, de imagem ou estética;
- Mudanças ambientais.

As subdivisões expostas podem ser sintetizadas em três principais grupos de fatores que determinam a vida útil expectável de um material construtivo, cada um destes associado a um intervalo de tempo cíclico e a uma oscilação dos critérios mínimos de aceitação das respetivas propriedades ou qualidades [11]:

- Desempenho económico;
- Obsolescência funcional ou de imagem;
- Vida útil física.

Apesar da relatividade do conceito de vida útil, a sua determinação traz vantagens que permitem [11]:

- Determinar os custos globais de uma construção, desde a fase inicial de obra e em qualquer ponto que se pretenda saber durante o seu ciclo de vida: refere-se à necessidade de calcular e acompanhar os custos totais de uma construção desde o seu início até o final do seu ciclo de vida. Isso envolve estimar os custos de construção, materiais, mão de obra, equipamentos, manutenção, entre outros, em diferentes fases do projeto.
- Avaliar o seu custo de oportunidade num quadro de recursos escassos: trata-se de avaliar o custo de oportunidade da construção em um contexto onde os recursos são limitados. Isso significa considerar as alternativas disponíveis e analisar qual seria a melhor opção em termos de custos e benefícios, levando em conta a escassez de recursos.
- Identificar e comparar diferentes opções técnicas: é necessário identificar e comparar diferentes opções técnicas disponíveis para a construção. Isso envolve analisar diferentes métodos de construção, materiais, tecnologias e sistemas para determinar qual opção é mais viável e económica para o projeto.
- Planificar e decidir entre diferentes estratégias de manutenção: refere-se à necessidade de planejar e decidir entre diferentes estratégias de manutenção para a construção. Isso envolve determinar a melhor abordagem para a manutenção preventiva e corretiva, considerando os custos e benefícios de cada estratégia.
- Decidir a sua viabilidade: avalia-se a viabilidade da construção como um todo. Isso significa analisar se o projeto é economicamente viável, levando em consideração os custos envolvidos, o retorno esperado, os riscos e outros fatores relevantes.
- Determinar os períodos ótimos para efetuar operações de manutenção, para o período de serviço previsto: é necessário determinar os momentos ideais para realizar operações de manutenção ao longo do período de vida útil da construção. Isso envolve programar e agendar as intervenções de manutenção de forma a otimizar o desempenho e prolongar a vida útil da estrutura, minimizando os custos de manutenção.
- Determinar o valor da construção no final da sua vida útil: envolve determinar o valor da construção ao final de sua vida útil. Isso implica avaliar a depreciação, os custos de

desmontagem e remoção, e qualquer valor residual que possa existir, a fim de determinar o valor total da construção após o término de seu ciclo de vida.

2.1.2 DIVISÃO FUNCIONAL DE REVESTIMENTOS

Podemos dividir os revestimentos exteriores de fachadas e dar a uma nomenclatura aos mesmos conforme a função que estes são esperados de atingir [12]:

- Revestimentos de estanquidade (EST) – Têm a capacidade de garantir a estanquidade da parede em relação à água da chuva;
- Revestimentos resistentes à água (IMP) – Têm a capacidade de dar resistência à água à parede, no entanto, por si só não garantem a proteção que os revestimentos de estanquidade (EST) fornecem;
- Revestimentos de isolamento térmico (ISOL) – A sua função principal, como o nome indica, é de garantir isolamento térmico à parede. No que toca à proteção à água estas são geralmente paredes de estanquidade ou resistentes à água;
- Argamassas de acabamento (ACAB) – A sua função principal consiste para o acabamento das paredes e a sua contribuição para a estanquidade da água é de pouca significância.

Podemos também dividir os revestimentos interiores de fachadas e dar nomenclatura aos mesmos em parâmetros da sua função que são esperados de atingir [12]:

- Revestimentos de alisamento – Fornecem à parede uma coloração pálida, verticalidade e regularidade da superfície;
- Revestimento de acabamento – Dão à parede um complemento de alisamento garantindo, em maior parte das vezes, um aspeto visual agradável;
- Revestimentos resistentes a água - Preenchem a camada de revestimento de acabamento em locais em que a água está frequentemente presente;
- Revestimentos Decorativos – Dão à parede um aspeto que os utilizadores do edifício pretendem em termos de conforto visual, quando os outros tipos de revestimento não o satisfazem.

O desempenho do revestimento de fachadas têm na sua base três fases principais [12]:

- Inicial – Inclui os primeiros anos após construção e é caracterizada pela eventual emergência de anomalias prematuras (maior parte das vezes devido a erros durante a fase de projetos ou na fase de execução);
- Intermediário – Nesta fase o desenvolvimento das paredes depende em vários fatores da fase de utilização e a sua influência no processo de degradação natural dos revestimentos aplicados;
- Terminal – Incluem os últimos anos da fase de utilização que, por sua vez, estão associados a uma maior probabilidade de apresentar falhas.

Neste contexto, os planeamentos de ações nos revestimentos de paredes têm de incluir inspeções detalhadas nas fases iniciais e terminais e inspeções atuais e/ou detalhadas na fase intermediária da vida útil do edifício.

Para a dissertação em questão é elucidativo fazer uma análise mais profunda dos revestimentos exteriores de estanquidade (EST) e os revestimentos de impermeabilização (ISOL).

Dentro dos revestimentos de estanquidade temos [9]:

- Revestimentos por elementos descontínuos (“*bardagens rapportés*”, “*claddings*”);
- Revestimentos independentes por elementos descontínuos de pedra natural;
- Revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes;
- Revestimentos de ligantes sintéticos armados com rede de fibra de vidro.

Os revestimentos por elementos descontínuos são executados a partir de elementos (placas, régua ou ladrilhos) betão, prefabricados, plástico, metal, pedra natural ou artificial, madeira, etc. O presente tipo de revestimentos apresenta de forma geral pequena espessura mas apresenta formas e dimensões faciais diversas. Os revestimentos por elementos descontínuos de pedra natural, por possuírem tecnologias de execução de certo modo especializada já se encontra muito notável, sendo objeto de tratamento individual e mais aprofundado [13].

Nos revestimentos independentes com elementos descontínuos de pedra natural, os elementos utilizados são provenientes de pedras naturais, que podem ser de origem eruptiva, sedimentar ou metamórfica. Os tipos mais comuns são granitos e calcários. Para que esses revestimentos possam proporcionar impermeabilidade, é necessário que os dispositivos de fixação os tornem independentes da parede e que haja uma caixa de ar ventilada entre o revestimento e o suporte, equipada com os devidos mecanismos de drenagem para eliminar a água que possa infiltrar-se através do revestimento. Caso os elementos sejam fixados diretamente no suporte, e se as juntas não forem impermeáveis, o revestimento terá apenas uma função decorativa, não garantindo a estanqueidade necessária [9].

A aplicação de placas de pedra em obra pode ser realizada através de assentamento ou colagem com cimento, mástiques ou até argamassas, por arranjo sobre apoios e ancoragens às estruturas ou por um intermédio de grampos [14].

No presente tema temos três tipos de soluções de fixação a paramentos verticais das placas pétreas [14, 15]:

- Fixação direta ao suporte – Pode-se utilizar a fixação por colagem utilizando como meio de fixação uma cola ou fixação por selagem que consiste essencialmente em utilizar argamassa à base de cal hidráulica ou argamassa de cimento branco. No entanto encontra-se limitações da utilização deste tipo de fixação como o peso associado aos materiais de pedra, as suas dimensões, a natureza do suporte, a humidade do paramento a revestir e à localização e orientação do revestimento de um dado edifício. Pelas razões listadas o presente tipo de fixação apresentava um número significativo de patologias quando era utilizado e, por isso, é cada vez menos recorrentemente aplicada. Na Figura 4 temos uma representação com legenda da base deste tipo de fixação;
- Fixação indireta ao suporte – Consiste na ligação dos revestimentos de pedra através de fixações pontuais ou através de uma estrutura que normalmente consiste de perfis metálicos. As grandes vantagens da utilização da presente técnica encontram-se na redução de infiltrações e penetração de humidade, redução do tempo necessário para a aplicação dos materiais e redução de ocorrência de defeitos provocados pela má execução das técnicas de fixação direta previamente visualizado. No entanto, a desvantagem de utilizar o presente tipo de fixação é que apresenta um custo inicial bastante considerável. Nas figuras seguintes temos um exemplo de um revestimento de parede por fixação indireta de agramos (Figura 5) e um exemplo de um revestimento de parede por fixação indireta de gatos resistentes (Figura 6).
- Fixação mista – A fixação mista consiste na união dos tipos de fixação direta e indireta, sendo aplicado um reforço da ligação colada através de arames inseridos em chumbadouros de argamassa. Este tipo de fixação foi recorrentemente utilizado em meados do século XX com muito sucesso. No entanto, por necessitar de mão de obra especializada, esta técnica acabou por cair em desuso com o decorrer do tempo;

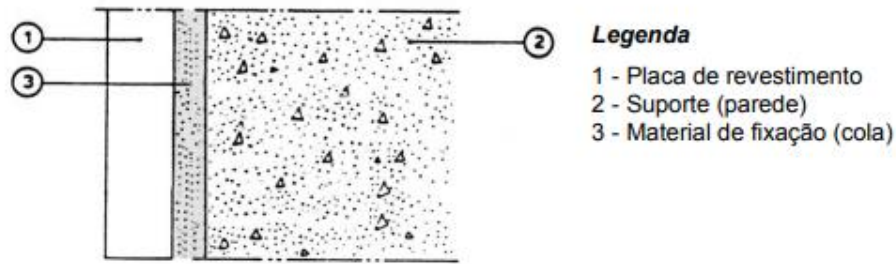


Figura 4 – Revestimento de parede por fixação direta ao suporte [14].

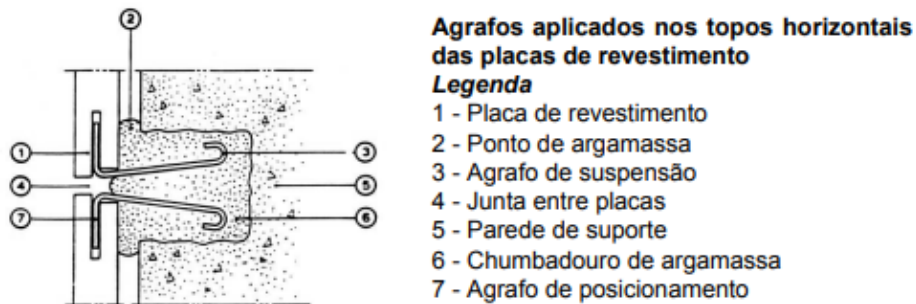


Figura 5 – Revestimento de parede por fixação indireta de agrafos e pontos de argamassa [14].

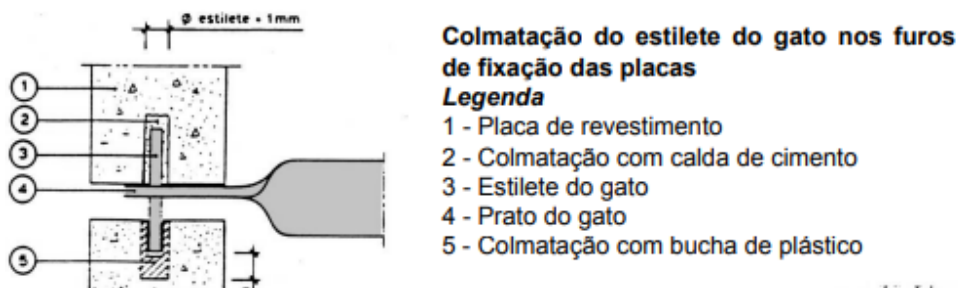


Figura 6 – Revestimento de paredes por fixação indireta ao suporte de gatos resistentes [14].

No caso de revestimentos com ligantes hidráulicos armados e independentes, tratam-se de revestimentos que utilizam ligantes hidráulicos combinados com materiais metálicos. Esses revestimentos são dosados e executados de forma semelhante aos revestimentos com elementos descontínuos independentes. O processo de fixação à parede garante a criação de um espaço de ar entre a parede e o revestimento armado. A fixação do revestimento à parede é realizada por meio de uma estrutura intermediária, que pode ser feita de madeira ou de materiais metálicos. Geralmente, essa estrutura é composta por elementos verticais fixados pontualmente ao suporte, e o revestimento é fixado a essa estrutura usando grampos ou agrafos [9].

Por último, os revestimentos com ligantes sintéticos armados com rede de fibra de vidro são revestimentos finos obtidos a partir de produtos que contêm um alto teor de ligante sintético. São especialmente concebidos para serem utilizados no tratamento de fachadas que apresentam deficiências na impermeabilização, principalmente devido a fissuras no revestimento antigo. Esses revestimentos devem ser suficientemente elásticos para manter suas propriedades de impermeabilidade mesmo diante de um possível desenvolvimento, mesmo que limitado, de fissuras. [9].

No que toca a revestimentos de isolamento térmico pelo exterior dispõe-se de [9]:

- Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante;
- Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante;

- Revestimentos de argamassas de ligantes hidráulicos com inertes de material isolante;
- Sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados;
- Sistemas de isolamento térmico por projeção in situ de isolante.

Os revestimentos de sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante são constituídos por (representados na Figura 7) [9]:

- Um isolante em placas (quase sempre de poliestireno expandido) colado ao suporte;
- Um revestimento (em geral de tipo não-tradicional) de ligantes hidráulicos armado com uma rede metálica.

Se o revestimento de ligantes hidráulicos não proporcionar acabamento sobre ele é aplicado um revestimento delgado de massas plásticas de uma tinta [9].

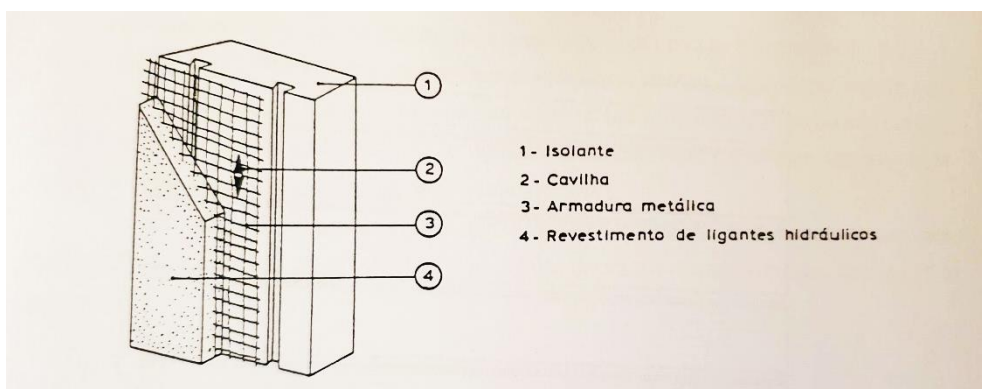


Figura 7 – Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante [9].

Os sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante são constituídos por [9]:

- Uma camada de isolamento em placas (tipicamente feitas de poliestireno expandido) fixada ao suporte;
- Uma camada base de revestimento delgado composta por uma mistura de ligantes, sendo o ligante orgânico predominante, reforçada com uma rede flexível (geralmente de fibra de vidro);
- Uma camada de acabamento de revestimento feita de um ligante orgânico (normalmente uma massa plástica) aplicada sobre a camada base - camada de acabamento do revestimento.

Estes sistemas, por serem não-tradicionais, devem ser objeto de homologação. As placas de isolante são fixadas ao suporte exclusivamente por colagem. O monolitismo do revestimento, garantido pela sua reduzida tendência para fissuração e pela presença da armadura, e a boa aderência do revestimento ao isolante tornam desnecessário e até conveniente qualquer tipo de fixação mecânica, não só por ser uma possível fonte de deterioração mas também por poder constituir uma tentação para uma execução menos cuidada da colagem [9].

Em relação aos revestimentos de argamassas com ligantes hidráulicos contendo materiais isolantes, esses revestimentos de isolamento térmico são criados a partir de produtos que combinam ligantes hidráulicos com materiais isolantes. Geralmente, esses revestimentos são compostos por três camadas distintas feitas com produtos de ligantes hidráulicos, sendo que uma dessas camadas (a camada de base) possui propriedades isolantes [9]:

- Uma camada texturizada, feita com um produto não convencional, aplicado com um pincel ou um produto convencional auxiliado por emulsões aquosas de resinas sintéticas;

- Uma camada de base, criada com um produto não convencional contendo materiais isolantes;
- Uma camada de proteção e acabamento, desenvolvida com um produto não convencional semelhante aos utilizados para impermeabilizar as superfícies exteriores das paredes.

Os sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados são alcançados a partir de elementos previamente produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa revestido exteriormente por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica. Esses elementos chegam às obras prontos a serem aplicados, sendo a sua fixação aos suportes efetuada por meios mecânicos [9].

Por fim, os sistemas de isolamento térmico obtidos por projeção “in situ” de isolante são uma técnica de execução de revestimentos isolantes que consiste na projeção sobre as paredes de produtos que se expandindo adquirem características significativas de isolamento térmico. Esta técnica encontra-se ainda numa fase pouco expressiva de desenvolvimento porque as grandes dificuldades que rodeiam a sua aplicação têm defraudado a intenção base da utilização dos mesmos- realização simultânea, numa única operação simples, do isolamento térmico e do acabamento das paredes [9].

2.1.3 CARACTERÍSTICAS EXIGÊNCIAS DE REVESTIMENTOS

O estabelecimento de exigências funcionais para os edifícios e seus órgãos decorre da asserção de que os edifícios, sendo indispensáveis à vida e à atividade do homem, devem possuir características que correspondem e satisfaçam as necessidades humanas.

Os diversos órgãos dos edifícios, cada um com as suas funções, concorrem para a satisfação global das necessidades dos ocupantes. Aos revestimentos de paredes, como produto ou obra integrantes de componentes dalguns desses órgãos exigir-se-lhes-á a sua quota-parte de participação na satisfação das necessidades humanas.

As exigências dos edifícios podem ser divididas em tópicos (que também se encontram expostas em maior detalhe no Anexo I) [13]:

- Exigências de segurança (estabilidade, contra riscos de incendio, segurança no uso);
- Exigências de compatibilidade com o suporte (compatibilidade geométrica, química e mecânica);
- Exigências de estanquidade;
- Exigências higrotérmicas (Exigências de isolamento térmico e de secagem dos paramentos interiores);
- Exigências da pureza do ar;
- Exigências de conforto acústico;
- Exigências do conforto visual;
- Exigências de conforto tátil;
- Exigências de higiene;
- Exigências de adaptação à utilização normal;
- Exigências de durabilidade;
- Exigências de facilidade de limpeza;
- Exigências de aptidão para o armazenamento;
- Exigências de economia.

De forma a dar a entender melhor o que se vai tratar na dissertação de seguida apresenta-se uma breve descrição das exigências mais importantes para os casos de estudo.

As exigências de segurança visam “assegurar a proteção da vida e da integridade física dos utentes perante causas físicas ou mecânicas que a agridam ou ponham em risco”. A satisfação das exigências de segurança tem carácter imperativo, salvo casos de espécie devidamente especificado [13].

As estabilidades estruturais das paredes devem ser asseguradas por elas próprias sem contributo dos revestimentos. Os revestimentos da parede devem, por seu lado, resistir, sem descolar nem cair, às solicitações combinadas a que estarão dependentes em condições regulares de uso, como por exemplo o peso próprio, as solicitações climáticas externas e as diversas ações decorrentes da utilização regular da construção [13].

A exigência de compatibilidade com o suporte surge de a necessidade dos revestimentos serem compatíveis com os suportes que irão revestir, dos pontos de vista geométricos, mecânicos e químicos. A compatibilidade geométrica expressa-se na necessidade de o suporte apresentar planeza e regularidade superficial adequadas à espessura e à técnica de aplicação do revestimento. As características mecânicas, como o módulo de elasticidade e a resistência à tração, do revestimento e do suporte devem ser conciliáveis para que não ocorra degradação de um deles provocada por tensões que no outro se sofra. Por fim, a incompatibilidade química entre o revestimento e o suporte pode originar crescimentos, empolamentos ou deslocamentos do revestimento [13].

As exigências de estanquidade são essenciais pois verificam que os revestimentos conferem à parede o complemento de estanquidade à água, ao ar e aos outros que gases que ela necessite para que o conjunto resulte estanque e não seja deteriorado por esses agentes. As exigências de estanquidade à água têm dois subníveis que se concentram na estanquidade à água da chuva e à estanquidade à água no interior da fachada [13].

As paredes de fachada necessitam de ser estanques à água da chuva. O grau de estanquidade requerido depende das condições de exposição das fachadas. Os revestimentos de paramentos exterior das paredes conferir aos toscos da parede o contributo de impermeabilidade necessário para que o conjunto resulte estanque. Mas, independentemente do grau de estanquidade próprio do tosco da parede, e, portanto, do complemento que se espera do revestimento, este deve sempre apresentar a impermeabilidade suficiente para impedir o humedecimento exagerado e prolongado do material do tosco da parede, evitando assim a deterioração de ambos e em particular para obstar à acumulação e permanência da água entre ela e o suporte, o que poderá originar o seu deslocamento [13].

Por outro lado, o revestimento deve ser aceitavelmente permeável ao vapor de água para não seja bloqueada a passagem de vapor para o exterior proveniente do interior dos edifícios e para permitir que a água por ele absorvida ou que tenha atingido o suporte na sequência duma chuvada possa ser restituído ao exterior sob forma de vapor quando as condições atmosféricas forem favoráveis para tal. É então importante que o revestimento seja o mais impermeável possível à água e o mais impermeável possível ao vapor de água. Acontece, no entanto, que em geral esta situação ideal não pode ser conseguida, pelo que haverá que ponderar a escolha tendo em atenção o seguinte compromisso [13]:

- Quanto mais permeável o revestimento for à água, maior deve ser também a sua permeabilidade ao vapor de água;
- Quanto menos permeável à água for o revestimento, menos permeável deve ser também ao vapor poderá ser o revestimento.

No que toca à estanquidade à água no interior, os revestimentos das paredes dos locais húmidos (como as cozinhas, instalações sanitárias, etc.) e, de um modo geral, de todos os locais cujas paredes possam ser submetidos a projeções de água que tenham de ser lavadas por via húmida, devem ser estanques à água. Em casos devidamente justificados essa estanquidade pode limitar-se a cerca de meia altura da parede a partir do piso [13].

2.1.4 REABILITAÇÃO EM PORTUGAL

O processo de envelhecimento das fachadas é inevitável. No entanto, podemos tomar medidas para que estas fachadas se degradem de forma mais vagarosa como, por exemplo, fazendo avaliações periódicas de manutenção destas fachadas que previnam falhas e problemas associados a este. Uma manutenção proativa das fachadas exteriores permite uma monitorização adequada durante a vida útil através dos principais meios [12]:

- Inspeções periódicas;
- Intervenções nas superfícies (de forma a garantir aspeto visual aceitável) como, por exemplo, pintura e técnicas de proteção;
- Intervenções “leves” de reparação e de substituição local;
- Intervenções “pesadas” de reparações em larga escala ou de substituição total.
- Inspeções periódicas durante a fase de utilização de um edifício (manutenção preditiva) aumenta a capacidade de detetar (aonde e quando) a necessidade de intervenções, minimizando, assim, o número de anomalias não previstas e, ao mesmo tempo, dar ao engenheiro um maior conhecimento da capacidade e desempenho das fachadas, o seu tempo de vida útil e dos agentes de degradação prematuros. Estas inspeções têm como objetivo verificar a aparição de anomalias e o desempenho da fachada, especialmente em condições de exposição mais severas ou após outras intervenções [12].

Para manter os custos de manutenção dentro de limites aceitáveis as fachadas e os edifícios têm de se comprometer a certos requerimentos como: fácil de manter; acessibilidade das inspeções periódicas; fácil de reparar e de substituir elementos. Estas ações não podem em nenhuma situação manchar aspeto da superfície com efeitos não desejáveis.

Por fim, é de notar que nenhum tratamento dura para sempre e por isso se dá relevância às inspeções periódicas e às inspeções permanentes

2.1.5 IMPERMEABILIZAÇÃO

O principal problema da acumulação de água nas fachadas é relacionado com a água devido à ação conjunta da chuva e do vento. Uma parte dos estudos que estão relacionados com esta temática sugerem a utilização de áreas abertas para a circulação de vapor e de aberturas capilares nas fachadas. No entanto, aplicando um agente de impermeabilização nas fachadas praticamente elimina a absorção da água referida. As transferências de humidade nos materiais de edifício fazem um papel importante na durabilidade do mesmo. A absorção da humidade é o mecanismo principal da deterioração de materiais porosos e o ponto inicial para muitos problemas relacionados com a humidade que por sua vez põem em causa a durabilidade do edifício [16].

A impermeabilização eficaz das fachadas depende, como seria de esperar, das características dos materiais de substrato (historial de estanquidade à água, condutividade líquida, constituintes químicos, etc.). Baseado nessas propriedades o impermeabilizante correto e as suas quantidades necessárias podem ser devidamente escolhidas [17].

De acordo com Aktas, Zhu [18] são identificadas três tipos de produtos base para produtos de impermeabilização:

- Acrílico;
- Estearatos;
- Silano/Siloxanos/Misturas (uma boa quantidade de estes produtos são cremes) – estes são os produtos que são os mais utilizados atualmente [18].

Os processos de impermeabilização com a utilização destes produtos consistem numa impregnação, teoricamente transparente, que penetra através da porosidade do material para o qual é aplicado. A aderência de uma impregnação e de um material depende de vários fatores, mas é fundamentalmente dada devido à diferença da tensão de superfície existente entre ambos os materiais. A composição dos produtos impermeabilizante é baseada no uso de matérias poliméricas que tem menos tensão de superfície do que qualquer outro material recorrentemente utilizado na construção, garantindo, assim, a sua união [19].

Os materiais silanos são classificados duas funções baseadas na sua composição [19]:

- Monocomponente – são obtidos como resultado de um alquiltriclorossilano;
- Biocomponente – obtidos da mistura de monocomponentes.

De forma a concluir este subcapítulo será exposto um caso de estudo utilizado em tijolo e argamassa com a finalidade de ter um melhor entendimento dos tratamentos impermeabilizantes das fachadas.

O estudo conduzido por Soulios, Jan de Place Hansen [16] *“Durability of hydrophobic treatment on brick and mortar”* utilizou materiais típicos dinamarqueses até à década de 50 como os que veremos na Tabela 1: tijolo moldado macio e argamassa de cal aérea. Para além destes foi também utilizado argamassa de cimento.

Tabela 1 – Materiais utilizados no estudo de Soulios, Jan de Place Hansen [16].

Nome	Descrição
Tijolo Y	Tijolo Dinamarquês moldado macio amarelo de Helligo Teglværk
Tijolo H	Tijolo Dinamarquês histórico de um prédio antigo em copenhagen (1944)
Argamassa AL	Argamassa de cal aérea carbonatada com agregado de 0-4 mm
Argamassa C	Argamassa de cimento com agregado de tamanho de grão de 0-4mm

No que toca aos agentes de impermeabilização, expostos na Tabela 2, foram utilizados materiais em creme prontos a ser utilizados que, como foi referido atrás, são os mais utilizados na atualidade devido à sua aplicação fácil e tempo alargado de contacto que apenas requer um tratamento. O creme FC é um creme baseado de silano baseado em água com 40% de concentração e o creme BS é também um creme de silano baseado em água, mas com 80% de concentração.

Tabela 2 – Materiais impermeabilizantes utilizados no estudo de Soulios, Jan de Place Hansen [16].

Produto	Empresa	Tipo	Forma	Diluyente	Concentração	Substrato
FC	Remmers	Silano	Creme	Água	40%	Mineral
BS	Wacker	Silano	Creme	Água	80%	Betão

De forma a perceber corretamente a Figura 8 há que ter noção de alguma linguagem utilizada na mesma. Onde se verifica os termos ACAP estes demonstram o coeficiente de absorção de água após um envelhecimento artificial definido. Os números significam:

- 1 – Antes do envelhecimento artificial
- 2 – Após 165 ciclos de envelhecimento artificial
- 3 – Após 335 ciclos de envelhecimento artificial
- 4 – Após 482 ciclos de envelhecimento artificial
- 5 – Após 635 ciclos de envelhecimento artificial

Os 635 ciclos utilizados foram escolhidos de forma a representar uma experiência semelhante à realidade da exposição das fachadas aos raios solares e portanto sujeitos a envelhecimento artificial sob forma de exposição a raios UV. Temos também exposto um lado com os materiais não impermeabilizados e nas secções seguintes o desempenho de cada material com os dois diferentes impermeabilizantes.

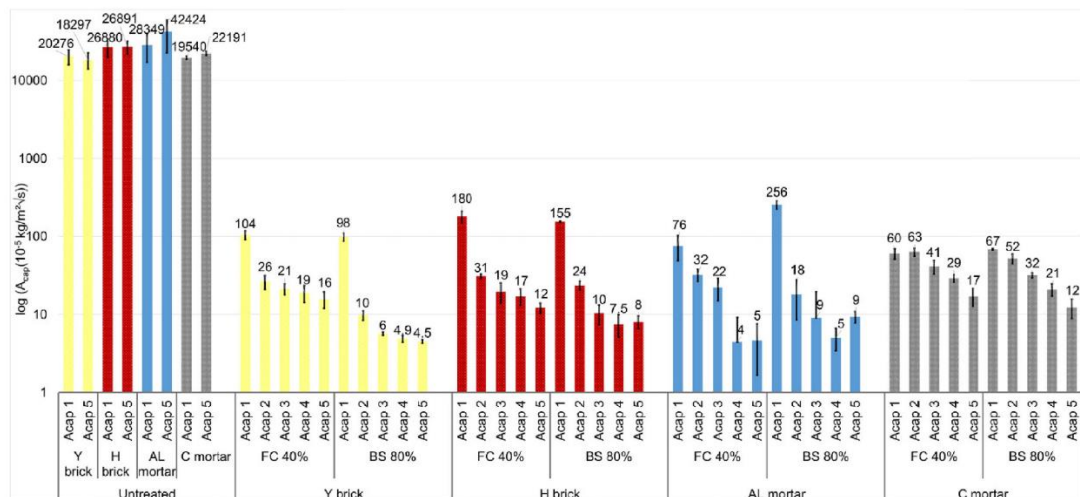


Figura 8 – Coeficiente de absorção de água dos materiais utilizados no estudo utilizando os materiais de impermeabilização do estudo e processos de envelhecimento [16].

Como se pode retirar da Figura 8 os usos de estes agentes impermeabilizantes foram benéficos pois a absorção da água nos extratos à medida que o envelhecimento se verificava menos absorção havia de água. É de notar também que alguns dos materiais responderam melhor aos agentes impermeabilizantes do que os outros.

2.2 FACHADAS DE PEDRA CALCÁRIA

2.2.1 INTRODUÇÃO GERAL

Os calcários são rochas de origem sedimentar, cuja formação está relacionada com processos de precipitação química e/ou bioquímica sob condições de pressão e temperatura idênticas ou pouco diferentes das que atualmente ocorrem em alguns pontos das superfícies da Terra. Nos calcários

é comum a ocorrência de fósseis e de estruturas sedimentares variadas, representando as condições ambientais que presidiram à sua formação e que podem constar atributos estéticos importantes, em particular no que respeita a laminações sedimentares [20].

A textura das rochas calcárias é função da proporção relativa dos três tipos de componentes [20]:

- Componentes detríticos ou terrígenos: são principalmente fragmentos de rochas (rolados ou não) e/ou minerais transportados pelas águas para as bacias de sedimentação que resistiram ao transporte e à alteração (como quartzo, feldspatos, argilas, etc.). Os termos mais comumente utilizados para descrever esses materiais, classificados de acordo com o tamanho dos constituintes, são arenitos e conglomerados encontrados em brechas calcárias;
- Componentes alquímicos: são materiais detríticos, como restos de conchas, ooides ou oólitos (agregados de carbonato de cálcio subesféricos, com estrutura radiada ou concêntrica, formados em ambientes onde a calcita precipitou sob condições de forte e contínua agitação das águas). Também incluem peloides (nódulos carbonatados e restos de excrementos) e outros elementos de pequenas dimensões, que foram depositados na bacia de sedimentação, embora possam ter sido transportados nas áreas de deposição, por exemplo, devido à ação das ondas;
- Componentes ortoquímicos: são materiais que se formaram por meio de precipitação química diretamente na bacia de sedimentação, sem sofrerem transporte. Esses componentes são chamados de micrita quando atuam como uma matriz subcristalina e de esparita quando desempenham o papel de um cimento carbonatado cristalino.

Na prática corrente, os calcários são classificados com base numa descrição macroscópica usando termos mais comuns e mais compreensíveis [20].

As rochas calcárias exibem uma ampla variedade de texturas, levando em consideração a natureza, tamanho e percentual dos elementos detríticos que as compõem, bem como o tipo de cimento e o grau de aglutinação desses elementos. Em Portugal, é comum encontrar rochas calcárias de origem clástica, compostas por elementos finos ou grossos unidos por um cimento carbonatado resultante de precipitação química. Dentro desse grupo, destacam-se os calcários duros, geralmente ricos em espíritos, e aqueles em que a estrutura de alguns elementos clásticos foi preservada, o que constitui um atributo estético importante [2].

Na Figura 9 encontram-se representados os tipos principais de acabamentos de Pedra Natural dando ênfase à secção que se encontra em vermelho que serão os acabamentos de calcário que nos interessam para o tópico de esta dissertação [21]:

- Acabamento Polido – Cria uma superfície brilhante, quase sem poros visíveis, melhorando a resistência e reduzindo a fricção;
- Acabamento Amaciado – Possui um brilho suave e uma textura agradável ao toque. A cor é visivelmente mais clara do que no acabamento polido, e a fricção é significativamente maior;
- Acabamento Jato de Areia – Obtido ao disparar grãos de areia de sílica contra o material desejado em alta velocidade. Cria pequenas rugosidades que destacam a cor da pedra;
- Acabamento Escovado – Gera uma superfície levemente ondulada, suave e agradável ao toque;
- Acabamento Bujardado – Cria rugosidades uniformemente distribuídas de diferentes tamanhos na superfície da pedra natural, tornando-a antiderrapante;
- Acabamento Flamejado – Produz uma rugosidade fina e protege o material para uso em áreas externas;
- Acabamento Escacilhado – Realizado manualmente, usando uma maceta e um cinzel para criar uma superfície muito rugosa e levemente irregular;

- Acabamento Tumbled – Simula o envelhecimento e resulta em superfícies rugosas com bordas suaves. Esse acabamento só pode ser aplicado em artigos de menor dimensão.

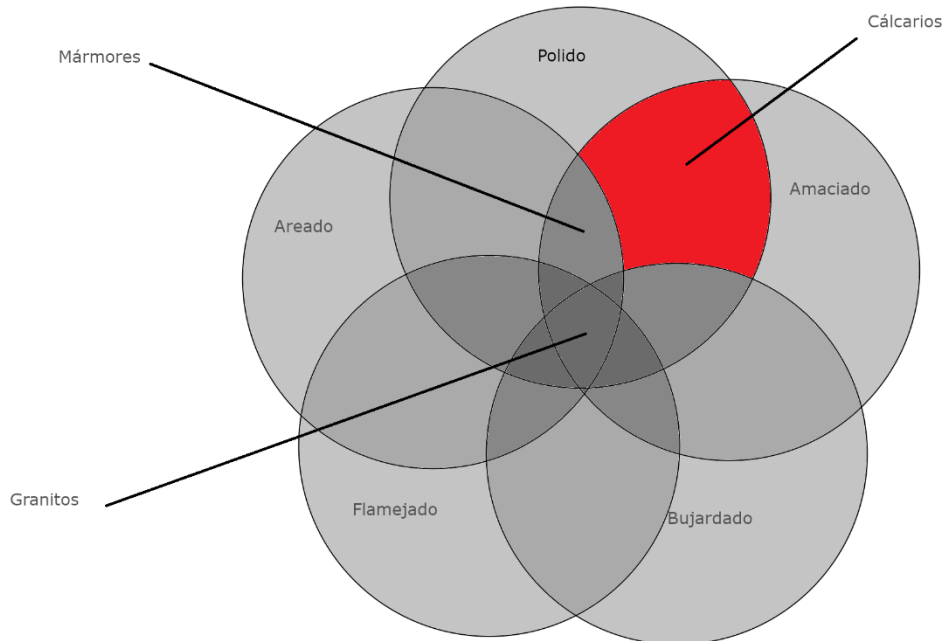


Figura 9 – Principais tipos de acabamento de pedra natural [15].

Os acabamentos das pedras naturais, em geral, possuem cor clara, esbranquiçada, creme, amarelada ou acastanhada. No entanto, podem assumir também tonalidades mais fortes em função da natureza e abundância das impurezas dispersas na massa da rocha.

As pedras calcárias portuguesas têm tido uma enorme utilização em aplicações de fachada exterior e de revestimento de paredes. É um tipo de pedra que tem uma forte história em Portugal como foi mencionado na introdução. As principais pedras calcárias utilizadas em aplicações de fachada exterior e revestimento de paredes ou muros são os Moleanos (tanto fino como médio), Moca Creme, semi-rija e de uma forma geral, pedras calcárias de cor bege [22]. Notando também que existe alguma utilização de pedras calcárias de cor cinza.

A pedra calcária moleano é descrita como um calcário esperáritico, bioclástico, apresentando a presença de oólitos e peloides. A sua cor é geralmente bege/claro creme, dando isto a indicação de que se trata de um carbonato de alta pureza representada na Figura 10 [23].

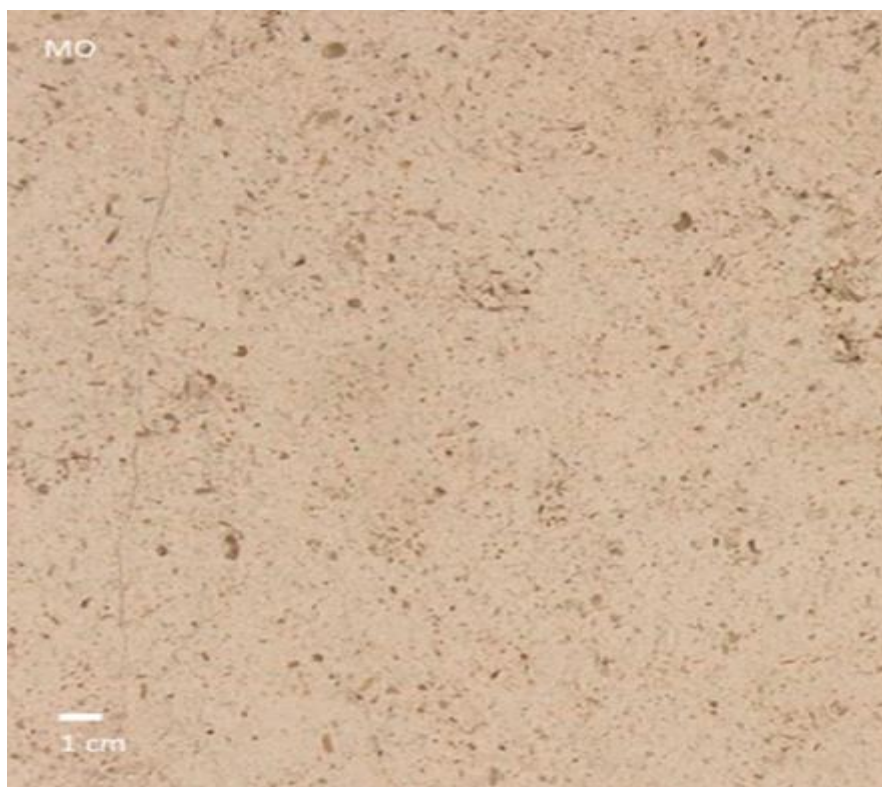


Figura 10 – Parede de pedra calcária Moleano [23].

A pedra calcária Moca Creme é descrita como um calcário bege, grosseiramente calciclástico e abundantemente bioclástico como o representado na Figura 11 [20].



Figura 11 – Parede de pedra calcária Moca Creme [2].

A pedra calcária semi-rijo é descrita como uma pedra calcária de grão fino, esbranquiçado, pouco bioclástica, com cimento micrítico e rara esparita representada na Figura 12 [23].



Figura 12 – Pedra calcária semi-rijo (branca) [23].

Além de aplicações em fachadas ventiladas e agrafadas as pedras calcárias portuguesas têm uma forte utilização em aplicações como revestimento de paredes exteriores, muros diversos entre outros revestimentos de exterior, tanto de edifícios como de áreas envolventes no exterior.

2.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MACROSCÓPICAS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS CALCÁRIOS

Algumas características das rochas naturais, que são peculiares e fundamentais, como a cor, forma e tamanho dos cristais, aparência geral da textura e do padrão ornamental, presença de manchas e venados, de geóides calcíticos ou de cavidades de dissolução, etc., podem ser avaliáveis à vista desarmada e fornecem indicações de grande significado prático. De facto, o aspeto visual de uma rocha ou, pelo menos, a correspondência do seu aspecto às exigências estéticas de cada época ou momento, é um fator determinante para a seleção por parte do utilizador [20].

Avaliar a adequação de cada rocha ornamental às condições em que será utilizada requer a realização de estudos e ensaios laboratoriais, que fornecerão informações para a caracterização, qualificação tecnológica e dimensionamento adequados. Estes estudos terão um impacto positivo nas preferências do mercado e nos preços que estão dispostos a pagar por uma qualidade controlada. Além da descrição da superfície da pedra, incluindo a sua tonalidade, dimensão relativa dos grãos e arranjo estrutural, que normalmente são complementados por um estudo petrográfico mais aprofundado, são realizados diversos ensaios físico-mecânicos que podem ser agrupados em três categorias fundamentais, dependendo do seu propósito [20]:

- Ensaios de identificação;
- Ensaio de desempenho em obra;
- Ensaio de durabilidade.

Os ensaios de identificação têm por objetivo determinar as características básicas das rochas [20]:

- Determinação da resistência à compressão;
- Determinação da resistência à flexão;
- Determinação do peso por unidade de volume (massa volúmica aparente ou densidade aparente);
- Determinação da porosidade aberta (ou porosidade aparente);
- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica e por capilaridade.

Os ensaios de desempenho em obra, como o nome indica, permitem avaliar o comportamento em obra dos produtos obtidos por transformação das rochas [20]:

- Determinação do coeficiente de dilatação linear térmica;
- Determinação da resistência ao choque (altura mínima de queda);
- Determinação da resistência às ancoragens;
- Determinação da resistência ao escorregamento.

Os ensaios de durabilidade destinam-se à previsão do período de tempo durante o qual o elemento em pedra natural desempenhará, sem colapsos, as funções para que foi concebido [20]:

- Determinação da resistência ao gelo;
- Determinação da resistência à cristalização de sais;
- Determinação da resistência ao choque térmico;
- Determinação da resistência ao desgaste por abrasão, etc;
- Determinação da absorção da água, etc.

2.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS DE PERMEABILIDADE À ÁGUA LÍQUIDA

O uso de ensaios in situ permite que seja determinada as características das fachadas assim como ser ao mesmo tempo bons testes para terminar a degradação das paredes e do desempenho das mesmas. No entanto, é de notar que os parâmetros medidos nestes ensaios não são diretamente relacionados com o desempenho mínimo, portanto em maior parte das situações não é possível ter uma avaliação qualitativa das fachadas. Para além disto, os valores que os ensaios produzem não são também fáceis de interpretar nesta temática. Para tal, uma combinação de vários ensaios permite-nos facilitar o diagnostico do caso de estudo [4].

Há uma enorme variedade de testes que se pode realizar em âmbito de construção, mais especificamente, in situ temos, por exemplo: Medidor de humidade, Tubos de Karsten, entre outros.

O ensaio de medição de humidade é um ensaio que é utilizado em situações em que queremos obter leituras sobre o teor de humidade de humidade das superfícies de materiais [6]. Como os outros ensaios expostos é um ensaio não destrutivo. No entanto este ensaio apenas pode ser utilizado num ambiente de comparação [6]. Após a execução de várias medições é nos possível desenhar um mapa da distribuição da distribuição da humidade da superfície.

Este teste é baseado no facto de que a impedância elétrica dos poros é inversamente proporcional à quantidade de água que temos no material [24]. Assim, este ensaio não mede diretamente a humidade, mas as mudanças da resistência elétrica no estrato. Há certas condições que nos podem dificultar as leituras como as condições meteorológicas, a degradação da parede e a presença de manchas e/ou colonização biológica [6].

O aparelho que demonstra estes resultados expostos seria um parecido com a Figura 13 [25] apresentado de seguida:



Figura 13 – Aparelho do ensaio de teor de humidade [25].

Uma das vantagens principais de utilizar este equipamento é que pode ser usado de forma a obtermos clarificações dos ensaios com os tubos de Karsten. Por exemplo, se o resultado da absorção de água pelo método dos tubos de Karsten em um revestimento for baixa, este ensaio clarifica se este comportamento é devido à baixa permeabilidade do revestimento ou se é devido a estar saturado de água da chuva ou altos teores de humidade da parede [4].

Para além dos descritos e ainda por descrever, o Laboratório de Física das Construções [26] dispõe de três aparelhos para que seja possível a medição da permeabilidade líquida:

- Um dos aparelhos permite a medição da permeabilidade à água dos rebocos exteriores de impermeabilização de paredes à base de ligantes hidráulicos, representado na Figura 14;
- Outro dos equipamentos, neste caso o equipamento GWT – 4000 representado na Figura 15, permite a realização de ensaios de permeabilidade superficial dos betões, tanto em paramentos verticais como horizontais. Este equipamento é usado para analisar microfissuras e porosidades da superfície do betão e do revestimento ou para testar as juntas e intensidade das membranas à prova de água;
- Por fim, o terceiro equipamento denominado como ELE – INTERNACIONAL 35-40-45 representado na Figura 16 permite a medição da permeabilidade líquida in situ.



Figura 14 – Equipamento de determinação da permeabilidade em provetes de reboco segundo Cashier [26].



Figura 15 – Equipamento de permeabilidade em betões [26].



Figura 16 – Equipamento de permeabilidade de paredes in situ [26].

O método de ensaio de permeabilidade de água sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten permite a avaliação de permeabilidade de água líquida de revestimentos de uma forma simples, rápida e, como nos outros ensaios já expostos, de forma não destrutiva. Este ensaio recebeu o seu nome de Rudolf Karsten que descreveu o método no seu livro de química de edifícios que foi primeiro publicado em 1963 e editado algumas vezes posteriormente [27]. Insere-se nos ensaios de permeabilidade à água líquida sob pressão (que como já referido é realizado com baixa pressão).

É avaliada a permeabilidade à água líquida em situações em que as superfícies não apresentam fissuras [6]. Os resultados obtidos com este ensaio correspondem ao volume de água absorvido por um revestimento (em cm^3) durante um período específico de tempo [28]. Os resultados obtidos por este método são muito sensíveis para as condições em que o teste é realizado. Apesar disto, uma das vantagens principais de recorrer ao ensaio de permeabilidade de água sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten é o facto de este refletir o comportamento da parede no seu estado atual [27]. O ensaio de absorção de água a baixa pressão utilizando o tubo de Karsten destina-se à determinação da permeabilidade à água líquida de materiais de construção a baixa pressão, como por exemplo a ação da chuva. A água fica em contacto direto com o material a ensaiar, criando-se uma determinada pressão. Dispõe-se de vários tubos que permite a medição da permeabilidade da água dos rebocos exteriores de impermeabilização de paredes de diversos materiais [27].

Fatores como as características da parede e do revestimento, meteorologia, degradação do revestimento e os procedimentos de ensaio são cruciais para serem obtidos resultados bons e fidedignos [29].

Pode-se verificar na Figura 17 uma imagem com os aparelhos utilizados para o ensaio de permeabilidade de água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten, desde o tubo utilizado em revestimentos (vertical) que pode ter o aspeto dos primeiros quatro tubos visualizáveis na figura, até ao tubo utilizado em pavimentos (horizontal) que se encontra mais à direita na figura referida. Na Figura 18, verifica-se o tubo de Karsten *in situ* e ainda na Figura 19

temos presente uma vista horizontal de como o tubo de Karsten se aplica no revestimento das fachadas:



Figura 17 – Tubos de Karsten [27].



Figura 18 – Tubos de Karsten *in situ* [27].

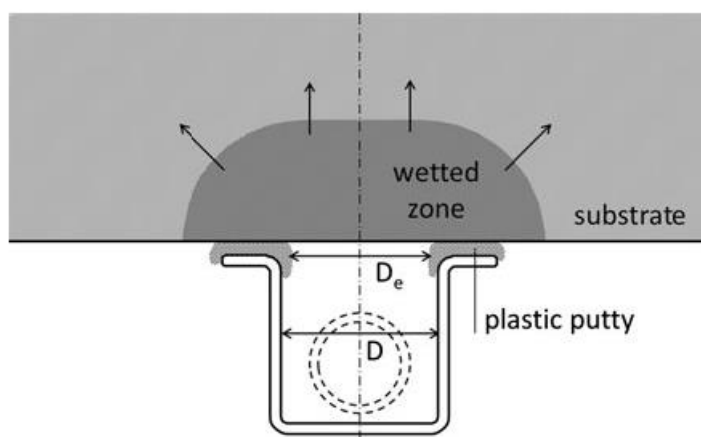


Figura 19 – Secção horizontal do tubo de Karsten *in situ* [27].

2.4 CASOS DE ESTUDO COM RECURSO A TUBO DE KARSTEN

No presente subcapítulo da dissertação irá-se expor alguns casos de estudo que utilizaram o ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten no estudo da forma de obter-se uma base para o trabalho que se irá realizar numa fase posterior do presente documento. O principal objetivo destes casos de estudo é comum que será a medição da absorção da água sob pressão em fachadas verticais.

2.4.1 ESTUDO DE JANG E VILES

O estudo de Jang e Viles [30] “*Moisture Interactions Between Mosses and Their Underlying Stone Substrates*” tem como principal objetivo a determinação do impacto de fungos em regimes de humidade e nos substratos subjacentes. Utiliza-se métodos não destrutivos e não invasivos para obter as respostas expostas ao objetivo levantado acima e, neste caso específico, analisa-se apenas o caso de estudo em que é utilizado o ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten.

No que toca a materiais foram analisadas misturas criadas em laboratório e foram elaborados testes *in situ* de calcário e argamassa cimentícia [30].

Neste teste foram conduzidos 82 ensaios com os tubos de Karsten. Os resultados que foram obtidos em laboratório utilizam provetes que não sofreram alterações como, por exemplo, envelhecimento (N = 24). Os ensaios *in-situ* foram conduzidos ensaios em diferentes locais como na *Kelmscott Manor* (N = 3) e no *Chip-ping Norton* (N=57) em Inglaterra, ambas estas localizações são fachadas revestidas de pedra. De seguida apresenta-se na Figura 20 os valores obtidos do ensaio.

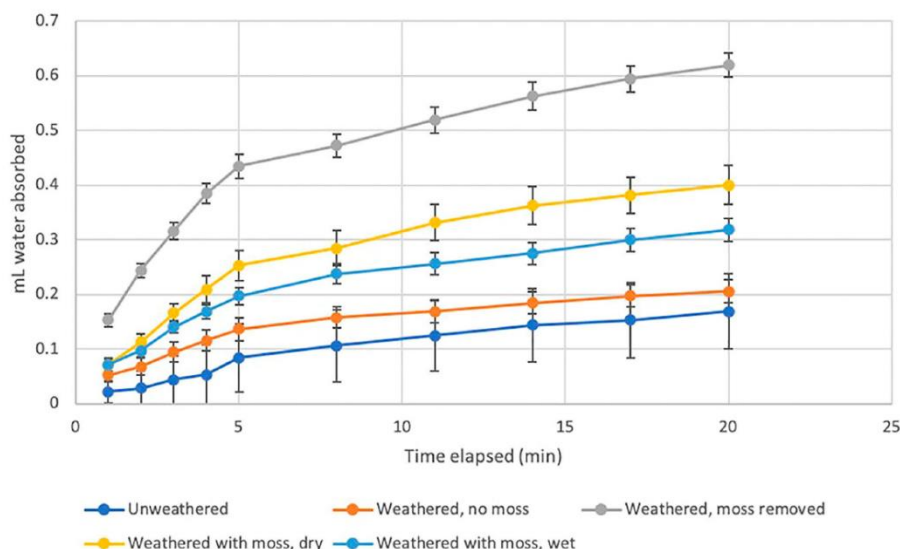


Figura 20 – Resultados de ensaios de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten de laboratório e de in situ (N = 82) [30].

Como se pode verificar pela Figura 20, os testes conduzidos no material de pedra calcária que não sofreu alterações em laboratório foram os que absorveram o menor volume de água. Os materiais que não tinham musgos presentes apresentavam um menor coeficiente de absorção de água enquanto que os materiais que tiveram o seu musgo removido ou deixado presente no mesmo apresentavam uma maior absorção de água que os outros casos observados. É de notar também que nas áreas em que o musgo foi removido apresentavam o maior volume de água absorvida do que as áreas em que o musgo não foi removido.

2.4.2 ESTUDO DE ARROMBA E BELLEI

O segundo caso de estudo que se analisa é conduzido por Bellei e Arromba [31] com o título “*Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques*”.

Como o título indica, este estudo teve como objetivo principal a utilização de metodologias de ensaios in situ para determinar o desempenho de alvenaria e de betão como fachadas.

Assim, os materiais utilizados foram escolhidos devido ao seu uso frequente. Dois tipos de cimentos foram utilizados:

- um cimento 1:4 de cimento areia como é habitualmente utilizado *in situ*;
- um cimento industrial com um rácio 6,7 L de água por cada 30 Kg de pó de mistura.

Os modelos presentes no atual caso de estudo são confeccionados com uma mistura de argamassa tradicional ou industrial e de um substrato de tijolo ou de betão. Para além disso seguem uma preparação da superfície de substrato em que pode não ser humidificado, borrficado duas vezes com água ou sofrer uma imersão total em água durante 24h. Para cada possível combinação foram produzidos 2 modelos. Na Figura 21, temos os resultados deste ensaio aos 28 dias e 90 dias como referido na legenda da mesma.

Para o estudo do tubo de Karsten criou-se uma junção de argamassa e substrato com dupla borrficação de água de :

- Modelos tradicionais de argamassa aplicada sobre substrato de tijolo (TT3_2P)
- Modelos tradicionais de argamassa aplicada sobre substrato de betão (TB3_2P)
- Modelos de argamassa industrial aplicada sobre substrato de tijolo (IT3_2P)
- Modelos de argamassa industrial aplicada sobre substrato de tijolo (IB3_2P)

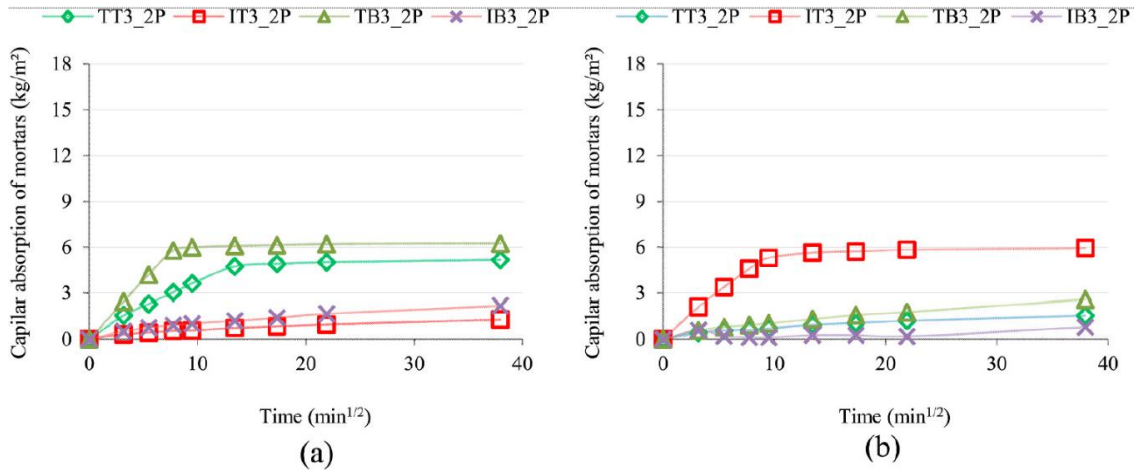


Figura 21 – Resultados do ensaio com o ensaio de permeabilidade à água líquida utilizando os tubos de Karsten após (a) 28 dias e (b) 90 dias [31].

Deste estudo pode-se retirar dois tipos de conclusões: como o tipo de material e como a preparação do mesmo afetam a absorção da água.

A partir dos resultados do ensaio à permeabilidade à água líquida utilizando os tubos de Karsten percebe-se que as argamassas aplicadas em betão mostraram valores de absorção de água muito mais elevados do que os aplicados em tijolo, especialmente em modelos em que não se verificou pré-hidratação da superfície do substrato. No entanto, foi concluído que a argamassa tradicional tem uma maior permeabilidade à água líquida do que a argamassa industrial que era repelente.

Da mesma forma, é possível concluir-se que em ambas as superfícies dos modelos utilizados, os modelos que foram preparados com pulverização dupla foram os que absorveram menos volume de água. Além disso, verificou-se também que os modelos com esta pulverização dupla foram os que obtiveram um melhor desempenho da argamassa aplicada.

2.4.3 ESTUDO DE DUARTE E GALVÃO

No terceiro caso de estudo que irá ser analisado, do estudo de Galvão e Duarte [4] com o título “*Non-destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure*” irá se analisar, novamente, os resultados do ensaio à permeabilidade de água líquida com recurso aos tubos de Karsten nas fachadas descritas no documento presente.

Este caso de estudo foi realizado no Carregado, Portugal. O local é uma fábrica industrial construída em 2004 em que se acompanha a conceção dos produtos pré-misturados ao longo do tempo.

As paredes consistem em alvenaria de 7 cm com revestimento monocamada de argamassa aplicado em 2 m² e 4 m² em diferentes orientações de fachada. Na Figura 22 apresenta-se uma imagem que ilustra melhor as fachadas que aqui foram descritas e na Tabela 3 uma caracterização geral das mesmas.

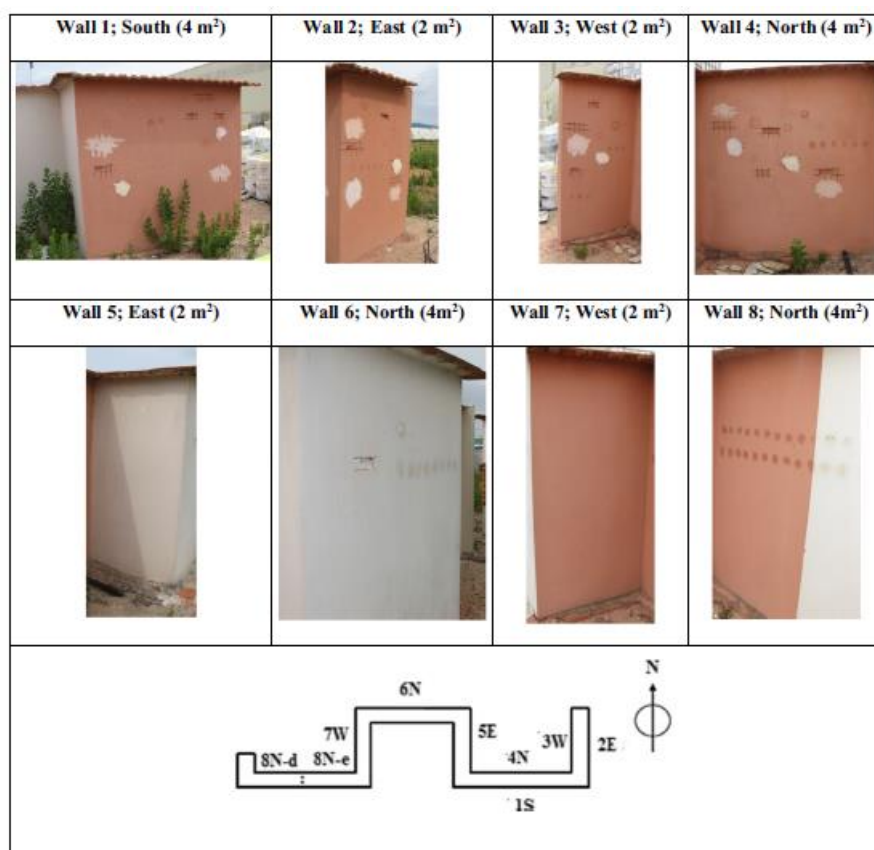


Figura 22 – Paredes testadas no caso de estudo 3 [4].

Tabela 3 – Caracterização Geral das paredes expostas no estudo de Galvão, Duarte [4].

Parede	Granulometria de areia	Cor	Acabamento	Rugosidade
1S	Médio	Tijolo	Raspado	Média
2E	Médio	Tijolo	Raspado	Média
3W	Médio	Tijolo	Raspado	Média
4N	Médio	Tijolo	Arenosa	Baixa

Na Tabela 4 e Figura 23 apresenta-se os resultados do ensaio aos 49 meses e na Figura 24 uma exposição do desenvolvimento da absorção da água ao longo do tempo.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão utilizando os tubos de Karsten após 49 meses no estudo de Duarte e Galvão adaptado de Galvão, Duarte [4].

Parede	Absorção de água acumulada				
	Max. (cm³)	Min. (cm³)	Média (cm³)	SD (cm³)	CV (%)
1S	0,85	0,35	0,62	0,25	41,0
2E	0,10	0,1	0,10	0,00	0,00
3W	0,30	0,25	0,28	0,04	13,0
4N	0,00	0,00	0,00	0,00	a/n

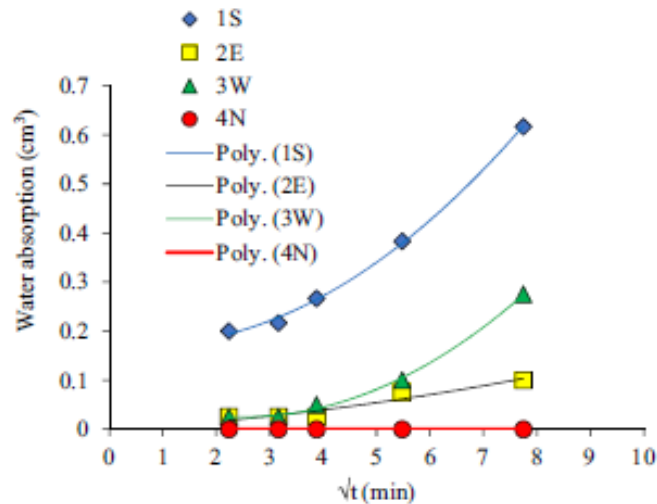


Figura 23 – Absorção de água nas paredes ao longo de 49 meses no estudo de Duarte e Galvão [4].

Esta técnica mostrou um valor de CV (Coeficiente de variação) baixo (máximo de 41%). Segundo os resultados expostos na Figura 23 a parede 4N cuja fachada se encontra orientada a norte e o revestimento apresenta uma textura arenosa apresenta-se impermeável, no entanto, a parede 1S cuja fachada se encontra orientada a sul e de textura raspada absorveu uma média de $0,62 \text{ cm}^3$ de água. Segundo a Figura 23, é verificou-se que na parede 3W cuja fachada se encontra orientada a oeste ocorreu uma percolação de água atendendo a que entre os tempos do ensaio aos 30 e 60 minutos notou-se um corpo de água à volta do tubo e a absorção de volume de água nessa altura aumentou consideravelmente.

Na Figura 24 encontra-se representado a comparação dos valores obtidos para o caso de estudo do no presente (aos 49 meses) com os valores temporais de outros casos de estudo para o mesmo local.

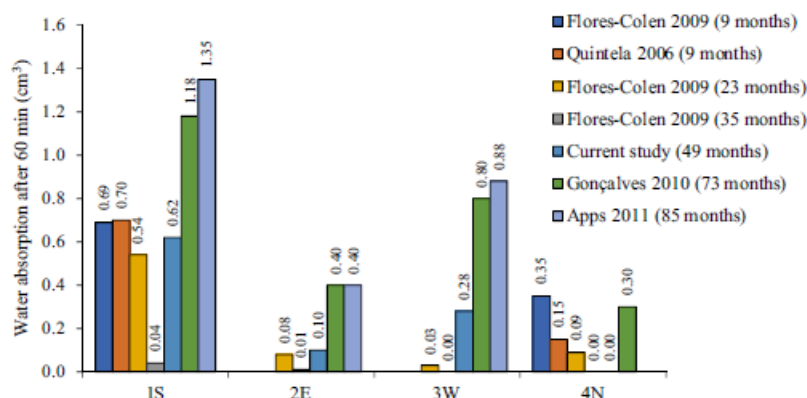


Figura 24 – Evolução dos resultados do ensaio com recurso aos tubos de karsten ao longo do tempo no estudo de Duarte e Galvão [4].

A partir da Figura 24 nota-se um decremento da absorção em todas as paredes desde os 9 meses até aos 35 meses. No entanto, nos meses que se seguiram notou-se, de uma forma geral, um aumento de absorção de água nas paredes.

2.4.4 ESTUDO DE FLORES-COLEN E DUARTE

Por fim, o ultimo caso de estudo a ser analisado será o de Duarte e Flores-Colen [25] o documento com o título de “*Variability of in-situ testing in Wall coating systems – Karsten tube and moisture meter techniques*”.

No presente caso de estudo, o local de realização do mesmo é em Lisboa, Portugal na sede do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), construído nos anos mais tardios de 1970 cujas paredes têm um historial de muitas impermeabilizações até ao presente. Foram testadas em 24 paredes revestidas tendo em conta vários aspetos como o tipo de revestimento, tecnologias utilizadas na conceção do revestimento. Apenas paredes com orientação para norte ou para sul foram alvo de estudo neste caso.

As paredes são construídas com alvenaria de 20 cm de espessura. Os revestimentos são de categoria tradicional e não tradicional sendo aplicadas em dupla camada com 2,5 cm de espessura ou numa só camada de 2 cm de espessura. Neste estudo foram analisadas 24 fachadas de 2 x 2 m² tendo em conta fatores como a idade e tipo de revestimento. No que toca aos revestimentos tradicionais foram analisados revestimentos de argamassa, baseados em calcário e de camadas de impermeabilização/ tinta. Nos revestimentos mais tecnologicamente avançados foram analisados revestimentos de uma camada de cor, isolamento térmico e membranas elastoméricas. Na Tabela 5 encontra-se a legenda dos acrónimos das paredes que foram alvo de estudo. Na Tabela 6 encontra-se a divisão das paredes em fachadas tradicionais e em fachadas não tradicionais. Em todas as paredes foi realizado o estudo da parede orientada a norte e a parede orientada a sul [25].

Tabela 5 – Legenda das paredes e tipo de textura de acabamento no estudo de Flores-Colen e Duarte adaptado de Duarte, Flores-Colen [25].

Legenda	Textura de acabamento
CR without finishing - Fachada tradicional sem acabamento	Liso
TPC - Acabamento de plástico espesso	Liso
PPWO - Pigmento de tinta com ocre	Liso
PWC - Revestimento impermeabilizado pigmentado	Liso
CAR - Fachada tradicional com cal hidráulica	Liso
CRCL - Fachada tradicional com areia de mina de corroios	Liso
CERAM. - Fachada tradicional com acabamento impermeabilizante de ligante sintético	Liso
CRP- Fachada tradicional	Liso
CFR - Fachada tradicional de fibra de vidro	Liso
PF - Fachada tradicional com fibra de polipropeno	Liso
CRCA - Fachada tradicional com cal aérea	Liso
MCPCD - Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo D	Raspado
NCMCPA - Revestimento não-tradicional de monocamada de cimento pré-doseado do tipo PA	Texturizado
NCRM - Revestimento não tradicional do tipo M	Texturizado
MCPCOSC - Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo O com acabamento grosso raspado	Raspado
MCPCOST - Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo O com acabamento de pedra	Raspado
MCPCWS - Revestimento não-tradicional de monocamada de cimento pré-doseado do tipo W (raspado)	Raspado
MCPCWR - Revestimento não-tradicional de monocamada de cimento pré-doseado do tipo W (rugoso)	Texturizado
MCPCM6- Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo m6	Raspado
MCPCO - Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo O	Raspado
PCCR - Acabamento pré-doaseado com cimento do tipo R	Arenoso
PCCRC - Acabamento pré-doaseado com cimento do tipo RC	Raspado
MCPCMO - Revestimento monocamada de cimento pré-doseado do tipo MO	Raspado

Tabela 6 – Divisão das paredes em fachadas tradicionais e em fachadas não tradicionais adaptado de Duarte, Flores-Colen [25].

Tipo de revestimento	
Fachadas tradicionais (CR)	CR without finishing
	TPC
	PPWO
	PWC
	CAR
	CRCL
	CERAM.
	CRP
	CFR
	PF
	CRCA
	MPCD
	NCMCPA
	NCRM
Fachadas não tradicionais (NCR)	MCPCOSC
	MCPCOST
	MCPWS
	MCPWR
	MCPCM6
	MCPCO
	PCCR
	PCCRC
	MCPCMO

Na Figura 25 estão expostos os resultados para as paredes tradicionais e ETICS (que foi incluído apenas para questões de comparação). As paredes tradicionais constituídas por cal hidráulica e areia de rio apresentam um valor de absorção de água (16 cm^3) muito mais elevado do que o da parede tradicional (4 cm^3). Nota-se também que as paredes tradicionais que são compostas de argamassa, cal aérea e areia de rio têm também um valor de absorção de água mais elevado ($6,23$ e $10,53 \text{ cm}^3$ nas orientações de sul e norte, respetivamente) do que a parede tradicional. Conclui-se assim que as paredes que são formadas por cal absorvem muita mais água do que as paredes que não as têm presentes devido ao facto de serem muito mais porosas do que as seguintes. Nas paredes Ceram (constituídas por cimento e areia de rio 1:4) o uso de um impermeabilizante sintético permite que a absorção de água nestas paredes seja diminuída. É de notar também que as paredes com acabamento pigmentado apresentaram boa resistência à água.

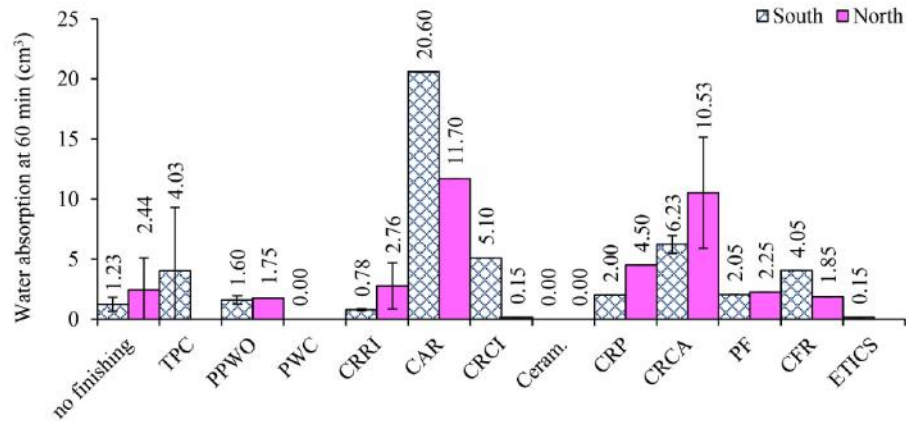


Figura 25 – Absorção de água nas paredes tradicionais no estudo de Flores-Colen e Duarte [25].

No que toca às paredes não tradicionais, representado na Figura 26 notou-se que o revestimento de betão com acabamento de pedra (MCPCOST) tanto orientado para sul como para norte mostrou números significativos para a absorção de água comparando com as outras fachadas não tradicionais. Apesar de a parede ser pigmentada acredita-se que estes valores exorbitantes tenham sido devidos à perda de eficiência do repelente. No entanto é de notar que, em média, o valor da absorção da água nestas paredes é de $0,80 \text{ cm}^3$ (excluindo a parede em cima referida) que, por sua vez, é um valor mais pequeno do que os apresentados nas paredes tradicionais.

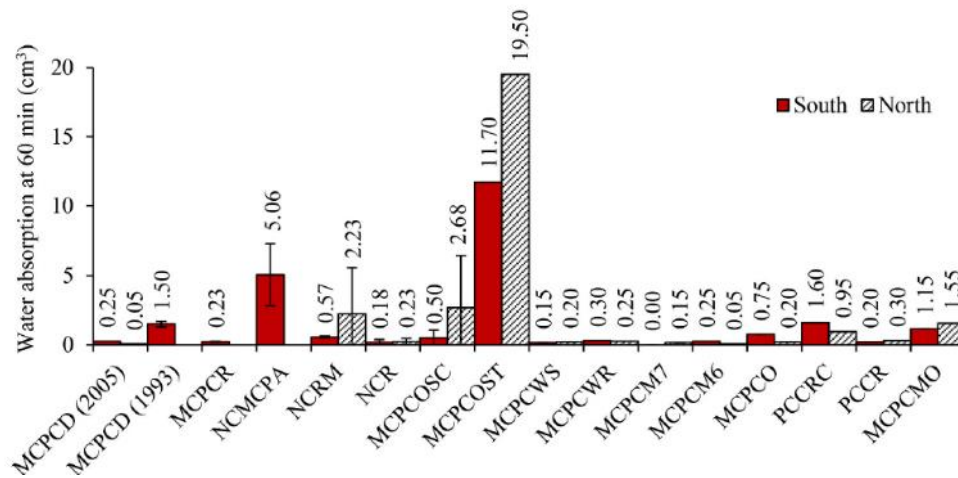


Figura 26 – Absorção de volume de água nas paredes não tradicionais no estudo de Flores-Colen e Duarte [25].

No que toca ao estudo da rugosidade das paredes, representado na Figura 27, as superfícies que na Tabela 5 são definidas como arenosas e raspadas são classificadas como rugosidade baixa/média. Nestas paredes a textura da superfície não influenciou o desempenho do teste. No entanto, nas paredes com irregularidades significativas foram classificadas de rugosidade elevada e estas fizeram com que a aplicação do ensaio tenha sido dificultada. A partir da Figura 27 podemos retirar que, de uma forma geral, quanto maior for a rugosidade maior será a absorção da água, notando também, as devidas exceções.

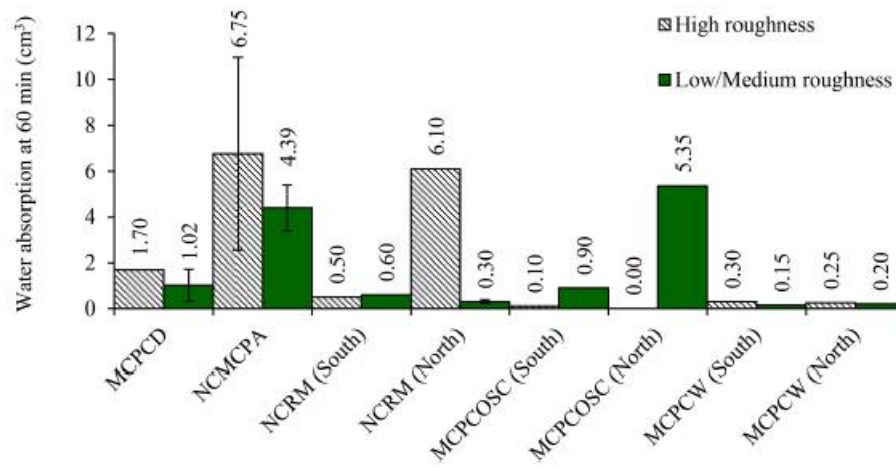


Figura 27 – Resultados em média do ensaio de de permeabilidade de água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten nas paredes não tradicionais, dependendo da rugosidade das mesmas no caso de estudo 4 [25].

Por fim, na Figura 28 as condições de inspeção foram classificadas em 3 estados diferentes: Sol, Nublado e a Chover. A sensibilidade da meteorologia foi apenas conduzida em paredes tradicionais. Durante o estudo das paredes não tradicionais o estudo foi conduzido em condições em que estava apenas Sol. Esta figura mostra-nos que em condições nubladas a absorção da água é maior do que quando está apenas Sol. É de notar também que na parede não tradicional sem revestimento em condições de Sol a absorção de água é menor do que em condições de Chuva, no entanto, na parede tradicional com acabamento de tinta com pigmentação notamos o contrário, em que o valor de absorção de água em condições de Chuva é menor do que em condições de Sol.

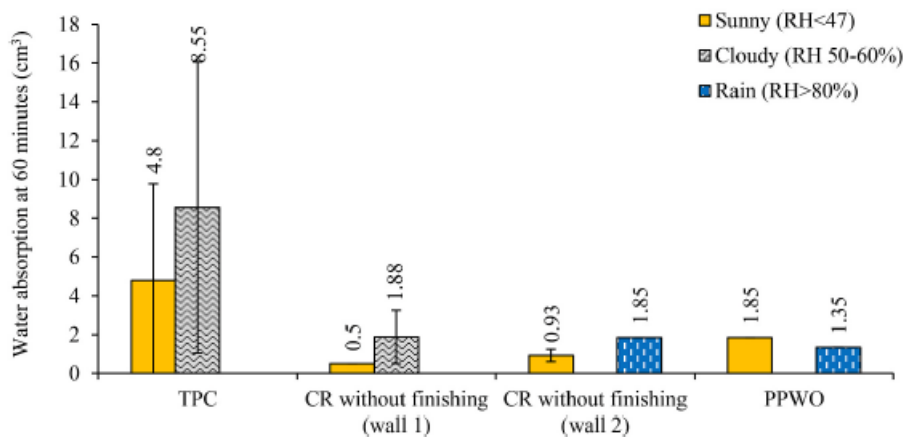


Figura 28 – Influência da meteorologia na sensibilidade do ensaio de de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão com recurso aos tubos de karsten nas paredes tradicionais no caso de estudo 4 [25].

3

CAMPANHA EXPERIMENTAL

Os casos de estudo presentes na atual dissertação surgem da mesma base: edifícios revestidos de pedra calcária. Na escolha dos edifícios é também posto em conta a proximidade marítima dos mesmos de forma a melhor se estudar a degradação da pedra calcária pelo efeito de agentes marítimos.

Todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições meteorológicas em que a deslocação aos locais de ensaio apenas foi realizado em condições de céu limpo com sol.

3.1 CASO DE ESTUDO 1

O caso de estudo 1 encontra-se localizado na Rua Companhia dos Caolinos porta nº 188 localizado no concelho de Matosinhos na freguesia da Senhora da Hora. Este edifício foi construído no ano 2000. O edifício encontra-se a aproximadamente 5 km do mar como representa a Figura 29.

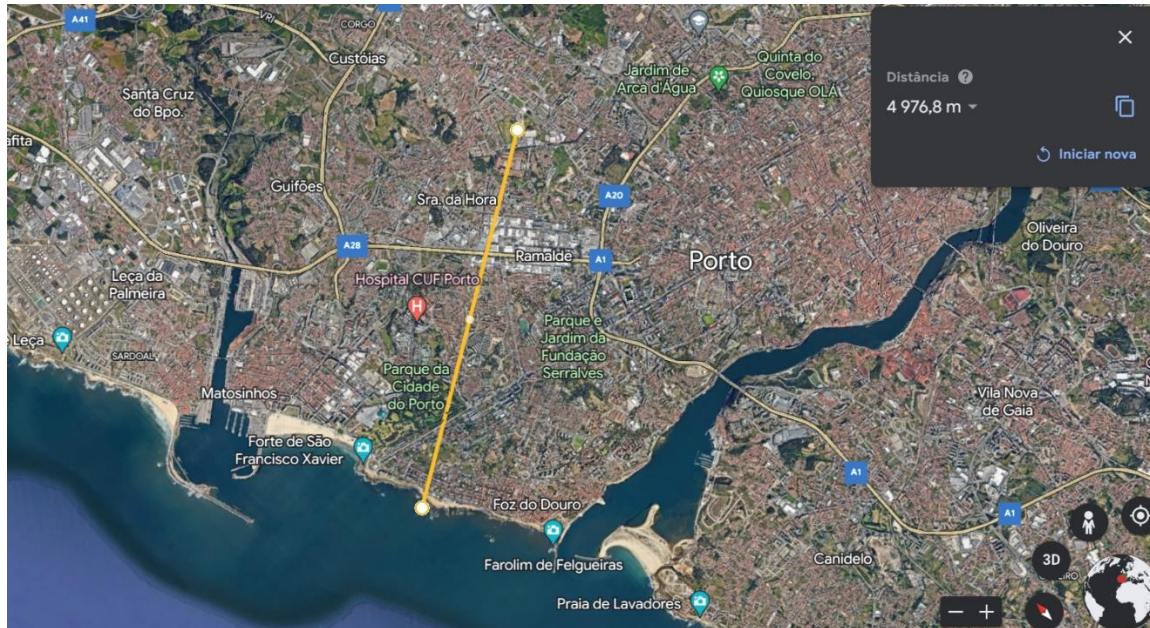


Figura 29 – Distancia do mar à localização do edifício do caso de estudo 1.

Na Figura 30 encontra-se uma representação dos limites do edifício que foi alvo de estudo no caso de estudo 1. Nas figuras que seguem têm-se a representação das fachadas onde foram conduzidos ensaios de permeabilidade á água líquida com recurso aos tubo de Karsten, sendo que a Figura 31 representa a fachada orientada a Sul, a Figura 32 representa a fachada orientada a Este, a Figura 33 representa a fachada orientada a Norte e, por fim a Figura 34 representa a fachada orientada a Oeste.

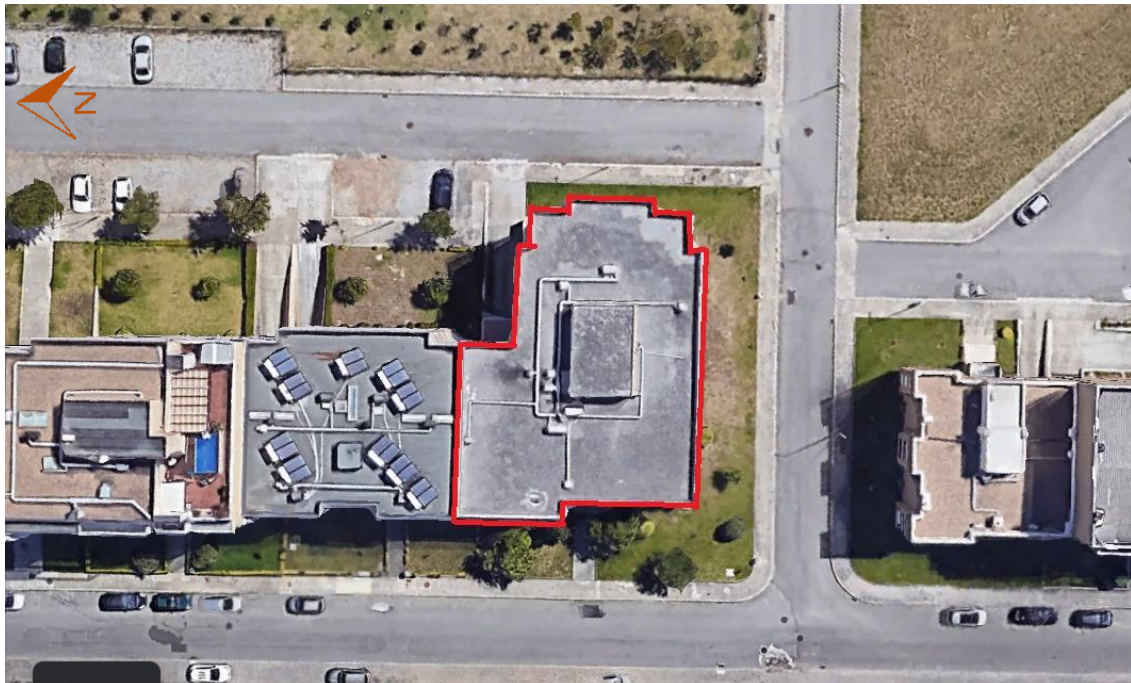


Figura 30 – Visualização em planta do lote do caso de estudo 1.



Figura 31 – Fachada orientada a Sul da parede do caso de estudo 1.



Figura 32 – Fachada orientada a Este do caso de estudo 1.

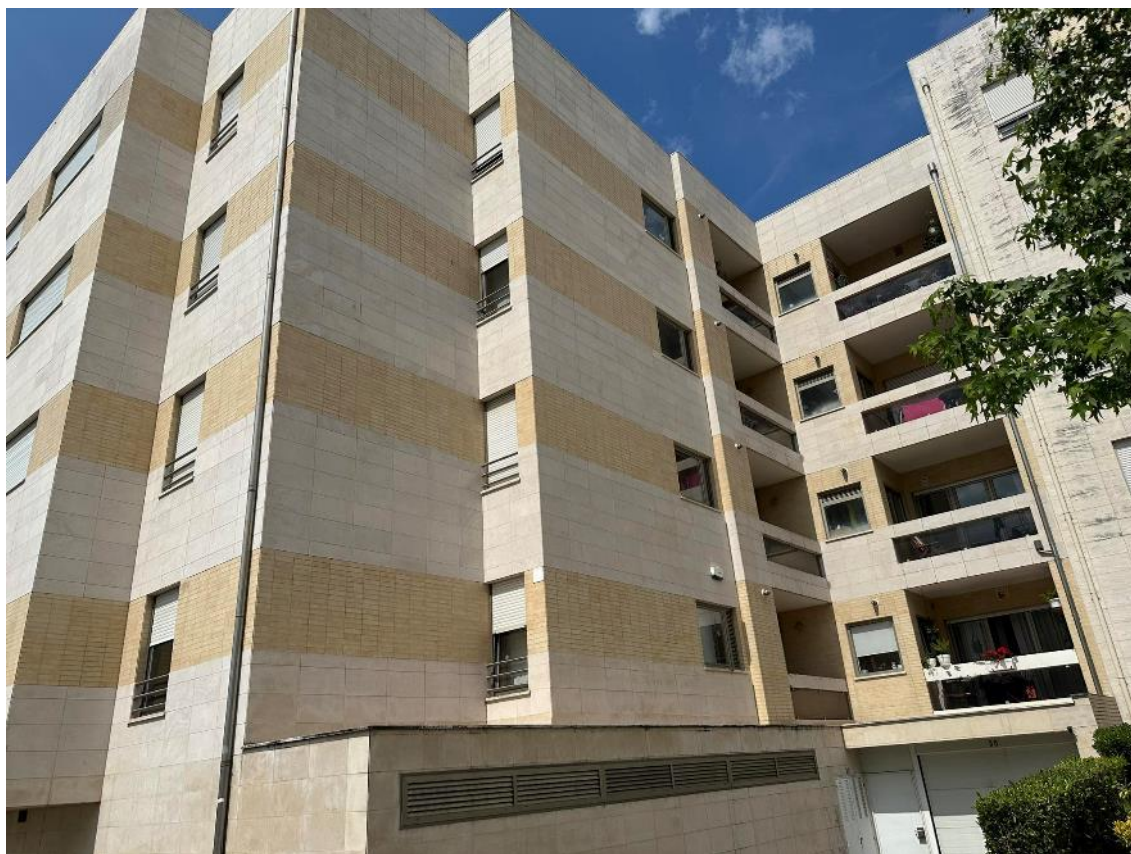


Figura 33 – Fachada orientada a Norte do caso de estudo 1.



Figura 34 – Fachada orientada a Oeste do caso de estudo 1.

No presente caso de estudo, as fachadas orientadas para o Sul e Este foram parcialmente reabilitadas recentemente de modo a corrigirem-se problemas de infiltrações no interior das frações autónomas. Os revestimentos destas orientações que foram alvo de reabilitação encontram-se delimitadas a vermelho na Figura 36. No que toca à pedra calcária que foi utilizada para reabilitação esta é igual à colocada na fase de construção, tratando-se de moleanos M11 (cujo aspeto se encontra na Figura 35) cujas propriedades são :

- Resistência Mecânica à Compressão – 116 MPa;
- Resistência à Compressão após Gelo (48 ciclos) – 82 Mpa;
- Resistência à flexão sobre Carga Centrada – 14,3 Mpa;
- Resistência à Flexão sobre Carga Centrada após Gelo (48 ciclos) – 8,8 Mpa;
- Massa volúmica aparente – 2529 Kg/m³;
- Porosidade Aberta – 5,4%;
- Absorção de Água à Pressão Atmosférica – 2,3 % Peso;
- Absorção de Água por Capilaridade – 25,30 g/m².s^{0,5};
- Resistência ao Escorregamento (Condições Secas) – 52 SRV;
- Resistência ao Escorregamento (Condições Húmidas) – 21 SRV;
- Resistência ao Desgaste por Abrasão (Capon) – 23,5 mm.



Figura 35 – Moleanos M11.



Figura 36 – Delimitação do revestimento de fachada que foi sujeito a reabilitação.

3.2 CASO DE ESTUDO 2

O caso de estudo 2 foi constituído por dois edifícios semelhantes localizados na Rua Roberto Ivens n° 369 e n° 383 pertencentes ao concelho de Matosinhos, na praia de matosinhos sul, construído em 2000 e 2001. Os edifícios encontram-se aproximadamente a 350 m do mar, estando na denominada “primeira linha de mar” como representado na Figura 37. Na Figura 38 encontra-se representado os limites dos lotes de ambas as entradas.

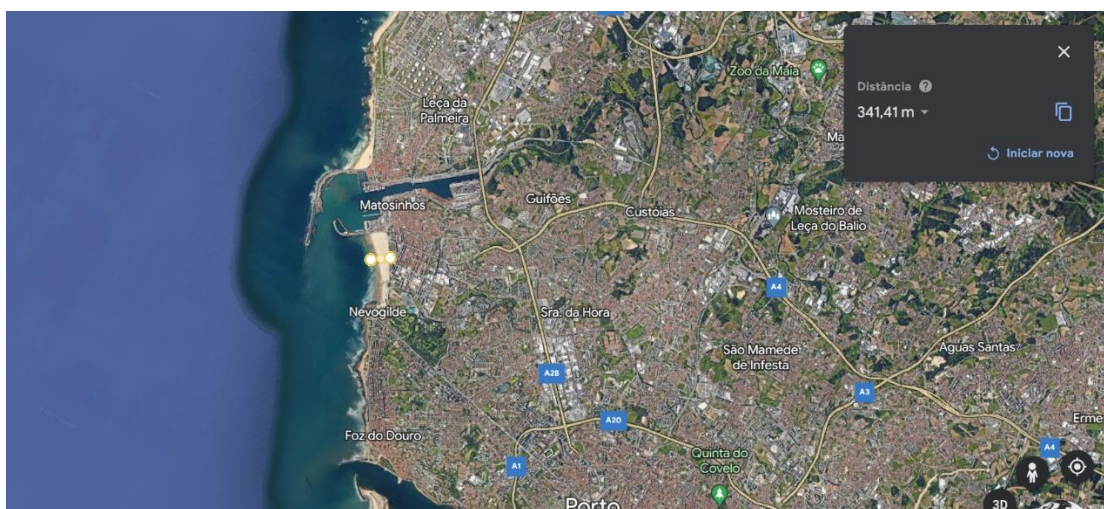


Figura 37 – Distância do mar à localização do edifício do caso de estudo 2.



Figura 38 – Visualização em planta dos lotes do caso de estudo 2.

A Figura 39 representa a fachada orientada a norte, a Figura 40 representa a fachada orientada a Este, a Figura 41 representa a fachada orientada a Sul e, por fim, a Figura 42 representa a fachada orientada a Oeste.



Figura 39 – Fachada orientada a Norte da parede do caso de estudo 2.



Figura 40 – Fachada orientada a Este da parede do caso de estudo 2.



Figura 41 – Fachada orientada a Sul da parede do caso de estudo 2.



Figura 42 – Fachada orientada a Oeste da parede do caso de estudo 2.

Em ambas as entradas dos edifícios referenciados foi utilizado a mesma solução de revestimento Moca Creme Relvinha (cujo aspeto do material se encontra representado na Figura 43). As propriedades técnicas deste material são [32]:

- Resistência mecânica à compressão – 760 kg/cm²;
- Resistência mecânica à compressão após teste de gelividade – 796 kg/cm²;
- Resistência mecânica à flexão – 176 kg/cm²;
- Massa Volúmica aparente – 2433 kg/m³;
- Absorção da água à Pressão Atmosferica Normal – 3,60%;
- Porosidade aberta – 8,92%;
- Coeficiente de dilatação linear térmica – $3,40 \cdot 10^{-6}$ per °C;
- Resistência ao desgaste – 4,20mm;
- Resistência ao choque: altura mínima de queda – 30-35cm.



Figura 43 – Moca Creme Relvinha [32].

Neste momento o prédio com a entrada nº369 encontra-se a ser completamente reabilitado e na fase final do processo utilizando uma solução de revestimento Dekton Protek (cujo aspeto se encontra representado na Figura 44) da marca Consentino. É uma superfície ultracompacta criada através de um processo de sinterização, compactação e secagem pela marca. A garantia comercial sem manutenção é de 10 anos. As especificações técnicas são [33]:

- Alta densidade - >2440 -2610 Kg/m³;
- Resistência à flexão média - > 45 – 55 N/mm²;
- Expansão térmica linear < 6,5 – 5,1 10⁻⁶ °C⁻¹;
- Porosidade - < 0,1%;
- Condutividade térmica – 0,8 – 0,6 W/m W/m °K;
- Reação ao fogo e a altas temperaturas – Euroclass A1;
- Cor estável à radiação UV – Delta E < 1 após 5000 h no teste da câmara de xénon;
- Dureza – 7/10 na escala Mohs.



Figura 44 – Revestimento Dekton Proték [33].

3.3 METODOLOGIA DE ENSAIO

Como mencionado anteriormente no presente trabalho, o ensaio de absorção de água a baixa pressão utilizando o tubo de Karsten consiste na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de fachadas. A medida da permeabilidade por meio deste método pode ser usada para caracterizar o revestimento e também, indiretamente, o estado em que se encontra o material e o seu grau de degradação por meio de comparações.

Para tal, determina-se a quantidade de volume de água absorvido, sob baixa pressão, pela superfície de um revestimento, após decorridos determinados períodos de tempo: 5, 10, 15, 30, 40, 50 e 60 minutos. Dependendo do material, como por exemplo, o material ser muito poroso, os intervalos de tempo podem ser alterados para intervalos mais pequenos.

Para superfícies verticais é usada uma peça em forma de cachimbo, visualizável na Figura 45 e na Figura 46, que consiste num tubo graduado de 0 a 5 ml com uma parte inferior em formato cilíndrico cujo fundo é fechado. A secção do tubo que encosta à superfície de ensaio é aberta, tem uma superfície de 5,7 cm² e um bordo circular plano por onde o tubo é fixado à superfície a ensaiar. O total da altura da coluna de água aplicada à superfície, medida desde o meio da secção até à graduação superior, é de 9,8 cm, o que corresponde a uma pressão de 961,38 Pa. Utiliza-se também um material selante que permita fixar os tubos às superfícies a ensaia. Este material deve ter a capacidade de impermeabilização da ligação tubo-suporte, ser de fácil remoção e de não causar qualquer estrago ou alteração às superfícies a testar. O material selante que se usou durante todo a campanha experimental da dissertação foi o Prestik cujas características são :

- Tipo - Base de polímero sintético
- Aparência - Massa flexível esbranquiçada
- Densidade (g/cm^3) - 1,6
- Sólidos (%) - 100

Para realizar o ensaio é também necessário um cronómetro de forma a registar corretamente os intervalos de tempo entre medições.



Figura 45 – Representação da colagem do tubo de Karsten no revestimento da fachada (Juntas).



Figura 46 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada (Seio da pedra).

A técnica do ensaio, que se obteve através das fichas de ensaio do LNEC “*MÉTODOS DE ENSAIO DE REVESTIMENTOS DE PAREDE EXISTENTES*” envolve a seguinte sequência de operações [34]:

- Limpa-se, se necessário, a superfície do revestimento onde se vai realizar a medição;
- Cobre-se a superfície do bordo do tubo que irá ficar em contacto com o revestimento com o material selante, evitando o excesso para que este não influencie posteriormente a área real do material que se presume estar em contacto com a água;

- Fixam-se os tubos às zonas de parede a serem ensaiadas, pressionando-os sobre a parede, em geral devem de ser utilizados 3 tubos por zona;
- Aguarda-se o tempo necessário para garantir uma boa fixação e selagem dos tubos;
- Enchem-se os tubos com água até à graduação de 0 ml e espera-se o período mínimo fixado para efetuar a primeira leitura em cada um dos (três) tubos, com base no nível da água observado nos tubos;
- Após decorrer o tempo estipulado e se ter registado o valor do volume de água absorvido é enchido novamente o tubo até à graduação de 0 ml;
- Repetem-se as leituras nos intervalos de tempo definidos seguintes.

Em ambos os casos, foram realizados os 3 ensaios descritos nas instruções da técnica do ensaio na zona do seio (Figura 46) do revestimento e na zona da junta (Figura 45) do revestimento fazendo-se assim dois casos de resultados ao mesmo tempo. A nomenclatura de cada ensaio é lida da esquerda para a direita como representado na Figura 47 em que dentro dos casos temos 3 sub-casos para depois ser inserida na tabela e proceder à análise de dados de cada caso. Os ensaios foram realizados tanto no piso térreo como no topo da fachada sendo representado este último na Figura 48.

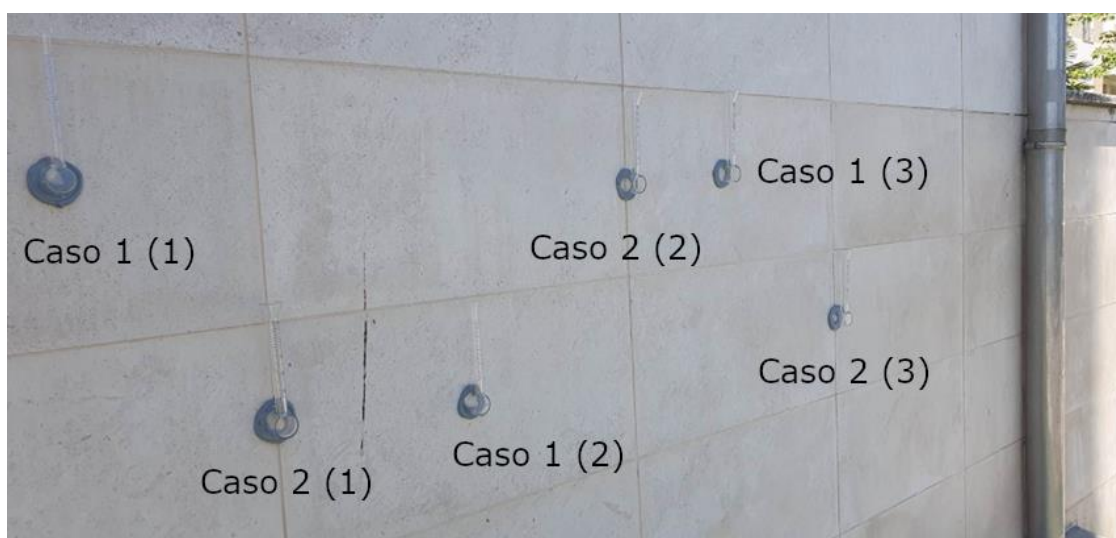


Figura 47 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada no local do piso térreo.



Figura 48 – Representação da colagem dos tubos de Karsten no revestimento da fachada no topo da fachada.

O resultado do ensaio exprime-se pelos valores de água absorvida, em ml/cm^2 , em cada um dos pontos de medição, e pela respetiva media aritmética. O cálculo da quantidade de água absorvida (W_i) por área num determinado período de tempo (t_i) é dado pela expressão:

$$W_i = \frac{Q_i}{A}$$

Em que W_i representa a quantidade de água absorvida por unidade de área [ml/cm^2], num determinado período de tempo i , [min], Q_i representa a quantidade de água absorvida num determinado período de tempo [ml] e A representa a área do ensaio [cm^2].

3.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ENSAIO

No presente sub-capítulo apresenta-se a metodologia utilizada na campanha experimental para uma correta análise dos resultados dos ensaios que foram realizados utilizando o ensaio de absorção de água sob baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten.

As tabelas de resultados que se encontram presentes no capítulo 4 encontram-se divididas em 5 partes que identificam os diferentes ensaios:

- Caso – identifica o número associado a cada ensaio;
- Orientação – identifica a orientação de fachada associada a cada ensaio;
- Zona – identifica em que zona decorreu o ensaio que nos dois diferentes casos de estudo pode ter decorrido no seio ou na junta do revestimento da fachada;
- Tipo de revestimento – identifica o revestimento presente na fachada que nos dois diferentes casos de estudo pode estar associado a pedra calcária antiga, pedra calcária nova ou revestimento decton;
- Local – identifica o local onde foi realizado o ensaio sendo que nos dois diferentes casos de estudo pode estar associado a piso térreo (base), topo do edifício e zona resguardada do edifício em que se encontra a análise da permeabilidade de água do edifício;

No Anexo I e no Anexo II apresentam-se as folhas de ensaio com os resultados em detalhe de cada um dos casos que se apresentam de seguida no capítulo.

Nas tabelas e gráficos posteriormente expostos no capítulo 4, a nomenclatura de cada caso é apresentada sob a forma de acrónimo. Na Figura 49 apresenta-se a forma de desconstruir os acrónimos de forma e de seguida o que cada sigla significa de forma a compreender com maior facilidade o que se está a observar nos diversos gráficos representativos dos valores obtidos.

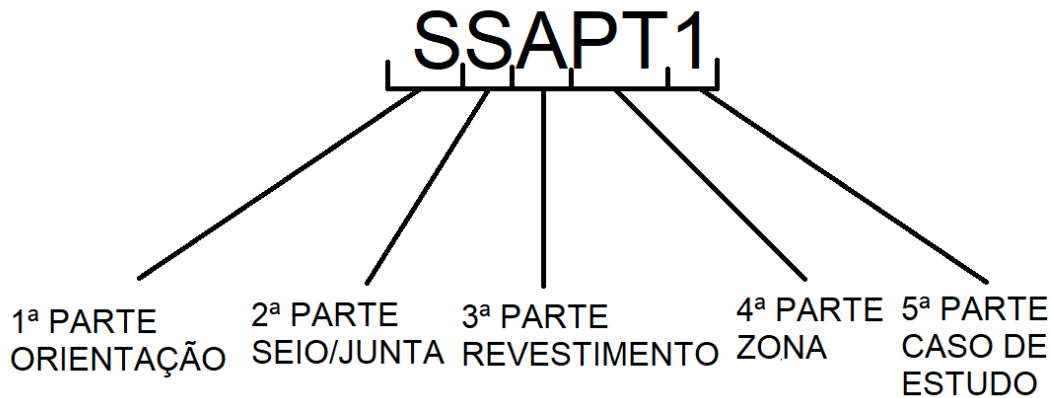


Figura 49 – Divisão de partes do acrónimo da identificação dos casos de estudo.

Na 1ª parte do acrónimo dá a saber a orientação da fachada que pode ser:

- S – Orientação Sul;
- N – Orientação Norte;
- O – Orientação Oeste;
- E – Orientação Este.

Na 2ª parte do acrónimo tem onde foi colocado o tubo de Karsten daqui pode ser:

- S – O tubo foi colocado no seio do revestimento;
- J – O tubo foi colocado na junta do revestimento;

Na 3ª parte do acrónimo tem o tipo de revestimento que a fachada apresentava e que pode ser:

- A – Pedra calcária antiga;
- N – Pedra calcária nova;
- RA – Reboco antigo;
- RN – Reboco novo;
- D – Degradado;
- RD – Revestimento Dekton.

Na 4ª parte do acrónimo representa-se o local onde foi realizado o ensaio e daqui as localizações podem ser:

- PT – Piso Térreo (Base);
- T – Topo do edifício;
- R – Resguardado.

Por fim, na última parte do acrónimo está identificado em que caso de estudo estamos especificamente:

- 1 – Caso de estudo 1;
- 2 – Caso de estudo 2.

Em ambos os casos de estudo serão realizados 4 ensaios em todas as orientações nos revestimentos de fachadas das pedras calcárias originais de cada edifício em diferentes zonas:

- Um ensaio no seio da zona do piso térreo;
- Um ensaio no seio da zona do topo do edifício;
- Um ensaio na junta da zona do piso térreo;
- Um ensaio na junta da zona do topo do edifício.

3.4.1 CASO DE ESTUDO 1

No primeiro caso de estudo (localizado na Rua Companhia dos Caolinos entrada nº 188) foram realizados 26 ensaios por intermédio de todos de Karsten (ver Tabela 7).

Para além do estudo das pedras calcárias originais do edifício, foi também avaliado o desempenho da fachada revestida por pedra calcária nova, fruto das obras de reabilitação, de forma a poder haver uma comparação da solução utilizada.

No presente caso de estudo a zona de ensaio do topo do edifício é realizado na platibanda do mesmo (ver Figura 48).

É de notar que no edificio na fachada orientada a oeste estão presentes árvores que são da altura do edificio (ver Figura 50).

Por fim, foi também avaliada a permeabilidade à água líquida de uma zona da fachada orientada a sul localizada sob uma consola, estando por isso resguardada da incidência solar e da ação da chuva (Figura 51). Esta análise foi efetuada ao nível do piso térreo (base), tanto na zona do seio da pedra e como na zona das juntas entre pedras.

Tabela 7 – Descrição dos ensaios de tubo de Karsten no primeiro caso de estudo.

Caso	Orientação	Zona	Tipo de revestimento	Local	Acrónimo
1	Sul	Seio	Pedra calcária nova	Piso térreo elevado (base)	SSNPT1
2	Sul	Junta	Pedra calcária nova	Piso térreo elevado (base)	SJNPT1
3	Sul	Seio	Pedra calcária nova	Topo do edifício	SSNT1
4	Sul	Junta	Pedra calcária nova	Topo do edifício	SJNT1
5	Sul	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	SSAPT1
6	Sul	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	SJAPT1
7	Sul	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	SSAT1
8	Sul	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	SJAT1
9	Este	Seio	Pedra calcária nova	Piso térreo elevado (base)	ESNPT1
10	Este	Junta	Pedra calcária nova	Piso térreo elevado (base)	EJNPT1
11	Este	Seio	Pedra calcária nova	Topo do edifício	ESNT1
12	Este	Junta	Pedra calcária nova	Topo do edifício	EJNT1
13	Este	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	ESAPT1
14	Este	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	EJAPT1
15	Este	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	ESAT1
16	Este	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	EJAT1
17	Norte	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	NSAPT1
18	Norte	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	NJAPT1
19	Norte	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	NSAT1
20	Norte	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	NJAT1
21	Oeste	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	OSAPT1
22	Oeste	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (base)	OJAPT1
23	Oeste	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	OSAT1
24	Oeste	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	OJAT1
25	Sul	Seio	Pedra calcária antiga	Resguardado	SSAR1
26	Sul	Junta	Pedra calcária antiga	Resguardado	SJAR1

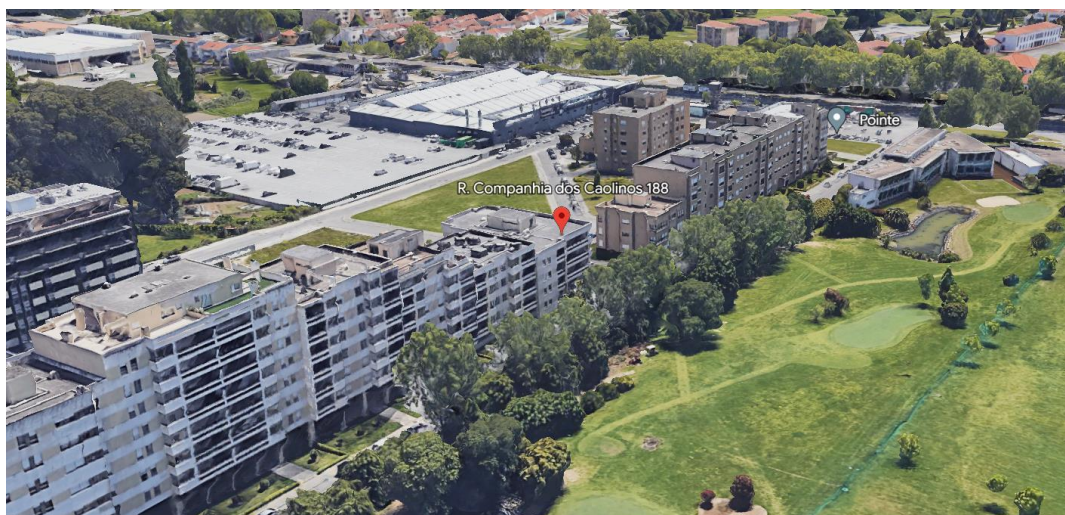


Figura 50 – Visualização do edifício em plano 3D.



Figura 51 – Local onde foram realizados os estudos para a zona resguardada do caso de estudo 1.

3.4.2 CASO DE ESTUDO 2

No segundo caso de estudo (localizado na Rua Roberto Ivens entradas nº369 e nº 383) foram realizados 22 casos de estudo (ver Tabela 8).

Para além do estudo das pedras calcárias originais do edifício, foi também efetuada uma avaliação do desempenho da fachada revestida por a nova solução de revestimento (Revestimento Dekton), fruto das obras de reabilitação, de forma a poder haver uma comparação da solução utilizada.

É de notar também que se realizaram ensaios em dois edifícios porque a entrada do edifício nº369 do presente caso de estudo já se encontrava praticamente reabilitada e não era possível realizar os ensaios nas fachadas revestidas de pedra calcária antiga sem se recorrer a ensaios na entrada nº383 do caso de estudo referido. No presente caso de estudo a zona referente a topo do edifício está associado à cobertura acessível do edifício.

Foram realizados, no presente caso de estudo, cinco ensaios particulares em que foram analisados os rebocos novo e antigo que se encontravam expostos, enquanto se processava a reabilitação do edifício. Foi também realizado um ensaio no seio do revestimento que se encontrava degradado (Figura 52). O local onde foi colocado o tubo de Karsten para o estudo deste revestimento degradado encontra-se delineado a vermelho.

Por fim, foi também avaliada a permeabilidade à água líquida de uma zona da fachada orientada a norte resguardada da incidência solar e da ação da chuva (Figura 53), tal como realizado para o Caso 1. Esta análise foi efetuada ao nível do piso térreo (base) e na zona do seio da pedra e na zona das juntas entre pedras.

Tabela 8 – Descrição de casos de estudo do segundo caso de estudo.

Caso	Orientação	Zona	Tipo de revestimento	Local	Acrónimo
1	Sul	Seio	Reboco Novo	Piso térreo elevado (base)	SSNPT2
2	Sul	Seio	Reboco Antigo	Piso térreo elevado (Base)	SSAPT2
3	Sul	Seio	Desprotegido	Piso térreo elevado (Base)	SSDPT2
4	Norte	Seio	Pedra calcária antiga	Resguardado	NSAR2
5	Norte	Seio	Revestimento Dekton	Piso térreo elevado (Base)	NSRDPT2
6	Norte	Junta	Revestimento Dekton	Piso térreo elevado (Base)	NJRDPT2
7	Sul	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	SSAPT2
8	Sul	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	SJAPT2
9	Sul	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	SSAT2
10	Sul	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	SJAT2
11	Oeste	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	OSAPT2
12	Oeste	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	OJAPT2
13	Oeste	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	OSAT2
14	Oeste	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	OJAT2
15	Norte	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	NSAPT2
16	Norte	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	NJAPT2
17	Norte	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	NSAT2
18	Norte	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	NJAT2
19	Este	Seio	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	ESAPT2
20	Este	Junta	Pedra calcária antiga	Piso térreo elevado (Base)	EJAPT2
21	Este	Seio	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	ESAT2
22	Este	Junta	Pedra calcária antiga	Topo do edifício	EJAT2

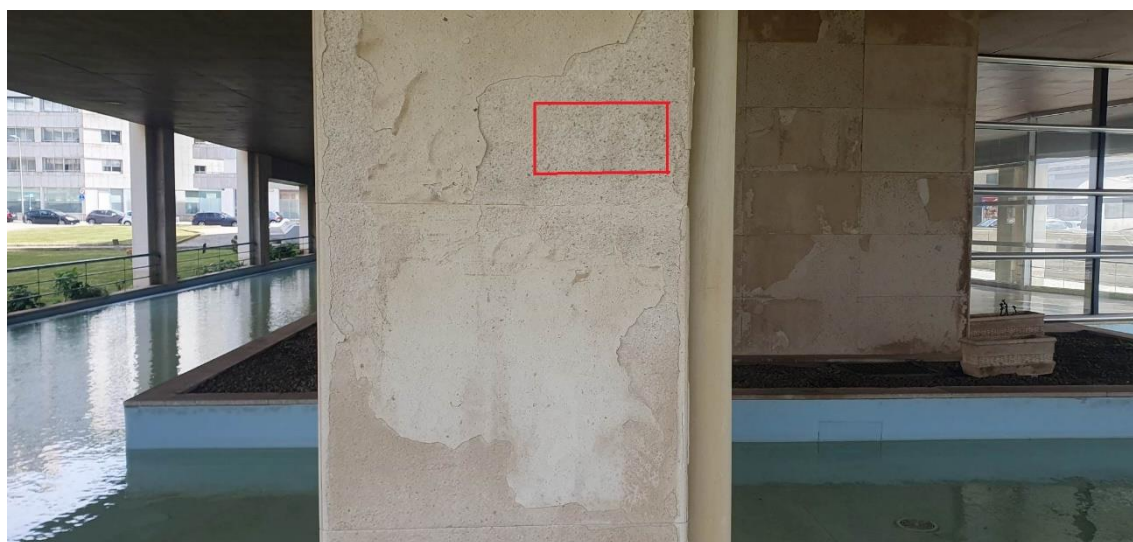


Figura 52 – Imagem identificativa do revestimento degradado do caso de estudo 2.



Figura 53 – Imagem identificativa do local resguardado do edifício do caso de estudo 2.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CASO DE ESTUDO 1

4.1.1 FACHADA SUL

Começando pelo gráfico dos valores obtidos na fachada sul, representado na Figura 54 e Figura 55, retira-se inicialmente que há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício presente na referida fachada.

4.1.1.1 Seio

Ao analisar os valores obtidos para a zona do seio na fachada orientada a sul, representada pela Figura 56, a pedra antiga na zona da platibanda (SSAT1) foi a zona que absorveu o maior volume de água para o seio da pedra, acabando com um total de 3,25 ml absorvidos. Na mesma zona a pedra calcária nova (SSNT1) absorveu um total 2,25 ml.

Por outro lado, na zona do piso térreo, foi registada a menor quantidade de água absorvida na zona de pedra calcária antiga no local resguardado do edifício, no piso térreo (SSAR1) tendo apenas absorvido 0,40 ml de água. Contudo, a pedra calcária antiga numa zona não resguardada do piso térreo (SSAPT1), apenas absorveu 0,47 ml de volume de água ao final dos 60 minutos de ensaio. Ainda na presente zona a pedra calcária reabilitada (SSNPT1) absorveu um total de 1,95 ml.

Apesar de a zona da platibanda da pedra calcária antiga (SSAT1) apresentar o valor mais elevado, o valor no piso térreo para o mesmo revestimento (SSAPT1) é menor em comparação com a mesma zona (piso térreo) revestida com pedra calcária nova (SSNPT1).

Na presente análise denota-se que os valores obtidos para o revestimento novo são muito elevados visto que a pedra foi recentemente reabilitada. Na zona do piso térreo a pedra obteve o 3º maior valor do gráfico. E no topo do edifício a pedra obteve o segundo valor mais alto. Relativamente à pedra nova verifica-se a mesma tendência para absorções mais elevadas nas plabitandas face ao pavimento térreo como a registada nas pedras antigas, embora ainda com diferenças bem inferiores (2,25 ml na platibanda e 1,95 ml absorvidos no piso térreo). Apesar de, por análise visual não ser possível identificar diferenças ao nível da pedra aplicada entre a reabilitação e a

construção original, os valores de absorção são significativamente inferiores na pedra antiga nomeadamente ao nível do piso térreo (0,47 ml de absorção no revestimento antigo e 1,95 ml no revestimento novo).

Ao realizar a comparação entre a pedra calcária antiga e a pedra calcária reabilitada, especificamente para os valores obtidos para a zona do seio, tanto na platibanda (SSNT1) como no piso térreo (SSNPT1), é evidente que a absorção de água no revestimento reabilitado continua a ser bastante elevada, o que não seria expectável à partida por se tratar de uma pedra nova.

4.1.1.2 Junta

Ao analisar o gráfico Figura 55 dos valores das juntas das pedras calcárias da fachada orientada a sul, observa-se que o maior volume de água absorvido ao fim de 60 minutos ocorreu na zona da platibanda revestida com pedra calcária antiga (SJAT1), alcançado um total de 3,98 ml de volume de água absorvido. Na mesma zona, as juntas na zona reabilitada (SJNT1) absorveram um total de 3,65 ml.

Por outro lado, a zona do piso térreo revestida com pedra calcária antiga (SJAPT1) obteve o menor valor de absorção de volume de água, com um total de 0,45 ml absorvido ao fim do tempo estipulado no ensaio. Na zona resguardada do edifício, no piso térreo (SJAR1), obteve-se um valor de absorção de volume de água de 0,87 ml e na zona reabilitada (SJNPT1) de 2,97 ml.

Observa-se que os valores do revestimento de pedra calcária nova são, novamente, muito elevados em termos de absorção de água comparativamente com os revestimentos originais.

É importante observar que na presente zona, na platibanda, apesar dos valores de absorção de água serem altos, a pedra calcária nova (SJNT1) apresenta uma quantidade menor de água absorvida em comparação com a mesma zona revestida com pedra calcária antiga (SJAT1). Isso indica que a pedra calcária nova tem uma melhor resistência à absorção de água em comparação com a pedra calcária antiga naquela área específica.

Na presente análise denota-se que os valores obtidos para o revestimento novo são muito elevados visto que a pedra foi recentemente reabilitada. Na zona do piso térreo a pedra obteve o 3º maior valor do gráfico. E no topo do edifício a pedra obteve o segundo valor mais alto. Relativamente à pedra nova verifica-se a mesma tendência para absorções mais elevadas nas plabitandas face ao pavimento térreo como a registada nas pedras antivas, embora ainda com diferenças bem inferiores (3,65 ml na platibanda e 2,97 ml absorvidos no piso térreo). Apesar de, por análise visual não ser possível identificar diferenças ao nível da pedra aplicada entre a reabilitação e a construção original, os valores de absorção são significativamente inferiores na pedra antiga nomeadamente ao nível do piso térreo (0,45 ml de absorção no revestimento antigo e 2,97 ml no revestimento novo).

4.1.1.3 Análise de fachada

Na zona da junta, com a exceção da zona do piso térreo (incluído também o resguardado do edifício), para o revestimento de pedra calcária antiga e nova obteve-se um pior desempenho do que o observado na zona do seio. Apesar das diferenças serem pouco notáveis no topo do edifício o seio obteve 3,25 ml e a junta teve 3,98 ml para a pedra calcária antiga e para pedra calcária nova o seio obteve 2,25 ml e a junta obteve 3,65 ml.

O valor baixo observado no local resguardado do edifício, com a exceção da zona da junta, em comparação com a fachada reabilitada e a pedra calcária antiga é notório, visto que o local resguardado não está sujeito à mesma ação da chuva que a restante orientação de fachada.

No que toca ao desempenho da pedra calcária nova vs pedra calcária antiga, apenas na zona do piso térreo, tanto na zona da junta como na zona do seio obteve-se um pior desempenho na zona revestida de pedra calcária nova do que na zona revestida de pedra calcária antiga.

Apesar dos valores mais altos na zona da platibanda da fachada, é interessante observar que o valor obtido no piso térreo, revestido com pedra calcária nova é muito próximo aos valores observados na zona da platibanda tanto na zona do seio como na zona da junta. Isso indica que, apesar da alteração estética quase imperceptível causada pela substituição de parte das pedras calcárias da fachada sul, as novas pedras apresentam valores de absorção de água superiores às pedras originalmente colocadas no edifício.

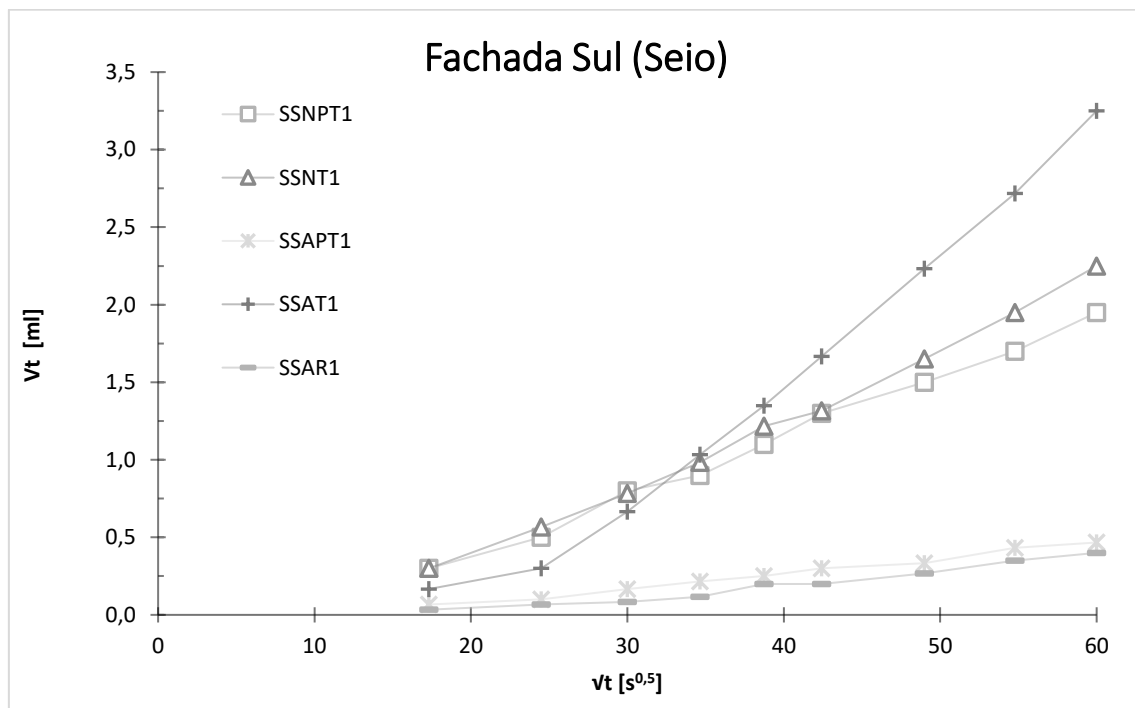


Figura 54 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Sul (Seio) do caso de estudo 1

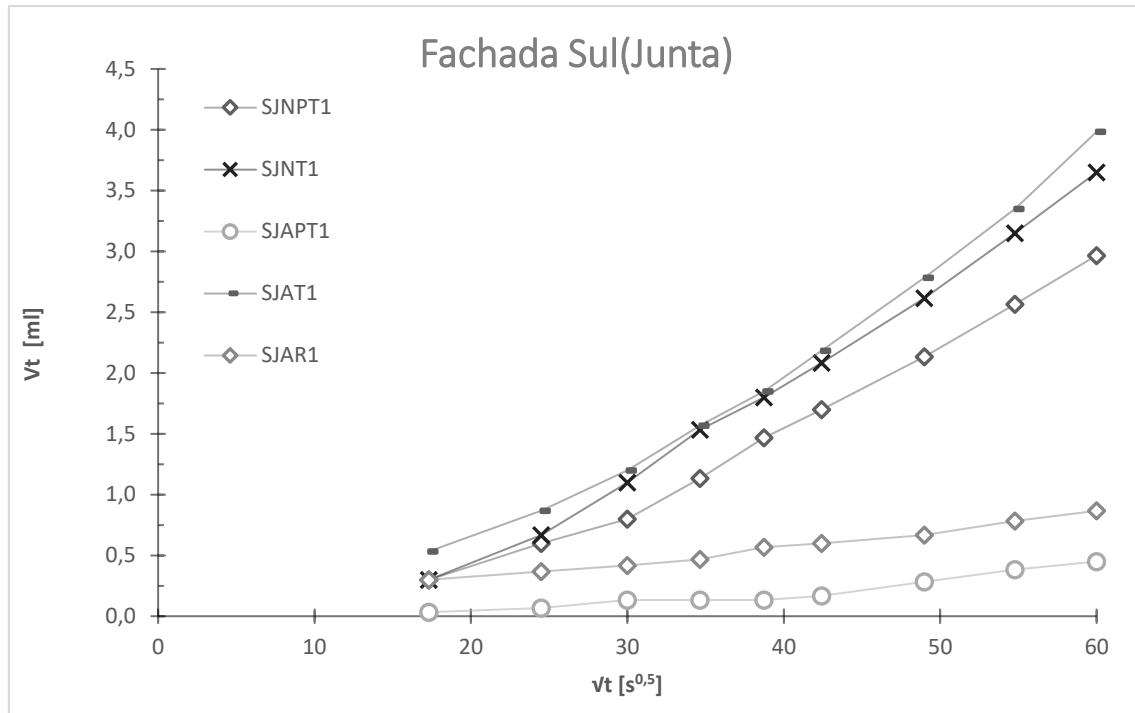


Figura 55 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Sul (Junta) do caso de estudo 1

4.1.2 FACHADA ESTE

Ao analisar o gráfico dos valores obtidos na zona do seio da fachada orientada para este, representado na Figura 56 e Figura 57, é possível observar que há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício.

4.1.2.1 Seio

Ao analisar o gráfico dos valores obtidos na zona do seio da fachada orientada para este, representado na Figura 56, é possível observar que os maiores valores de absorção de água ocorrem na zona da platibanda do edifício. O maior valor observado pertence à zona da platibanda revestida por pedra calcária nova (ESNT1), que absorveu um total de 1,63 ml de água. O valor obtido para a zona revestida por pedra calcária antiga na mesma área da platibanda (ESAT1) foi de 0,40 ml de água absorvida.

Os valores mais baixos de absorção ao fim dos 60 minutos de ensaio ocorrem na zona do piso térreo. Ao analisar o gráfico nos outros locais, observa-se que a zona revestida por pedra calcária antiga no piso térreo (ESAPT1) absorveu o menor volume de água, totalizando apenas 0,08 ml e a zona revestida por pedra calcária nova (ESNPT1) apenas 0,27 ml ao fim dos 60 minutos de ensaio.

No revestimento de pedra calcária antiga, conforme mencionado, o valor obtido no topo do edifício (ESAT1) é superior ao valor obtido no piso térreo (ESAPT1). No entanto, é importante notar que a diferença entre ambos os casos referidos é de apenas 0,32 ml.

4.1.2.2 Junta

Ao analisar o gráfico dos valores obtidos na zona das juntas da fachada orientada a este, representado na Figura 57, é observado o mesmo padrão de efeito da altitude encontrado nas zonas estudadas anteriormente, onde as zonas do topo da platibanda apresentam uma absorção de volume de água superior em comparação com as zonas do piso térreo.

No presente caso de estudo, foi observado que o maior volume de água absorvida ocorreu na zona da platibanda do revestimento de pedra calcária antiga (EJAT1), totalizando 4,70 ml de água absorvida após os 60 minutos do ensaio. Na zona reabilitada, no local referido (EJNT1), obteve-se um valor de volume de água de 2,80 ml.

Por outro lado, o menor valor de volume de água absorvida foi registado na zona do piso térreo da parede revestida com pedra calcária nova (EJNPT1), com um total de 0,55 ml de água absorvida ao final dos 60 minutos do ensaio. Estes valores demonstram uma diferença significativa na permeabilidade à água entre as duas zonas mencionadas. Na zona revestida de pedra calcária antiga para o local referido (EJAPT1) absorveu um total de 1,37 ml.

4.1.2.3 Análise de fachada

É notável que a zona da junta não apresentou um desempenho tão bom em comparação com a zona do seio na mesma orientação de fachada. No caso do seio o valor do extremo superior foi de 1,63 ml (para a zona revestida de pedra calcária nova no topo do edifício) enquanto que na zona da junta foi de 4,70 ml (para a zona revestida de pedra calcária antiga no topo do edifício). Indicando, assim, que as juntas da presente fachada foram menos eficientes em resistir à permeabilidade da água, o que poderá resultar numa maior degradação da fachada.

Como referido, os valores obtidos no seio foram, de forma geral, melhores que os obtidos na junta, o mesmo se aplica no caso da pedra calcária nova. Apesar de na zona do piso térreo os valores da pedra calcária nova terem sido baixos no seio (ESNPT1) obteve-se 0,27 ml e na junta (EJNPT1) obteve-se 0,55 ml. No entanto, para o topo do edifício o mesmo verifica-se, mas há uma discrepância de valores maior. Na zona referido para o seio a pedra calcária nova (ESNT1) obteve 1,63 ml e a zona da junta (EJNT1) obteve 2,80 ml.

No caso da parte da fachada revestida de pedra calcária antiga, observa-se o mesmo que na pedra calcária nova de haver uma diferença considerável entre a zona do seio e na zona da junta. Apesar de na zona do piso térreo os valores da pedra calcária antiga terem sido baixos no seio (ESAPT1) obteve-se 0,08 ml e na junta (EJAPT1) obteve-se 1,37 ml. No entanto, no topo do edifício o mesmo verifica-se, mas há uma discrepância de valores muito maior. Na zona referido para o seio a pedra calcária nova (ESAT1) obteve 0,40 ml e a zona da junta (EJAT1) obteve 4,70 ml.

No que toca à avaliação do revestimento de pedra calcária nova contra a pedra calcária antiga, tanto na zona do piso térreo como na zona do topo do edifício, as zonas do seio obtiveram pior desempenho na pedra calcária nova do que na pedra calcária antiga. No entanto, na zona da junta observa-se o contrario em que tanto na zona do piso térreo como na zona do topo do edifício a zona revestida de pedra calcária nova apresentou melhor desempenho que na zona revestida de pedra calcária antiga.

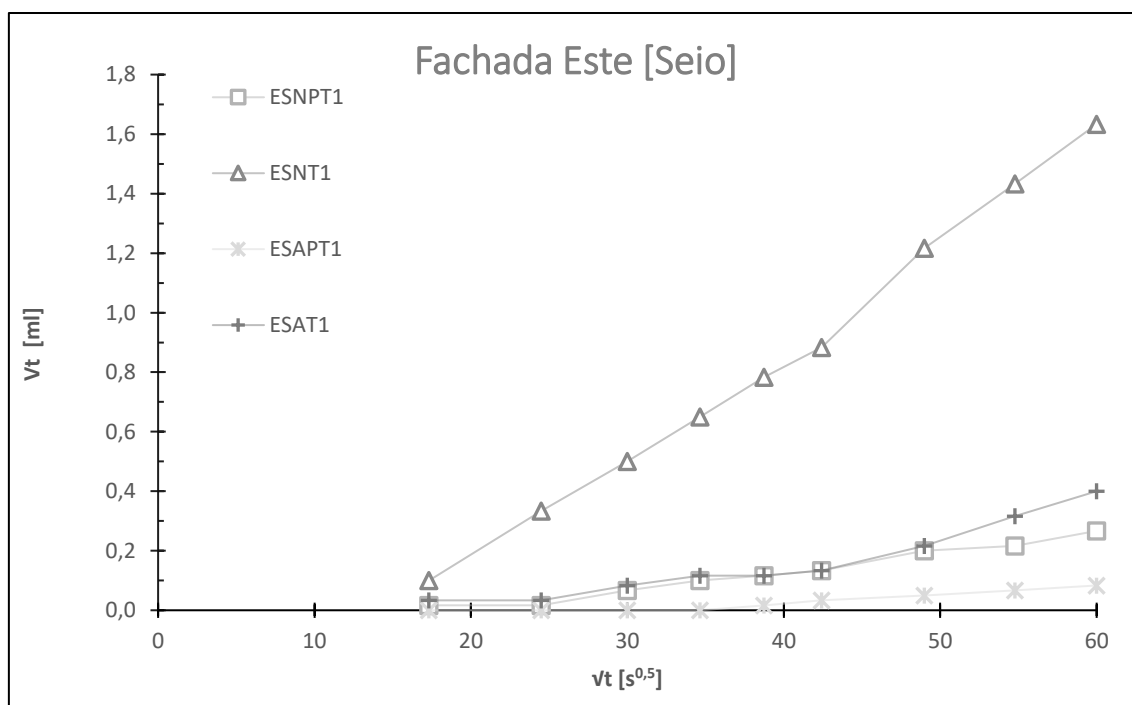


Figura 56 – Volume de água absorvida da Fachada orientada a Este (Seio) do caso de estudo 1

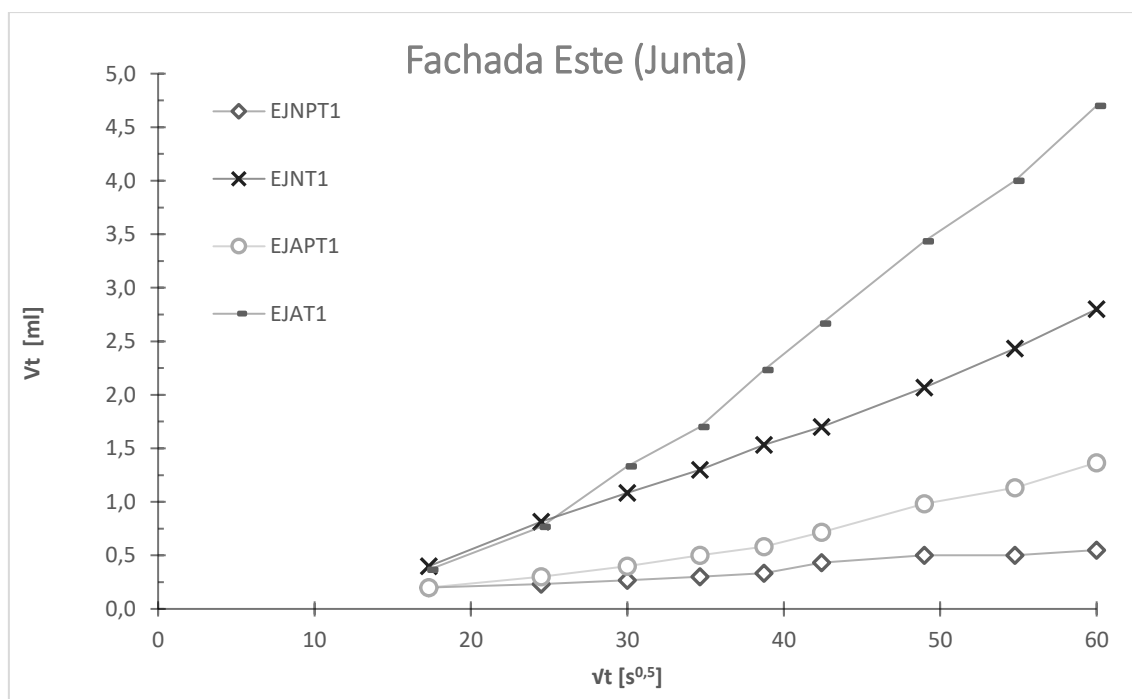


Figura 57 – Volume de água absorvida na fachada orientada a Este (Junta) do caso de estudo 1.

4.1.3 FACHADA NORTE

Observando o gráfico referente aos valores obtidos na fachada orientada para norte, representado na Figura 58, observa-se uma tendência semelhante às outras fachadas previamente analisadas em que há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício.

4.1.3.1 Seio

A zona do seio no local da platibanda (NSAT1) indicou o ensaio com a menor absorção de água atingindo um total de 1,40 ml de volume de água absorvida. Por outro lado, a zona do seio no piso térreo (NSAPT1) apresentou um valor de 1,12 ml de volume de água absorvida ao fim do tempo do ensaio.

4.1.3.2 Junta

O maior valor observado nesta fachada foi na zona da junta do local do topo do edifício (NJAT1) absorvendo um total de 2,12 ml de volume de água. No entanto, foi observado o menor valor de absorção de água na zona da junta do piso térreo (NJAPT1), com um total de 0,78 ml de volume de água absorvida apresentado tanto o extremo inferior como o extremo superior na zona da junta para a presente orientação de fachada.

4.1.3.3 Análise de fachada

Na presente orientação de fachada, apesar de ocorrer a variação do volume de água diretamente correlacionado com a altura a diferença de valores finais obtidos pelos quatro ensaios aqui expostos são pequenas. É de notar também que na zona do piso térreo, ao contrário do que se observa na zona do topo do edifício, o seio (NSAPT1) teve um pior desempenho que a zona da junta (NJAT1).

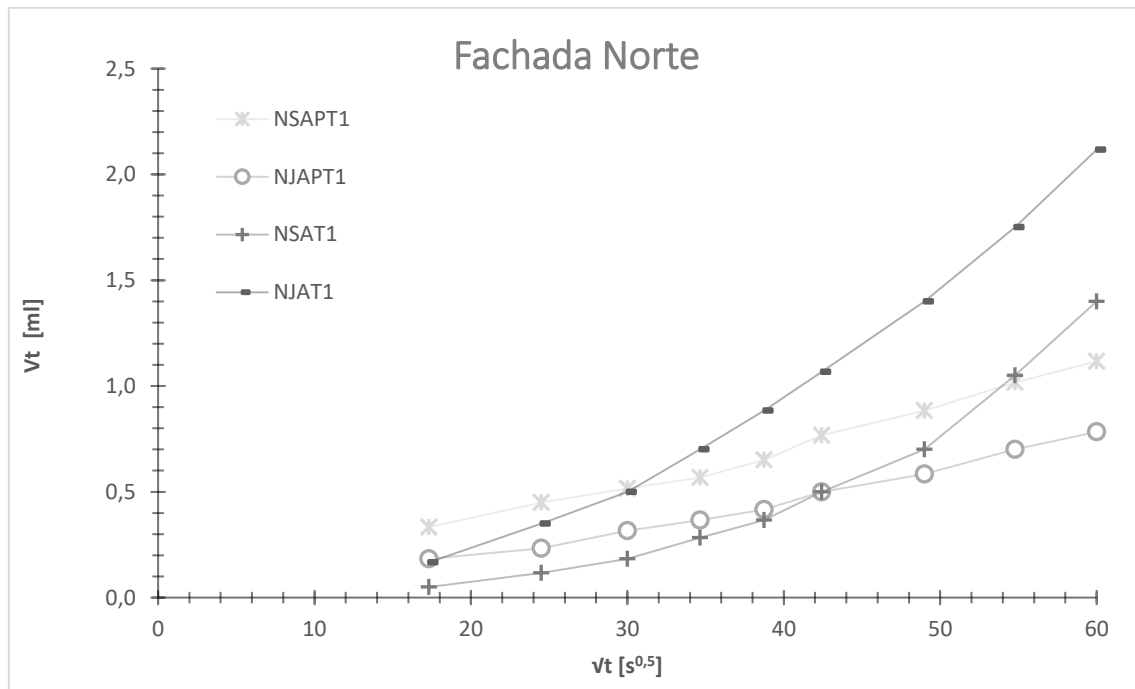


Figura 58 – Volume de água absorvida da Norte do caso de estudo 1

4.1.4 FACHADA OESTE

De acordo com o gráfico da fachada orientada para oeste, representado na Figura 59, observa-se o mesmo padrão avaliado nas restantes orientações de fachadas. A zona do topo do edifício apresenta valores mais elevados de absorção de água em comparação com a zona do piso térreo.

4.1.4.1 Seio

O valor da zona do seio no local da platibanda (OSAT1) é de 0,92 ml de volume de água absorvida ao fim de 60 minutos. O menor valor de absorção de água ao fim de 60 minutos pertence à zona do seio no local do piso térreo (OSAPT1), mantendo-se praticamente constante ao longo do ensaio e alcançado um valor máximo de 0,07 ml de volume de água absorvida.

4.1.4.2 Junta

O valor mais alto observado nesta fachada pertence à zona da junta na zona do topo do edifício (OJAT1), com um volume de água absorvida máxima de 0,97 ml. Por sua vez, a zona da junta no piso térreo (OJAPT1) apresentou um valor de absorção de 0,48 ml de volume de água ao fim de 60 minutos de ensaio.

4.1.4.3 Análise de fachada

Na presente orientação de fachada verifica-se que tanto na zona do piso térreo como na zona do topo do edifício verifica-se que a pedra calcária no seio apresentou melhor desempenho que na junta.

Aqui, apesar de ocorrer a variação do volume de água diretamente correlacionado com a altura a diferença de valores finais obtidos pelos quatro ensaios aqui expostos são pequenas. Distintivamente denota-se também que na zona do topo do edifício a diferença entre o seio (OSAT1) e a junta (OJAT1) cujos valores obtidos são, respectivamente, 0,92 ml e 0,97 ml, é muito pequena quando comparado com a diferença obtida na zona do piso térreo (0,07 ml na zona do seio e 0,48 ml na zona da junta).

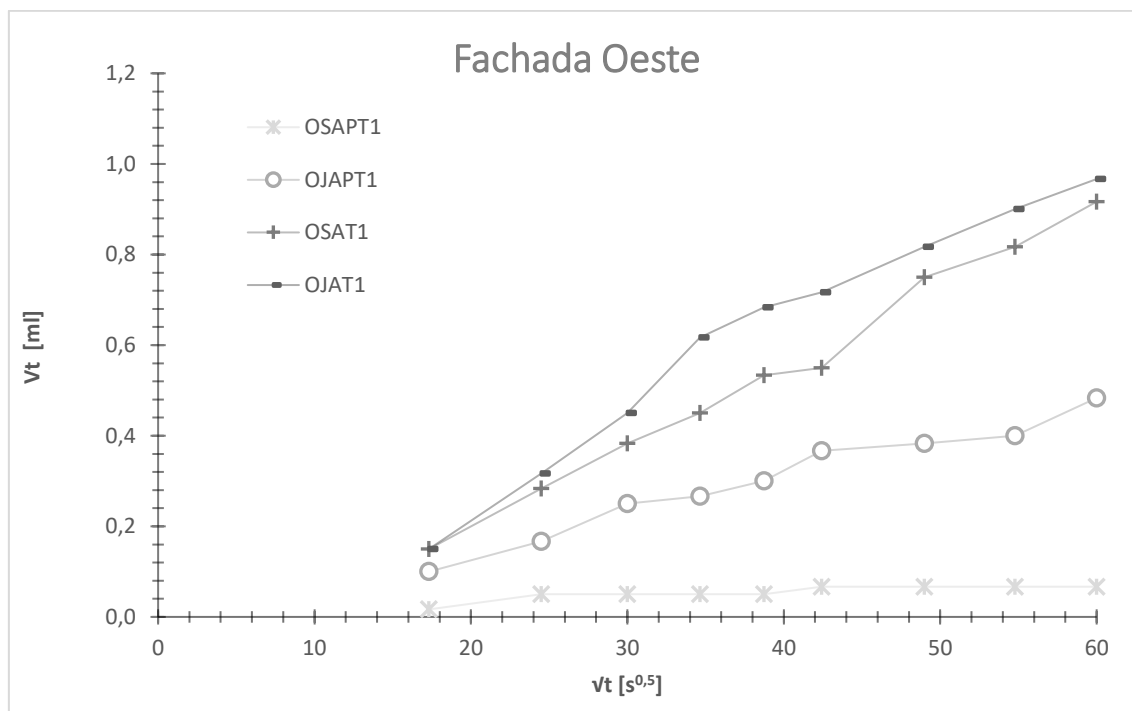


Figura 59 – Volume de água absorvida da Oeste do caso de estudo 1

4.1.5 COMPARAÇÃO GERAL ENTRE FACHADAS

Observando o gráfico referente a todos os valores de volume de água absorvida ao fim de 60 minutos, no caso de estudo 1, representado na Figura 60, denota-se que os valores estão bastante dispersos. O valor extremo inferior foi registado na pedra calcária antiga na zona do seio do piso térreo da fachada oeste (OSAPT1) com um volume absorvido de 0,07 ml e o extremo superior foi encontrado na pedra calcária antiga da fachada este na zona do seio na zona da platibanda (EJAT1) que absorveu um total de 4,7 ml de volume de água.

Nas áreas revestidas com pedra calcária nova, verificou-se um desempenho inferior da pedra calcária na fachada orientada a Sul em comparação com a fachada orientada a Este. Isto ocorre devido à exposição mais intensa da fachada sul ao ambiente natural de envelhecimento. Ao analisar os valores obtidos na fachada sul para a pedra calcária nova, o somatório foi de 8,85 ml, enquanto que na fachada orientada a Este os valores do somatório foram apenas de 5,25 ml.

Comparando agora os valores obtidos pela pedra calcária antiga (sem contar com a zona resguardada do edifício para a fachada orientada a sul) do presente caso de estudo obteve-se os seguintes valores (por ordem):

- Sul – 10,09 ml;
- Este – 6,55 ml;
- Norte – 5,42 ml;
- Oeste – 2,44 ml.

É expectável que a fachada orientada a Sul obtenha o maior valor de água absorvida (para o revestimento de pedra calcária antiga). Essa orientação de fachada, apesar de apresentar um edifício à sua frente, possui um maior fator de exposição a agentes de envelhecimento naturais do que as demais orientações de fachada. Para além disto a fachada orientada a Sul tem um jardim adjacente que cobre a fachada na sua interidade o que pode resultar em humidade anscencional tanto por causa das chuvadas como pela rega do mesmo jardim.

O facto de a fachada orientada a Este obter o segundo maior volume de água não era o expectável por convenção, mas considerando as condições de fachada é possível perceber a razão para o valor obtido. A atual orientação de fachada, apesar de apresentar um edifício à sua frente construído recentemente, possui adjacientemente um jardim pela interidade da orientação de fachada, o que pode resultar em humidade anscencional tanto por causa das chuvadas como pela rega do mesmo jardim.

A fachada orientada a Norte obter o segundo valor mais baixo também não era o expectável mas não se apresenta muito longe do que o de facto é expectável de esta orientação de fachada. No presente caso de estudo a fachada encontra-se embutida no restante edifício e não tem um jardim adjacente como observado nas restantes orientações de fachadas.

A fachada orienta a Oeste obter o menor valor em soma de volume de água absorvido também não era o expectável mas considerando as condições em que se encontra exposta o valor baixo consegue ser justificado. Conforme o verificado na Figura 50, no presente caso de estudo, a fachada encontra-se adjacente um jardim como as restantes fachadas já referidas. No entanto, possui árvores altas em frente da mesma, o que contribui significativamente no combate para os efeitos do envelhecimento natural.

Os autores Vasco Peixoto Freitas e Pedro Filipe Gonçalves apresentaram valores característicos de pedras calcárias com e sem repelente ao nível do coeficiente de absorção capilar.

Relativamente a estes ensaios, existe normalização europeia que classifica os valores obtidos de uma forma qualitativa, o que ajuda na interpretação dos resultados obtidos na Figura 61 atendendo à ressalva de que para o mesmo material, a absorção deveria ser mais rápida no ensaio com os tubos de Karsten. O resultado que se obtém para o valor da absorção de capilaridade é conseguido através da multiplicação do valor obtido em ml pela área e dividido pela raiz do tempo.

Em pedra calcária moleanos sem repelente de água é expectável obter-se uma obtenção de capilaridade de $0,0176 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ [35]. Comparando-se os valores obtidos no caso de estudo com o valor tabelado mencionado, observa-se que, dos 26 ensaios analisados no presente caso de estudo, apenas 9 destes apresentam valores equivalentes ou inferiores. Os demais ensaios apresentam valores superiores ao valor tabelado. É importante ressaltar que, dos 9 ensaios mencionados, apenas 2 correspondem a pedras calcárias novas.

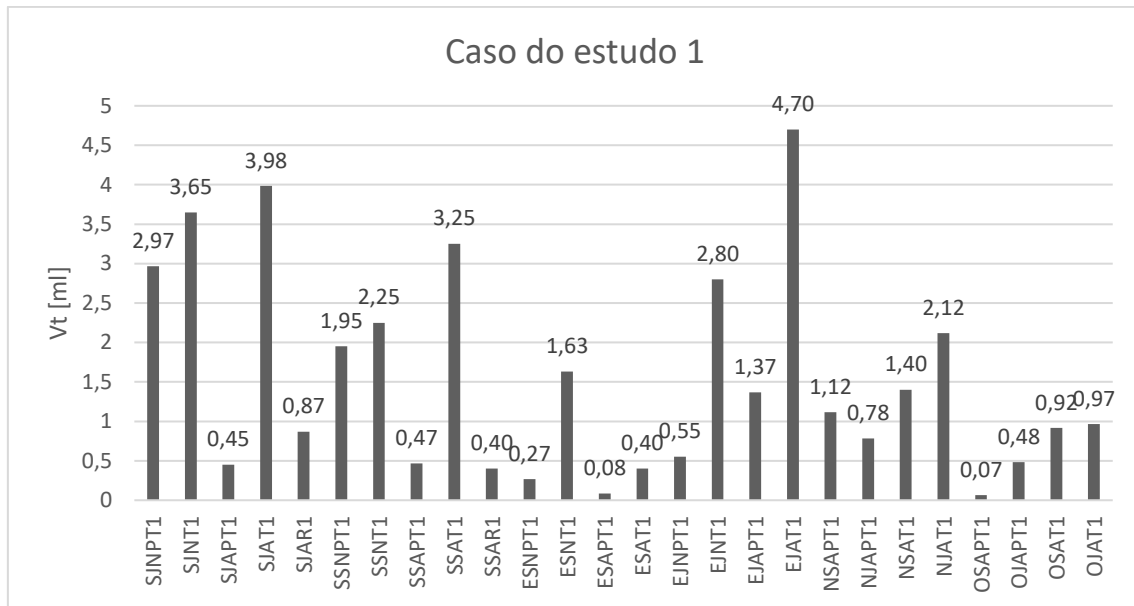


Figura 60 – Resultados ao fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 1.

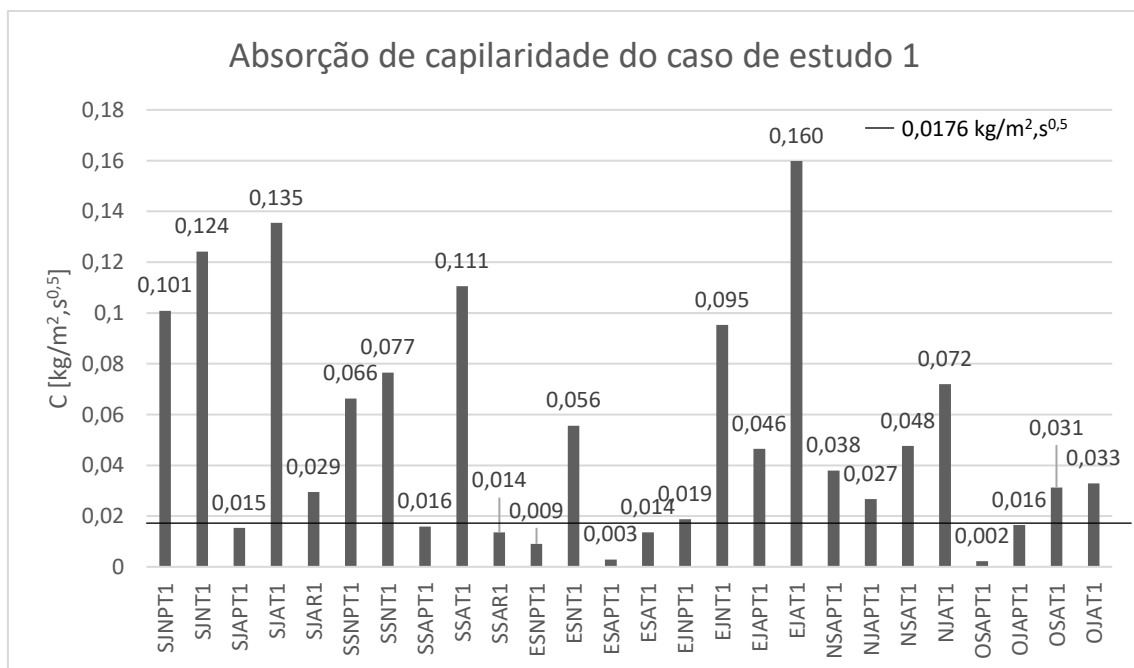


Figura 61 – Resultados ao fim de 60 minutos da absorção de capilaridade do caso de estudo 1.

4.2 CASO DE ESTUDO 2

4.2.1 FACHADA NORTE

Analisando o gráfico referente à fachada orientada a norte, cujos valores encontram-se representados na Figura 62 e Figura 63, há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício. Os valores obtido no topo do edifício apresenta um maior volume de água quando comparado com o piso térreo.

4.2.1.1 Seio

Analisando o gráfico referente ao seio da presente orientação de fachada, representada pela Figura 62, no topo do edifício, a zona do seio (NSAT2) absorve um total de 0,70 ml enquanto que a zona do piso térreo referente à pedra calcária antiga (NSAPT2) absorve um total de 0,25 ml no final dos 60 minutos de ensaio.

É notável observar que a nova solução de revestimento (NSRDPT2) utilizada para reabilitar o edifício apresentou uma evolução praticamente constante ao longo dos 60 minutos de ensaio. Essa solução registou o menor volume de água absorvida em comparação com todos os outros ensaios realizados neste caso de estudo, tendo absorvido apenas 0,03 ml.

É importante observar que, apesar da diferença entre os valores observados do revestimento de pedra calcária antiga nos diferentes locais ser maior na cobertura, essa diferença é relativamente pequena, totalizando apenas em 0,45 ml.

Apesar de o revestimento reabilitado na zona do piso térreo ter obtido um valor quase nulo de absorção de volume de água em comparação com o revestimento antigo, é importante destacar que há uma diferença relativamente pequena de apenas 0,22 ml. Ao comparar esse valor com o obtido no topo do edifício, a diferença aumenta um pouco continua a ser pequena, sendo apenas uma diferença de 0,67 ml.

4.2.1.2 Junta

Analisando agora o gráfico referente à zona da junta da fachada orientada a norte, cujos valores encontram-se representados na Figura 63, observa-se a exceção relativamente ao observado na comparação entre as zonas do piso térreo e do topo do edifício, uma vez que a zona da junta do piso térreo (NJAPT2) apresenta um maior valor de volume de água absorvida em comparação com a junta localizada na cobertura. No piso térreo, a junta revestida com pedra calcária antiga (NJAPT2) absorve um total de 0,58 ml de volume de água após 60 minutos. Por outro lado, na cobertura, a junta (NJAT2) absorve um total de 0,40ml de volume de água nesse mesmo período de tempo.

O revestimento Dekton na junta (NJRDP2) não apresenta um desempenho tão bom quanto o observado na zona do seio da orientação de fachada atual. Embora seja o valor mais baixo dos ensaios realizados na zona da junta da atual orientação de fachada, em comparação com os outros valores obtidos, registou-se uma absorção de volume de água de 0,30 ml.

4.2.1.3 Análise de fachada

A implantação da nova solução de revestimento (revestimento de kton) apresentou-se como vantajosa visto que tanto na zona do seio como na zona da junta os resultados obtidos pelo revestimento provaram ser as menores dos ensaios.

Na presente orientação de fachada para o revestimento de pedra calcária antiga, a zona do seio obteve melhor desempenho do que a zona da junta no piso térreo (no seio obteve 0,25 ml e na junta obteve 0,58 ml) mas na zona do topo do edifício (no seio obteve 0,70 ml e na junta obteve 0,40 ml) o mesmo não se verificou.

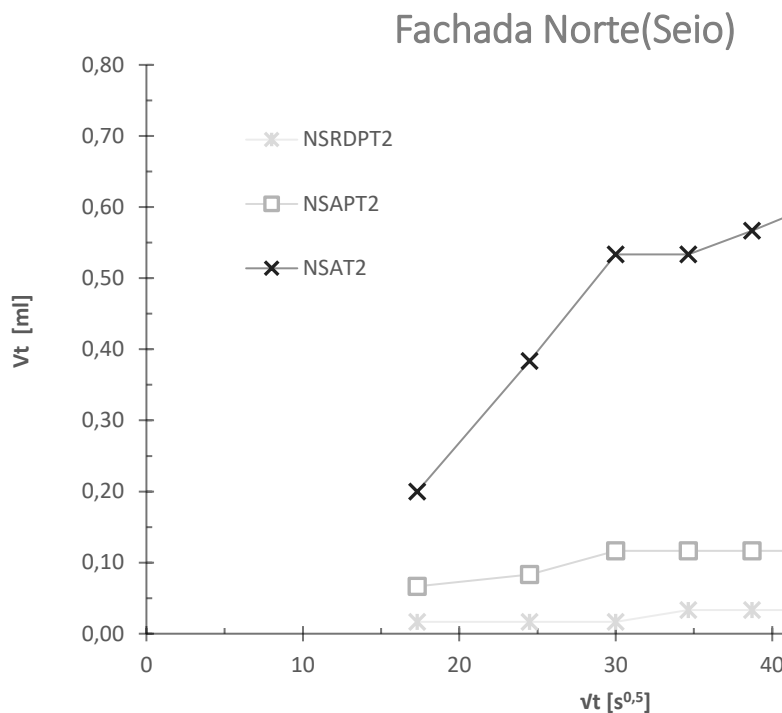


Figura 62 – Volume de água absorvida da fachada norte (seio) do caso de estudo 2

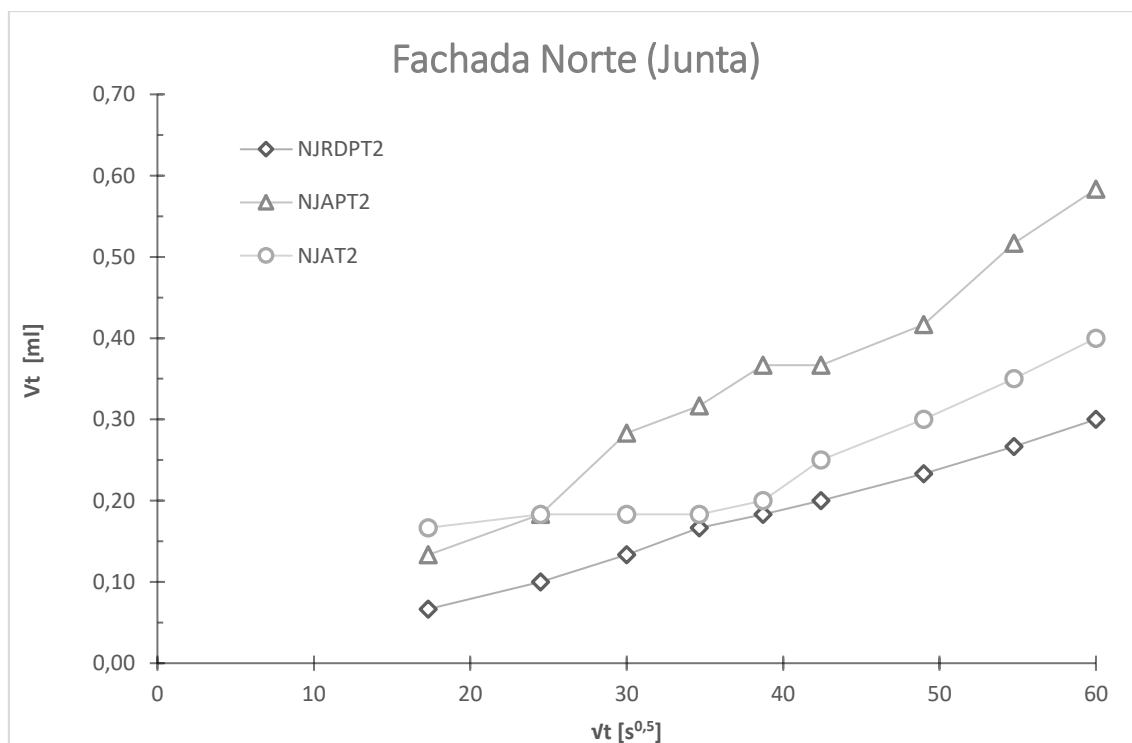


Figura 63 – Volume de água absorvida da fachada norte (junta) do caso de estudo 2

4.2.2 FACHADA SUL

Observando-se o gráfico referente aos valores obtidos para a fachada orientada a sul do presente caso de estudo, representado na Figura 64, denota-se inicialmente que há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício como já visto em muitos outros casos.

4.2.2.1 Seio

A zona do seio (SSAT2) no local do topo do edifício apresenta uma absorção de 0,65 ml de volume de água. No local do piso térreo, a zona do seio (SSAPT2) termina o ensaio com um valor de volume de água absorvido absorvendo um total de 0,32 ml de água. Apesar de haver a variação diretamente relacionada com a altura do edifício a diferença entre ambos estes casos é muito pequena.

4.2.2.2 Junta

O maior valor de volume de água absorvido pertence à zona da junta no topo do edifício (SJAT2), que absorveu um total de 0,72 ml de água. Por outro lado, no local do piso térreo, o menor valor observado na presente orientação de fachada pertence também à zona da junta (SJAPT2), que absorveu um total de 0,27 ml de água ao fim dos 60 minutos de ensaio. Apesar de se encontrar tanto o extremo inferior como o extremo superior da presente orientação de fachada nas juntas estudadas a diferença entre ambos é pequena.

4.2.2.3 Análise de fachada

Na presente orientação de fachada, apesar de ocorrer a variação do volume de água diretamente correlacionado com a altura a diferença de valores finais obtidos pelos quatro ensaios aqui expostos são pequenas. Tanto na zona do piso térreo como no topo do edifício os ensaios de seio e junta para as respetivas zonas tiveram desempenhos quase idênticos.

É de notar, no entanto, que na zona do topo do edifício observa-se que o seio (SSAT2) apresentou ligeiramente melhor desempenho obtendo 0,65 ml que na zona da junta (SJAT2) que obteve 0,72 ml. No entanto, no local do piso térreo o contrario observa-se em que a zona do seio (SSAPT2) que obteve 0,32 ml teve ligeiramente pior desempenho que na zona da junta (SJAPT2) que obteve 0,27 ml.

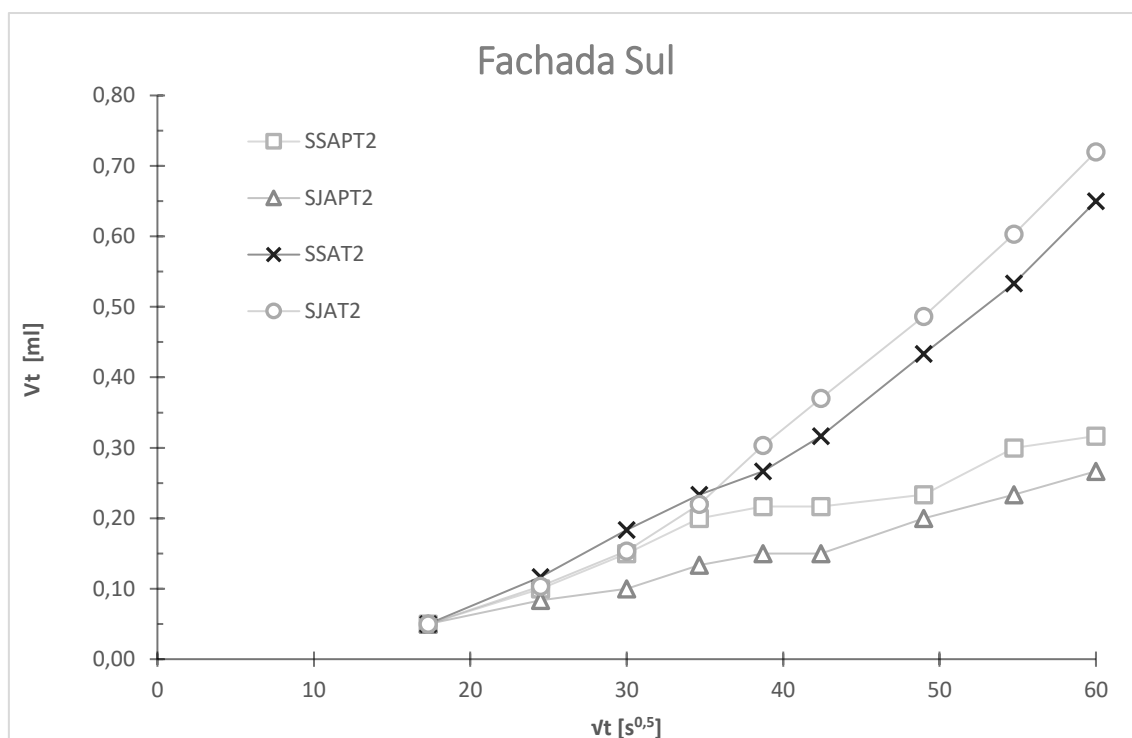


Figura 64 – Volume de água absorvida da fachada sul do caso de estudo 2

4.2.3 FACHADA ESTE

Analisando-se agora o gráfico referente aos valores obtidos na fachada orientada a este do presente caso de estudo, representado na Figura 65, observa-se, novamente, que há uma variação do volume de água absorvida correlacionada diretamente com a posição de altura do edifício.

4.2.3.1 Seio

Na orientação de fachada analisada, o maior valor observado foi obtido para a zona do seio no local do topo do edifício (ESAT2), que absorveu um volume total de água de 0,45 ml ao final dos 60 minutos do ensaio. Por sua vez, o menor valor observado na orientação de fachada foi na zona do seio no local do piso térreo (ESAPT2), que registou um valor de volume de água absorvida de 0,30 ml ao final dos 60 minutos de ensaio.

4.2.3.2 Junta

Nas zonas das juntas referentes ao local do topo do edifício (EJAT2) e no local do piso térreo (EJAPT2) ocorreu a situação em que ambos terminaram o ensaio com exatamente o mesmo volume de água absorvida, ou seja, 0,42 ml.

4.2.3.3 Análise de fachada

Na presente orientação de fachada, apesar de ocorrer a variação do volume de água diretamente correlacionado com a altura a diferença de valores finais obtidos pelos quatro ensaios aqui expostos são pequenas. Tanto na zona do piso térreo como no topo do edifício os ensaios de seio

e junta para as respectivas zonas tiveram desempenhos quase idênticos havendo apenas uma diferença de 0,15 ml entre o extremo superior e o extremo superior dos valores obtidos.

Como observado anteriormente, as juntas obtiveram resultados equivalentes ambas acabando o ensaio com 0,42 ml e na zona do piso térreo a zona do seio (ESAPT2) que obteve 0,30 ml teve ligeiro melhor desempenho do que a zona da junta (EJAPT2). Por outro lado, na zona do topo do edifício, a zona do seio (ESAT2) que obteve 0,45 ml teve ligeiro pior desempenho que na zona da junta (EJAT2).

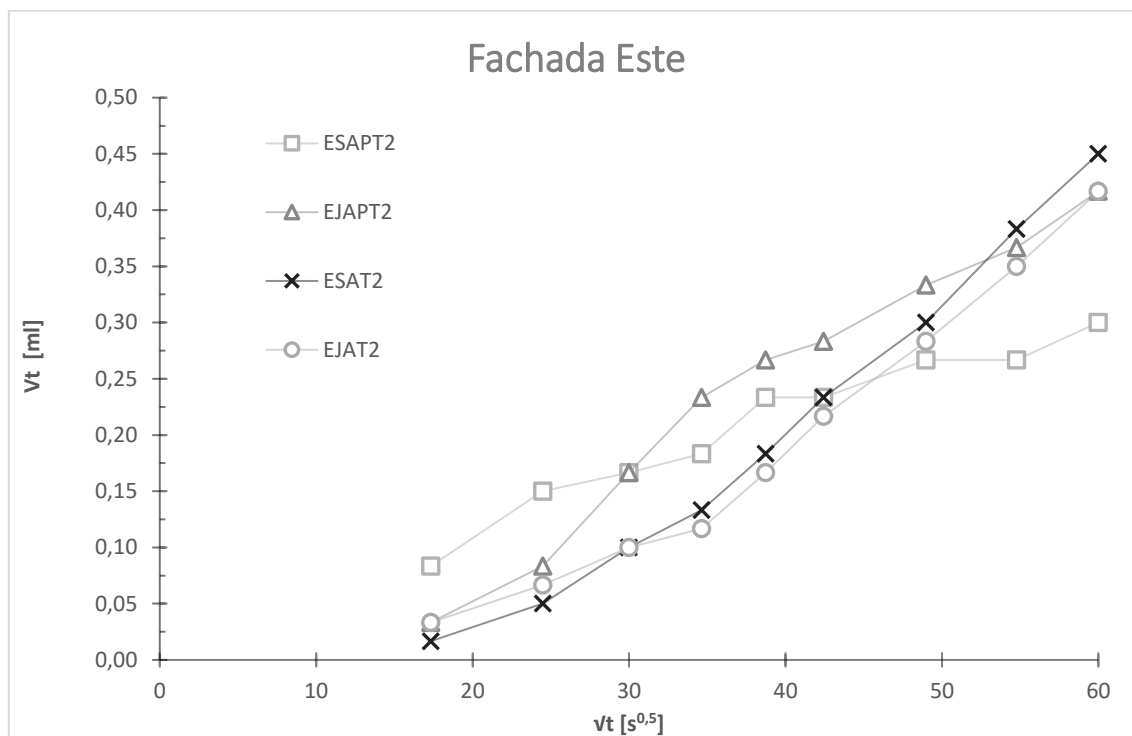


Figura 65 – Volume de água absorvida da fachada este do caso de estudo 2

4.2.4 FACHADA OESTE

Analisando agora os gráficos referentes aos valores obtidos na fachada orientada a oeste, que está voltada para o mar e representada na Figura 66, foram obtidos padrões diferentes dos restantes. Ao contrário da maioria dos casos discutidos anteriormente, tanto o maior valor observado quanto o menor valor observado estão associados à zona do piso térreo. A presente orientação de fachada encontra-se orientada diretamente para o mar e era a que se apresentava mais degradada quando comparada com as restantes no mesmo caso de estudo.

4.2.4.1 Seio

Conforme observado anteriormente, ainda no local do piso térreo, a zona do seio (OSAPT2) apresenta o menor volume de água absorvido ao final dos 60 minutos totalizando 0,22 ml. A zona do seio no local do topo do edifício (OSAP2) absorveu 0,48 ml no final do ensaio.

4.2.4.2 Junta

Na fachada orientada a oeste, no local do piso térreo, a zona da junta (OJAPT2) registou o maior volume de água absorvida após 60 minutos de ensaio, absorvendo um total de 0,52 ml. No local

do topo do edifício, a zona da junta (OJAT2) absorve 0,47 ml de volume de água após 60 minutos de ensaio.

4.2.4.3 Análise de fachada

Na presente orientação de fachada, as zonas do seio tanto na zona do piso térreo como na zona do topo do edifício obtiveram melhor desempenho do que as zonas das juntas.

No entanto, a diferença entre os valores obtidos na zona do seio (OSAT2) e na zona da junta (OJAT2) são praticamente nulos, resultando em uma diferença de apenas 0,01 ml entre ambas. O que por sua vez indica, neste contexto, que tanto a zona do seio quanto a zona da junta absorvem quantidades de água semelhantes na zona considerada.

É também de notar que a zona da junta no piso térreo (OJAPT2) obteve pior desempenho não só que a zona da junta no topo do edifício (OJAT2) mas também teve pior desempenho na zona do seio no topo do edifício (OSAT2).

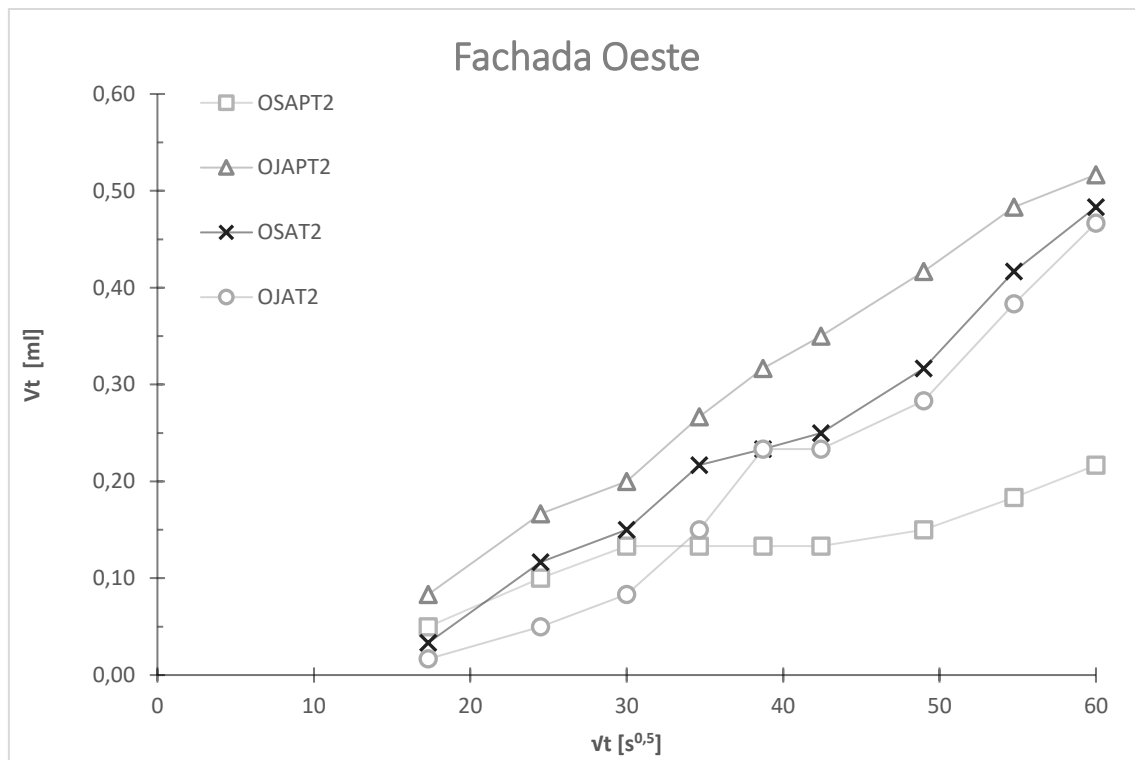


Figura 66 – Volume de água absorvida da fachada oeste do caso de estudo 2.

4.2.5 ANÁLISE DE CASOS PARTICULARES

No caso das situações particulares, o gráfico com os valores obtidos ao longo dos 60 minutos do ensaio encontra-se representado na Figura 67. O maior valor observado foi obtido para o revestimento que se encontra degradado (SSDPT2), conforme mencionado anteriormente, e esse revestimento absorveu um volume total de água de 5,07 ml ao final dos 60 minutos do ensaio. Por outro lado, o menor valor observado de volume de água absorvido foi na zona do reboco reabilitado no local do piso térreo (SSRNPT2), que absorveu apenas 0,22 ml no final do ensaio.

Ao comparar o reboco reabilitado no local do piso térreo (SSRNPT2) com o revestimento que possui o reboco antigo exposto (SSRAPT2), que absorveu 1,97 ml de água, salientam-se as diferenças no volume de água absorvida, o que era expectável. No entanto, é importante realçar

que, apesar da diferença notável, o reboco antigo exposto apresenta um melhor desempenho de absorção de água em comparação com o revestimento em pedra calcária desgastado.

No estudo do local do edifício resguardado, observa-se uma diferença significativa entre a zona do seio e a zona da junta desse local. Na zona do seio (NSAR2), o valor de volume de água absorvida é muito semelhante à zona e local (SSRNPT2) com o menor valor observado anteriormente, atingindo apenas 0,27 ml.

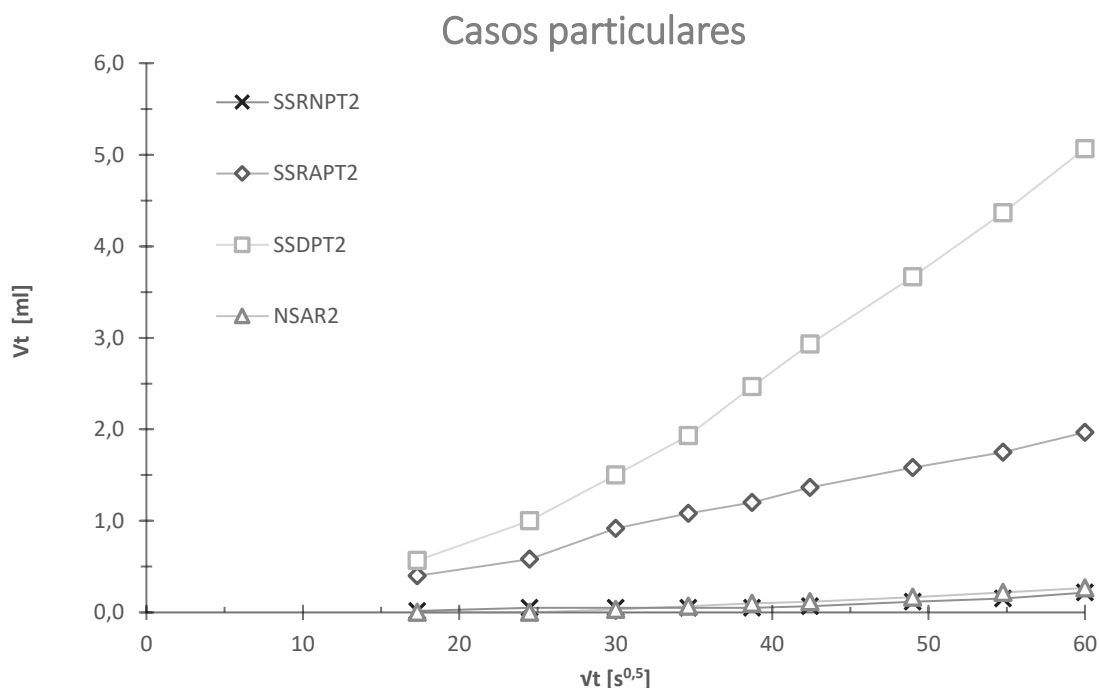


Figura 67 – Volume de água absorvida de casos especiais do caso de estudo 2

4.2.6 COMPARAÇÃO GERAL ENTRE ORIENTAÇÕES DE FACHADA

O valor extremo superior entre os 23 casos de estudo analisados no caso de estudo 2 foi registado na zona com o revestimento com pedra calcária degradada (Figura 52), que absorveu um volume total de água de 5,07 ml. Por outro lado a zona em que se registou o valor do extremo superior o foi na zona do seio da nova solução de revestimento (Revestimento Dekton) em que se obteve uma absorção de apenas 0,03 ml.

Na zona do seio, conforme mencionado, nenhum ensaio apresentou um desempenho melhor do que a nova solução de revestimento (Revestimento Dekton). No entanto, na zona da junta, todas as outras orientações e alturas estudadas para a mesma zona obtiveram um maior valor de absorção de água em comparação com a nova solução de revestimento, que registou 0,30 ml, à exceção da fachada orientada a Sul no piso térreo que apenas absorveu apenas 0,27 ml.

Comparando agora os valores obtidos pela pedra calcária antiga do presente caso de estudo obteve-se os seguintes valores (por ordem):

- Sul – 1,96 ml;
- Norte – 1,93 ml;
- Oeste – 1,69 ml;
- Este – 1,59 ml.

Percebe-se inicialmente que, em relação aos valores totais obtidos pelas diferentes orientações de fachada, foram observadas diferenças muito pequenas entre elas. A diferença entre o valor mais baixo e o valor mais alto para essa comparação foi de apenas 0,37 ml.

É expectável que a fachada orientada a sul obtenha o maior valor de absorção de água. A presente orientação de fachada, embora tenha um edifício à frente da mesma e ter apenas arruamento adjacente, está mais exposta aos agentes naturais do envelhecimento em comparação com as restantes orientações de fachada.

A obtenção do segundo valor mais pela fachada orientada a Norte não era o esperado em teoria. No entanto, ao considerar que a presente orientação de fachada se encontra adjacente a um lago decorativo, a um jardim adjacente e se exposta a um arruamento de veículos esses fatores explicam o resultado obtido.

A fachada orientada a Oeste obter o segundo menor valor em soma de volume de água considerando que obteve uma maior absorção que a fachada orientada a Este era o expectável. Na presente orientação de fachada encontra-se adjacente a um jardim que cobre a fachada inteira mas, tem árvores posicionados a frente da mesma, que cobrem os locais de ensaio do piso térreo. Este facto ajuda significativamente a combater os efeitos do envelhecimento natural.

O facto da fachada orientada a Este obter o menor volume de água absorvida não era o expectável de acordo com a convenção tradicional. No entanto, considerando as condições de exposição da presente orientação de fachada, o mesmo pode ser explicado. Apesar de se encontrar adjacente a um jardim e a um lago decorativo a fachada encontra-se com um edifício perpendicular à fachada à sua frente da mesma altura do edifício estudado. No entanto, como mencionado, ocorreu o expectável de ter um menor volume de água absorvida que na fachada orientada a oeste.

Os autores Vasco Peixoto Freitas e Pedro Filipe Gonçalves apresentaram valores característicos de pedras calcárias com e sem repelente ao nível do coeficiente de absorção capilar. Relativamente a este ensaios, existe normalização europeia que classifica os valores obtidos de uma forma qualitativa, o que ajuda na interpretação dos resultados obtidos na Figura 69, atendendo à ressalva de que para o mesmo material, a absorção deveria ser mais rápida no ensaio com os tubos de Karsten. O resultado que se obtém para o valor da absorção de capilaridade é consegue-se através da multiplicação do valor obtido em ml pela área e dividido pela raiz da tempo.

Em pedra calcária moca sem repelente de água é expectável obter-se uma obtenção de capilaridade de $0,0413 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ [35]. Ao comparar os valores obtidos no presente caso de estudo com o valor tabelado mencionado, observa-se que, dos 22 ensaios analisados, apenas 2 apresentaram valores superiores aos obtidos, ambos correspondentes a casos particulares estudados.

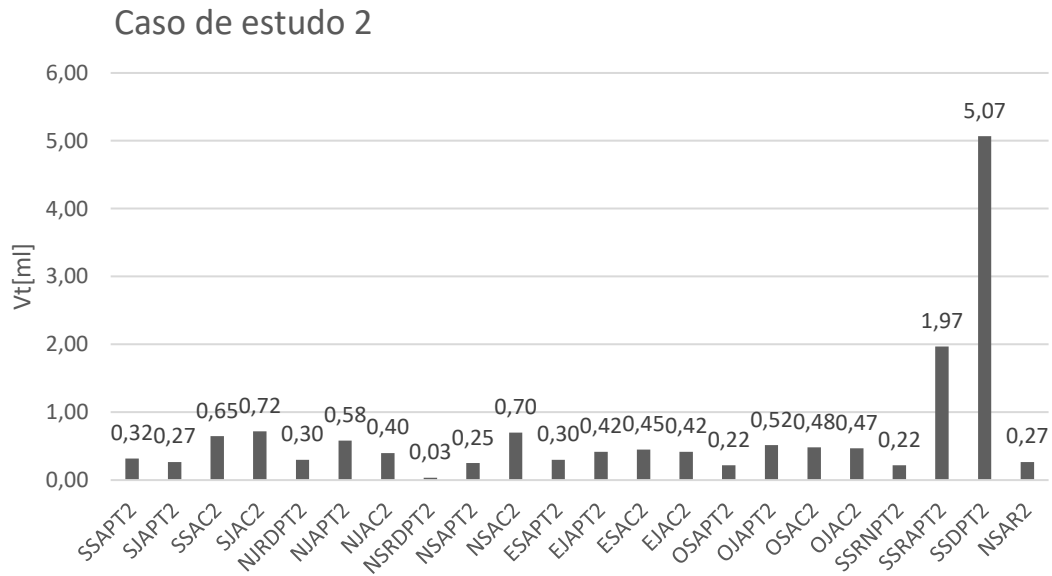


Figura 68 – Resultados ao fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 2.

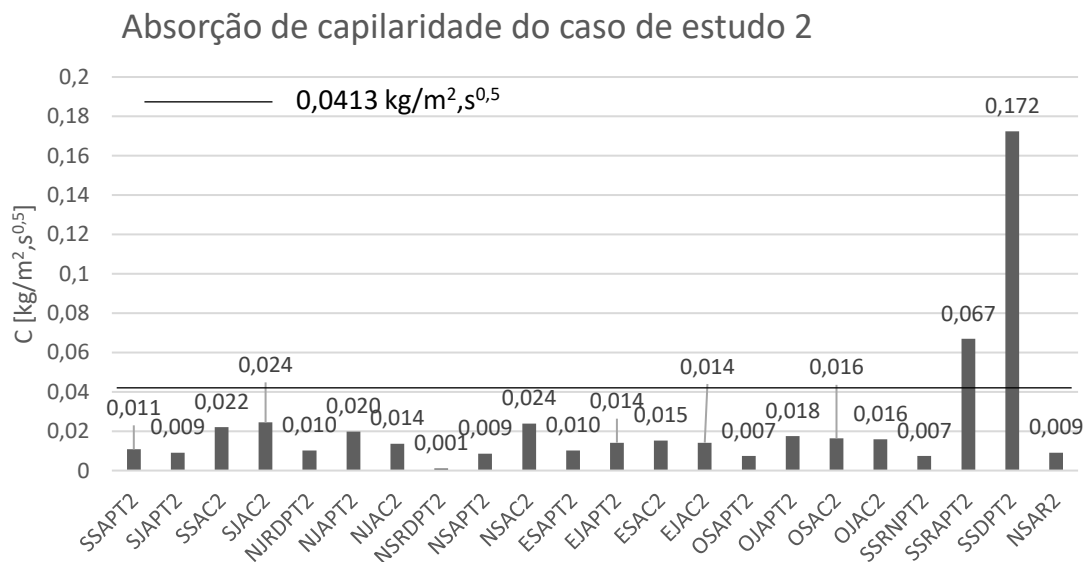


Figura 69 – Resultados da absorção de capilaridade fim de 60 minutos do volume de água absorvida dos casos de estudo 2.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE CASOS DE ESTUDO

Nos ensaios do caso de estudo 2, é importante observar que, embora o edifício apresente um estado avançado de degradação na pedra calcária antiga, os ensaios foram realizados apenas em áreas da pedra que não apresentavam visualmente sinais de degradação avançada.

Ao analisar as figuras que demonstram os valores obtidos no caso de estudo 1 e no caso de estudo 2 (Figura 60 e Figura 68), observa-se que, em geral, o caso de estudo 2 apresenta um desempenho superior ao do observável no caso de estudo 1.

O caso de estudo 1 apresenta condições piores, excluindo a fachada orientada a oeste, no combate ao envelhecimento por agentes naturais. Esse facto torna-se num fator decisivo na absorção de

água pelo edifício. Apesar da grande amostra das paredes do caso de estudo 2 apresentarem-se em estado avançado de degradação, estas apresentam menores valores de absorção de água em comparação com o edifício que não está localizado ao próximo ao mar. Isso implica que, de forma geral, as condições de combate aos agentes naturais de envelhecimento estão mais favoráveis no caso de estudo 2.

No entanto, em ambos os casos observou-se, no entanto, que a altura apresentou ser um fator decisivo no que toca à absorção do volume de água do edifício.

Por fim, para além das exceções referidas anteriormente, em ambos os casos observou-se que a zona das juntas apresentou-se, também, como um fator decisivo no que toca à absorção do volume de água do edifício.

5

CONCLUSÕES

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com o término da dissertação considera-se que os objetivos propostos foram atingidos. Em geral o presente trabalho permite que se obtenha um maior conhecimento sobre pedras calcárias utilizadas como revestimento e da forma como os fatores como altura e ambiente afetam as mesmas.

Em geral, pode ser atribuída um padrão de as juntas obterem um pior desempenho de absorção de água do que o observado na zona do seio das pedras calcárias. Essa diferença observada pode ser atribuída à natureza das juntas, que podem ser mais porosas ou apresentar menor resistência à penetração da água do que a própria pedra calcária. É importante considerar essa diferença ao analisar a permeabilidade e durabilidade do revestimento de pedra calcária.

Os danos visíveis nas fachadas que se encontravam à beira da costa marítima deram-se possivelmente devido à existência de ambiente salino e, apesar de se encontrar mais desgastada do que as fachadas mais longe do mar, apresentou de uma forma geral melhor desempenho do que as últimas referidas..

Percebe-se, pelos valores de absorção de água declarados que uma grande parte do problema referido anteriormente deve-se ao facto de exposição aos elementos naturais de envelhecimento. No caso de estudo 1, para além da fachada orientada a oeste, as restantes fachadas não tiveram o tão bom combate aos agentes naturais de envelhecimento do que o observado no caso de estudo 2 e assim, apresentaram maiores valores de absorção de água.

Denota-se também que apesar de o caso de estudo mais longe do mar apresentar uma menor absorção de água à pressão atmosférica quando comparado com a pedra calcária antiga utilizada para o revestimento do caso de estudo mais próximo do mar tem piores resultados apesar de a característica do material referido.

No entanto, apesar dos problemas expostos no presente capítulo, uma constante observou-se em praticamente todas as fachadas observadas com as suas devidas exceções. À medida que a altura do local do ensaio aumenta, aumenta também o volume de água absorvido pelos revestimentos das fachadas. Pelo que é possível retirar-se a recomendação de ter uma melhor atenção à impermeabilização por todo o edifício visto que a exposição, tanto em função da localização com da orientação e altura influenciam os valores obtidos.

O presente trabalho ajuda no desenvolvimento dos estudos quanto à exposição de ambientes naturais e da forma como as alturas em que os revestimentos são colocados afetam a impermeabilização das fachadas.

5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

No âmbito de a presente tese para um desenvolvimento futuro seria interessante explorar outros casos de estudo para diferentes materiais em edifícios que não se encontrem desgastados e ainda em boas condições, no sentido de ainda não apresentar desgastes no mesmo para verificar com melhor fidedignidade o efeito do envelhecimento natural e a absorção de água dos materiais.

Considera-se que uma das principais dificuldades encontradas no âmbito do presente estudo foi a inexistência de uma classificação (qualitativa) para os valores obtidos no ensaios com os tubos de Karsten. Propõe-se como trabalhos futura o desenvolvimento de uma correlação entre os valores obtidos neste ensaios com o ensaio de capilaridade, dado existirem na literatura diferentes classificações dos valores medidos através do ensaio de capilaridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Raju, K. and S. Ravindhar. *Detailed review on natural stone materials in architecture*. in *Materials Today: Proceedings*. 2020.
- [2] <https://www.portugalimestones.com/finished-products/slabs>. 19/2/2023
- [3] Sá, G., et al., *Statistical survey on inspection, diagnosis and repair of wall renderings*. Journal of Civil Engineering and Management, 2015. **21**(5): p. 623-636.
- [4] Galvão, J., et al., *Non-destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure*. Construction and Building Materials, 2020. **230**.
- [5] Maia, J.F., *Durability of thermal rendering and plastering systems*. 2019: FEUP.
- [6] Menezes, A., M. Glória Gomes, and I. Flores-Colen, *In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls*. Construction and Building Materials, 2015. **75**: p. 283-292.
- [7] Ramos, N.M.M. and P.F. Pereira, *Innovative Approach on Building Pathology Testing and Analysis*, in *Springer Tracts in Civil Engineering*. 2023. p. 293-306.
- [8] Estatística, I.N.d., *Estatísticas da Construção e Habitação - 2021*. 2022.
- [9] Lucas, J.A.C., *Classificação e Descrição Geral de Revestimentos para Paredes de Alvenaria ou de Betão*. 1990: Lisboa.
- [10] Freitas, V. and V. Abrantes Almeida. *Proceedings of the International Symposium on Moisture Problems in Building Walls*. in *International Symposium on Moisture Problems in Building Walls*. 1995.
- [11] Gaspar, P. and J. Brito, *O Ciclo de Vida das Construções*. Arquitectura & Vida, 2003: p. 98-103.
- [12] Flores-Colen, I. and J. De Brito, *Renders*, in *Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design*. 2015. p. 53-122.
- [13] Lucas, J.A.C., *EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE REVESTIMENTOS DE PAREDES*. 1990, Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Lisboa.
- [14] Flores-Colen, I., et al., *Revestimento de paredes* 2009.
- [15] Campinhos, R., *Revestimentos em Pedra Natural com Fixação Mecânica- Dimensionamento e Projecto* 2009, Lisboa
- [16] Soulios, V., et al., *Durability of the hydrophobic treatment on brick and mortar*. Building and Environment, 2021. **201**.
- [17] Zhao, J. and F. Meissener. *Experimental investigation of moisture properties of historic building material with hydrophobization treatment*. in *Energy Procedia*. 2017.
- [18] Aktas, Y.D., et al., *Impact of surface waterproofing on the performance of brick masonry through the moisture exposure life-cycle*. Building and Environment, 2021. **197**.
- [19] Marín, J.A.C. and A.G. Santos, *Application method of water repellent products and its influence on the suction process on the facade of ceramic brick*. Revista de la Construcción, 2014. **13**(3): p. 3-9.
- [20] Moura, A.C., *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*. 2007, Amadora, Portugal: Gestão de artes Gráficas SA.
- [21] <https://www.mcristovao.com/#SURFACES>. 10/3/2023
- [22] [fornecedoresdepiedra.pt](https://www.fornecedoresdepiedra.pt).
- [23] Pires, V., et al., *The Susceptibility to Salt Fog Degradation of Stone Cladding Materials: A Laboratory Case Study on Two Limestones from Portugal*. Heritage, 2023. **6**(1): p. 492-504.
- [24] Burkinshaw, R., *What is the moisture meter trying to tell us?* Structural Survey, 2002. **20**(5): p. 162-172.
- [25] Duarte, R., et al., *Variability of in-situ testing in wall coating systems - Karsten tube and moisture meter techniques*. Journal of Building Engineering, 2020. **27**.
- [26] <https://web.fe.up.pt/~lfc-scc/ensaio.php>. 12/3/2023
- [27] Hendrickx, R., *Using the Karsten tube to estimate water transport parameters of porous building materials: The possibilities of analytical and numerical solutions*. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 2013. **46**(8): p. 1309-1320.
- [28] Kunzel, H. and F. Holm, *Protection of Stucco Facades*. WTA-Schriftenreihe, 1999. **20**: p. 117-132.
- [29] Flores-Colen, I., J. Manuel Calíço Lopes de Brito, and V. Peixoto de Freitas, *On-site performance assessment of rendering façades for predictive maintenance*. Structural Survey, 2011. **29**(2): p. 133-146.
- [30] Jang, K. and H. Viles, *Moisture Interactions Between Mosses and Their Underlying Stone Substrates*. Studies in Conservation, 2022. **67**(8): p. 532-544.

- [31] Bellei, P., et al., *Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques*. Journal of Building Engineering, 2021. **43**: p. 102871.
- [32] MARMONEGRAIS, *Catálogo geral - Calcário | Mármore*.
- [33] <https://www.cosentino.com/pt-pt/fachadas/#dekton-facades>. 29/4/2023
- [34] LNEC., *MÉTODOS DE ENSAIO DE REVESTIMENTOS DE PAREDE EXISTENTES*. 2016.
- [35] Vasco Peixoto Freitas, P.F.G., *Material de apoio às aulas de PRE - Caracterização experimental de materiais e componentes*.

ANEXO I

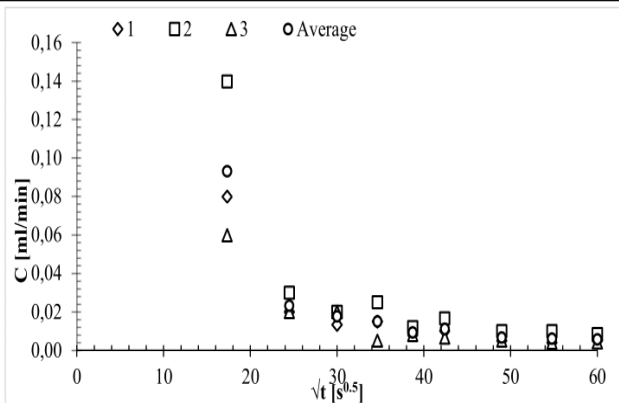
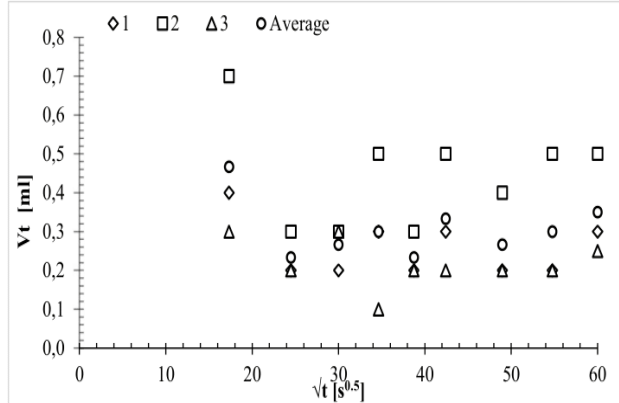
REGRAS DE QUALIDADE DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES

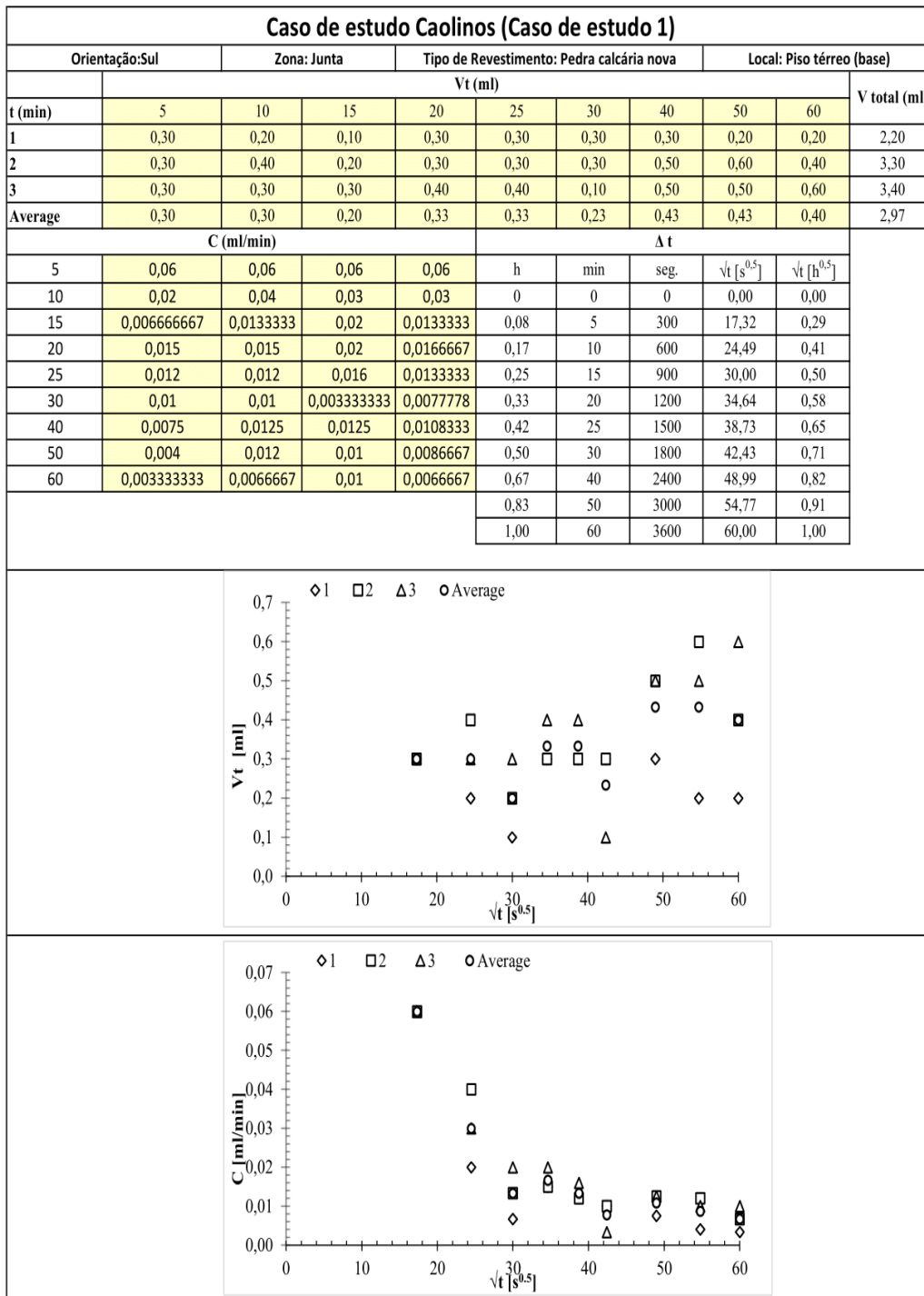
REVESTIMENTOS DE ESTANQUIDADE COM BASE EM LIGANTES SINTÉTICOS ARMADOS	- Estanquidade à água - Aderência ao suporte - Resistência à saponificação - Resistência à fissuração - Resistência à tração da armadura de fibra de vidro
REVESTIMENTOS TRADICIONAIS DE LIGANTES HIDRÁULICOS	- Planeza - Verticalidade - Asoeto - Aderência ao suporte
REVESTIMENTOS NÃO-TRADICIONAIS DE LIGANTES HIDRÁULICOS	- Permeabilidade à água e ao vapor de água - Resistência à fissuração - Aspeto
SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO POR REVESTIMENTO DELGADO SOBRE ISOLANTE	- Estabilidade - Risco de incêndio - Choques térmicos - Estanquidade à água - Aspeto - Planeza - Resistência aos choques - Durabilidade
REVESTIMENTOS DELGADOS DE MASSAS PLÁSTICAS	- Riscos de incêndio - Toxicidade - Rugosidade de superfície - Permeabilidade à água e ao vapor de água - Aspeto - Odores - Higiene - Compatibilidade com o suporte - Aderência ao suporte - Sensibilidade à água - Sensibilidade ao frio - Sensibilidade ao calor e aos choques térmicos - Resistência aos choques - Resistência a ambientes agressivos especiais - Sensibilidade à sujidade - Durabilidade - Limpeza, reparação localizada ou renovação

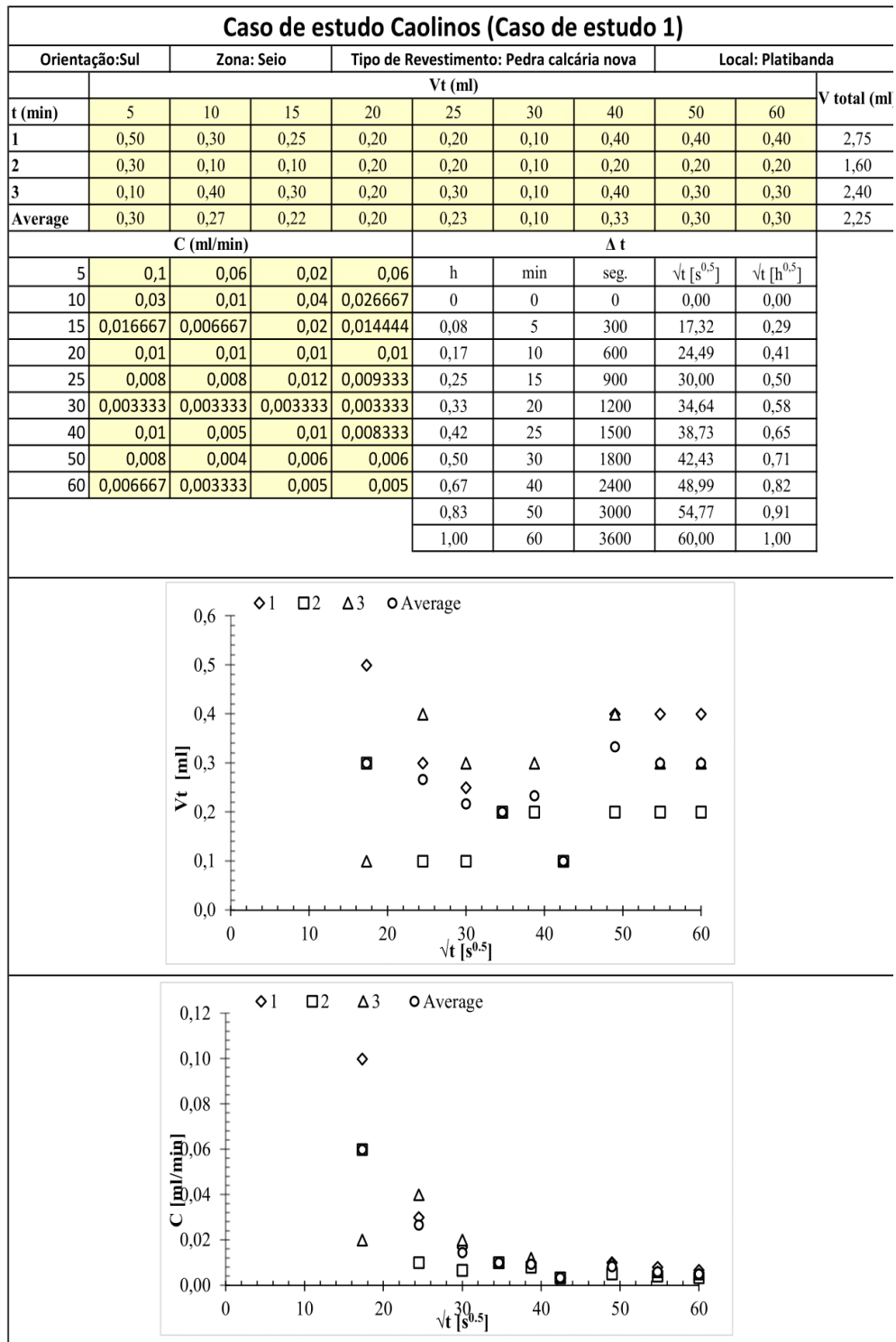
ANEXO II

ENSAIOS DE CASO DE ESTUDO 1

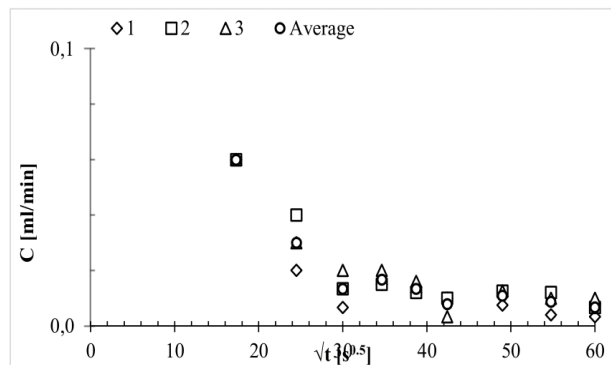
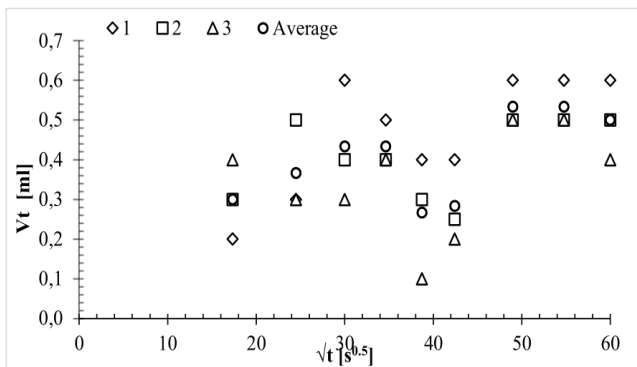
Caso de estudo Caolinos (Caso de estudo 1)										
Orientação:Sul		Zona: Seio		Tipo de Revestimento: Pedra calcária nova				Local: Piso térreo (base)		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,40	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	2,30
2	0,70	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,40	0,50	0,50	4,00
3	0,30	0,20	0,30	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	1,95
Average	0,47	0,23	0,27	0,30	0,23	0,33	0,27	0,30	0,35	2,75
C (ml/min)					Δ t					
5	0,08	0,14	0,06	0,0933333	h	min	seg.	√t [s ^{0,5}]	√t [h ^{0,5}]	
10	0,02	0,03	0,02	0,0233333	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,01333333	0,02	0,02	0,0177778	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,015	0,025	0,005	0,015	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,008	0,012	0,008	0,0093333	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,01	0,0166667	0,00666667	0,0111111	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0,005	0,01	0,005	0,0066667	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0,004	0,01	0,004	0,006	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,005	0,0083333	0,00416667	0,0058333	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	

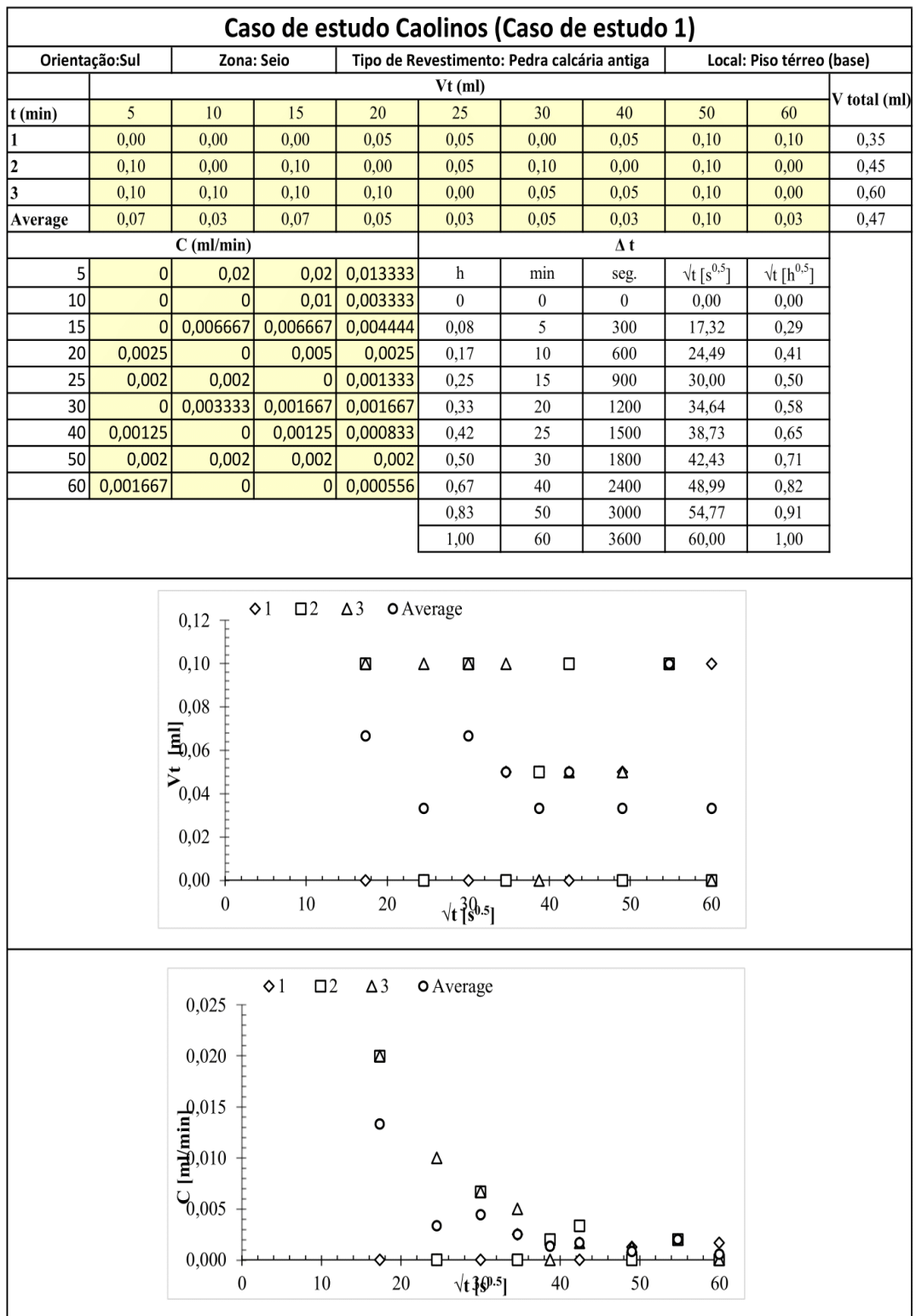


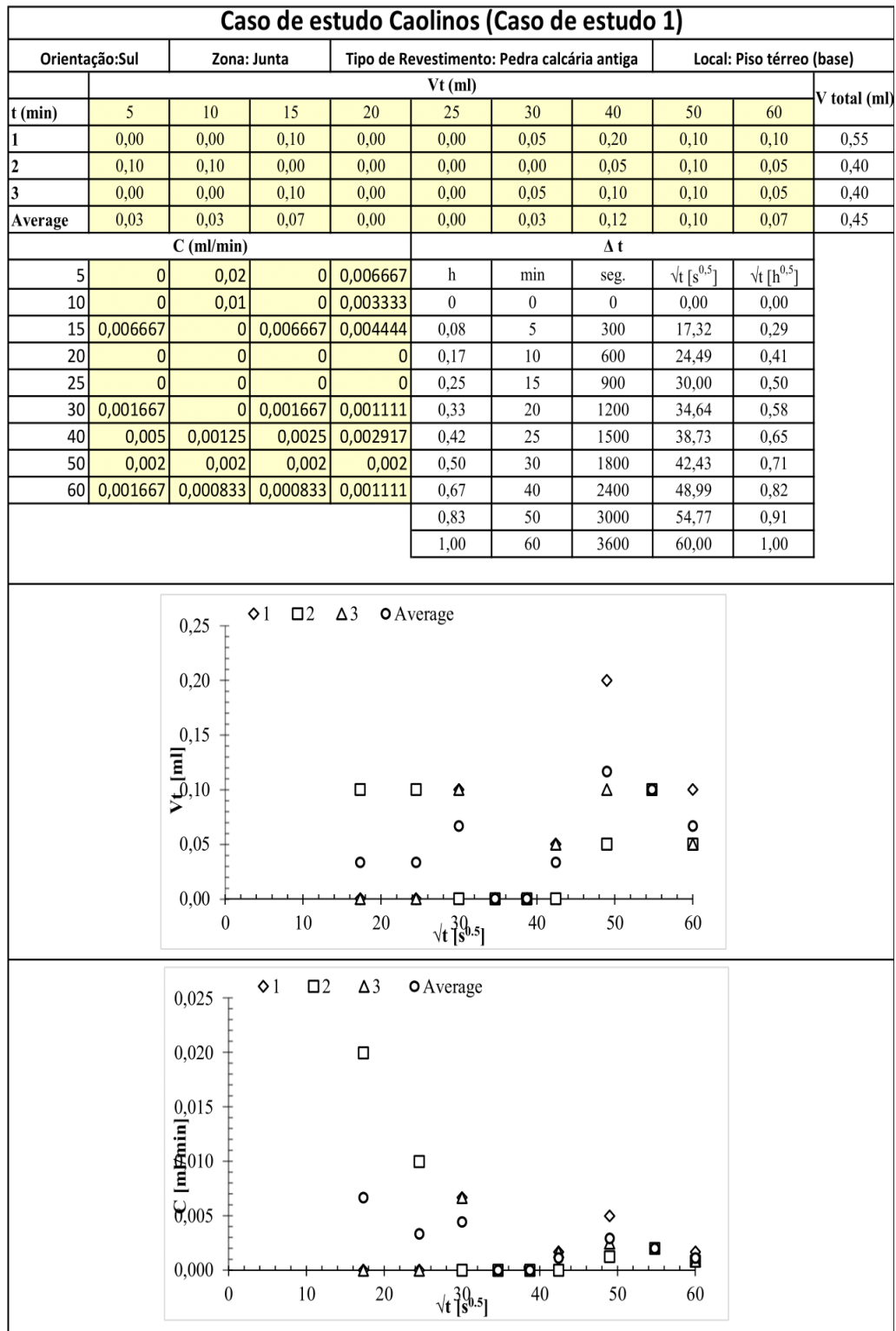




Caso de estudo Caolinos (Caso de estudo 1)										
Orientação:Sul		Zona: Junta		Tipo de Revestimento: Pedra calcária nova				Local: Platibanda		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,20	0,30	0,60	0,50	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	4,20
2	0,30	0,50	0,40	0,40	0,30	0,25	0,50	0,50	0,50	3,65
3	0,40	0,30	0,30	0,40	0,10	0,20	0,50	0,50	0,40	3,10
Average	0,30	0,37	0,43	0,43	0,27	0,28	0,53	0,53	0,50	3,65
C (ml/min)					Δ t					
5	0,04	0,06	0,08	0,06	h	min	seg.	√t [s ^{0,5}]	√t [h ^{0,5}]	
10	0,03	0,05	0,03	0,036667	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,04	0,026667	0,02	0,028889	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,025	0,02	0,02	0,021667	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,016	0,012	0,004	0,010667	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,013333	0,008333	0,006667	0,009444	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0,015	0,0125	0,0125	0,013333	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0,012	0,01	0,01	0,010667	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,01	0,008333	0,006667	0,008333	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	

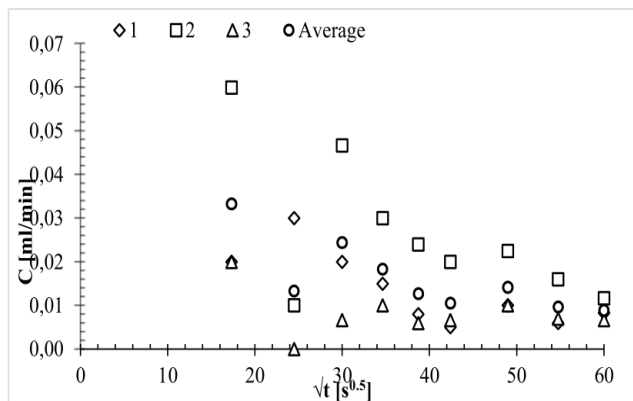
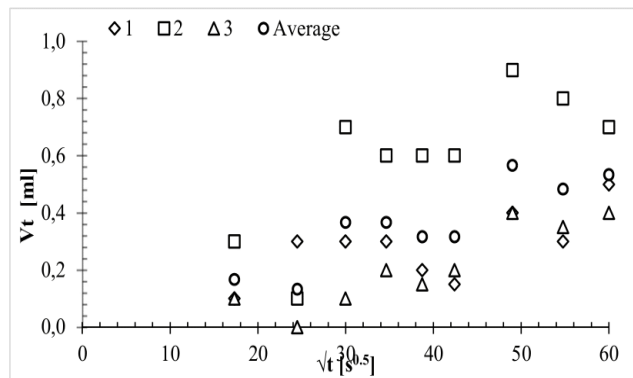






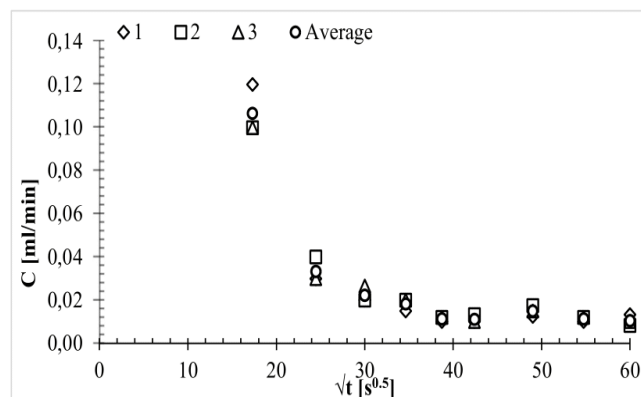
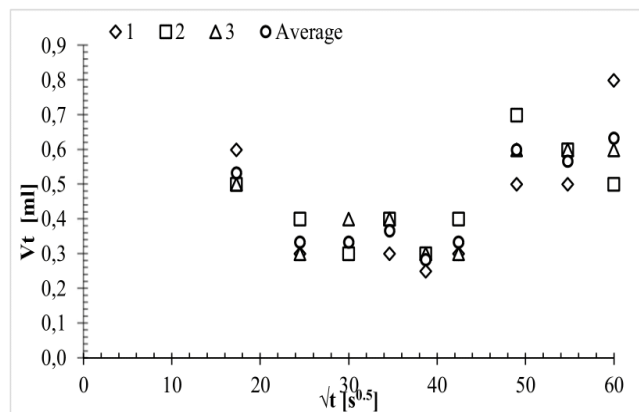
Caso de estudo Caolinos (Caso de estudo 1)

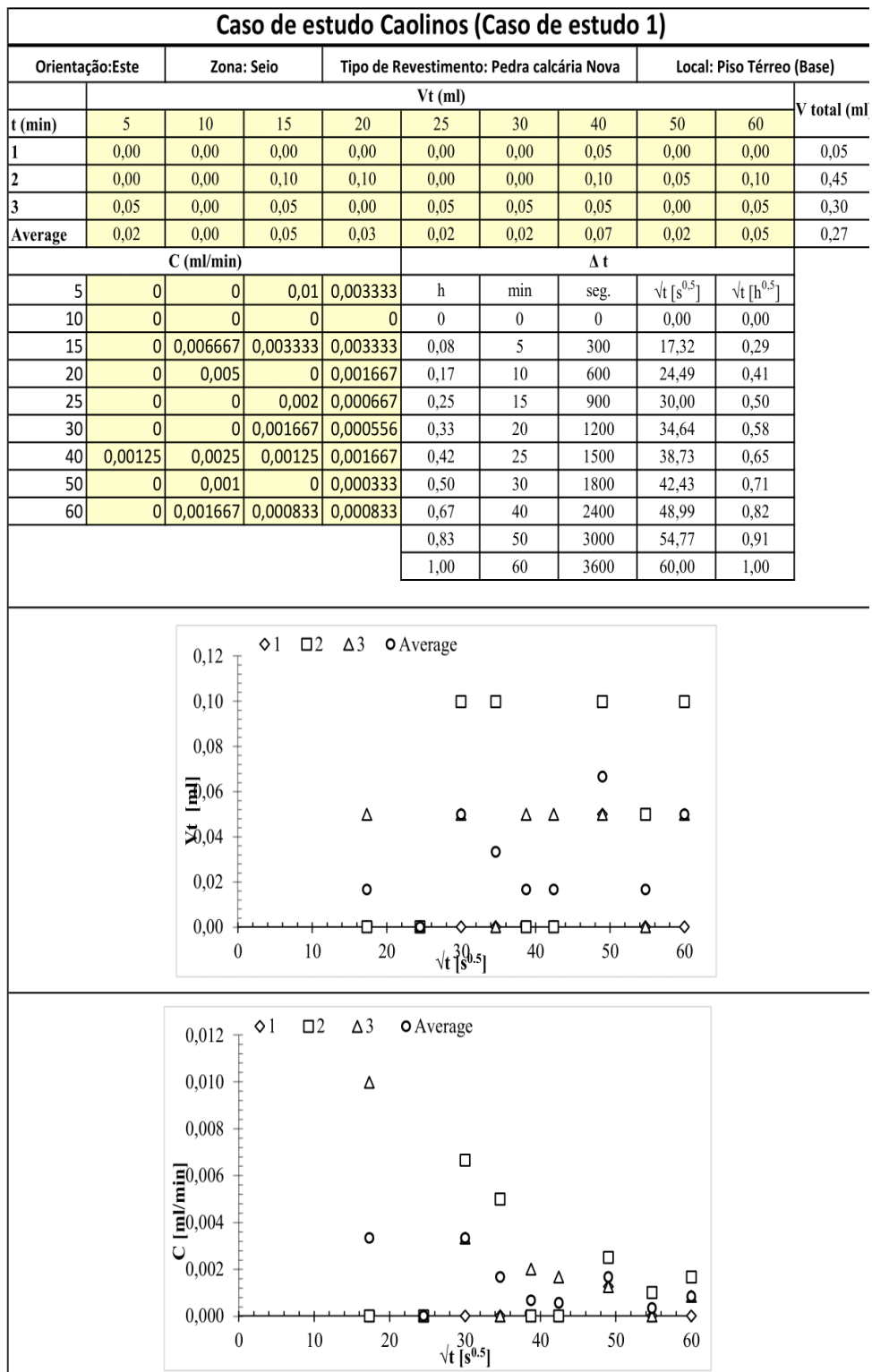
Orientação:Sul		Zona: Seio		Tipo de Revestimento: Pedra calcária antiga				Local: Platibanda		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,10	0,30	0,30	0,30	0,20	0,15	0,40	0,30	0,50	2,55
2	0,30	0,10	0,70	0,60	0,60	0,60	0,90	0,80	0,70	5,30
3	0,10	0,00	0,10	0,20	0,15	0,20	0,40	0,35	0,40	1,90
Average	0,17	0,13	0,37	0,37	0,32	0,32	0,57	0,48	0,53	3,25
C (ml/min)					Δ t					
5	0,02	0,06	0,02	0,033333	h	min	seg.	√t [s ^{0,5}]	√t [h ^{0,5}]	
10	0,03	0,01	0	0,013333	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,02	0,046667	0,006667	0,024444	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,015	0,03	0,01	0,018333	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,008	0,024	0,006	0,012667	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,005	0,02	0,006667	0,010556	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0,01	0,0225	0,01	0,014167	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0,006	0,016	0,007	0,009667	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,008333	0,011667	0,006667	0,008889	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	

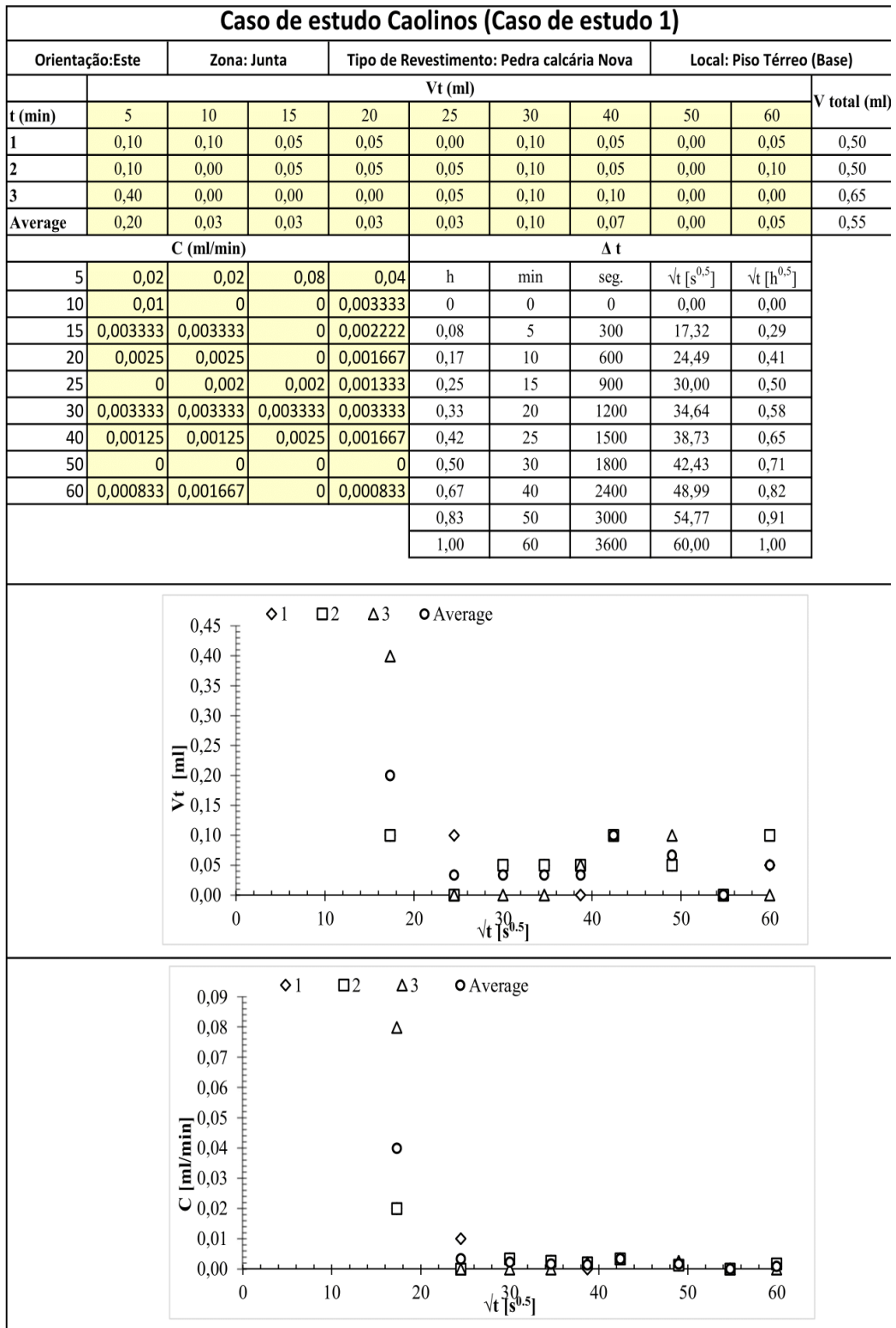


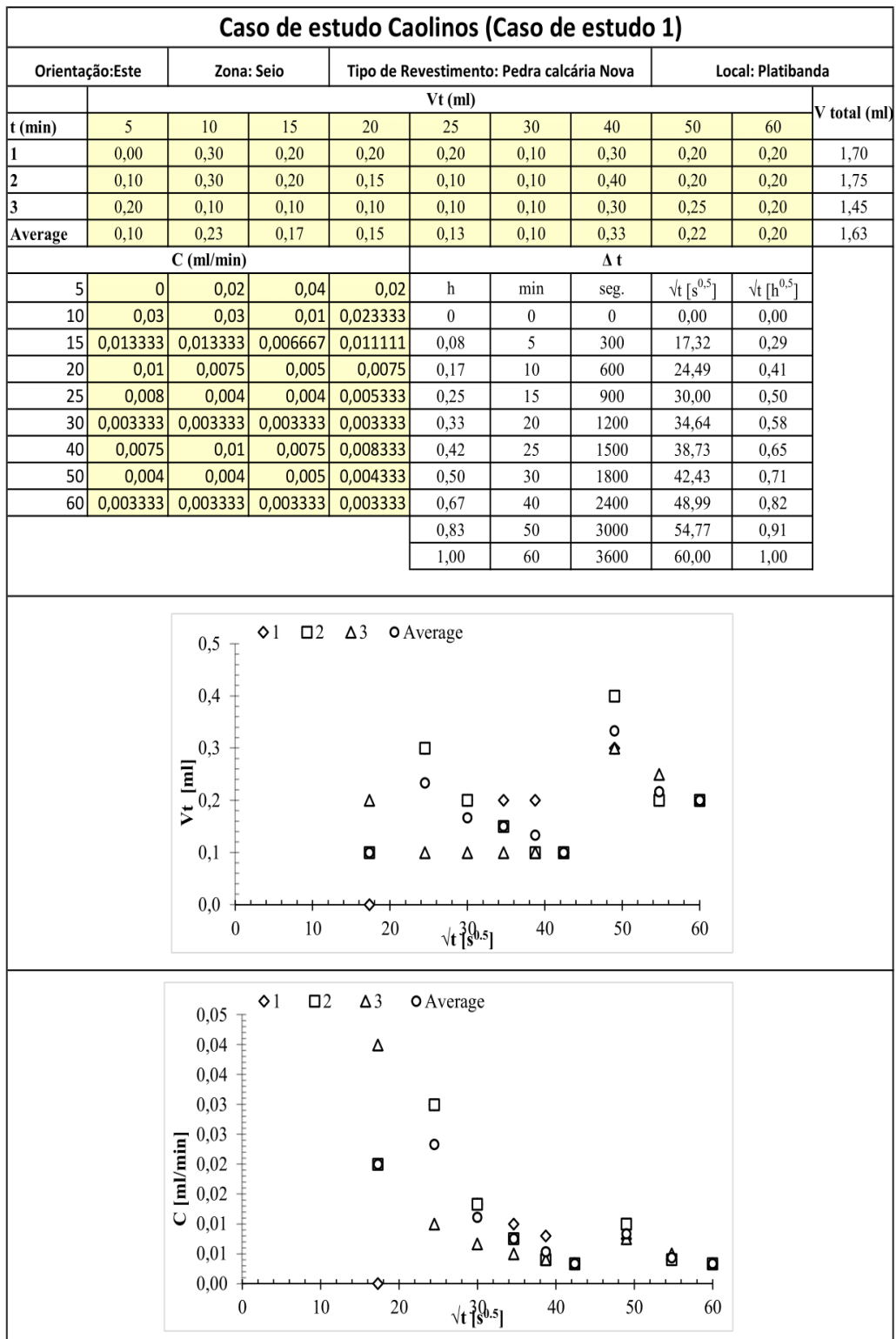
Caso de estudo Caolinos (Caso de estudo 1)

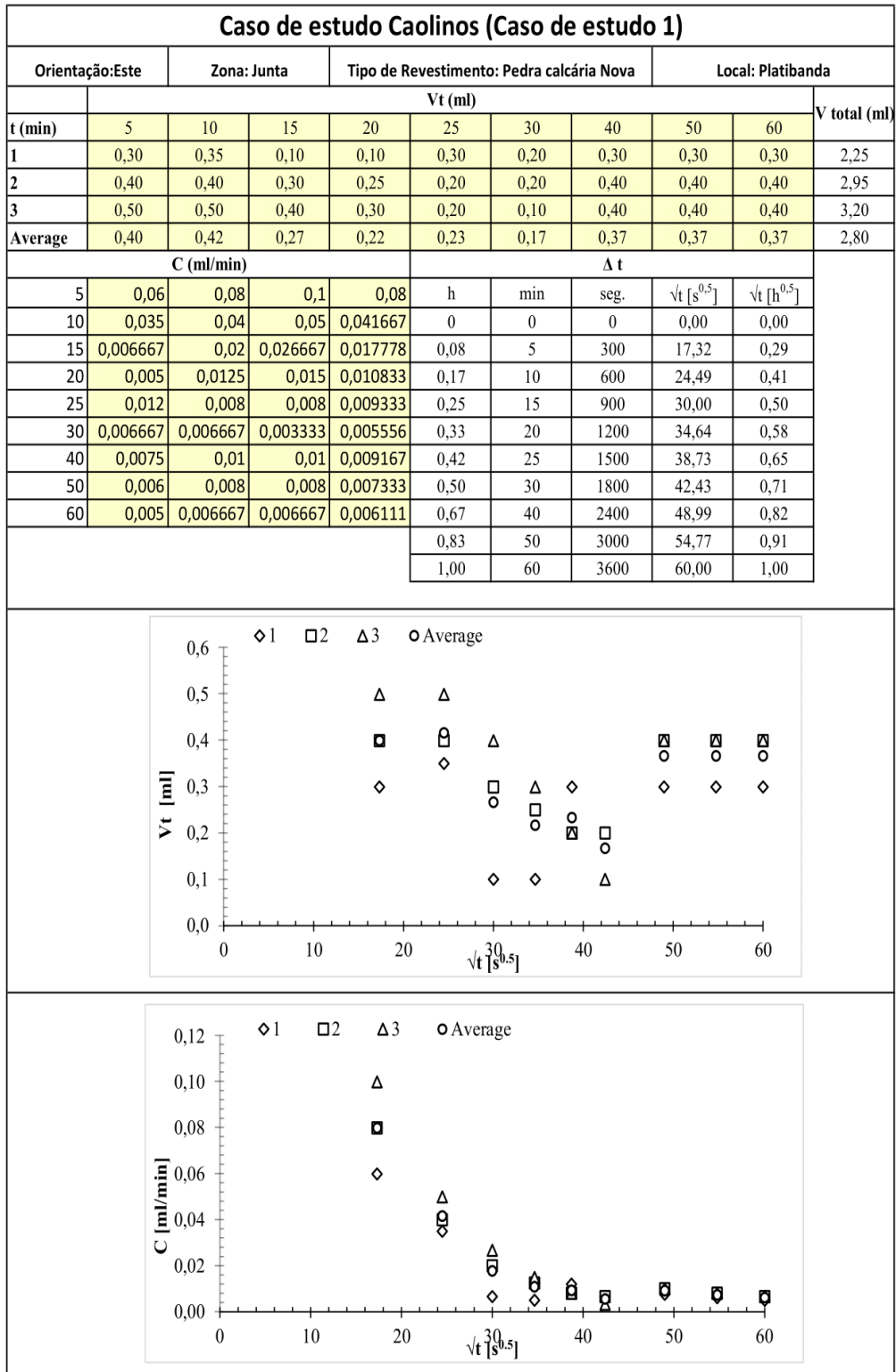
Orientação:Sul		Zona: Junta		Tipo de Revestimento: Pedra calcária antiga				Local: Platibanda		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,60	0,30	0,30	0,30	0,25	0,30	0,50	0,50	0,80	3,85
2	0,50	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,70	0,60	0,50	4,10
3	0,50	0,30	0,40	0,40	0,30	0,30	0,60	0,60	0,60	4,00
Average	0,53	0,33	0,33	0,37	0,28	0,33	0,60	0,57	0,63	3,98
C (ml/min)					Δ t					
5	0,12	0,1	0,1	0,106667	h	min	seg.	√t [s ^{0,5}]	√t [h ^{0,5}]	
10	0,03	0,04	0,03	0,033333	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,02	0,02	0,026667	0,022222	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,015	0,02	0,02	0,018333	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,01	0,012	0,012	0,011333	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,01	0,013333	0,01	0,011111	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0,0125	0,0175	0,015	0,015	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0,01	0,012	0,012	0,011333	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,013333	0,008333	0,01	0,010556	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	

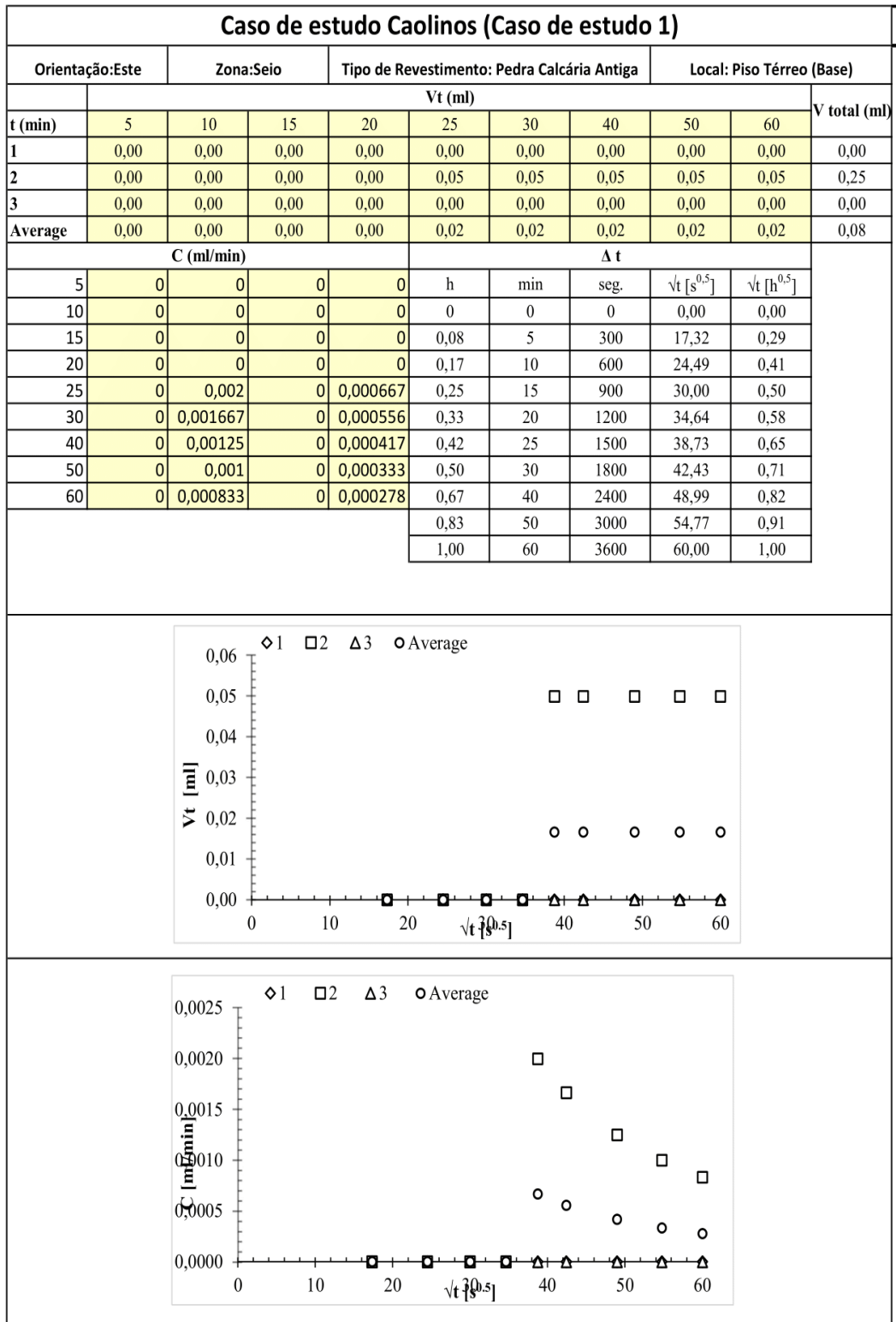


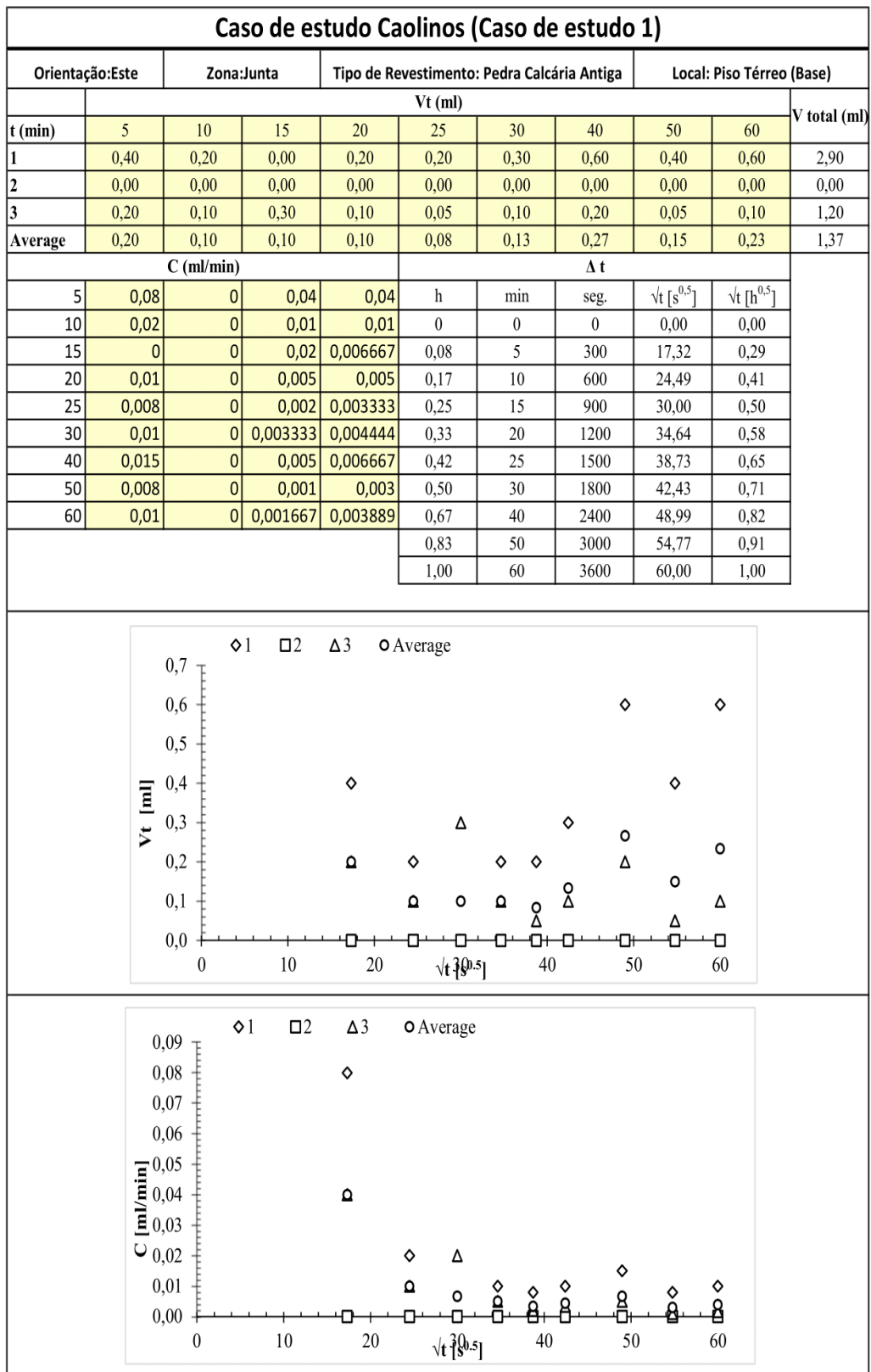


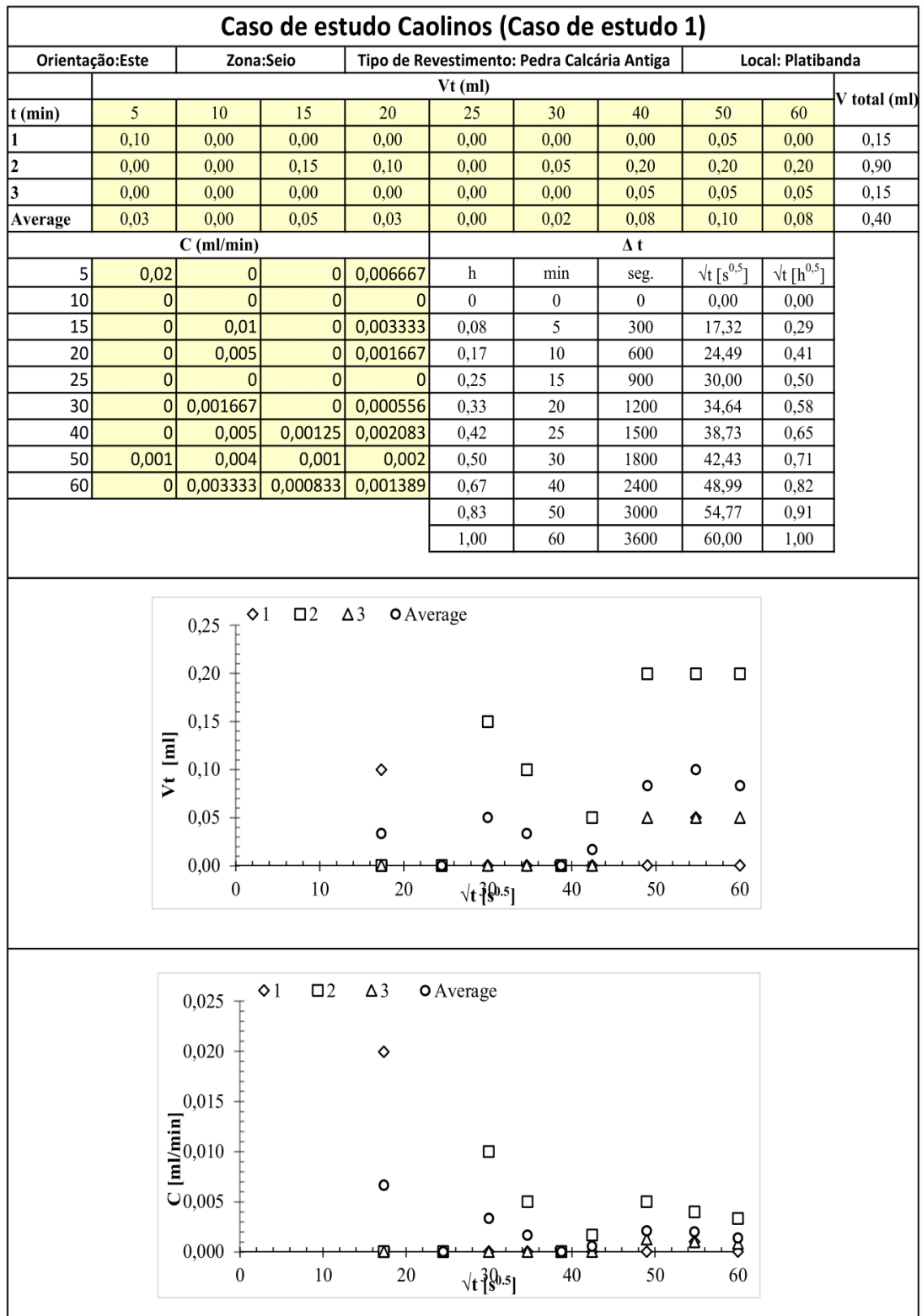


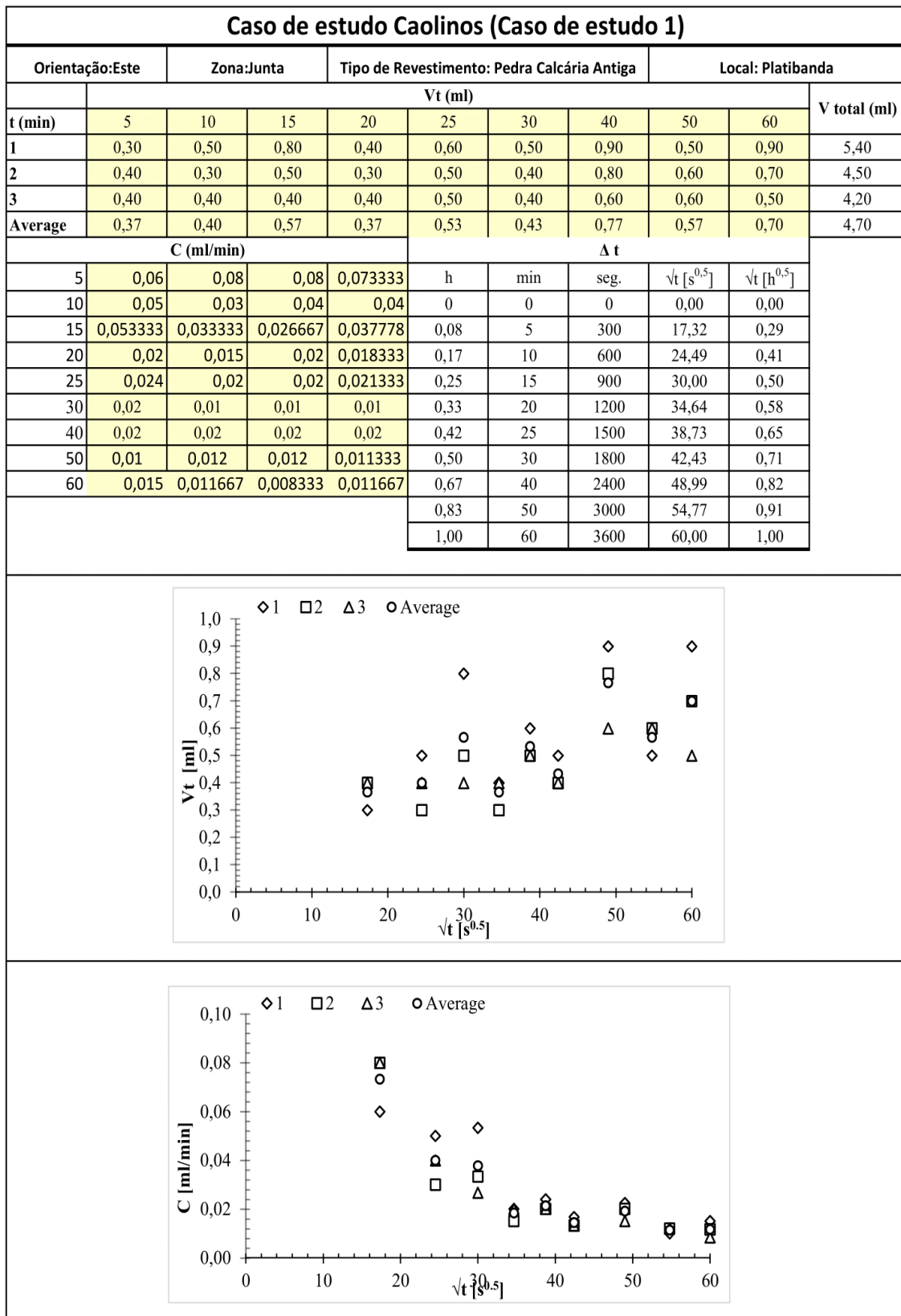


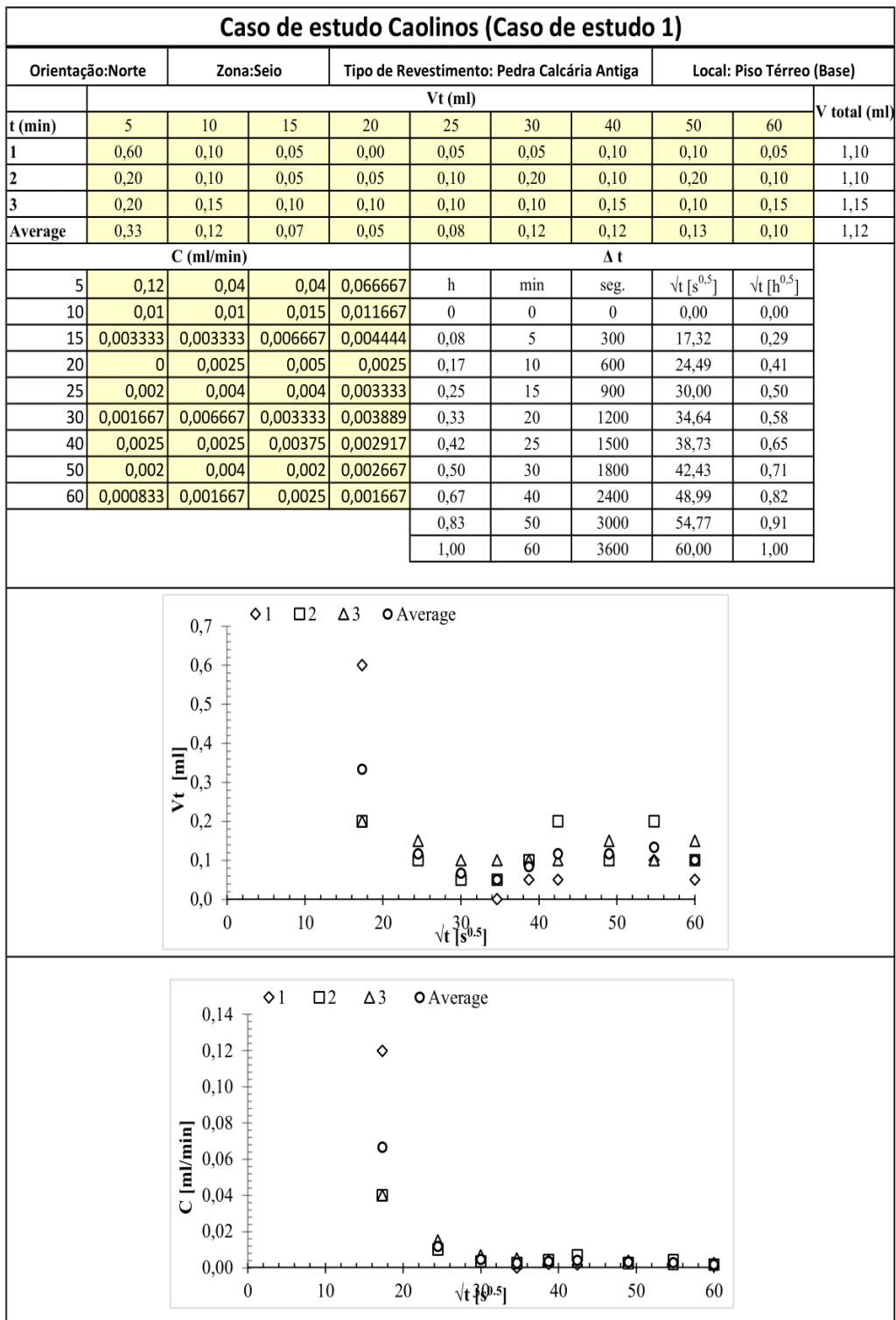






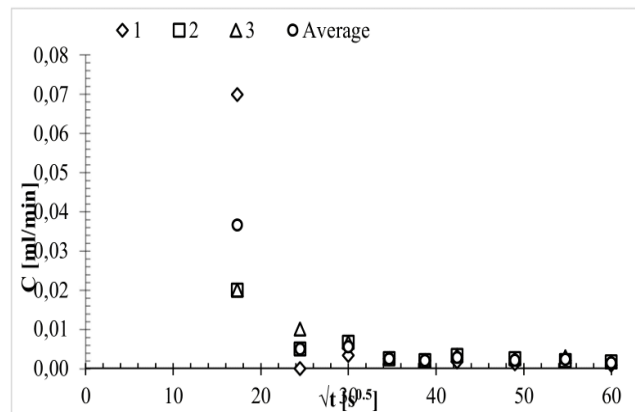
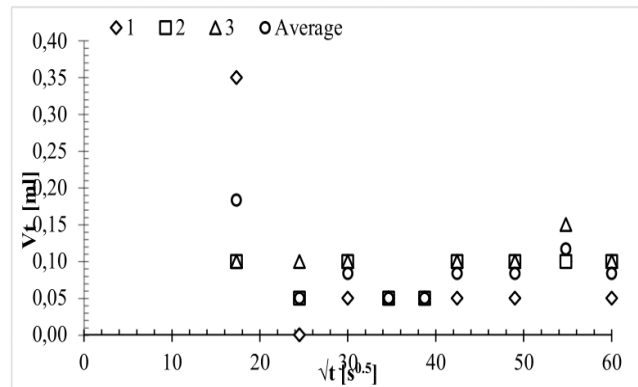


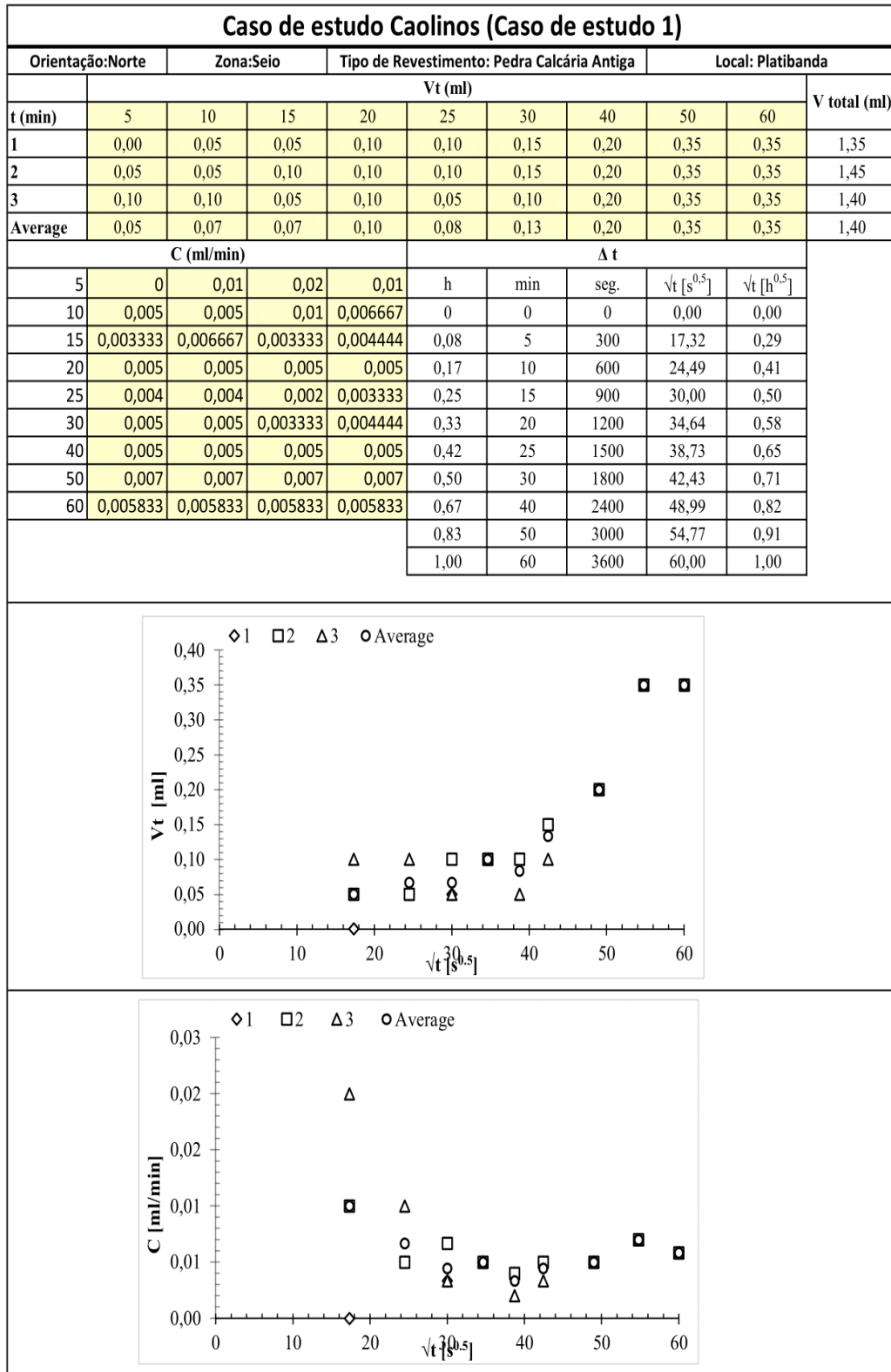


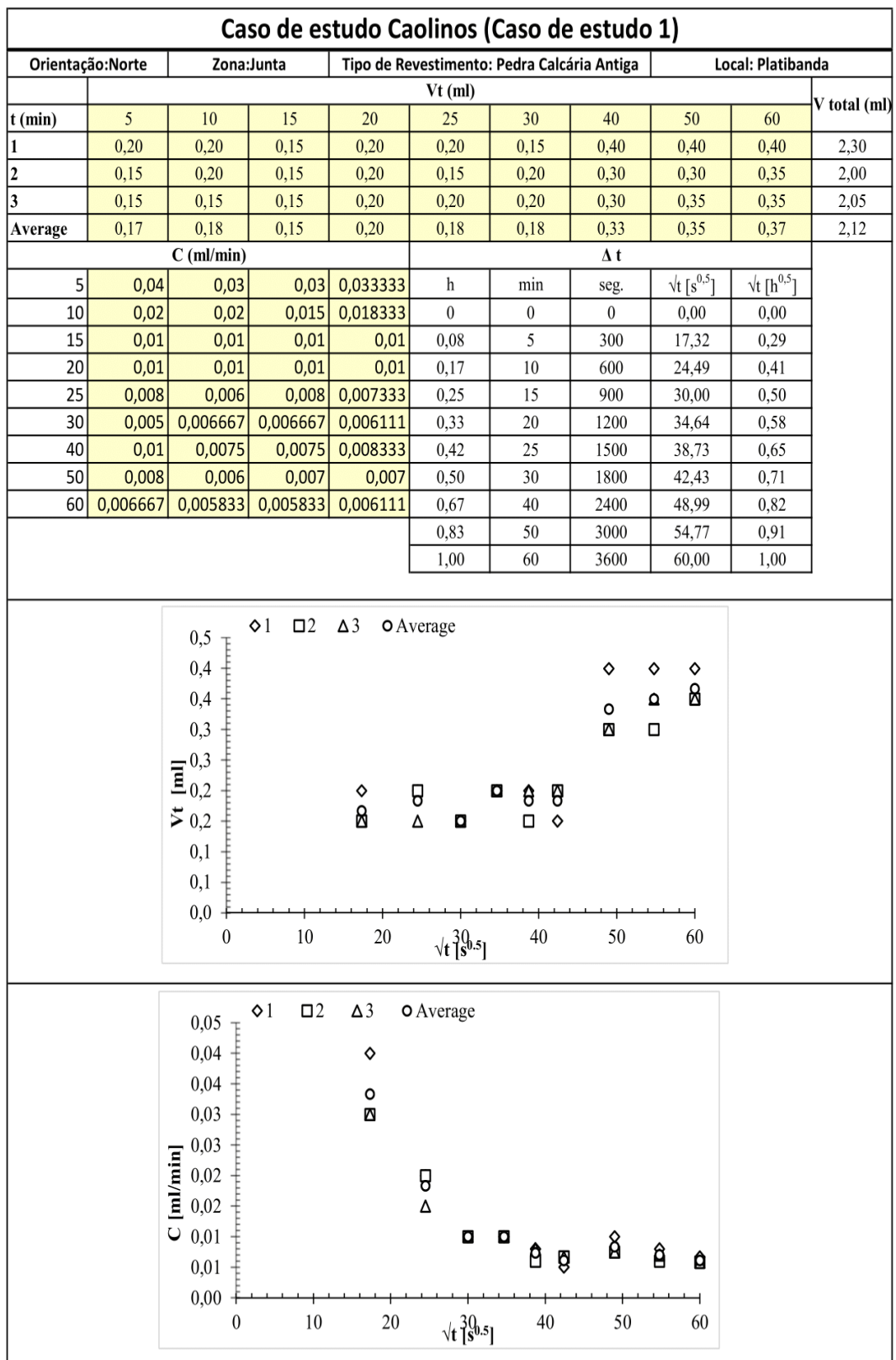


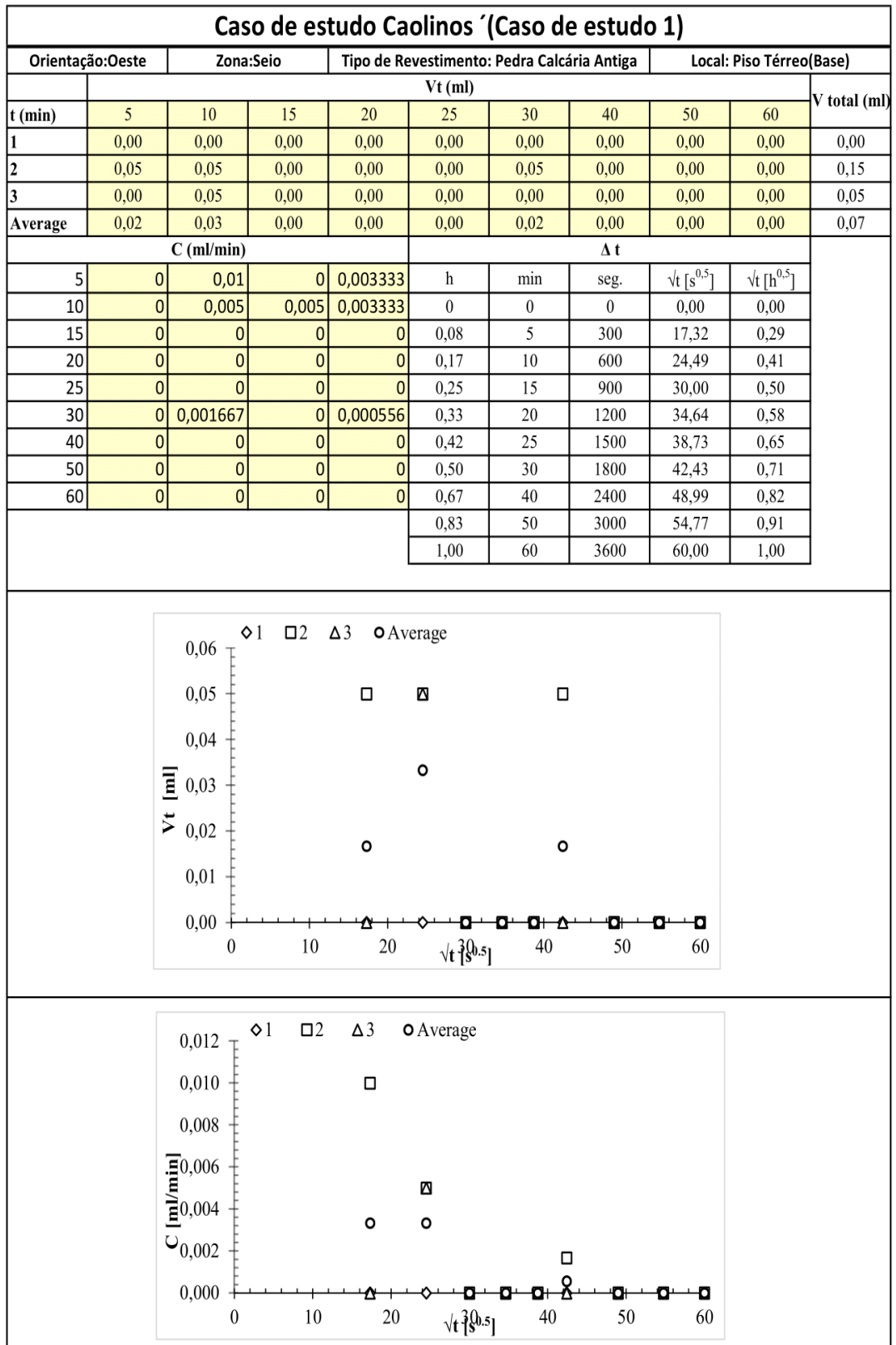
Caso de estudo Caolinos (Caso de estudo 1)

Orientação:Norte		Zona:Junta		Tipo de Revestimento: Pedra Calcária Antiga				Local: Piso Térreo (Base)		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,35	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,75
2	0,10	0,05	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,75
3	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,10	0,85
Average	0,18	0,05	0,08	0,05	0,05	0,08	0,08	0,12	0,08	0,78
C (ml/min)					Δ t					
5	0,07	0,02	0,02	0,036667	h	min	seg.	$\sqrt{t} [s^{0,5}]$	$\sqrt{t} [h^{0,5}]$	
10	0	0,005	0,01	0,005	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,003333	0,006667	0,006667	0,005556	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,002	0,002	0,002	0,002	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,001667	0,003333	0,003333	0,002778	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0,00125	0,0025	0,0025	0,002083	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0,002	0,002	0,003	0,002333	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,000833	0,001667	0,001667	0,001389	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	

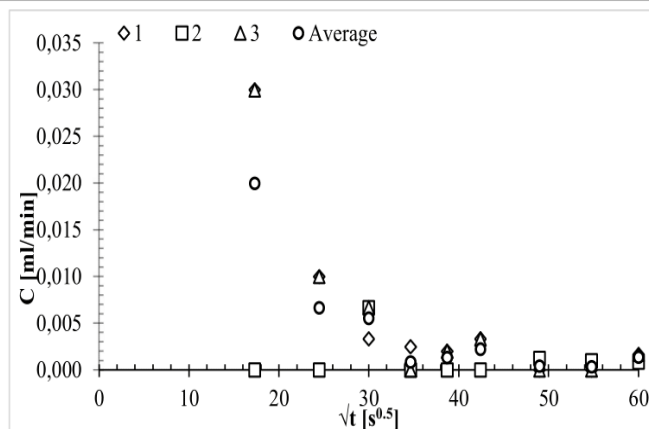
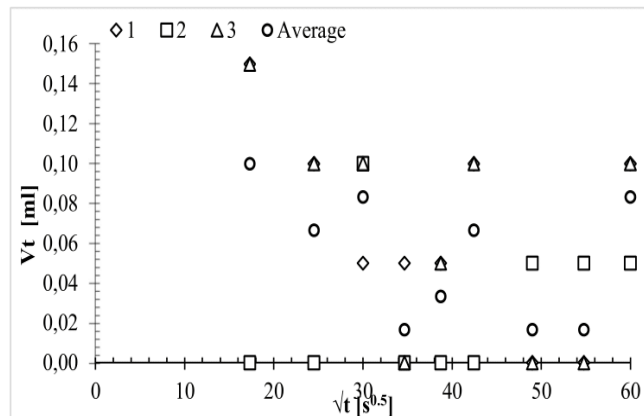


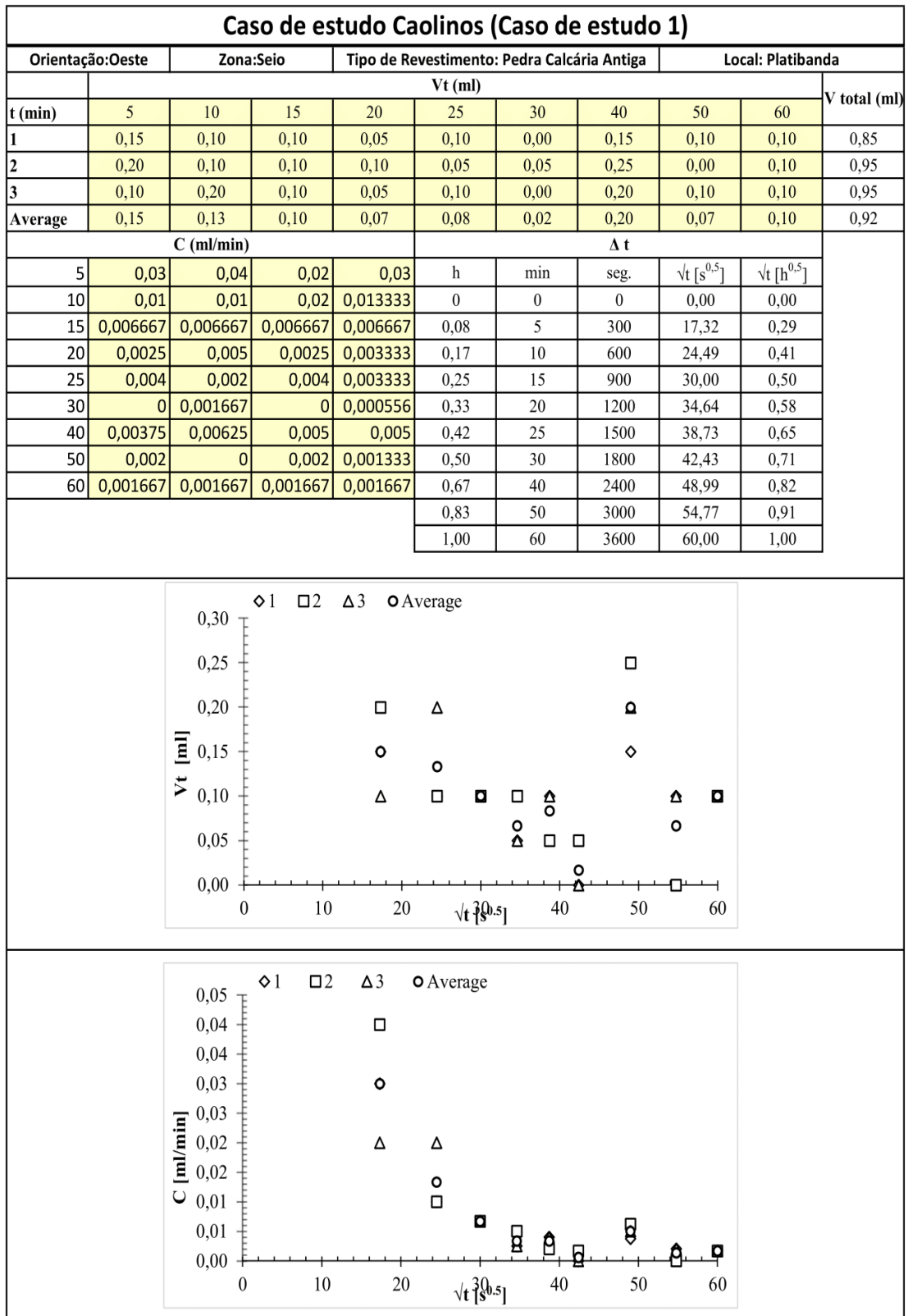


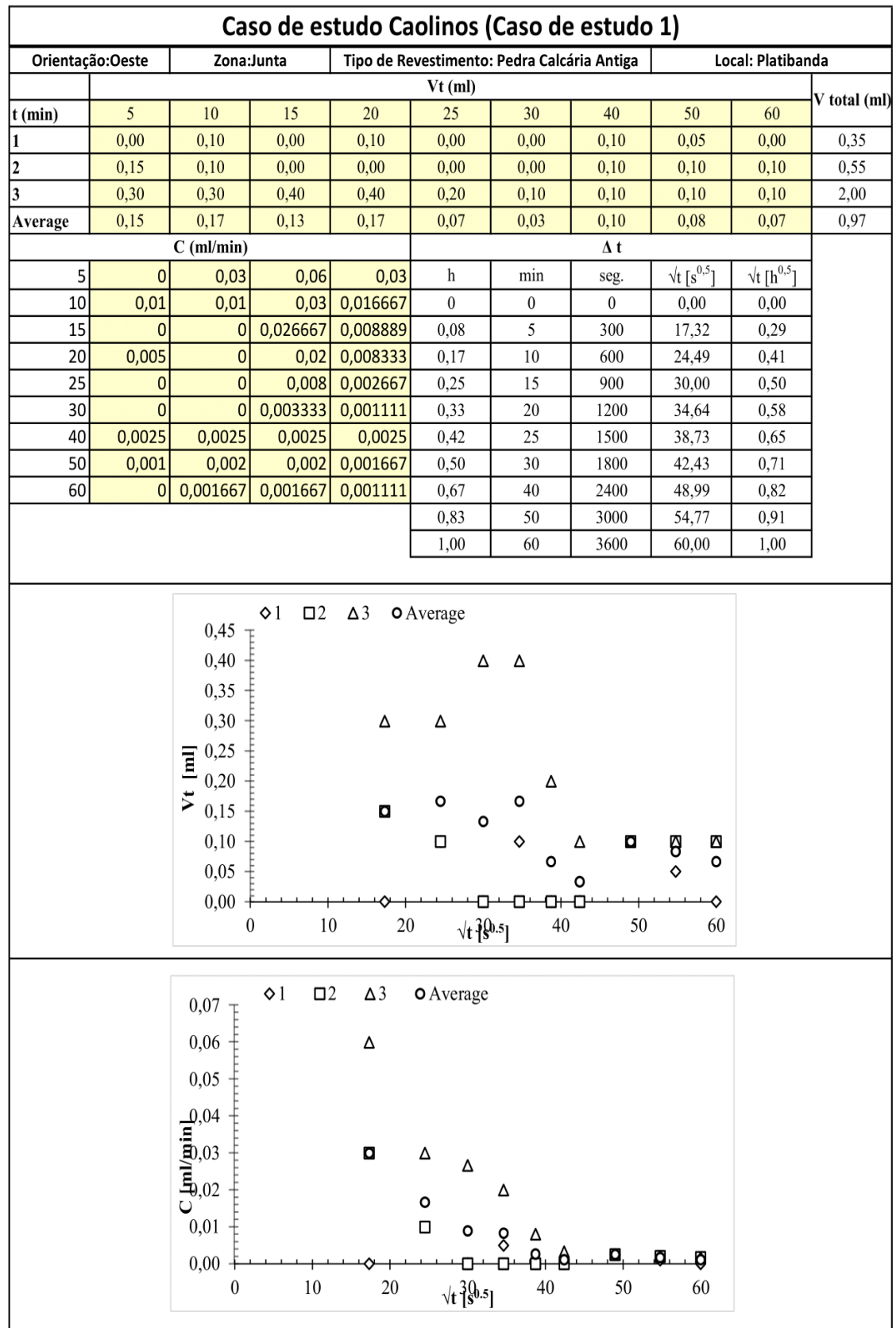


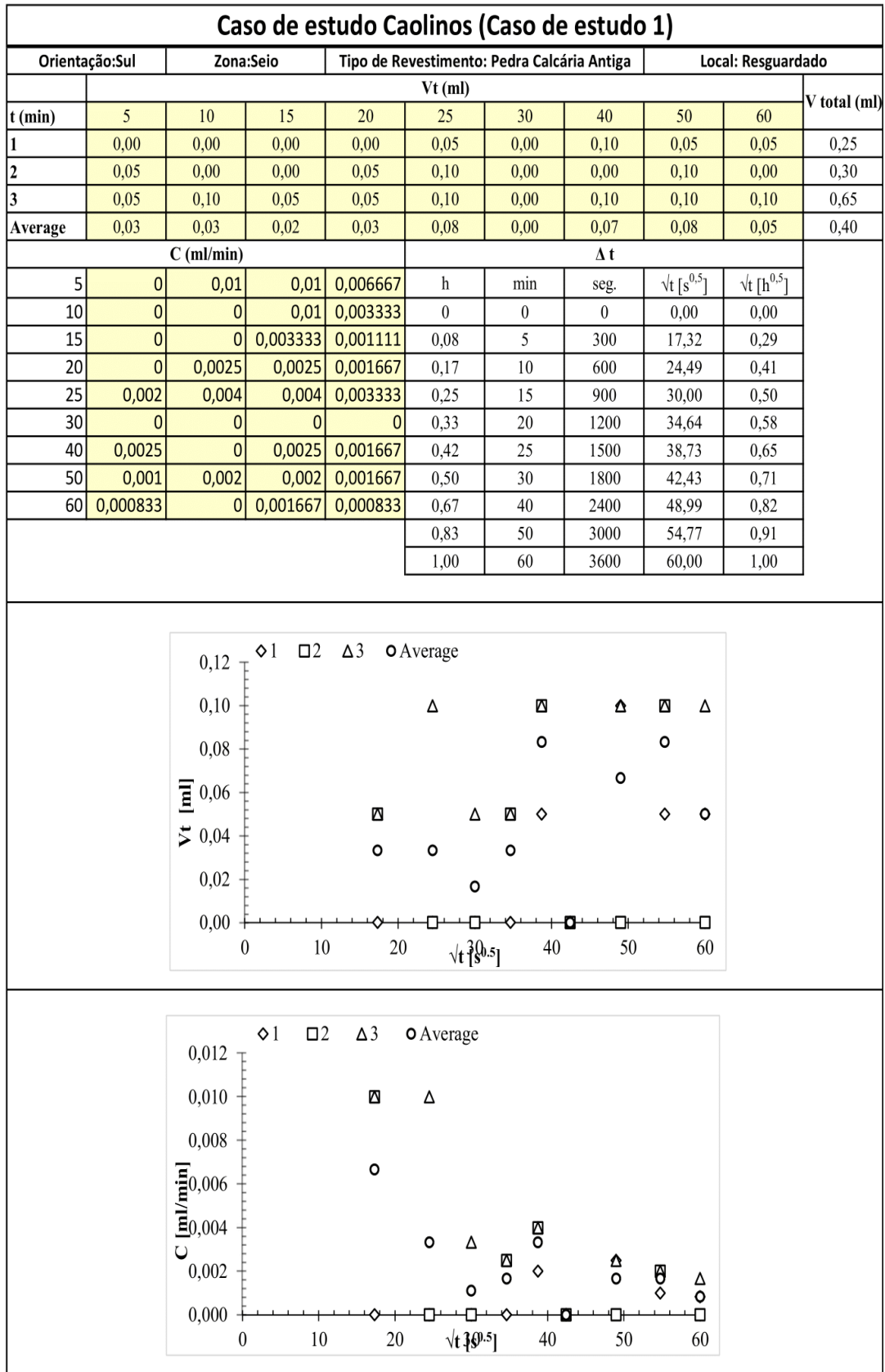


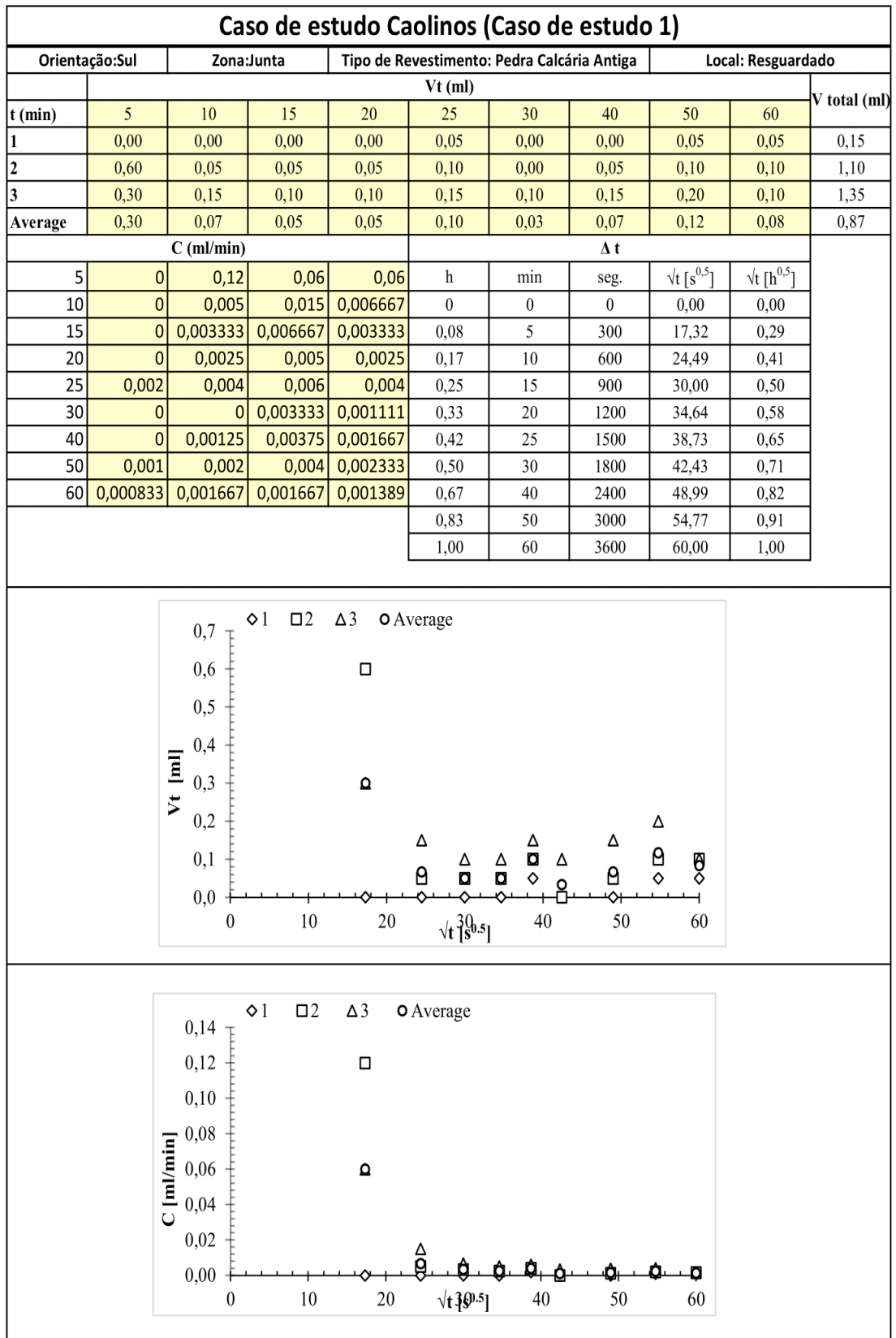
Caso de estudo Caolinos ´(Caso de estudo 1)										
Orientação:Oeste		Zona:Junta		Tipo de Revestimento: Pedra Calcária Antiga				Local: Piso Térreo(Base)		
	Vt (ml)									V total (ml)
t (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	
1	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,00	0,00	0,10	0,60
2	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,25
3	0,15	0,10	0,10	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,10	0,60
Average	0,10	0,07	0,08	0,02	0,03	0,07	0,02	0,02	0,08	0,48
C (ml/min)					Δ t					
5	0,03	0	0,03	0,02	h	min	seg.	√t [s ^{0,5}]	√t [h ^{0,5}]	
10	0,01	0	0,01	0,006667	0	0	0	0,00	0,00	
15	0,003333	0,006667	0,006667	0,005556	0,08	5	300	17,32	0,29	
20	0,0025	0	0	0,000833	0,17	10	600	24,49	0,41	
25	0,002	0	0,002	0,001333	0,25	15	900	30,00	0,50	
30	0,003333	0	0,003333	0,002222	0,33	20	1200	34,64	0,58	
40	0	0,00125	0	0,000417	0,42	25	1500	38,73	0,65	
50	0	0,001	0	0,000333	0,50	30	1800	42,43	0,71	
60	0,001667	0,000833	0,001667	0,001389	0,67	40	2400	48,99	0,82	
					0,83	50	3000	54,77	0,91	
					1,00	60	3600	60,00	1,00	











ANEXO III

ENSAIOS DE CASO DE ESTUDO 2

