

DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS COM CARACTERÍSTICAS TERMO- REFLETANTES

RICARDO JOSÉ TEIXEIRA NAIA

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

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Doutora Joana Fernandes Maia

Coorientador: Engenheiro Pedro Miguel da Silva Sequeira

JULHO DE 2019



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@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

Fax +351-22-508 1440

✉ 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 Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

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.

À minha família

“Saudades do que a gente ainda não viveu”

Santos Júnior

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer ao Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos pela orientação prestada, pelo seu conhecimento, profissionalismo e disponibilidade para que fosse possível tornar o processo de realização deste trabalho mais simples ao longo de todas as etapas.

Agradecer também à Doutora Joana Fernandes Maia, minha coorientadora, por todos os ensinamentos e conselhos que me foram fundamentais para a realização desta dissertação. Pelo tempo disponibilizado na realização de ensaios e medições com uma grande disponibilidade para me ajudar na resolução de problemas que foram deparados sempre com a maior simpatia.

Agradecer à Mestre Andréa Resende Souza pela disponibilidade que teve para acompanhar os ensaios e medições que foram feitos ao longo deste trabalho, com grande simpatia, e pelas ajudas que me deu na realização e resolução dos problemas que surgiram.

Agradecer à empresa “Weber Saint-Gobain Portugal” e a sua equipa, de realçar o Engenheiro Luís Silva, Eduardo Costa e Pedro Sequeira, pela disponibilidade de realizarem as medições dos parâmetros de cor nas amostras.

Agradecer à minha família pela oportunidade que me deram e por estarem sempre comigo, em particular à minha mãe, por estar sempre disposta a me ajudar, ao meu pai, por todos os ensinamentos que me transmite, à minha irmã, por sempre me aconselhar para as situações da vida, e à minha avó, por ser a pessoa que é.

Agradecer aos meus amigos de faculdade, que em grande parte me acompanharam nesta viagem, foram todos importantes e continuarão com certeza a ser no futuro.

Agradecer aos meus amigos em geral por estarem sempre lá quando é necessário.

Por último, agradecer a todos os professores que me acompanharam neste fase da minha vida na Faculdade, sendo que todos foram importantes para alcançar a minha formação através dos seus conhecimentos e experiências.

Este trabalho foi financiado por: Projeto PTDC/ECI-CON/28766/2017 - POCI - 01-0145-FEDER-028766 - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC).



RESUMO

Hoje em dia, os sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior são muito frequentes em toda a Europa, com Portugal a não ser exceção. De forma a garantir-se que o leque de soluções estéticas vai cada vez mais ao encontro da procura de soluções com colorações diferentes do revestimento mais usual de cor branca, é necessário verificar as vantagens que este tipo de revestimentos termo-refletantes apresenta, como a diminuição do aumento do efeito de ilhas de calor urbanas nas zonas de elevada densidade populacional e a procura de reduzir os gastos de energia para garantir o conforto térmico dos edifícios.

Os sistemas como o ETICS e o Reboco Térmico garantem as exigências definidas no REH, sendo que o conhecimento da durabilidade destas soluções é fundamental para viabilizar a sua aplicação na reabilitação de edifícios ou em novas construções. Este tipo de sistemas foi analisado na presente dissertação, com diferentes composições ao nível do suporte e acabamentos. Foram analisados e medidos os indicadores de durabilidade, tal como, a refletância solar, os parâmetros de cor e a temperatura superficial, de forma avaliar a durabilidade dos sistemas, através da verificação do efeito de envelhecimento que os sistemas sofreram ao longo dos anos e o efeito que a presença de pigmentos refletantes, nas diferentes camadas, tem na alteração das propriedades iniciais que os sistemas apresentavam.

A revisão do estado de arte está dividida em quatro partes. A primeira refere os tipos de sistema analisados e as suas vantagens; na segunda parte, analisam-se as propriedades que os pigmentos refletantes têm e como é que afetam os sistemas e as soluções construtivas de hoje; na terceira parte, referem-se como os agentes de degradação afetam as propriedades dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior de fachadas através dos mecanismos de degradação e quais os principais indicadores de durabilidade destes sistemas; e na quarta parte, analisa-se o método de medição de refletância solar da ASTM E903 com uso do espectrofotómetro.

A metodologia experimental apresenta os diferentes sistemas utilizados na presente dissertação e em trabalhos anteriores, e os processos de medição de refletância solar com espectrofotómetro e piranómetro, da medição dos parâmetros de cor do CIELab e das temperaturas superficiais dos sistemas “*In Situ*” e em laboratório.

Posterior às medições experimentais e após o processamento dos dados dessas medições, são apresentados: os valores obtidos para a refletância solar com o espectrofotómetro e com o piranómetro; é efetuada uma comparação entre os valores de refletância solar obtidos pelos dois métodos; são analisadas as variações das refletâncias solares das amostras ao longo dos anos; são analisadas as variações dos parâmetros de cor e luminosidade para as amostras ao longo dos anos, com valores de amostras “*In Situ*” e em laboratório, e são analisadas as temperaturas superficiais das amostras, comparadas com outros anos.

Desta forma, é possível verificar que a presença dos pigmentos termo-refletantes (“Cool Pigments” e TiO_2) confere uma maior durabilidade aos sistemas de isolamento térmico, do tipo ETICS e Reboco Térmico, que estão sujeitos ao envelhecimento. Através da medição da refletância solar com o espectrofotómetro podemos analisar a presença dos pigmentos refletantes na região do NIR, onde têm maior influência na refletância dos revestimentos. Sendo que as características iniciais das amostras com estes pigmentos na sua constituição têm melhor resposta aos mecanismos de degradação a que estão sujeitos.

PALAVRAS-CHAVE: Revestimentos Termo-refletantes, Refletância Solar, Durabilidade, Espectrofotómetro, “Cool Pigments”.

ABSTRACT

Nowadays, External Thermal Insulation Composite Systems are very frequent all over Europe, with Portugal being no exception. In order to insure that the range of aesthetic solutions increasingly meets the demand for solutions with different colorations of the more usual coating of white colour, it's necessary to verify the advantages that this type of thermo-reflecting coatings presents, such as a decrease in the increasing in the effect of urban heat islands in areas of high population density and seeking to reduce energy costs to ensure the thermal comfort of buildings.

Systems such as ETICS and Thermal Plaster guarantee the requirements defined in the REH, and the knowledge of the durability of these solutions is fundamental to enable its application in the rehabilitation of buildings or new constructions. This type of systems was analysed in the present dissertation, with different compositions at the level of the support and finishes. Durability indicators, such as solar reflectance, colour parameters and surface temperature, were analysed and measured in order to evaluate the durability of the systems, by verifying the aging effect that the systems suffered over the years and the effect that the presence of reflecting pigments in the different layers has on the alteration of the initial properties that the systems presented.

The revision of the state of art is divided into four parts. The first one refers to the types of system analyzed and their advantages; in the second part, the properties that the reflecting pigments have and how they affect today's systems and constructive solutions are analysed; in the third part, they refer to how the degradation agents affect the properties of the thermal insulation systems by exterior façades through the mechanisms of degradation and what are the main indicators of the durability of these systems; and in the fourth part, the ASTM E903 solar reflectance measurement method is analysed using the spectrophotometer.

The experimental methodology presents the different systems used in the dissertation and the previous works, and the processes of measurement of the solar reflectivity with the spectrophotometer and the pyranometer, the measurement of the CIELAB parameters and the surface temperatures of the "In situ" and laboratory systems.

After the experimental measurements and after processing the data of these measurements, are presented: the values obtained for the solar reflectance with the spectrophotometer and the pyranometer; a comparison is made between the solar reflectance values obtained by the two methods; the variations of the solar reflectance of the samples over the years are analysed; the variations of the colour and brightness parameters for the samples over the years are analysed, with values of "In Situ" and laboratory samples, and the surface temperatures of the samples are compared with other years.

This way, it is possible to verify that the presence of the thermo-reflecting pigments ("Cool Pigments" and TiO₂) gives a greater durability to the thermal insulation systems, type ETICS and Thermal plaster, which are subject to aging. By measuring the solar reflectance with the spectrophotometer, we can analyse the presence of the refining pigments in the NIR region, where they have a greater influence on the reflectance of the coatings. Since the initial characteristics of the samples with these pigments in their constitution have better response to the degradation mechanisms to which they are subject.

KEYWORDS: Thermo-reflecting Coatings, Solar Reflectance, Durability, Spectrophotometer, "Cool Pigments".

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	3
 2. ESTADO DE ARTE	 5
2.1. ETICS E REBOCO TÉRMICO	5
2.2. COOL PIGMENTS	8
2.2.1. DESCRIÇÃO	8
2.2.2. PRINCIPAIS VANTAGENS	9
2.3. DURABILIDADE	10
2.3.1. DEFINIÇÃO	10
2.3.2. AGENTES DE DEGRADAÇÃO	10
2.3.3. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO	12
2.3.4. REQUISITOS ESSENCIAIS	13
2.3.5. INDICADORES DE DURABILIDADE	15
2.4. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM RECURSO A ESPETROFOTÓMETRO	19
2.5. SÍNTESE DOS CONCEITOS	23
 3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	 25
3.1. MATERIAIS	25
3.2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO	28
3.2.1. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM ESPETROFOTÓMETRO	28
3.2.1.1. ENQUADRAMENTO	28
3.2.1.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL	30
3.2.1.3. PROCEDIMENTO DO ENSAIO	33
3.2.2. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM PIRANÓMETRO	36

3.2.2.1. ENQUADRAMENTO	36
3.2.2.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL	36
3.2.2.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	38
3.2.3. MEDIÇÃO DA COR COM ESPETROFOTÓMETRO	40
3.2.4. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA	41

4. PROPRIEDADES ÓTICAS: RESULTADOS E DISCUSSÃO 43

4.1. REFLETÂNCIA SOLAR	43
4.1.1. REFLETÂNCIA SOLAR COM ESPETROFOTÓMETRO	43
4.1.2. REFLETÂNCIA SOLAR COM PIRANÓMETRO	50
4.1.3. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR: ESPETROFOTÓMETRO VS. PIRANÓMETRO	54
4.2. MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS DE COR	58
4.2.1. RESULTADOS	58
4.2.2. DURABILIDADE DA COR: AMOSTRAS EM LABORATÓRIO VS. “IN SITU”	62

5. TEMPERATURA SUPERFICIAL: RESULTADOS E DISCUSSÃO 65

5.1. TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DAS AMOSTRAS	65
5.2. PARÂMETROS CLIMÁTICOS E ÓTICOS	74

6. CONCLUSÃO 79

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA	79
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	81

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
---	----

ANEXOS	87
---------------------	----

A. FICHAS TÉCNICAS DAS AMOSTRAS	88
B. MEDIÇÕES DE REFLETÂNCIA COM USO DO ESPETROFOTÓMETRO (APÓS O CÁLCULO)	90
C. GRÁFICOS DE REFLETÂNCIA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS AMOSTRAS “IN SITU”	92
D. GRÁFICOS DE REFLETÂNCIA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS AMOSTRAS EM LABORATÓRIO	100
E. PARÂMETROS DE COR CIELAB E VARIAÇÃO DA COR	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da procura de soluções de ETICS e Monomassas Coloridas em Portugal de acordo com APFAC.....	1
Figura 2 - Representação do sistema ETICS com reboco delgado armado sobre poliestireno expandido, fonte (Freitas, V.P.d., 2002)	6
Figura 3 - Sistema de isolamento térmico pelo exterior com reboco isolante, fonte (Weber, 2015)	7
Figura 4 - Espaço de cor de acordo com CIE-1976.....	16
Figura 5 - Espectrofotómetro modular, fonte (Optics, 2019b; Optics, 2019c)	19
Figura 6 - Espectro de irradiância solar, de acordo com ASTM G173-03, fonte (Cozza et al., 2015) ...	20
Figura 7 - Fotografias das amostras no local a) e b)	25
Figura 8 - Fotografias das amostras no local c) e d).....	26
Figura 9 - Disposição das amostras no local	26
Figura 10 - Esquema de combinações das camadas nas amostras do tipo EPS, AS e AQ	28
Figura 11 - Esquema de um espectrofotómetro: 1 - Sonda de fibra óptica; 2 - Abertura do espectrofotómetro; 3 - Filtro de absorção; 4 - Espelho colimador; 5 - Grade; 6 - Espelho focado; 7 - Lente de colecionamento; 8 - Detetor; 9 - Filtro de 2ª e 3ª ordem (Optics, 2015)	29
Figura 12 - Espectrofotómetros Flame TXR1 e NIR	31
Figura 13 - Fonte de luminação utilizada foi da marca Ocean Optics do tipo DH-200.....	32
Figura 14 - Sonda de fibra óptica - A - Entrada de luz refletida e saída de luz incidente; B - Entrada de luz da fonte de iluminação; C - Saída de luz refletida para o espectrofotómetro (Optics, 2019c)	32
Figura 15 – Setup experimental para medição da refletância através de espectrofotómetro modular. .	33
Figura 16 - Definição dos parâmetros de arranque, fonte (Optics, 2013)	34
Figura 17 - Gráfico gerado no OceanView para uma situação de calibração com a fonte de iluminação desligada, fonte (Optics, 2013)	35
Figura 18 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da OceanView	35
Figura 19 - Piranómetro da marca Hukseflux do tipo SR05	37
Figura 20 – Estrutura de suporte do piranómetro: A – Máscara Branca/Preta; B – Amostra; C - Piranómetro; D – Suporte.....	38
Figura 21 - Medição de irradiância de máscara preta com piranómetro, fonte (Sá, 2018)	38
Figura 22 - Fluxograma do procedimento de ensaio alternativo com piranómetro, fonte (Carneiro, 2016)	40
Figura 23 - Vista esquemática do software OceanView (Optics, 2015).....	40
Figura 24 - Termopares Tipo T, fonte (Sá, 2017)	41
Figura 25 - Datalogger Mikromec Logger Multisens com termopares ligados, fonte (Sá, 2017)	42
Figura 26 - Posições das medições com espectrofotómetro por cada amostra.....	44

Figura 27 - Frequência com que ocorrem refletâncias mínima a) e máxima b) em cada posição das amostras	44
Figura 28 – Comparação de refletância entre zona centro vs. extremidade da amostra (100 ordenadas)	45
Figura 29 - Comparação de refletância entre amostras com e sem "Cool Pigments" com espectrofotômetro.....	49
Figura 30 - Variações de refletância com o piranômetro	52
Figura 31 - Comparação de refletância entre amostras com e sem "Cool Pigments" com piranômetro	53
Figura 32 - Variações de refletância com o espectrofotômetro em 2019	57
Figura 33 - Variação da Cor	60
Figura 34 - Variação do Parâmetro de Luminosidade.....	61
Figura 35 - Comparação dos valores de Refletância com espectrofotômetro para amostras "In Situ" e Laboratório.....	62
Figura 36 - Variação do parâmetro da cor e luminosidade das amostras "In Situ".....	63
Figura 37 - Temperaturas superficiais das amostras para maio de 2019	67
Figura 38 - Temperaturas superficiais das amostras para maio e junho de 2019	68
Figura 39 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, AS 3, Preto Reboco Térmico e Preto Reboco Térmico "Cool Pigments"	69
Figura 40 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, Preto ETICS e Preto ETICS "Cool Pigments"	70
Figura 41 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, EPS 1, EPS 3, EPS 6 e AQ 3	71
Figura 42 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 0, 2016.....	72
Figura 43 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 1, 2017.....	72
Figura 44 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 2, 2018.....	73
Figura 45 - Temperaturas superficiais para o caso de temperatura exterior máxima	75
Figura 46 - Temperaturas superficiais para o caso de dia com média máxima de radiação solar global	76
Figura 47 - Temperatura Superficial vs Refletância (Para condições de temperatura exterior acima de 30° C) considerando as várias amostras em análise	77
Figura 48 - Temperatura Superficial vs Refletância (Para condições de temperatura exterior acima de 30° C), considerando as amostras com isolamento térmico	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Agentes que afetam a durabilidade de materiais ou componentes na construção (adaptado de ISO-15686-1).....	11
Tabela 2 - Escala de percepção humana da variação de cor (Sharma, Wu e Dalal, 2004).....	16
Tabela 3 - Métodos de medição da refletância solar	18
Tabela 4 - Resultados de medição de refletância (R. Paolini, et al., 2017)	22
Tabela 5 - Quadro-síntese da metodologia de ensaio	23
Tabela 6 – Camadas constituintes dos sistemas em estudo, fonte (Weber, 2015; Weber, 2018)	27
Tabela 7 - Especificações dos espectrofotômetros da marca Ocean Optics do tipo Flame TXR1 e Flame NIR (Optics, 2016; Optics, 2015)	31
Tabela 8 - Especificações do piranômetro da marca Hukseflux do tipo SR05.....	37
Tabela 9 - Valor médio da refletância de 9 posições e desvio-padrão	46
Tabela 10 - Refletância com o espectrofotômetro das amostras “ <i>In Situ</i> ” (após o cálculo)	47
Tabela 11 - Refletância com o espectrofotômetro das amostras em Laboratório (após o cálculo)	47
Tabela 12 – Valores e variações de refletância com o piranômetro	51
Tabela 13 - Comparação dos valores de refletância com piranômetro e espectrofotômetro.....	54
Tabela 14 – Valores e variação da refletância solar ao longo dos anos (recurso ao espectrofotômetro em 2019)	56
Tabela 15 - Parâmetros de cor CIELab e variação da cor da amostras de Laboratório	58
Tabela 16 - Parâmetros de cor CIELab e variação da cor da amostras “ <i>In Situ</i> ”	59
Tabela 17 - Registos das temperatura máximas superficiais das amostras e respetiva temperatura exterior.....	66

NOMENCLATURA

α – Absortância

U – Coeficiente Transmissão Térmica [$\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$]

λ – Comprimento de Onda [nm]

λ – Condutibilidade Térmica [$\text{W/m}\cdot\text{K}$]

TiO_2 – Dióxido de Titânio

ε – Emitância

SRI – Índice de refletância solar

ρ – Refletância

R_g – Refletância Global

Tse – Temperatura superficial exterior

τ – Transmitância

ΔE – Variação da cor

ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida

ASTM – American Society for Testing and Materials

APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS

CIE – Comissão Internacional para a Iluminação

CICPs - Complex Inorganic Colour Pigments

EOTA - European Organization for Technical Assessment

ETA - European Technical Approval

ETAG 004 – European technical approval of external thermal insulation composite systems with rendering

ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

MW - Lã Mineral

EPS - Poliestireno Expandido

XPS - Poliestireno Extrudido

NIR – Região Espectral perto do Infra-Vermelho

VIS – Região Espectral do Visível

UV – Região Espectral do Ultravioleta

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como o ETICS e o Reboco Térmico, foram revolucionários no século XX, introduzindo o isolamento térmico em fachadas, que usualmente não era aplicado. Começou por se utilizar na Suécia nos anos 1940 um isolamento térmico com lâ mineral protegido por argamassas de cal e cimento. Na década de 1950 passou a existir em países como a Alemanha e Suíça devido às necessidades de reabilitarem edifícios antigos que não tinham isolamento térmico. O aumento dos estudos de patologias dos sistemas ETICS deve-se à elevada procura destes sistemas na década de 1970 (APFAC, 2014).

A sua aplicação, tanto em construção nova como em reabilitação, confere uma solução bastante eficaz no cumprimento dos requisitos técnicos quanto às condições térmicas, definidos no REH, como o coeficiente de transmissão térmica máximo, U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$], garantindo o cumprimento do valor máximo para paredes exteriores de 0,35 do coeficiente, de forma a garantir um conforto térmico no Verão e no Inverno com a redução dos custos energéticos de arrefecimento e aquecimento dos edifícios (APFAC, 2015).

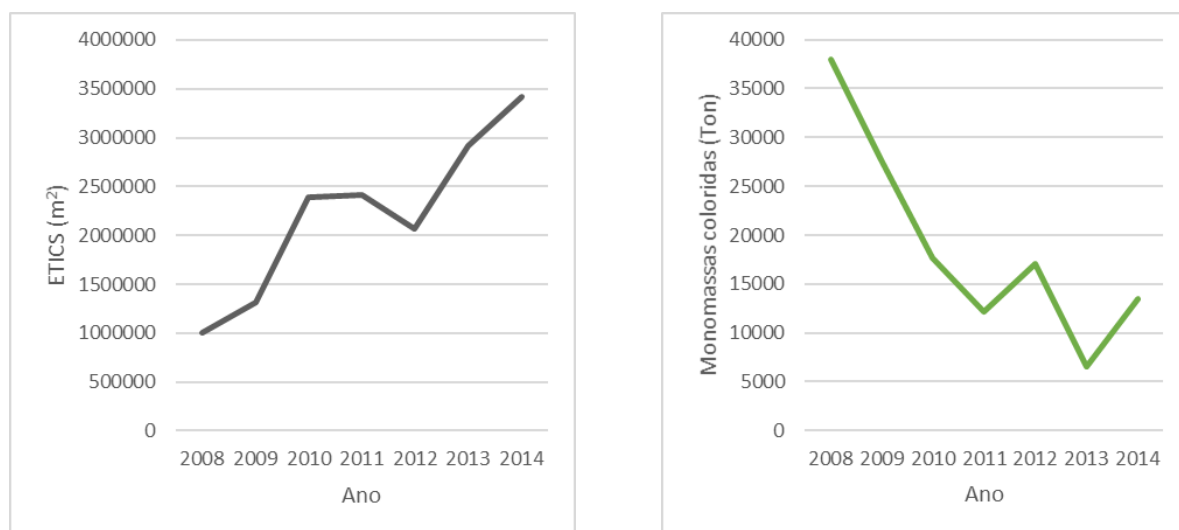


Figura 1 - Evolução da procura de soluções de ETICS e Monomassas Coloridas em Portugal de acordo com APFAC

Segundo Instituto Nacional de Estatística, os edifícios licenciados registaram um aumento de 7,4% no 2º trimestre de 2017 quando comparado com o período homólogo, correspondendo a 4,6 mil edifícios. Verifica-se também uma maior procura na construção em Portugal, tanto nos sistemas ETICS como no uso de Monomassas Coloridas, como se observa na Figura 1, onde entre 2013 e 2014, depois dos anos de crise na construção em Portugal, se verificou um aumento da procura deste tipo de soluções (INE, 2017).

Como tal, a aplicação de soluções de revestimentos de fachadas tem verificado uma procura por diferentes padrões de estética e, assim, é fundamental o conhecimento da durabilidade destas soluções construtivas. A aplicação de revestimentos termo-refletantes poderá possibilitar uma maior escolha quanto à cor dos revestimentos finais, visto que a redução da refletância solar contribui para a redução da temperatura superficial e assim uma menor degradação.

Para ser possível a utilização de revestimentos de coloração mais escura nas fachadas dos edifícios, em vez do usual revestimento branco, a aplicação de “Cool Pigments”, que apresentam elevada refletância solar e elevada emitância de infravermelhos, possibilita a redução das temperaturas das superfícies das fachadas. Estes revestimentos termo-refletantes são fabricados desde 1970, verificando-se um aumento do conforto térmico interior e exterior dos edifícios, enquanto reduz o consumo energético dos mesmos. A sua utilização também é essencial para diminuir o impacto das ilhas de calor, causado pelas superfícies urbanas que refletem o calor para a atmosfera, aumentando a temperatura das densidades urbanas (Karlessi et al., 2009).

O objetivo principal da presente dissertação consiste em avaliar a durabilidade de revestimentos termo-refletantes, através da medição de diferentes parâmetros, com relevância na refletância solar. Sabendo que este tipo de revestimentos apresenta diferente comportamento nas diferentes regiões do espectro solar, a medição da refletância solar em função do comprimento de onda, em especial na região NIR, é de grande importância. Assim, será analisado um grupo de amostras de diferentes composições, através da medição de vários parâmetros e avaliado o seu comportamento ao longo do tempo, para um envelhecimento natural, aferindo a sua durabilidade como solução construtiva.

Será então necessário realizar procedimentos experimentais para determinar os valores de refletância, temperaturas superficiais e parâmetros CIELab das amostras.

A partir destes valores, será necessário verificar os efeitos que a composição das amostras e a presença de materiais de características refletantes têm nos sistemas e como as suas propriedades óticas, como a refletância solar e cor, e a temperatura superficial evoluíram ao longo do tempo, para se perceber a durabilidade das soluções construtivas.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação consiste na avaliação da durabilidade através da medição das propriedades óticas, como a refletância solar e a cor, e da temperatura superficial dos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, com distintas cores e composições de acabamento, tendo a presença ou não de partículas refletantes. Procura-se assim verificar a durabilidade das soluções construtivas com os dados de medições experimentais de 3 anos. Em seguida, sintetizam-se os objetivos secundários de forma a obter a solução final:

- Elaborar uma compilação do estado atual do conhecimento sobre os sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS e Reboco Térmico) e conhecer os métodos e procedimentos de medição da refletância solar, da cor e da temperatura superficial das amostras dos trabalhos realizados anteriormente;

- Conhecer a metodologia de medição da refletância solar de revestimentos termo-refletantes com a utilização do espectrofotômetro;
- Realizar e avaliar, com medições “*In Situ*” e em laboratório, a refletância solar das amostras envelhecidas e das amostras que não foram sujeitas ao envelhecimento, que se encontram em laboratório;
- Realizar e avaliar medições de temperaturas superficiais e parâmetros de cor das amostras envelhecidas “*In Situ*”;
- Comparar os resultados obtidos nas medições de refletância solar, parâmetros de cor e temperaturas superficiais, com os valores obtidos em outros trabalhos de investigação;
- Comparar os valores de refletância solar obtidos nos métodos com piranômetro e com espectrofotômetro;
- Obter conclusões quanto à durabilidade das amostras envelhecidas, com o auxílio das medições efetuadas, em função do tipo de suporte, em função da data de colocação das amostras e em função da presença de partículas refletantes, como “Cool Pigments” e TiO_2 .

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Este projeto de dissertação encontra-se organizado em 6 capítulos, sendo estruturado pela seguinte lógica.

No presente capítulo teremos a elaboração da introdução ao tema, com o devido enquadramento, e os objetivos que estão na base das conclusões pretendidas.

No capítulo 2 fez-se um compilar do estado de arte e dos fundamentos relativos a 4 temas principais. O primeiro tema refere a descrição geral dos sistemas de ETICS e Reboco Térmico estudados; o segundo tema descreve os pigmentos refletantes e as suas vantagens; no terceiro tema aborda-se a durabilidade, com indicação de mecanismos de degradação e indicadores de durabilidade dos sistemas ETICS; e no quarto tema faz-se uma abordagem da norma ASTM E 903 de medição de refletância com espectrofotômetro e refere-se alguns estudos quanto à refletância solar.

O capítulo 3 descreve os sistemas testados e a sua composição. Descreve-se os procedimentos de ensaio para a medição da refletância solar com espectrofotômetro e piranômetro, e para a medição de cor e de temperatura superficial.

No capítulo 4 indicam-se os valores obtidos para as propriedades óticas das diversas amostras em análise. Quanto à refletância solar, com espectrofotômetro ou piranômetro, e quanto aos parâmetros de cor do CIELab, para as amostras “*In Situ*” e em laboratório, no presente ano e em comparação com os dados registados nos anos anteriores. No final de cada análise é efetuada uma discussão dos resultados obtidos.

No capítulo 5 são analisados os valores de temperaturas superficiais que se registaram nas amostras “*In Situ*” para o presente ano e compara-se com os valores registados em anos anteriores, sendo que no fim se faz uma análise dos valores registados e compara-se com os valores obtidos na refletância dessas amostras.

O capítulo 6 diz respeito às principais conclusões que se obtiveram na presente dissertação e refere-se os desenvolvimentos futuros a efetuar em trabalhos de investigação no futuro.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. ETICS E REBOCO TÉRMICO

O sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) apresenta-se como um dos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior com maior visibilidade e aplicação em Portugal. Apresenta como características relevantes a proteção exterior da fachada de um edifício e a melhoria do seu comportamento térmico através da diminuição das amplitudes térmicas diárias, garantindo assim um elevado aproveitamento do desempenho energético do edifício (APFAC, 2015).

Devido a novos requisitos legais, estabelecidos pelo antigo regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), o setor da construção teve a necessidade de adotar soluções de envolvente que permitissem o cumprimento desses requisitos. O RCCTE, inicialmente aprovado na década de 1990, pretendia limitar potenciais consumos e era pouco exigente nos seus objetivos concretos devido às questões de viabilidade económica face a potenciais consumos baixos, evoluindo na direção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. A versão do RCCTE aprovada em 2006 visa impor limites nesses consumos devido a uma parte significativa dos edifícios terem meios de promoção de ambientes aceitáveis nos espaços interiores para o Inverno e o Verão (República, 2006).

Com a entrada em vigor do novo regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação – REH – garante-se os requisitos, métodos e parâmetros para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, de forma a garantir a melhoria ao nível do conforto higrotérmico e eficiência dos seus sistemas técnicos, aproximando-se assim das preocupações de utilizadores e projetistas com os consumos energéticos das habitações e a mais que atual preocupação com a proteção do ambiente. De entre os requisitos estabelecidos no REH, destaca-se o coeficiente de transmissão térmica máxima – U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$], que corresponde à quantidade de calor que atravessa uma unidade de superfície de parede quando se estabelece uma diferença de temperatura unitária entre as duas faces da parede,- para as paredes exteriores em edifícios novos. O valor máximo de U varia em função da zona climática do nosso país, tendo um valor máximo admissível para a zona do Litoral e Sul de $0,5 W/m^2 \cdot ^\circ C$ e nas zonas interior-norte do país de $0,35 W/m^2 \cdot ^\circ C$ (APFAC, 2015; República, 2013).

Assim, o isolamento térmico da envolvente dos edifícios, nomeadamente das fachadas, apresenta-se como um fator muito relevante no sentido de reduzir as trocas de calor entre os edifícios e o exterior, diminuindo os gastos energéticos em aquecimento/arrefecimento e os riscos de ocorrência de condensações (APFAC, 2015).

O sistema ETICS deve ser projetado e aplicado de acordo com os requisitos mínimos constantes no guia europeu ETAG 004 – European technical approval of external thermal insulation composite systems

with rendering – produzido pela ETA (European Technical Approval). Deve-se seguir o guia europeu quanto aos materiais que constituem o sistema, a utilização correta dos perfis de colocação metálicos que garantem a sua fixação, e outras propriedades como a estabilidade dimensional e o comportamento de tensão ao corte (APFAC, 2015; EOTA, 2013).

O sistema ETICS aplicado em fachadas de edifícios, tanto em construção nova como em reabilitação, pode apresentar diversas camadas de diferentes materiais. É usualmente constituído por uma argamassa de colagem, uma placa de isolamento térmico, um sistema de fixação, normalmente mecânico, uma argamassa de revestimento armada com fibra de vidro e o revestimento final (APFAC, 2015).

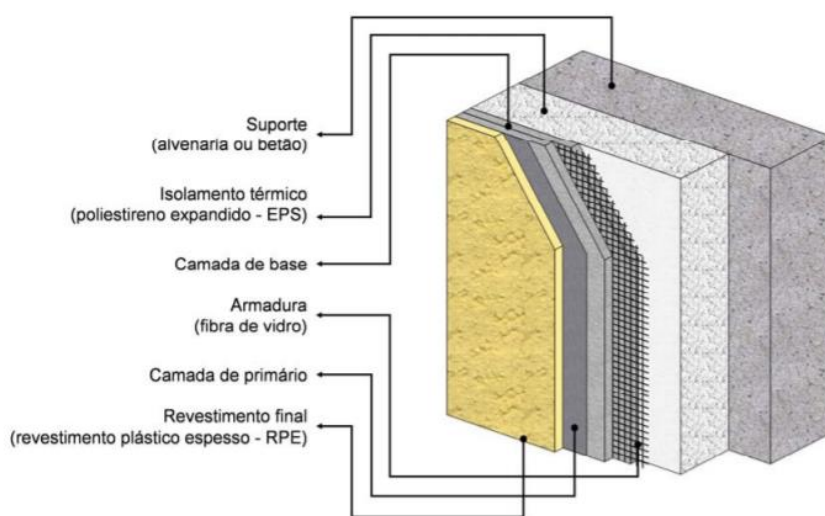


Figura 2 - Representação do sistema ETICS com reboco delgado armado sobre poliestireno expandido, fonte (Freitas, V.P.d., 2002)

De acordo com a APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS), os componentes utilizados no sistema ETICS devem apresentar características específicas e exigentes para obter um sistema com a qualidade exigida (APFAC, 2015).

A argamassa de colagem trata-se de um produto pré-preparado que permite a fixação da placa de isolamento térmico ao suporte (mais usual de alvenaria ou betão). O isolamento térmico garante o aumento da resistência térmica da parede onde se aplica o sistema, sendo os mais comumente aplicados o poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), lã mineral (MW) e aglomerado negro de cortiça expandida (ICB). A fixação mecânica através de bucha plástica de fixação, devidamente adequada ao suporte em função do isolante e a espessura do mesmo, é uma das possíveis fixações usadas. A argamassa de revestimento aplica-se normalmente em duas camadas sendo reforçada com fibra de vidro, a qual deve apresentar peso e dimensão da malha adequada. O revestimento final pode apresentar diferentes aspectos (várias cores), com particular atenção no sentido de se garantir um coeficiente de absorção de radiação solar inferior a 0,7. É também comum a aplicação de uma camada de primário antes do revestimento final, dependendo das exigências de aplicação do mesmo (APFAC, 2015).

Além do sistema ETICS, tem vindo a observar-se também o crescimento da aplicação de outros sistemas de isolamento térmico pelo exterior que utilizam um reboco térmico ou isolante no lugar das placas de isolamento térmico de EPS, XPS, MW ou ICB. As argamassas de reboco, exteriores e interiores, que não incluam sulfato de cálcio, com características térmicas, podem ser enquadradas pela Norma

Europeia NP EN 998-1:2013 – Especificação de argamassas para alvenarias; Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores –, onde têm a designação de Argamassas de Isolamento Térmico para Reboco e dividem-se em duas classes de isolamento térmico: T1 e T2. A classe T1 corresponde a rebocos térmicos com condutibilidade térmica (λ) igual ou inferior a 0,10 W/m.K, enquanto a classe T2 corresponde a valores iguais ou inferiores a 0,20 W/m.K. Este reboco é aplicado usualmente por projeção mecânica, o que permite uma maior constância e facilidade na sua aplicação, nomeadamente a sua adequabilidade a diferentes configurações (nomeadamente com geometrias onde a aplicação contínua de placas de isolamento térmico é mais difícil). Também em reabilitação, a sua aplicação a superfícies irregulares em edifícios antigos apresenta-se como uma mais-valia, além de uma elevada permeabilidade ao vapor de água e uma boa resistência superficial (Gomes et al., 2019).

É possível verificar que no mercado português, a maioria dos fabricantes têm a dispor dos clientes argamassas de reboco térmico da classe T1, com condutibilidade térmica igual ou inferior a 0,10 W/m.K. De entre os vários destaca-se: o Aislone da Weber Saint-Gobain, com $\lambda=0,042$ W/m.K; o Ecocork com $\lambda=0,10$ W/m.K e o Isodur com $\lambda=0,05$ W/m.K, da Secil; e a argamassa KT 48 da Fassa Bortolo com $\lambda=0,083$ W/m.K (Fassa-Bortolo, 2011; Secil, 2017; Secil, 2016; Weber, 2015).

Este sistema permite, tal como no sistema ETICS, um bom desempenho térmico, devido à baixa condutibilidade destas argamassas, indo de encontro às exigências regulamentares em vigor no REH (República, 2013).

Apresenta-se na Figura 3 um exemplo de um sistema de isolamento térmico de fachada com reboco térmico ou isolante.

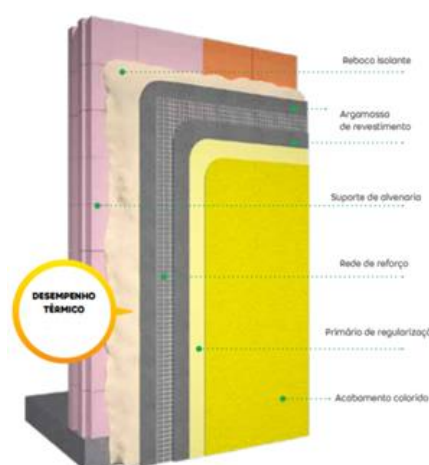


Figura 3 - Sistema de isolamento térmico pelo exterior com reboco isolante, fonte (Weber, 2015)

O sistema de isolamento térmico pelo exterior é visto como uma solução técnica de alta qualidade, sendo que as suas principais vantagens deste tipo de sistemas de acordo com Freitas (2002) são:

- Redução de pontes térmicas, devido à continuidade do isolamento térmico ao longo da fachada;
- Diminuição de risco de condensações;
- Aumento da inércia térmica interior dos edifícios, potenciando os ganhos solares no inverno e maior capacidade de regular a temperatura interior no verão;
- Poupança de energia devido ao menor uso de soluções de aquecimento/arrefecimento;

- Redução do peso das paredes e cargas permanentes na estrutura;
- Aumento da proteção das paredes aos agentes atmosféricos;
- Diminuição do gradiente de temperatura a que são sujeitas as camadas interiores da parede;
- Melhoria da impermeabilização da fachada;
- Possibilidade de execução de obras de reabilitação sem necessidade de realojamento dos ocupantes;
- Existência de uma grande variedade de soluções de acabamento.

A aplicação de um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior deve seguir um conjunto de regras específicas de aplicação de forma a garantir os requisitos pretendidos (Freitas, 2002; Secil, 2017; Weber, 2015).

2.2. COOL PIGMENTS

2.2.1. DESCRIÇÃO

A maioria das sociedades procura produzir infraestruturas com desempenho satisfatório durante o seu tempo de vida. Os projetistas e donos de obra procuram soluções que melhorem a durabilidade e longevidade dos edifícios, tendo como objetivo principal a garantia de que um edifício seja capaz de satisfazer as especificações dos clientes e as regulamentações locais (Bennett, Clark e Benge, 2001).

Os revestimentos de coloração branca são os que garantem o melhor efeito de arrefecimento de uma fachada, porque refletem a radiação visível (VIS, 400 a 700 nm), como a maioria da radiação perto do infravermelho (NIR, 700 a 2500 nm). No entanto, os donos de obra procuram soluções de fachada coloridas, nomeadamente de cores mais escuras, muito relacionado com razões estéticas. Também os revestimentos brancos são propensos a contaminações diversas por ação dos agentes exteriores, o que se traduz numa diminuição da sua refletância solar (Xue et al., 2014).

Os pigmentos orgânicos ou inorgânicos são os responsáveis pela coloração dos revestimentos, os quais, quando aplicados em fachadas, estão sujeitos às intempéries, como a pluviosidade, variações de temperatura e radiação solar. As tintas utilizadas em fachadas têm usualmente uma concentração de pigmentos elevada e podem reagir com a superfície sobre a qual são aplicadas. Também a radiação UV e a humidade, a que estes pigmentos estão sujeitos, potenciam a sua degradação, sendo que os pigmentos orgânicos são menos resistentes, daí a importância de aplicação de pigmentos inorgânicos nas fachadas dos edifícios (Oorschot e Colortrend, 2012; Sá, 2017).

Os “Cool Pigments” têm características de elevada refletância solar e elevada emitância de radiação infravermelha. Estes pigmentos não absorvem tanta energia solar como outros e assim conseguem se manter a temperaturas inferiores. Cada pigmento colorido tem o seu espectro de refletância, sendo que um Carbono Preto, que não é um *cool pigment*, tem uma refletância de 5%, e o dióxido de titânio – TiO_2 -, um *cool pigment*, tem uma refletância entre 70-90%. Na gama dos pigmentos inorgânicos, os mesmos podem ser coloridos ou brancos, subdividindo-se os coloridos em naturais e sintéticos. Os pigmentos sintéticos são constituídos por pigmentos coloridos inorgânicos complexos, denominados por CICPs (Complex Inorganic Colour Pigments), e pelos óxidos e sais metálicos. Os pigmentos inorgânicos brancos podem ser opacos ou não opacos, sendo que no domínio dos opacos se encontram o TiO_2 , um dos pigmentos inorgânicos mais utilizados devido à sua maior reflexão solar, melhor resistência à sujidade e melhor efeito de autolimpeza (Ferro, 2014; Godnjavec et al., 2014).

Os pigmentos “Cool Pigments” e TiO_2 serão os utilizados nas amostras em que se surgem os dados desta dissertação apresentadas no ponto 3.1.

2.2.2. PRINCIPAIS VANTAGENS

Uma das principais vantagens da utilização dos *cool pigments* está em aproveitar as propriedades de elevada refletância na zona perto do infravermelho do espectro solar, mantendo as propriedades de refletância de materiais com a mesma coloração no espectro do visível. Assim, é possível substituir os pigmentos tradicionais de coloração escura, que têm tendência a absorver esta radiação perto do infravermelho, por pigmentos que refletem esta radiação. Por esta razão obtêm-se revestimentos da mesma coloração mas com valores de refletância mais elevados do que os pigmentos convencionais (Cozza et al., 2015).

De acordo com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, a utilização de revestimentos termo-refletantes em fachadas de edifícios pode significar uma poupança anual de eletricidade para arrefecimento entre 4% a 9% (Petrie et al., 2007).

A utilização de *cool pigments* em revestimentos de edifícios não residenciais, em climas quentes, levou a uma diminuição de 10% a 30% de utilização de ar-condicionado durante períodos de pico de calor no verão (Santamouris, Synnefa e Karlessi, 2011).

Estes revestimentos termo-refletantes contribuem para uma diminuição da temperatura superficial dos revestimentos. Segundo Shen, Tan e Tzempelikos (2011) a aplicação de revestimentos termo-refletantes em comparação com revestimentos usuais, originou uma diminuição de 6 °C a 19,9 °C, devido à sua elevada refletância.

Durante o dia a refletância solar é o fator dominante que afeta, na sua maioria, a temperatura superficial dos revestimentos. No entanto, durante a noite, a emissividade apresenta grande relevância, estando diretamente relacionada com a temperatura superficial. Os revestimentos que tenham valores mais elevados de emissividade na região de infravermelho e valores mais baixos de refletância solar podem atingir temperaturas de 75 °C a 80 °C. As superfícies com elevada refletância solar e elevada emitância infravermelha, devida, por exemplo, à utilização de *cool pigments* na composição de revestimentos, podem ter temperaturas superficiais na ordem dos 45 °C dependendo das condições ambientais locais. Os materiais brancos com *cool pigments* têm um desempenho térmico superior quando comparado com materiais como mosaicos e mármore brancos. A troca de revestimentos pretos por revestimentos que contêm pigmentos com propriedades refletantes possibilita uma redução significativa da temperatura superficial (Santamouris, Synnefa e Karlessi, 2011).

Com o grande crescimento das zonas urbanas surgiu um fenómeno designado por “ilha de calor urbana”, que se traduz em valores mais elevados da temperatura ambiente em zonas urbanas em comparação com zonas rurais. Em particular na zonas urbanas os revestimentos de coloração escura, como, por exemplo, os asfaltos e telhados convencionais, que têm valores de refletância baixos e originam um fluxo de calor elevado devido à elevada absorção da radiação solar (Xie et al., 2019). Na sua maioria, os revestimentos de fachadas apresentam coloração clara, com elevada reflexão solar, o que representa um aumento de radiação solar refletida usualmente em zonas urbanas, caracterizadas pela elevada densidade populacional (Santamouris, 2014). Por forma a mitigar o efeito de ilha de calor urbana, a utilização de revestimentos termo-refletantes tem uma aplicação viável, já que se consegue para revestimentos com coloração escura aumentar a refletância solar no espectro perto do infravermelho, diminuindo assim a absorção solar do revestimento e contribuindo para a diminuição da temperatura ambiente de zonas urbanas (Xie et al., 2019).

2.3. DURABILIDADE

2.3.1. DEFINIÇÃO

Segundo a norma internacional ISO 15686-1 (ISO, 2000), a definição do termo durabilidade é referida como sendo a capacidade de um edifício ou componentes do mesmo de realizar a função para o qual foram requeridos, por um tempo determinado, sob a influência dos agentes previstos em serviço. A durabilidade é também muitas vezes erroneamente referida como uma propriedade do edifício ou dos seus componentes, sendo que está mais relacionada com a análise de perda de desempenho dos componentes e da evolução da degradação dos mesmos (Daniotti e Cecconi, 2010).

A durabilidade dos componentes de um edifício depende tanto dos agentes como dos mecanismos de degradação a que estes estão sujeitos. Segundo a norma internacional ISO 15686-1 (ISO, 2000), os agentes de degradação são responsáveis pela alteração do desempenho dos componentes. Esses agentes de degradação correspondem a agentes químicos, mecânicos ou físicos, que se representam através de cargas, da água ou do calor, por exemplo, originando os mecanismos de degradação, que são as alterações críticas que se verificam nas propriedades dos componentes de construção de um edifício durante o seu tempo de vida.

2.3.2. AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Os materiais e componentes reagem de diferentes formas a diferentes agentes de degradação. Os fabricantes usualmente possuem a informação detalhada das características de desempenho dos materiais que comercializam. Os requisitos de desempenho dos materiais e dos agentes dos meios envolventes é então fundamental para a determinação do tempo de vida desses componentes dos sistemas (ISO, 2000).

Assim, para se ter uma melhor percepção do tempo de vida do material deve ter-se em atenção:

- Os agentes que causam a degradação;
- Os efeitos em função da variação de intensidade;
- Os efeitos da ação conjunta dos agentes de degradação.

Os agentes de degradação podem ser de diferentes naturezas, como mecânica, eletromagnética, térmica, química e biológica, tal como referido na Tabela 1. Estes agentes causam diferentes tipos de degradação num material, o que num componente constituído por diferentes materiais, por exemplo um ETICS, poderá implicar a ação de diferentes agentes. Para saber se estes agentes promovem a alteração das características dos componentes ou materiais, deve ter-se em atenção se os mesmos acionam os mecanismos de degradação (ISO, 2000).

Tabela 1 - Agentes que afetam a durabilidade de materiais ou componentes na construção (adaptado de ISO-15686-1)

Natureza	Classe	Exemplos
Agentes mecânicos	Gravidade Forças e deformações impostas ou restritas Energia cinética Vibrações/ruídos	Cargas de neve ou chuva Formação de gelo, expansão/contração, deslize de terras, fluência Impactos, tempestades de areia, choque hidráulico Vibração devido a tráfego ou aparelhos domésticos
Agentes eletromagnéticos	Radiação Eletricidade Magnetismo	Radiação solar/UV Reações eletrolíticas, relâmpago Campos magnéticos
Agentes térmicos	Valores extremos ou alterações bruscas da temperatura	Calor, choque térmico, geada, fogo
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutro	Humidade do ar, águas freáticas, álcool Oxigênio, desinfetante Sulfuretos, agentes de combustão
Agentes biológicos	Vegetais e microbianos Animais	Bactérias, fungos, raízes Roedores, térmitas, minhocas, pássaros

Depois da identificação dos diferentes agentes presentes num determinado componente ou material deve ter-se em consideração a intensidade com que os mesmos atuam num determinado espaço de tempo e, nalguns casos, a variação entre valores máximo e mínimo com que atuam. O conhecimento prévio dessa intensidade será útil para a interpretação de informação relevante para a identificação do desempenho dos componentes ou materiais, que sejam utilizados numa solução construtiva para um determinado tipo de aplicação. Por exemplo, a reação que um material terá em função de determinados valores de exposição a radiação UV (ISO, 2000).

Os agentes de degradação atuam geralmente em conjunto. Importa assim, sempre que possível, procurar relações entre os diferentes agentes e analisar o efeito conjunto da sua ação num componente ou material, depois de se efetuar uma análise isolada de cada agente (ISO, 2000).

2.3.3. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A durabilidade de revestimentos de fachadas é afetada pelos mecanismos de degradação que atuam diretamente nos materiais que constituem o sistema, contribuindo para a sua deterioração em termos estéticos/visuais e, também, no seu desempenho higrotérmico e mecânico. Os agentes de degradação atuam nos revestimentos originando os mecanismos de degradação que afetam a durabilidade de um revestimento, por exemplo, do tipo ETICS ou Reboco Térmico. Quanto ao desempenho acústico e de proteção contra incêndio, os mesmos não serão alvo de estudo no presente trabalho. No entanto, refere-se que a sua avaliação de desempenho é realizada ainda em fase de projeto/desenvolvimento, com recurso a ensaios específicos aos materiais de forma isolada e não como um sistema (Daniotti e Cecconi, 2010).

Os principais mecanismos de degradação, que afetam um revestimento termo-refletante, são, por exemplo, a radiação solar, as flutuações de temperatura ou a ação da chuva. Estes mecanismos estão diretamente relacionados com patologias no revestimento exterior, nomeadamente com alterações na cor, aparecimento de manchas ou ocorrência de fendilhação. Também ao nível do desempenho higrotérmico, verifica-se a ocorrência de condensações, degradação do isolamento térmico, variações de temperatura superficial e degradação do revestimento devido à ação do vento. As alterações das propriedades do revestimento podem dever-se a ações isoladas, mas maioritariamente conjuntas, de diferentes mecanismos de degradação como a ação da chuva, radiação UV, variação da temperatura e humidade relativa (Daniotti e Cecconi, 2010).

Detalham-se em seguida alguns dos mecanismos de degradação e a sua relação com os vários agentes de degradação, que originam degradação ao longo do tempo, muitos vezes até precoce, nos revestimentos termo-refletantes.

Os agentes atmosféricos são os principais responsáveis pelo accionamento de mecanismos de degradação de revestimentos de fachada, devido à ação do vento, chuva, humidade e temperatura. Alguns dos mecanismos que ocorrem dos agentes ambientais devem-se a variações bruscas de temperaturas, ações de gelo-degelo, formação de humidade superficial, ou da ação em conjunto dos agentes que originam uma degradação nas propriedades do sistema.

Considerando a fase de aplicação, a ação do vento e a ocorrência de temperaturas extremas podem provocar danos nos vários materiais que constituem um sistema térmico de fachada (Amado et al., 2012). Também a ação da chuva, seja por ação direta no revestimento ou por execuções defeituosas das soluções de parapeitos de janelas, cornijas ou calhas, as quais resultam em salpicos no revestimento, promovem a degradação do sistema (Kvande et al., 2018). A ação do vento em conjunto com a água pode também ser bastante gravosa, visto que os ventos podem transportar humidade para a superfície do revestimento, como acontece, em casos de proximidade a zonas costeiras. A exposição destes revestimentos à ação da água (nas suas diferentes formas), do vento e da radiação solar provoca alterações de cor e aparecimento de marcas e/ou manchas de humidade (Ximenes et al., 2014). A ação da temperatura nos revestimentos, devido a grandes flutuações, com picos de temperaturas, máximas e mínimas, em curto espaço de tempo, originam fissuração, desgaste e/ou destacamento da camada exterior (Daniotti et al., 2012).

Salienta-se o choque térmico, resultado de alterações bruscas da temperatura superficial de revestimentos de fachada em curtos espaços de tempo, como um dos principais mecanismos de degradação nestes sistemas. Um aumento de temperatura, devido a elevada radiação solar, origina uma expansão da primeira camada do reboco. Por outro lado, uma diminuição de temperatura, devido à ação direta da chuva, origina uma contração dessa mesma camada. A ação sequencial destes agentes provocam um choque térmico na fachada, o que pode originar tensões termo-induzidas resultando em

fissuração do revestimento. Esta situação pode agravar-se quando os materiais que constituem o sistema apresentam diferentes propriedades termo-mecânicas, resultando numa incompatibilização das várias camadas por diferente variação dimensional. Alguns dos parâmetros mais relevantes para a análise deste tipo de mecanismo são a temperatura ambiente, a radiação solar total, a absorvância solar do revestimento e a temperatura superficial (Daniotti e Paolini, 2005).

Um efeito relevante da ação dos referidos agentes atmosféricos é o aparecimento de manchas e alteração da cor dos revestimentos de fachada, que origina uma alteração das propriedades óticas dos revestimentos. Tem um grande impacto em termos estéticos, surgindo normalmente nos primeiros anos após aplicação, em revestimentos por pintura, manifestando-se através de sujidades localizadas ou uniformes, manchas de humidade ou de origem biológica, ou alterações de cor e brilho da fachada (Chai et al., 2011). Pelo facto de a camada final do revestimento estar exposta a vários agentes como a radiação solar, variações da temperatura, humidade, chuva, vento, a cor é bastante afetada. Como tal, é recomendado um coeficiente de absorvância da radiação solar do revestimento abaixo de 0,7, de forma a preservar a sua cor original. As manchas de origem biológica podem ser prevenidas com a aplicação de fungicidas ou algicidas após a sua execução (Sousa, 2010). As manchas decorrentes de ação biológica ou acumulação de sujidades são mais graves quando a sua concentração é maior numa pequena área da fachada, do que quando são mais uniformemente espalhadas, sendo que estes casos se devem à exposição das fachadas à pluviosidade e a condensações das fachadas durante os períodos noturnos, que estimulam a criação de fungos na camada exterior do revestimento (Künzel, Künzel e Sedlbauer, 2006). Também se verifica degradação da cor em revestimentos exteriores devido à ação da radiação UV, chuva, ciclos de gelo-degelo e variações de temperatura, que originam uma alteração cromática (mudança de combinação de cores). Esta alteração cromática pode ser analisada através do modelo CIELab (espaço de cores que permite a avaliação das mesmas), que indica, através da medição dos parâmetros L^*a^*b , que estes agentes alteram as propriedades iniciais de cor do revestimento (Luongo et al., 2018).

A ação termo-mecânica, através do efeito de variação de tensões, é uma das principais causas de fissuração de revestimentos por pintura. As fissuras são muitas vezes detetadas através de observação visual, visto que no caso de pinturas, são da ordem de 1 mm, contrariamente a outros materiais que apresentam microfissuração (Chai et al., 2011). A fissuração em zonas singulares de maior concentração de tensões, como é o caso de cantos de janelas e portas, não são consideradas como degradação do revestimento, visto que são comuns a vários sistemas. No entanto, fissuras que atinjam a camada isolante do revestimento devem ser tidas em consideração, visto que podem originar o desgaste da camada de pintura do revestimento e provocar deterioração generalizada no sistema (Künzel, Künzel e Sedlbauer, 2006; Luongo et al., 2018).

Estes mecanismos de degradação são a principal causa das alterações das propriedades dos revestimentos termo-refletantes que, através de variações de temperatura, ação de choque térmico, ação de gelo-degelo, acumulação de sujidades, ataques fungicidas, variação das tensões, desgaste ou destacamentos, alteração das propriedades óticas, que modificam a solução inicial que se procurava obter com este sistema.

2.3.4. REQUISITOS ESSENCIAIS

Os documentos produzidos pela EOTA (European Organization for Technical Assessment), em particular a ETA (European Technical Assessment), definem especificações técnicas para materiais de construção de acordo com os requisitos para o qual são utilizados, sendo os trabalhos projetados e realizados adequadamente (EOTA, 2013).

De acordo com o guia ETAG 004, existem vários requisitos e exigências a ter em consideração na conceção de projetos de fachadas com isolamento térmico pelo exterior. No mesmo documento é referido que o tempo de utilização de um ETICS deve ser no mínimo de 25 anos, desde que o sistema seja sujeito a utilização e manutenção adequadas (EOTA, 2013).

Os requisitos essenciais identificados pelo ETAG 004, tendo em conta as ações a que são sujeitos, são em seguida enumerados:

- **ER1: Resistência e estabilidade mecânica:** requisitos de acordo com a resistência e estabilidade mecânica de partes estruturais não submetidas a cargas, não são incluídas neste requisito mas são tratadas de acordo com os requisitos essenciais de segurança (descritos no referido documento);
- **ER2: Segurança em caso de incêndio:** o projeto e construção deve garantir que em caso de incêndio o fogo e fumo não devam gerar ou propagar-se pelos componentes do sistema. Deve, além disso, ser garantido que a propagação do fogo para as zonas vizinhas do sistema seja limitada e que os ocupantes possam garantir a sua segurança em caso de incêndio, assim como a segurança das equipas de resgate;
- **ER3: Higiene, saúde e ambiente:** o sistema deve cumprir determinados requisitos tanto em termos do ambiente interior como do ambiente exterior. Assim, deve prevenir a entrada de humidade do solo e não transmitir a mesma para nenhuma parte que possa danificar a fachada assim como resistir à penetração de chuva e neve para o interior do edifício, garantindo que estas intempéries não danifiquem o sistema. O ETICS permite, de um modo geral, evitar condensações internas e intersticiais, sendo que a sua aplicação reduz normalmente a superfície condensada. Também deverá garantir que mantém as suas propriedades mesmo quando é afetado por impactos devido ao tráfego normal e uso corrent. Como tal, as características identificadas neste requisito para o sistema e seus componentes são a absorção de água, estanqueidade à água, resistência ao impacto, permeabilidade ao vapor de água e características térmicas;
- **ER4: Segurança na utilização:** o sistema deve ser estável às tensões combinadas geradas pelas cargas normais como o peso, temperatura, humidade, retrações, movimentos da estrutura e ação do vento. Assim, o sistema deve suportar o seu próprio peso, sem deformações potencialmente danosas, garantindo que não existe fendilhação ou perda de aderência devido aos movimentos normais ou a variações de temperatura da estrutura do edifício;
- **ER5: Proteção contra o ruído:** Como um ETICS pode ter um efeito positivo ou negativo no isolamento sonoro aéreo de uma parede para a qual é instalado, o desempenho do ETICS deve ser conhecido para determinar o isolamento sonoro aéreo de todo o envolvente da construção;
- **ER6: Economia de energia e retenção de calor:** o ETICS melhora o isolamento térmico de forma a reduzir o aquecimento no inverno e o arrefecimento no verão. Assim, a melhoria da resistência térmica destes sistemas deve ser tida em conta no cálculo térmico exigidos por cada regulamentação nacional. As fixações mecânicas podem originar diferenças localizadas na temperatura e as pontes térmicas devem ser tidas em conta de forma a não influenciar as propriedades do isolamento térmico. Como tal, a condutibilidade térmica apresenta-se como característica relevante na definição das mais-valias destes sistemas.

Os aspetos acima referidos influenciam a durabilidade do sistema ETICS e, como tal, deve garantir-se que são cumpridos os requisitos, mesmo quando são sujeitos aos diferentes agentes de degradação, de forma a que a sua durabilidade e utilização se mantenha. O sistema deve garantir a sua estabilidade à temperatura, humidade e variação adimensional, sendo que temperaturas máximas ou mínimas extremas não devem destruir ou provocar deformações irreversíveis no sistema (EOTA, 2013).

Quanto às temperaturas, valores mínimos de temperatura ambiente na ordem dos -20°C e valores máximos de 50°C são identificados como as temperaturas extremas a que o sistema deverá ser sujeito. A radiação solar aumenta a temperatura superficial do sistema, sendo que esse aumento depende da energia emitida e da energia absorvida pela superfície, ou seja, depende da cor da camada exterior do sistema. Em geral, considera-se 80°C como a temperatura máxima da superfície do sistema. Variações de temperatura na ordem dos 30°C na temperatura superficial não deverão provocar danos no sistema, como por exemplo o choque térmico devido a um arrefecimento brusco de uma superfície por ação da chuva. Também se deve prevenir a fendilhação devido à expansão das juntas da estrutura e nas zonas com diferentes tipos de materiais na fachada da parede (EOTA, 2013).

Além disso, deve garantir-se que todos os componentes do sistema mantenham as propriedades durante o tempo de vida útil em condições normais de manutenção e utilização (EOTA, 2013).

2.3.5. INDICADORES DE DURABILIDADE

Os indicadores abordados serão a cor, a refletância e a temperatura, de forma a que se possa analisar os efeitos que os anos de exposição no local têm sobre um revestimento termo-refletante. A análise destes indicadores deve-se à possibilidade de verificar se as propriedades óticas, refletantes e da cor, e a propriedade térmica dos revestimentos, se alteram com o tempo devido à exposição a que estes revestimentos estão sujeitos.

a) Cor

A cor demonstrada por um pigmento é afetada pela diferença no índice de refração entre o pigmento e o meio que o dispersa e também pelo tamanho e forma do pigmento (Jose et al., 2019).

As propriedades óticas de um pigmento correspondem ao seu nível de absorção e dispersão de luz, com parte da luz a ser absorvida pelo pigmento e a restante (que não é absorvida) passa o pigmento atingindo a visão humana. Se este pigmento apresentar menores valores de absorção em comparação com a dispersão, trata-se de um pigmento mais branco. Se, por outro lado, a absorção for maior que a dispersão na região do espectro visível, então trata-se de um pigmento mais escuro (Jose et al., 2019).

Assim, a cor é um dos indicadores que deve ser tido em consideração em revestimentos termo-refletantes, sendo um parâmetro que pode alterar-se em função da degradação das amostras, como se verificou no sub-capítulo 2.3.3.

Uma das tecnologias utilizadas para descrever a quantidade de cor perceptível pela visão humana é a colometria estabelecida pelo CIE – *Commission Internationale de l'Eclairage* (Comissão Internacional para a Iluminação). Foi assim implementado o espaço de cor CIELAB, para medir diferenças na cor. Tal como é representado na Figura 4, este método analisa as coordenadas de cor de determinados pigmentos, num sistema tri-dimensional com coordenadas L^* , a^* e b^* .

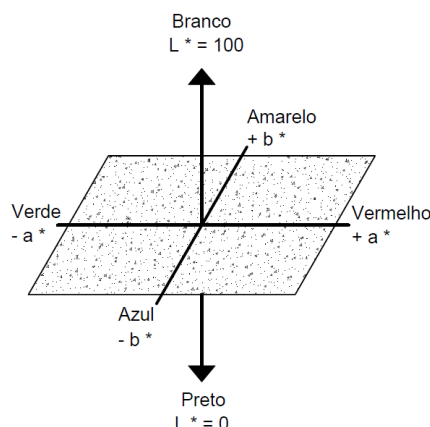


Figura 4 - Espaço de cor de acordo com CIE-1976

A coordenada L^* representa o eixo de luminosidade, sendo 0 para um máximo de preto e 100 para um máximo de branco. A coordenada a^* representa a variação entre as cores vermelha e verde, correspondendo os valores negativos à coloração verde e positivos à coloração vermelha. A coordenada b^* representa a variação entre as cores azul e amarelo, sendo os valores negativos correspondentes à coloração azul e positivos à coloração amarela (Cozza et al., 2015; Jose et al., 2019).

As diferenças de cor ao longo do tempo são importantes para avaliar questões estéticas de amostras. Como tal, a variação da cor no espaço CIELAB, para a percepção do olho humano, é dada pela expressão (1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Na Tabela 2, verifica-se que, normalmente, o valor de $\Delta E = 1$ é a menor diferença de cor perceptível pelo olho humano, sendo que, sempre que este valor aumenta, maior será a diferença de cor verificada e atestada pela visão humana, entre diferentes amostras.

Tabela 2 - Escala de percepção humana da variação de cor (Sharma, Wu e Dalal, 2004)

ΔE	Percepção ao olho humano
≤ 1	Não perceptível ao olho humano
1 - 2	Perceptível a curta distância
2 - 10	Perceptível ao olho humano
11 - 49	Cores mais similares aos respectivos opostos
100	Cores totalmente opostas

b) Refletância

Outro indicador relevante para a análise da durabilidade de revestimentos termo-refletantes é a refletância. Um revestimento de um sistema térmico de fachadas, com determinadas características refletantes, consegue prevenir que o calor derivado da radiação solar dos revestimento aumente a energia consumida por um edifício. Existem revestimentos do tipo isolante, radiante e refletante de acordo com

o seu mecanismo e método de isolamento. Os revestimentos termo-refletantes procuram refletir a radiação solar por forma a baixar o calor que é transmitido para as camadas internas do sistema de fachada (Zhang et al., 2017).

Sabendo que o mecanismo de transferência de calor pode ocorrer de diferentes formas – radiação, convecção e condução – é de grande importância perceber como estas atuam num sistema construtivo.

A radiação solar que incide sobre a superfície de um revestimento, pode ser transmitido de três formas: reflexão, absorção e transmissão. A relação que existe entre a refletância, ρ , a absorptância, α , e a transmitância, τ , é dada pela expressão (2):

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2)$$

Dado que os revestimentos são na sua maioria opacos e que a radiação solar não é transmitida pelos revestimentos, podemos concluir que a transmitância, τ , será igual a zero ($\tau = 0$). Logo a expressão (3) toma a seguinte forma:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (3)$$

Conclui-se assim que, para um aumento de refletância verifica-se uma diminuição da absorptância e vice-versa, sendo que ambos os parâmetros variam entre 0 e 1.

A refletância é obtida pela razão entre a radiação refletida por um objeto e a radiação total incidente no objeto. A absorptância corresponde à razão entre a radiação absorvida por um objeto e a radiação total incidente (Barreira, 2010).

Alguns dos métodos utilizados para a medição da refletância são referidos na Tabela 3 em seguida de acordo com a bibliografia (Levinson, Akbari e Berdahl, 2010; Sá, 2018; Sá, 2017).

Tabela 3 - Métodos de medição da refletância solar

Norma	Equipamento	Descrição do método
ASTM E1918 “Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field”	Piranómetro	Destina-se a medição “in situ” de superfícies horizontais ou baixa inclinação. Podendo ser aplicada em superfícies de grandes dimensões (10 m²), curvas e rugosas. Mede a refletância solar global, R_g, com o sensor do piranómetro a ser direcionado no sentido contrário da amostra, medindo a irradiância solar global incidente, I_i, e depois move-se o sensor, apontando diretamente para a superfície da amostra, medindo a irradiância solar global refletida, I_r. A refletância solar será $R_g = \frac{I_r}{I_i}$, se a reflexão da superfície for difusa, se o piranómetro não originar sombra na superfície, ou se o piranómetro quando mede I_r estiver só direcionado para a superfície. As condicionantes do método são: céu limpo, especialmente perto do sol; o ângulo do sol com a normal à superfície deve ser inferior a 45°; a superfície deve ser suficientemente grande para que o sensor só recolhe a radiação refletida pela amostra e não a envolvente.
ASTM E1980 “Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-sloped Opaque Surfaces”	Espetrofotómetro e Emissómetro	Método para obter o índice de refletância solar (SRI). Determina a capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar recebida, considerando como referência, a temperatura de uma superfície negra padrão ($\rho=0,05$, $\epsilon=0,9$) e de uma superfície branca padrão ($\rho=0,8$, $\epsilon=0,9$), em condições normais. O cálculo de SRI depende da absorptância e emissividade da amostra e, através de uma fórmula, obtém-se o seu valor entre 0 e 100 valores.
ASTM C1549 “Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer”	Refletómetro Solar Portátil	O refletómetro solar portátil usa o princípio de medição da refletância normal hemisférica através da iluminação de uma superfície com luz difusa e regista a luz refletida numa incidência perto da normal. No refletómetro solar portátil, a luz incidida é conseguida através de uma lâmpada de tungsténio e quatro detetores registam a luz refletida pela superfície da amostra. Consegue medir a refletância de superfícies planas e opacas. Este método não abrange uma gama de comprimentos de onda tão vasta como a norma ASTM E903 e permite realizar medições “in situ” com amostras de dimensões maiores.

c) Temperatura

Outro indicador de análise relevante em revestimento refletantes é naturalmente a temperatura, tanto da superfície dos revestimentos como do ambiente exterior. Pode assim relacionar-se a temperatura obtida

numa superfície com a temperatura do ar registrada. A durabilidade de revestimentos termo-refletantes pode ser avaliada tendo em conta o efeito de choque térmico e também de variações sazonais cíclicas da temperatura superficial.

As diferenças na temperatura superficial dos revestimentos, com ou sem os pigmentos termo-refletantes, pode ser avaliada através de ensaios experimentais, tal como verificou Kai L. Uemoto (2010), que registou temperaturas superficiais de amostras e do ambiente exterior. Verificou-se que a aplicação de uma tinta branca com *cool pigments* obteve valores de temperatura superficial menores que a aplicação da mesma tinta sem os pigmentos acima referidos.

Outra das possibilidades da determinação da temperatura superficial está na análise do efeito de choque térmico num revestimento de fachada. Daniotti et al. (2012) avaliou o efeito de choque térmico através da análise do número de eventos que ocorrem num determinado período de tempo em que se verifica uma variação da temperatura superficial entre 4 °C, 5 °C e 10 °C no espaço de uma hora. Verificou-se que sistemas ETICS com valores de absorção solar de 0,80, apresentavam ocorrência de 2000 eventos por ano, para uma variação de temperatura superficial de 4 °C numa hora, e 300 eventos por ano para variação de temperatura superficial de 10 °C numa hora.

2.4. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM RECURSO A ESPETROFOTÓMETRO

Como foi referido em 2.3.5 a medição do valor de refletância, ρ , de revestimentos pode ser efetuada através de vários métodos e equipamentos. A ASTM – *American Society for Testing and Materials* – apresenta um conjunto de normas que sistematizam e normalizam a medição da refletância.

A norma ASTM E 903 – “*Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*” normaliza a medição da refletância solar através de um método que envolve a medição espectral da absorptância, refletância e transmitância de materiais usando um espectrofotómetro. Sendo que se refere a determinadas referências padrão de distribuição do espectro solar conforme determinadas condições atmosféricas, mas pode ser aplicado a outros espectros solares desde que se tenha conhecimento da sua distribuição espectral solar. O espectrofotómetro modular, representado na Figura 5, promove a reflexão como uma simples fração de luz refletida de uma superfície em função de comprimento de onda. O conhecimento da energia solar de absorção, reflexão e transmissão é fulcral para o desempenho de sistemas de energia solar como, por exemplo, sistemas de construção passiva (Akbari, Levinson e Berdahl, 1996; ASTM, 2012a).



Figura 5 - Espectrofotómetro modular, fonte (Optics, 2019b; Optics, 2019c)

De acordo com a norma ASTM E 903, as medições da refletância espectral perto da normal-hemisférica devem ser feitas ao longo do espectro entre 300 e 2500 nm com recurso a um espectrofotômetro. Os valores de transmissão, reflexão ou absorção solar são obtidos pelo cálculo da média ponderada com uma irradiância espectral solar padrão ou selecionada, como função de ponderação por cálculo direto de integrais de adequada convolução ou pelo método de ordenadas ponderadas ou selecionadas (ASTM, 2012a; ASTM, 2012b).

Segundo (Cozza et al., 2015), de acordo com a norma ASTM G173-03, a distribuição padrão do espectro de radiação solar na superfície terrestre com uma massa de ar absoluta de 1.5, que corresponde à distribuição padrão utilizada pela ASTM E 903, pode variar entre aproximadamente os 200 e 2500 nm, o qual se divide em três regiões:

- Radiação UV: para valores de <400 nm, correspondente a 5% da radiação solar;
- Radiação visível: para valores entre 400-700 nm, correspondente a 43% da radiação solar;
- Radiação na região do infra-vermelho próximo (NIR – Near InfraRed): para valores >700nm, correspondente a 52% da radiação solar.

Tal com se verifica na Figura 6, sendo esta radiação absorvida ou transformada em calor, originando um aumento de temperatura da superfície (Cozza et al., 2015).

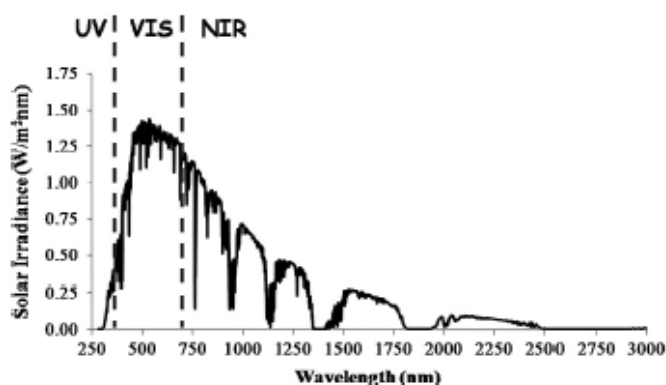


Figura 6 - Espectro de irradiância solar, de acordo com ASTM G173-03, fonte (Cozza et al., 2015)

O espectrofotômetro é capaz de medir as características espectrais da amostra ou material em análise dentro do espectro solar entre 300 e 2500 nm. Um feixe de radiação incidente perto do normal é direcionado na superfície do material e mede a radiação refletida pela mesma superfície. A luz ambiente não deve entrar na sonda por forma a não alterar os valores de refletância. No caso de revestimentos termo-refletantes, a referência de calibração do espectrofotômetro deve ter valores de refletância elevados dentro do espectro solar (ASTM, 2012a; Levinson, Akbari e Berdahl, 2010).

O espectrofotômetro deve ser calibrado com um padrão branco, sempre que se tem conhecimento do seu espectro de refletância. Dispõe de sensores que registam o brilho obtido na amostra com a sonda e comparam com os valores obtidos no padrão para calcular a refletância espectral da amostra. A escolha do espectro de radiação solar de distribuição padrão pode levar a diferentes valores de refletância da amostra, como tal, o espectro de distribuição padrão de radiação solar na superfície terrestre com uma massa de ar de 1.5 é uma referência para a medição dos valores de refletância das amostras ensaiadas (Akbari, Levinson e Berdahl, 2013).

O procedimento de medição da refletância começa com a medição de correção para 100% e para linha de zero erros. Corresponde a comparar amostras com refletância máxima, o que origina uma linha de 100% de reflexão ao longo do comprimento de onda, e com absorvância máxima, para medir uma linha de 0% de reflexão ao longo do comprimento de onda. Para a medição de correção para 100%, 100%, são medidas amostras de elevada refletância idênticas e comparam-se os valores para verificar se as curvas não apresentam alterações. Para a medição da linha de zero erros, Z_λ , mede-se a absorção perfeita, colocando a sonda coberta de forma a que não exista incidência de luz. De seguida calcula-se a refletância espectral, $\rho(\lambda)$, da amostra para um comprimento de onda através de (4):

$$\rho(\lambda) = \frac{S_\lambda - Z_\lambda}{(100_\lambda - Z_\lambda)\rho'(\lambda)} \quad (4)$$

Sendo $\rho'(\lambda)$ a refletância espectral de referência para um comprimento de onda, λ , e S_λ a leitura do espectrofotómetro da amostra. Este método possibilita calcular a refletância de uma amostra para um determinado comprimento de onda, ou seja, não determina a refletância para todo o espectro solar.

Para obter a refletância solar global com recurso a espectrofotómetro, de acordo com a ASTM E 903 (ASTM, 2012a; ASTM, 2012b), pode se obter através das ordenadas ponderadas. Para saber valores de refletância, absorvância ou transmitância de uma amostra, devem ser calculados em separado. Com a integração da refletância espectral sobre a distribuição da irradiância espectral, E_λ , obtém-se a refletância solar, ρ_s , ao longo do comprimento de onda que se deseja medir, neste caso ao longo de n espaços de comprimento de onda. Desta forma, obtém-se um gráfico de variação da refletância no espaço UV/VIS/NIR, do tipo da Figura 6. Para obter uma valor unitário de refletância, segue-se a equação (5).

$$\rho_s = \frac{\sum_{i=1}^n \rho(\lambda_i) * E_{\lambda_i} * \Delta\lambda_i}{\sum_{i=1}^n E_{\lambda_i} * \Delta\lambda_i} \quad (5)$$

Também pode obter-se a absorvância e transmitância alterando na equação (5) o parâmetro, $\rho(\lambda_i)$, pela correspondente absorção, $\alpha(\lambda_i)$, e a transmissão, $\tau(\lambda_i)$. Para $i = 1$ e $i = n$, tem-se que a variação de comprimento de onda, $\Delta\lambda$, será igual ao último intervalo de comprimento de onda, logo, $\Delta\lambda_n = \Delta\lambda_n - \Delta\lambda_{n-i}$.

No método de seleção de ordenadas, de acordo com a norma ASTM E 903 (ASTM, 2012a; Levinson, Akbari e Berdahl, 2010) a distribuição da irradiância solar é dividida em n intervalos de comprimento de onda, cada um deles com $1/n$ da irradiância total. A refletância ou transmitância espectral da amostra é avaliada no centróide λ_i de cada intervalo de comprimento de onda, por exemplo, a cada 5 nm. A refletância solar é calculada como a média das refletâncias espectrais dos intervalos dos centroides. Os comprimentos de onda para 50 ou 100 ordenadas selecionadas encontram-se tabelados em anexo da referida norma. A refletância solar é calculada através da equação (6):

$$\rho_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho(\lambda_i) \quad (6)$$

Os valores de refletância são ponderados de acordo com os valores tabelados de distribuição de radiação solar do espectro solar AM 1.5, para condições atmosféricas com uma massa de ar de 1.5, presentes na norma ASTM E903 nas tabelas G173, para 50 ou 100 ordenadas, podendo ser referentes a irradiância com uma direção normal ou com um ângulo de 37° com a normal. Estes valores tabelados dizem respeito a determinados intervalos de comprimentos de onda (ASTM, 2012a).

Apresentam-se, de seguida, alguns estudos efetuados em fachadas com revestimentos termo-refletantes, com a medição da refletância com recurso a espectrofotômetro, permitindo uma avaliação da durabilidade do sistema.

Doya, Bozonnet e Allard (2012) efetuaram uma medição da refletância de 2 amostras de tintas: castanho com *cool pigments* e castanho corrente (sem *cool pigments*). A medição foi realizada através da norma ASTM E903, sendo que utilizaram o espectro solar AM 1.5 com um ângulo de incidência de 37° com a normal, para a ponderação dos valores de refletância das amostras. Verificou-se que para a região do ultravioleta e visível, entre 300 e 760 nm, os valores de refletância de ambas as amostras não eram muito diferentes, com o castanho corrente a apresentar maior refletância (na ordem dos 0,10) e 0,05 o castanho *cool*. No entanto, na região do infravermelho próximo a amostra de castanho *cool* apresentou valores de refletância entre 0,45 e 0,55, enquanto que a amostra sem *cool pigments* se situou nos 0,10. A refletância solar unitária calculada foi de 0,381 para a amostra de castanho *cool* e 0,145 para o castanho sem *cool pigments*, concluindo-se que têm um grande impacto no aumento da refletância na região do infravermelho próximo.

Paolini et al. (2017) analisaram, ao longo de 4 anos, uma fachada em Milão para dois tipos de revestimentos comuns, um bege e outro branco. O objetivo do trabalho de investigação consistiu em avaliar a diferença nos valores de refletância dos revestimentos devido à sua exposição aos mecanismos de degradação a que estariam sujeitos. Assim, foi medida a refletância inicial de ambos os revestimentos com um espectrofotômetro com um intervalo de comprimento de onda compreendido entre os 300-2500 nm e uma resolução espectral de 5 nm. Mediram-se as refletâncias aos 3, 6, 12, 24 e 48 meses até se alcançar a meta dos 4 anos, com as médias das curvas espectrais a serem calculadas de forma a obter valores unitários da refletância para ambos os revestimentos. Além disso, mediram-se as refletâncias em função do comprimento de onda, sendo calculados os valores de refletância para a região do ultravioleta, visível e do infravermelho próximo. Apresentam-se na Tabela 4 os valores de refletância, tanto os calculados para um valor unitário médio, como para as regiões do ultravioleta, visível e perto do infravermelho, que resultaram do estudo acima referido.

Tabela 4 - Resultados de medição de refletância (R. Paolini, et al., 2017)

Meses	Refletância revestimento Bege				Refletância revestimento Branco			
	Unitário	UV	VIS	NIR	Unitário	UV	VIS	NIR
0	0,46	0,04	0,34	0,65	0,75	0,05	0,77	0,77
3	0,45	0,05	0,33	0,63	0,71	0,05	0,73	0,74
6	0,43	0,04	0,31	0,61	0,69	0,05	0,70	0,72
12	0,42	0,05	0,31	0,59	0,64	0,05	0,65	0,68
24	0,40	0,05	0,29	0,56	0,59	0,05	0,58	0,64
48	0,38	0,05	0,28	0,53	0,55	0,05	0,53	0,60

Concluíram que o revestimento branco diminuiu 0,20 a sua refletância enquanto que o revestimento bege diminuiu 0,08, em 4 anos. Verificou que a diminuição se deveu a alterações de cor dos

revestimentos visto que não existiam degradações físicas na superfície. Também não verificou crescimento de fungos visualmente nos revestimentos logo a alteração da refletância na região do visível deve-se a que os revestimentos aparentam ser mais escuros ao fim de 4 anos. Sendo que as alterações de refletância ao longo do tempo não se verificam na região do ultravioleta, sendo mais notada na região do visível e do NIR, entre os 200 nm e os 1500 nm, sendo que depois deste comprimento de onda não existem alterações significativas.

2.5. SÍNTESE DOS CONCEITOS

Tendo em conta os vários temas analisados no presente capítulo, foi possível definir uma metodologia experimental direcionada à determinação dos três indicadores mais relevantes para a avaliação da durabilidade dos revestimentos de fachada com características termo-refletantes: cor, refletância e temperatura superficial.

Será então possível analisar a durabilidade das amostras sujeitas à ação dos agentes atmosféricos durante um período de tempo de 3 a 4 anos, considerando os trabalhos anteriormente realizados por Bruno Carneiro, em 2016, “A Influência da Cor na Temperatura Superficial de Revestimentos Térmicos”, Miguel Sá, em 2017, “A Influência dos Pigmentos Refletantes na Temperatura Superficial dos Revestimentos Térmicos”, e João Sá, em 2018, “Durabilidade de ETICS com Elevada Absorção Solar”, os quais serviram de ponto de partida para a presente dissertação.

Tabela 5 - Quadro-síntese da metodologia de ensaio

Indicador	Procedimento/ equipamento	Parâmetros associados ao indicador
Cor	CIELAB <i>Standard</i> / Espectrofotómetro	A obtenção dos parâmetros de cor será realizada através do método proposto pelo CIELAB, onde se obtêm os valores de L^* , a^* e b^* que são essenciais para a formulação do parâmetro de variação de cor ΔE .
Refletância	ASTM E1918A/ Piranómetro ASTM E903/ Espectrofotómetro	O indicador de refletância, ρ , varia entre 0 e 1 e indica a quantidade de radiação que é refletida por uma superfície. A obtenção do parâmetro de refletância será realizado de duas maneiras, com piranómetro, através do método alternativo ASTM E1918 A, e com espectrofotómetro, através do método ASTM E903.
Temperatura Superficial	-/Termopares e data logger	A temperatura superficial das amostras, °C, será obtida através de termopares e relacionada também com a temperatura ambiente que será obtida através de uma estação meteorológica.

Anteriormente, resume-se na Tabela 5 as principais indicações, referenciadas no sub-capítulo 2.3.5, que se terá na metodologia experimental associada a cada um dos indicadores.

De referir que, na medição de refletância, por se utilizarem dois métodos diferentes com equipamentos diferentes, será feita uma comparação dos resultados obtidos com ambas as medições.

3

**MATERIAIS E MÉTODOS
EXPERIMENTAIS****3.1. MATERIAIS**

No presente sub-capítulo serão descritos os sistemas utilizados na campanha experimental “*In Situ*” para a obtenção de dados de refletância, cor e temperatura superficial, para a análise de durabilidade de revestimentos termo-refletantes.

A campanha experimental surge no seguimento dos trabalhos desenvolvidos por Bruno Carneiro, em 2016, “A Influência da Cor na Temperatura Superficial de Revestimentos Térmicos”, Miguel Sá, em 2017, “A Influência dos Pigmentos Refletantes na Temperatura Superficial dos Revestimentos Térmicos”, e João Sá, em 2018, “Durabilidade de ETICS com Elevada Absorção Solar”. Assim sendo, será realizada uma avaliação do envelhecimento natural em amostras com o sistema ETICS e com reboco térmico, com diferentes revestimentos, expostas ao clima há 3/4 anos. As mesmas encontram-se colocadas na cobertura do edifício G da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), permitindo a sua monitorização em contínuo. Apresentam-se nas Figura 7 e Figura 8 as amostras em estudo.



a) AQ 1, EPS 6, EPS 1



b) Preto 3500 ETICS e Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments”

Figura 7 - Fotografias das amostras no local a) e b)



c) AQ 3, Branco ETICS, EPS 3, AS 3



d) EPS 7, EPS 4, EPS 5, EPS 2

Figura 8 - Fotografias das amostras no local c) e d)

Nota:

EPS – Nome atribuído às amostras de placas de poliestireno expandido, do sistema ETICS.

AQ – Nome atribuído às amostras com o sistema de placas de betão leve.

AS – Nome atribuído às amostras com o sistema de reboco térmico.

O esquema de disposição das amostras encontra-se representado na

Figura 9, onde se pode verificar tanto a sua posição como a sua identificação. As amostras estão colocadas de forma a que não haja sombreamento devido a elementos emergentes da zona envolvente.

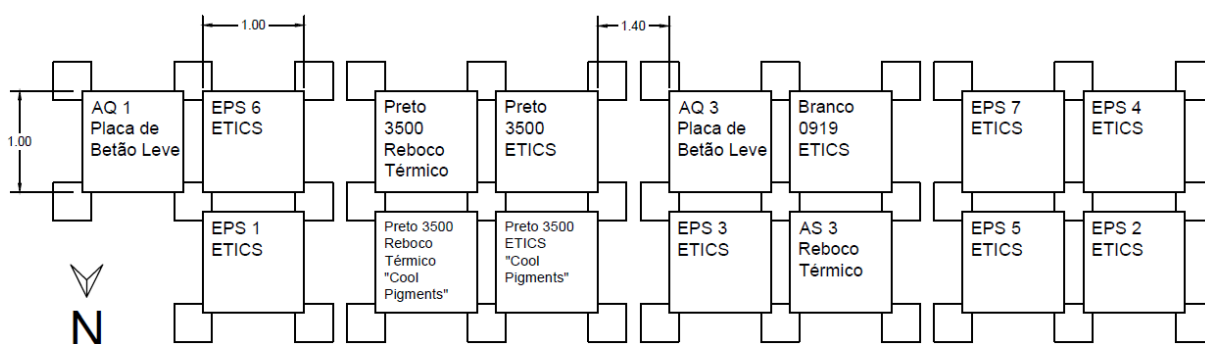


Figura 9 - Disposição das amostras no local

As amostras apresentam uma área de $1 \times 1 \text{ m}^2$, devido à necessidade de garantir uma área mínima de ensaio de acordo com o método alternativo E 1918 A, proposto por (Carneiro, 2016).

Encontram-se descritas na Tabela 6 as diversas camadas constituintes de cada um dos sistemas em estudo, assim como a sua espessura.

Tabela 6 – Camadas constituintes dos sistemas em estudo, fonte (Weber, 2015; Weber, 2018)

Sistema	Suporte/Isolamento térmico	Camada de Base	Primário	Revestimento final
ETICS	- /Placa Weber.therm EPS (4 cm)	Argamassa à base de cimento, cargas minerais selecionadas, resinas, fibras sintéticas e aditivos especiais Weber. therm pro (3 mm) reforçada no interior com fibra de vidro Weber.therm rede normal com tratamento antialcalino (5 x 4 mm)	Primário de homogeneização Weber.prim regulador	Revestimento orgânico colorido Weber.plast decor M (1 a 2 mm)
Sistema de Reboco Térmico	- /Reboco térmico Weber.therm Aislone (4 cm)	Argamassa à base de cimento, cargas minerais selecionadas, resinas, fibras sintéticas e aditivos especiais Weber. therm pro (3 mm) reforçada no interior com fibra de vidro Weber.therm rede normal com tratamento antialcalino (5 x 4 mm)	Primário de homogeneização Weber.prim regulador	Revestimento orgânico colorido Weber.plast decor M (1 a 2 mm)
Sistema de Betão Leve	Betão leve Aquaroc (12.5mm)/ -	Argamassa à base de cimento, cargas minerais selecionadas, resinas, fibras sintéticas e aditivos especiais Weber. therm pro (3 mm) reforçada no interior com fibra de vidro Weber.therm rede normal com tratamento antialcalino (5 x 4 mm)	Primário de homogeneização Weber.prim regulador	Revestimento orgânico colorido Weber.plast decor M (1 a 2 mm)

Apresenta-se na Tabela 6 a constituição dos vários sistemas utilizados na campanha experimental, com referência aos produtos aplicados, por ordem de aplicação (do interior para o exterior). As fichas técnicas dos mesmos encontram-se no Anexo A.1.

Apresenta-se na Figura 10 um esquema elucidativo da constituição dos vários sistemas, tendo em conta as diversas camadas que os constituem.

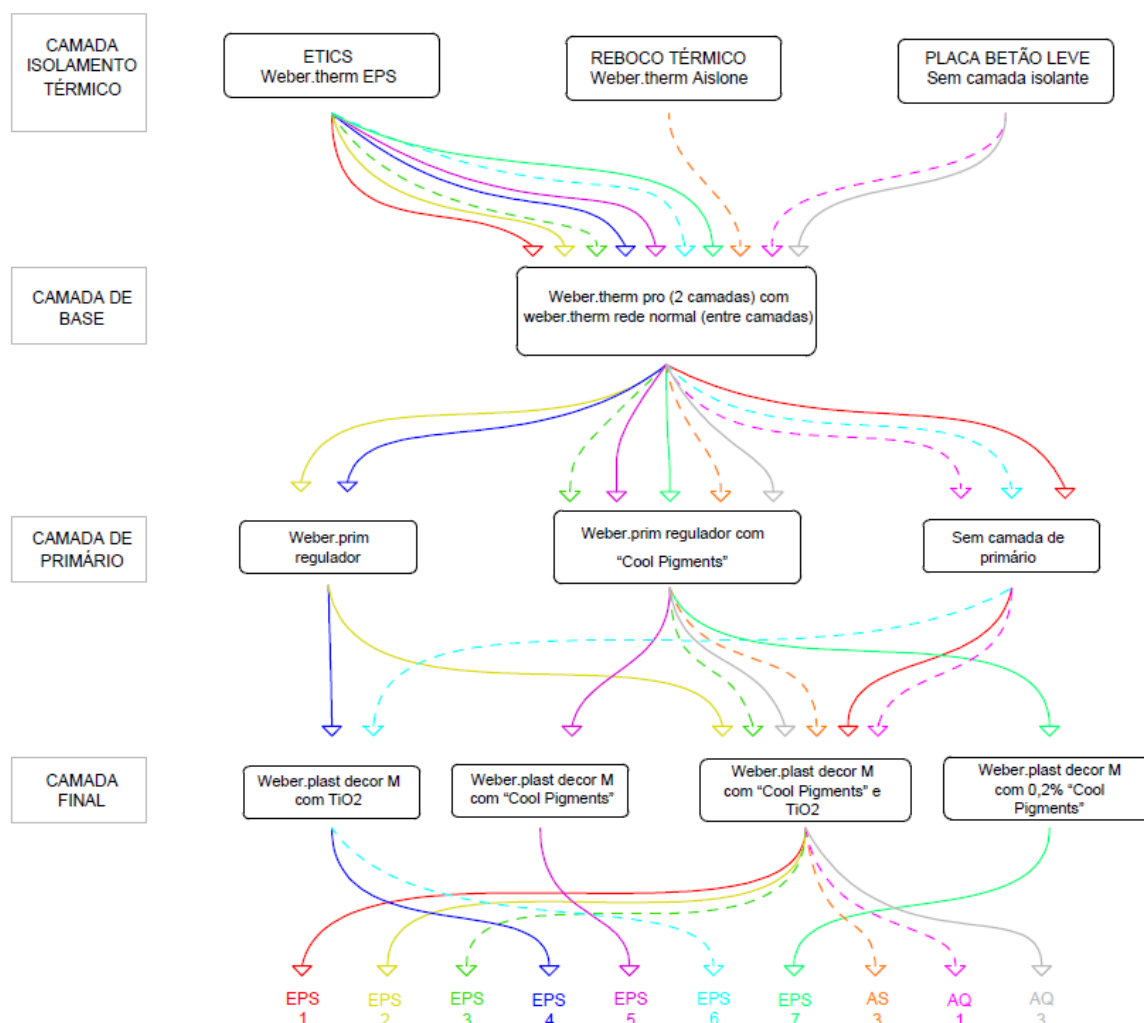


Figura 10 - Esquema de combinações das camadas nas amostras do tipo EPS, AS e AQ

Foram utilizadas também amostras que se encontram em laboratório, do tipo de sistema ETICS e Reboco Térmico, que variam na cor do revestimento da camada final datadas de 2016, tal como se representa no Anexo A.2.

3.2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO

3.2.1. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM ESPETROFOTÓMETRO

3.2.1.1. ENQUADRAMENTO

A medição de refletância com espectrofotômetro baseia-se na comparação dos níveis relativos de luz refletidos por uma amostra com uma referência, sendo essa referência correspondente a uma determinada percentagem para cada comprimento de onda do espectro. Uma amostra branca é utilizada como referência para determinar os níveis de refletância para 100%. O espectrofotômetro é ligado a uma sonda de fibra óptica, que por sua vez se encontra ligado a uma fonte de luz de forma a transmitir a iluminação necessária para a medição da luz refletida pela amostra em análise por parte do espectrofotômetro (Optics, 2015).

O funcionamento de um espectrofotômetro baseia-se na entrada de luz conduzida pela sonda de fibra óptica na abertura do espectrofotômetro, com a abertura a ter entre 5 μm e 200 μm de dimensão. Também existe a possibilidade de se colocar um filtro de absorção para limitar a gama de luz que entra no espectrofotômetro. A luz irá assim incidir no espelho colimador que reflete a luz como um feixe colimado, em direção à grade. A grade será incidida pelo feixe de luz que, devido à especificação que se deu à grade na sua produção, define os intervalos de comprimentos de onda para o qual serão feitas as leituras do feixe colimado, isto é, define-se assim as regiões ou intervalos de comprimentos de onda, nm, que se pretende analisar. Em seguida, o feixe será refletido pelo espelho focado, que reflete o espectro de 1ª ordem no conjunto de detetores. Os detetores podem possuir uma lente de colecionamento cilíndrica para melhorar a eficiência de coleção da luz pelos detetores e reduzir a luz dispersa. O detetor divide a luz em comprimentos de onda para cada componente em diferentes pixels do detetor. Cada pixel responde para um determinado comprimento de onda de luz incidente. O detetor gera um sinal analógico de cada pixel que é convertido em sinal digital, sendo que o processo eletrônico do sinal consiste no envio do espectro registado via USB para o software. Ainda se pode ter um filtro de ordem para bloquear espectros de 2ª e 3ª ordem (Optics, 2016; Optics, 2015). Apresenta-se na Figura 11 a parte interna de um espectrofotômetro exemplo e dos diversos componentes que o constituem.

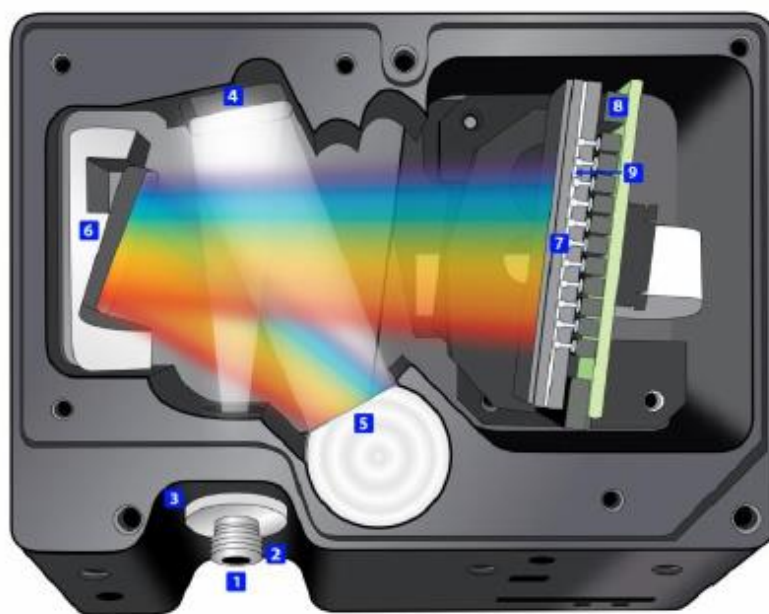


Figura 11 - Esquema de um espectrofotômetro: 1 - Sonda de fibra óptica; 2 - Abertura do espectrofotômetro; 3 - Filtro de absorção; 4 - Espelho colimador; 5 - Grade; 6 - Espelho focado; 7 - Lente de colecionamento; 8 - Detetor; 9 - Filtro de 2ª e 3ª ordem (Optics, 2015)

Tal como se referiu no capítulo 2.4, existem vários métodos de cálculo para determinar a refletância de uma amostra através dos valores registados pelo espectrofotômetro. Visto que os dados de refletância, que se retiraram com o espectrofotômetro, são obtidos em função do comprimento de onda, adotou-se para o cálculo do valor unitário da refletância de cada amostra o método de seleção de ordenadas. Assim, é possível calcular uma média ponderada dos valores registados pelo espectrofotômetro para os comprimentos de onda mais próximos dos comprimentos de onda tabelados no apêndice X2 da norma

ASTM E903 (ASTM, 2012a; ASTM, 2012b). Apresenta-se na Equação 7 a fórmula de cálculo da refletância unitária.

$$\rho_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho(\lambda_i) \quad (7)$$

Sendo que $\rho(\lambda_i)$ corresponde às refletâncias que correspondem ao comprimento de onda que está especificado na tabela do apêndice X2 da norma ASTM E 903 e o n será o número de valores que teremos tabelados, sendo que existe a possibilidade de n ser igual a 50 ou 100.

Assim, utilizaram-se as tabelas G173 da norma ASTM E 903, para 50 e 100 ordenadas com uma irradiância direta normal AM 1.5, que permitem identificar quais os comprimentos de onda a serem utilizados, tendo em conta os dados medidos. De seguida, faz-se uma média ponderada dos valores registados pelo espectrofotómetro para os comprimentos de onda mais próximos dos comprimentos de onda tabelados, tal como se representa na equação 7, obtendo assim o valor de refletância correspondente a cada amostra em análise.

A incerteza do cálculo pelo método de seleção de ordenadas leva a um desvio de 0,24%, para 50 ordenadas, e a um desvio de 0,13%, para 100 ordenadas (ASTM, 2012a).

3.2.1.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL

A medição da refletância das amostras em estudo foi realizada com recurso a um espectrofotómetro modular, modelo Flame da marca Ocean Optics. Este tipo de espectrofotómetros apresenta a grande vantagem de ser de pequenas dimensões, o que facilita a sua portabilidade, nomeadamente para a realização de ensaios “in situ”.

Os espectrofotómetros da Ocean Optics do tipo Flame são caracterizados pela sua resolução e sensibilidade apurada, visto que possuem um intervalo de comprimento de onda bastante abrangente. São de fácil utilização, já que só necessitam um cabo USB para a conexão a um portátil. Podem variar de resolução conforme as necessidades e testes que desejamos realizar. Possui uma estabilidade térmica elevada o que possibilita o seu manuseamento repetidamente e com precisão em situações extremas. Têm uma baixa variação por unidade, o que possibilita uma maior sensibilidade na obtenção de valores. Possuem um software adaptado para a integração mais facilitada em qualquer sistema (Optics, 2016; Optics, 2015).

O sistema de espectrofotómetro modular é composto por dois espectrofotómetros independentes: o Flame TXR1 e o Flame NIR, representados na Figura 12. A diferença entre ambos reside na leitura de valores que se retira em função do comprimento de onda, ou seja, em função da região onde se pretende realizar medições. O Flame TXR1 compreende a região do ultravioleta e do visível com um intervalo de comprimento de onda entre os 190 e 1100 nm e o Flame NIR compreende a região próxima do infravermelho com um intervalo de comprimento de onda entre os 950 e 1650 nm. Assim sendo, a composição dos dois espectrofotómetros permite uma medição alargada do comprimento de onda.



Figura 12 - Espectrofotômetros Flame TXR1 e NIR

Apresentam-se na Tabela 7 as especificações dos espectrofotômetros utilizados nesta campanha experimental.

Tabela 7 - Especificações dos espectrofotômetros da marca Ocean Optics do tipo Flame TXR1 e Flame NIR (Optics, 2016; Optics, 2015)

Especificações	Unidades	Flame TXR1	Flame NIR
Resolução óptica	nm	2 (25 μ m fenda)	10 (25 μ m fenda)
Sinal-ruído rácio		300:1	6000:1
Tempo de integração		3.8 ms – 10 s	1 ms – 65 s
Linearidade correta	%	> 99.8	99.8
Alcance	nm	190 - 1100	950 - 1650
Detetor		Toshiba TCD1304AP array linear CCD	Hamamatsu G8160-03 InGaAs sensor imagem linear
Pixels		3648	128
Dimensões	mm	88.9 x 63.5 x 31.9	88.9 x 63.5 x 31.9
Peso	g	265	265

A fonte de iluminação utilizada é também da marca Ocean, modelo DH-200, como apresentado na Figura 13. Esta fonte combina uma lâmpada de deutério e outra de halogénio de tungsténio. A lâmpada de deutério é utilizada para leituras na região do ultravioleta, enquanto que a outra lâmpada permite cobrir o restante comprimento de onda (entre 190 nm e 2500 nm). Também possui um obturador para limitar a exposição à radiação ultravioleta. Tem um tempo de vida de 1000 horas e opera entre os 5°C e os 35°C (Optics, 2017).



Figura 13 - Fonte de iluminação utilizada foi da marca Ocean Optics do tipo DH-2000

A luz será conduzida através de sondas de fibra ótica. A sonda de fibra ótica possui 3 partes distintas. Na ponta da sonda, que estará em contacto com a amostra, existem 6 fibras em torno de uma fibra central, a qual incide a luz na amostra, recebendo as restantes 6 fibras a luz refletida pela amostra. Para não existirem perdas de iluminação utiliza-se um suporte que possibilita posicionar a sonda a 90° e 45° da superfície da amostra. A sonda apresenta outras duas conexões: uma à fonte de iluminação e outra ao espectrofotómetro. A sonda conectada à fonte de iluminação apresenta uma fibra única para entrada de luz para a sonda. A sonda conectada ao espectrofotómetro é constituída por 6 fibras de saída de luz refletida pela amostra. Na Figura 14 apresenta-se um esquema de uma sonda de fibra ótica constituída pelas diversas partes anteriormente referidas.



Figura 14 - Sonda de fibra ótica - A - Entrada de luz refletida e saída de luz incidente; B - Entrada de luz da fonte de iluminação; C - Saída de luz refletida para o espectrofotómetro (Optics, 2019c)

Visto que o sistema modular é composto por dois espectrofotómetros a sonda de ligação aos mesmos apresenta uma bifurcação. É apresentado na Figura 15 o setup experimental utilizado para medição da refletância com recurso a espectrofotómetro modular, consistindo na fonte de iluminação, sonda de fibra ótica e respetivo suporte, amostra padrão, e espectrofotómetros UV-VIS e NIR ligados por USB ao computador para leitura e registo de dados. O software utilizado para recolha e tratamento de dados é o programa OceanView, também da Ocean Optics. Este programa permite a introdução dos parâmetros de arranque de forma a definir a precisão dos dados. Permite também visualizar e posteriormente armazenar em tempo real os valores medidos em cada amostra em análise.

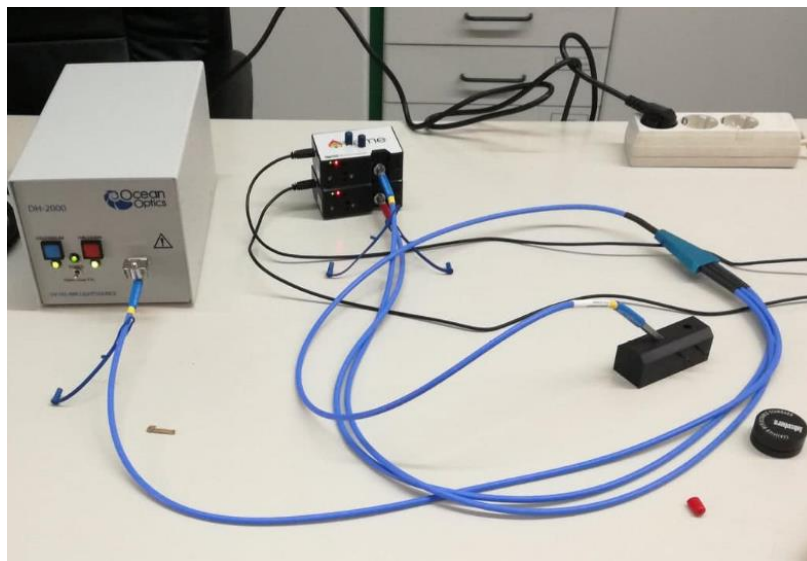


Figura 15 – Setup experimental para medição da refletância através de espectrofotômetro modular.

3.2.1.3. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

De forma a sistematizar o procedimento de medição de refletância com espectrofotômetro, para os vários sistemas em estudo, apresenta-se a metodologia adotada:

1) Aquecimento da fonte de iluminação

Após a correta instalação de todos os componentes, como apresentado na Figura 15, liga-se a fonte de iluminação, a qual deve aquecer durante aproximadamente 30 minutos. Ligam-se ambas as lâmpadas, visto que se pretende obter valores de refletância para toda a gama UV-VIS-NIR.

2) Definição do tempo de integração

Inicia-se o software OceanView e definem-se parâmetros de arranque – *scans to average* e *boxcar width* –, localizados na Figura 16, para cada espectrofotômetro individualmente. A suavização do *boxcar* procura remover o ruído com a melhora da resolução ótica garantindo um aumento da relação sinal/ruído. Como se procura a melhor relação sinal/ruído possível, adota-se o valor mais elevado de *boxcar width* visto que quanto mais elevado este for melhor será a relação sinal/ruído. Ainda assim, não se pode utilizar valores muito elevados, visto que, quanto maior o número de *boxcar width*, maior será o ruído produzido pelo espectrofotômetro. Como tal, aconselha-se valores entre 1 e 5 de *boxcars* (Optics, 2019a; Optics, 2013).

Os *scans to average* serão o número de contagens do espectro que o equipamento fará numa amostra para o processador antes do *software* receber o espectro final, logo, quanto maior o número de *scans*, melhor será a relação sinal/ruído. Uma boa medida para a redução do ruído passa por aumentar o número de *scans to average*, que como consequência melhora a relação sinal/ruído mas aumenta também o tempo de processamento do dispositivo (Optics, 2019a; Optics, 2013).

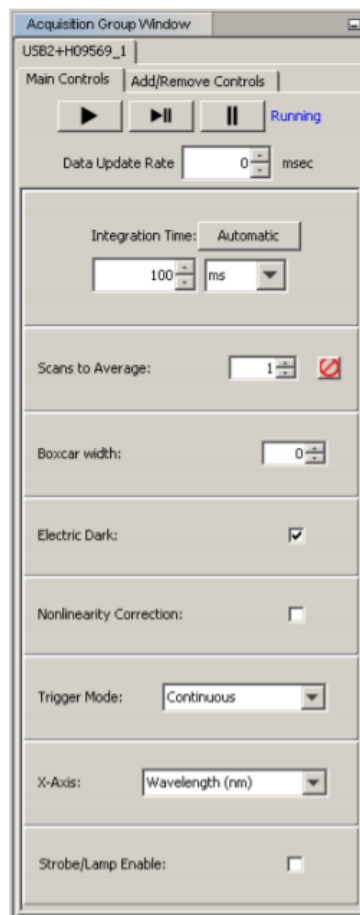


Figura 16 - Definição dos parâmetros de arranque, fonte (Optics, 2013)

Para o espectrofotômetro Flame TXR1 adotou-se o valor de 50 no parâmetro *scans to average* e 7 no *boxcar width*, selecionando-se também uma correção não-linear (*nonlinearity correction*). Para o espectrofotômetro Flame NIR adotou-se o valor de 5 no parâmetro *scans to average* e 4 no *boxcar width*.

O tempo de integração é assim definido automaticamente pelo software com estes parâmetros definidos, sendo que não deve ser demasiado elevado visto que este fator também afeta o ruído das medições. Também se deve tomar em atenção que uma temperatura elevada no detetor causa aumentos de ruído nas leituras (Optics, 2019a).

A adoção dos respetivos parâmetros prende-se com a otimização do tempo de integração, por forma a ser possível realizar várias medições das amostras, e tendo em atenção a redução do ruído do sinal, por forma a não adulterar os resultados que se procuram obter.

3) Calibração dos espectrofotômetros

De seguida, procede-se à calibração da refletância com recurso à amostra padrão (refletância de 100 %). Coloca-se a sonda a 90°, no suporte, sobre o padrão com a fonte de iluminação ligada e registam-se os valores de refletância para 100%. Posteriormente, desliga-se a fonte de iluminação e registam-se os valores de refletância para 0% (situação oposta/ máxima absorvância), tendo atenção para que o suporte não permita entrada de luz natural, o que pode resultar numa leitura com valores diferentes de 0% de refletância. Quando se calibra com o padrão branco procura-se ter um gráfico para 100% de refletância

ao longo de todo o comprimento de onda e no caso de desligar a fonte iluminação procura-se obter 0% de refletância, tal como se representa na Figura 17.

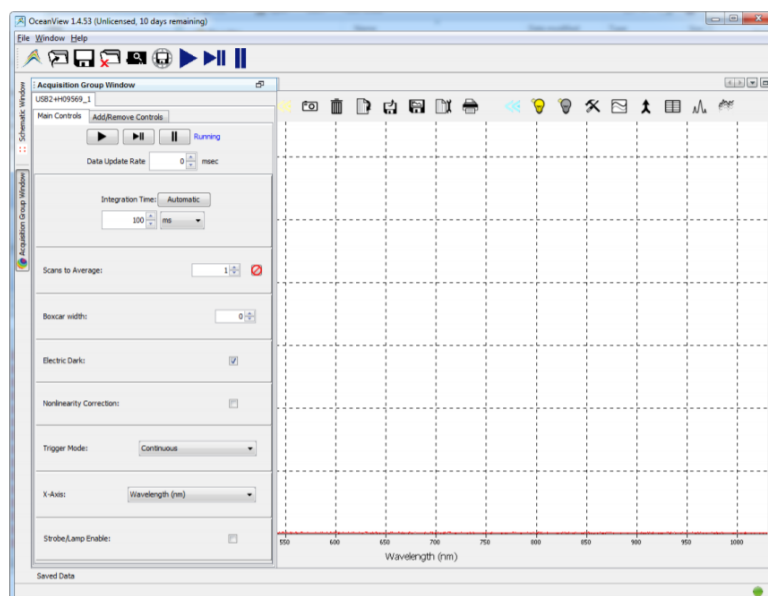


Figura 17 - Gráfico gerado no OceanView para uma situação de calibração com a fonte de iluminação desligada, fonte (Optics, 2013)

4) Medição da refletância

Depois de realizados estes passos iniciais, procede-se à medição da amostra em estudo. Coloca-se a sonda sobre a amostra e registam-se os valores de refletância. O software, tal como se observa na Figura 18, permite observar, em tempo real, a variação da refletância em função do comprimento de onda e guardar esses mesmos dados.

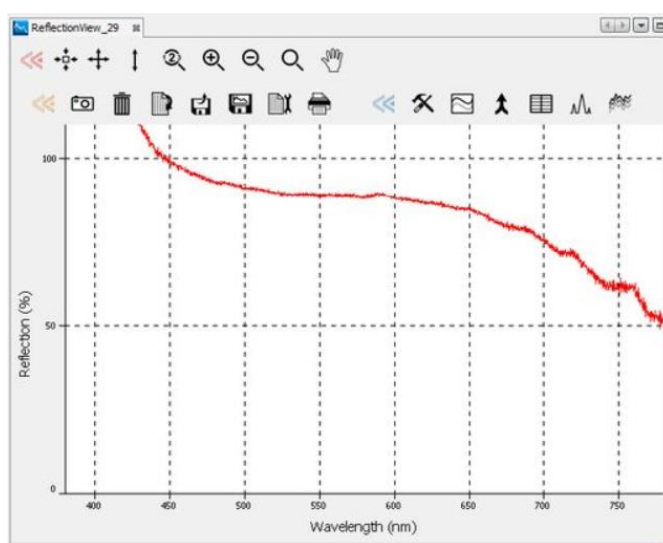


Figura 18 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da OceanView

3.2.2. MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA COM PIRANÓMETRO

3.2.2.1. ENQUADRAMENTO

O outro método utilizado para medição da refletância baseia-se no método alternativo à norma ASTM E1918 “Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field”, proposto por (Carneiro, 2016), que utiliza um piranômetro para obter a refletância das amostras

O método alternativo permite medir a refletância de uma superfície com no mínimo 1 m². O piranômetro é direcionado diretamente para a superfície da amostra para a recolha de três medidas sequenciais da irradiância solar global refletida, I_r . Na primeira medição, $I_{r,1}$, é medida a irradiância de uma máscara totalmente branca e opaca e uma refletância global solar elevada, $R_{g,branco}$, e na segunda medição, $I_{r,2}$, uma máscara preta, com uma refletância global solar baixa, $R_{g,preto}$. A terceira medição, $I_{r,3}$, consiste na medição da irradiância da superfície da amostra. As dimensões das máscaras devem ser semelhantes à da amostra em análise, apresentando as mesmas condicionantes quando aplicado o procedimento da norma ASTM E1918. A refletância é assim calculada com base nas três medições referidas como demonstra a equação (8).

$$R_g = R_{g,preto} + \frac{I_{r,3} - I_{r,2}}{I_{r,1} - I_{r,2}} (R_{g,branco} - R_{g,preto}) \quad (8)$$

3.2.2.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL

Na medição “in situ” das amostras utilizou-se o método alternativo E1918 A que foi descrito em 3.2.2. Este método utiliza um piranômetro da marca Hukseflux Thermal Sensors do tipo SR05, representado na Figura 19, para se medir a refletância solar das amostras, sendo que por este método se obtém diretamente as refletâncias.

De acordo com (Sensors, 2018) o piranômetro possibilita a medição real da radiação solar incidente. Devido à norma ISO 9060, garantida no piranômetro da marca Hukseflux na segunda classe da norma, sabe-se que o piranômetro terá uma relevante precisão na obtenção dos valores de reflexão solar. O modelo do piranômetro SR05 garante uma medição da radiação solar recebida numa superfície para um ângulo de visão de 180°, sendo expressa em W/m² e que designa-se por radiação solar hemisférica.

Na sua utilização, o piranômetro responde de formas diferentes em função do ângulo de incidência da radiação do “feixe”, sendo assim, quando a radiação solar é perpendicular à superfície a resposta é total (sol no ponto mais alto), quando a radiação solar se encontra num ângulo de 90° de incidência a resposta é zero (sol no horizonte), e quando a radiação solar tem um ângulo de incidência de 60° a resposta é de 50% da total.

A sua facilidade de montagem e rapidez para fazer medições garante uma alternativa viável à medição da refletância solar.



Figura 19 - Piranómetro da marca Hukseflux do tipo SR05

Em seguida, a descreve as especificações mais importantes do piranómetro (Hukseflux, 2019) .

Tabela 8 - Especificações do piranómetro da marca Hukseflux do tipo SR05

Especificações	Unidades	Valor
Incerteza de calibração (a)	%	< 1,8 (k=2)
Resposta direccional (b)	W/m ²	< ± 2,5
Resposta de temperature (c)	°C	< ± 3 % (- 10 a ± 40)
Mudança de sensibilidade por ano (d)	%	< ± 1
Escala espectral	nm	285 a 3000
Escala da temperatura de funcionamento	°C	-40 a +80
Alcance de transmissão	W/m ²	0 a 1600
Faixa de medição	W/m ²	0 a 2000
Resposta a 200 W/m ² de radiação térmica	W/m ²	< 15
Resposta a mudança de 5K/h na temperatura ambiente	W/m ²	< ± 4
Não linearidade	W/m ²	< ± 1 % (100 a 1000)
Saída analógica	V	0 - 1
Tempo de resposta	s	18
Seletividade espectral	m	< ± 5 % (0,35 a 1,5x10 ⁻⁶)
Resposta à inclinação	°	< ± 2 % (0 a 90) para 1000 W/m ²

As especificações que estão associadas a letras dizem respeito à formula (9), que será utilizada para estimar de forma aproximada a precisão das medições do piranómetro:

$$P = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} = \sqrt{1,8^2 + 2,5^2 + 3^2 + 1^2} = 4,4 \% \quad (9)$$

O piranómetro será colocado numa estrutura de suporte de forma a cumprir a norma experimental do método alternativo da ASTM E1918. Assim, o sensor de medição estará 50 cm acima das amostras, tal como se representa na Figura 20.

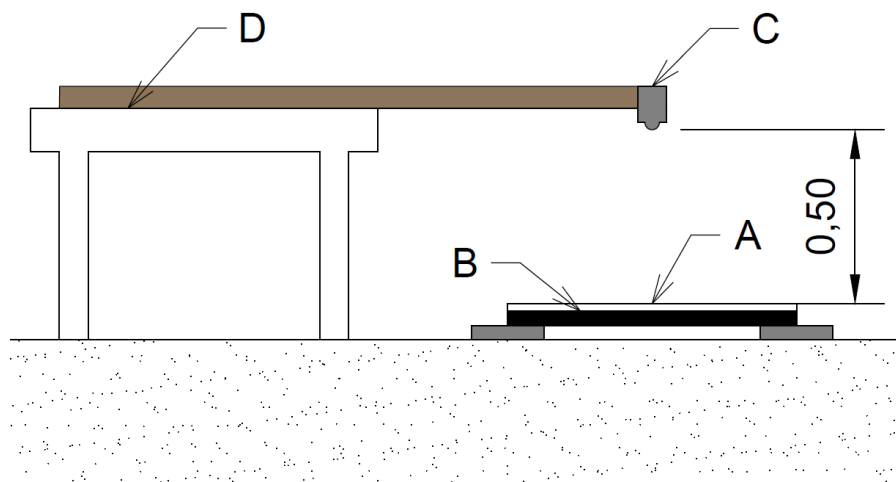


Figura 20 – Estrutura de suporte do piranómetro: A – Máscara Branca/Preta; B – Amostra; C - Piranómetro; D – Suporte.

Apresenta-se na Figura 21 a colocação da estrutura de suporte do piranómetro para a medição da irradiância com a máscara preta.



Figura 21 - Medição de irradiância de máscara preta com piranómetro, fonte (Sá, 2018)

3.2.2.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a determinação da refletância solar “*In Situ*”, com recurso a piranómetro segundo o método alternativo E1918 A são necessárias condições atmosféricas favoráveis, não podendo existir

nebulosidade que possa influenciar as medições. Assim sendo, é necessário que o céu esteja limpo e que o sol faça um ângulo inferior a 45° com a normal à superfície das amostras.

Em seguida descreve-se a metodologia de ensaio do método alternativo E1918 A:

1. Colocar o piranómetro no suporte sobre o centro da amostra a 50 cm de altura da mesma;
2. Cobrir a amostra com a máscara preta opaca e, em seguida, a amostra branca opaca;
3. Rodar o piranómetro para cima e registar a irradiância solar total que incide na superfície da amostra, I_H ;
4. Rodar o piranómetro para baixo e registar a irradiância solar refletida pela máscara branca opaca, $I_{r,1}$, retira-se a máscara branca e mede-se a irradiância solar refletida pela máscara preta opaca, $I_{r,2}$, retira-se a máscara preta e mede-se a irradiância solar refletida pela amostra em estudo, $I_{r,3}$;
5. Rodar o piranómetro para cima e registar a irradiância solar total que incide na superfície da amostra, I_H' . Se $|I_H' - I_H| > 20 \text{ W/m}^2$ volta-se ao ponto 2 do processo e tenta-se novamente;
6. As medições dos pontos 3 a 5 devem ser efetuadas com intervalos de tempo inferiores a 10 minutos e com paragens de 30 segundos entre cada medição, para estabilizar o piranómetro;
7. Através do método da norma ASTM E 903 sabe-se os valores de refletância solar das máscaras preta, $R_{g,preto}$, e branca, $R_{g,branco}$;
8. Prossegue-se com o cálculo da refletância solar da amostra através da equação (10):

$$R_g = R_{g,preto} + \frac{I_{r,3} - I_{r,2}}{I_{r,1} - I_{r,2}} (R_{g,branco} - R_{g,preto}) \quad (10)$$

9. Repete-se o processo dos pontos 2 a 6 de forma a obter três medições da refletância solar para cada amostra R_g , determinando o seu valor com uma média das três medições;
10. Se a diferença entre o valor máximo e mínimo das três medições de refletância solar for superior a 0,02 deve-se repetir o processo do ponto 2 ao ponto 6.

Na Figura 22 apresenta-se um fluxograma da metodologia aplicada na medição da refletância solar com o método alternativo do piranómetro.

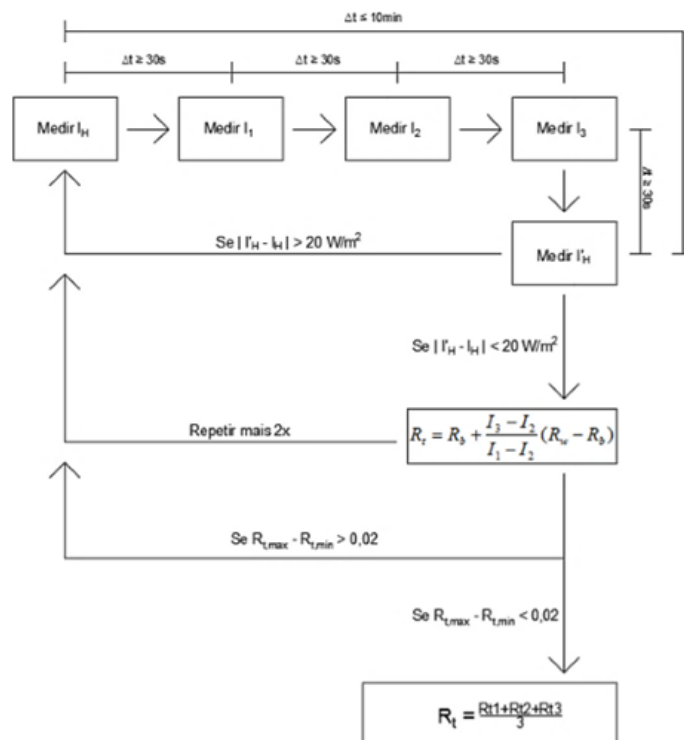


Figura 22 - Fluxograma do procedimento de ensaio alternativo com piranômetro, fonte (Carneiro, 2016)

3.2.3. MEDIÇÃO DA COR COM ESPETROFOTÔMETRO

A medição da cor com recurso a espectrofotômetro tem por base a infraestrutura definida em 3.2.1.2, seguindo a seguinte metodologia.

Visto que se pretende avaliar a cor, isto é, na região do visível, apenas se utiliza o espectrofotômetro Flame TXR1. O procedimento de ensaio é o mesmo definido no ponto 3.2.1.3, mas usando apenas um espectrofotômetro.

Define-se no software OceanView um fluxograma, como representado na Figura 23, onde se adiciona um node de forma a calcular os parâmetros CIELab de cada amostra.

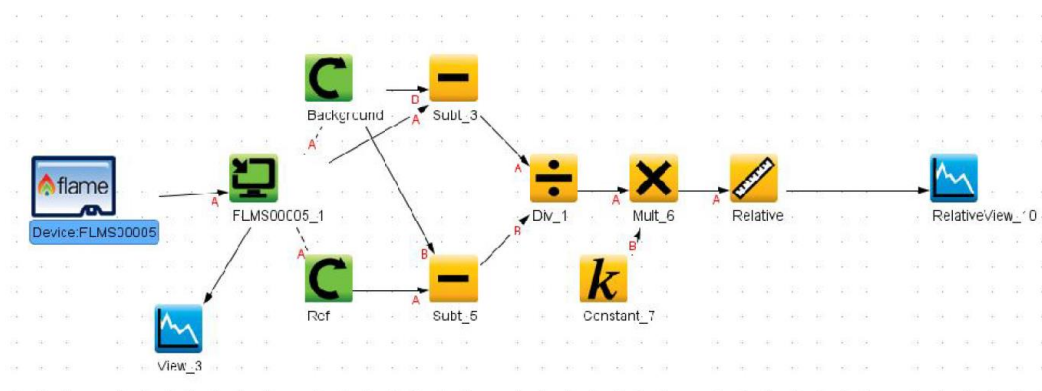


Figura 23 - Vista esquemática do software OceanView (Optics, 2015)

Em seguida, coloca-se a sonda sobre a amostra em análise e registam-se os parâmetros da cor da mesma.

3.2.4. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

A medição da temperatura superficial dos revestimentos depende de efeitos de convecção, condução e radiação incidente na superfície. O método mais utilizado para registo das referidas temperaturas é com recurso a termopares, por ser um método simples e de fácil monitorização (Duff e Towey, 2010).

No presente estudo utilizaram-se termopares tipo T. O termopar consiste em dois fios metálicos diferentes ligados numa extremidade, ligação essa que se denomina junção de medição (*measurement junction*). Na outra ponta, os fios metálicos não estão unidos, são sim ligados a um circuito de condicionamento do sinal de cobre, sendo esta ligação chamada de junção de referência (*reference junction*). A medição da voltagem depende dos valores das temperaturas medidas em ambas as junções. Como o termopar funciona em diferencial, temos que saber a temperatura da junção de referência e assim ficamos a saber o valor da temperatura da junção de medição colocada sobre a superfície do revestimento. Os termopares tipo T são constituídos por cobre e liga de constantan e registam temperaturas entre 370°C e -184°C, resistindo a ambientes corrosivos (Duff e Towey, 2010).

Os termopares são ligados a um *data-logger* que regista as temperaturas superficiais com intervalos de 10 minutos em 10 minutos.

As vantagens da utilização deste método são (Duff e Towey, 2010; Sá, 2018):

- Maiores intervalos de medição de temperatura superficial;
- Maior facilidade de resposta a variações de temperatura brusca;
- Termopares não sujeitos a aquecimento próprio;
- Equipamento com custo relativamente baixo.



Figura 24 - Termopares Tipo T, fonte (Sá, 2017)

Como referido anteriormente, foram utilizados termopares Tipo T, como o representado na Figura 24, constituídos por cobre e liga de constantan e registam temperaturas entre 370°C e -184°C, e têm uma tolerância de erro de ± 1.0 °C (ASTM, 2012a).

Para medição da temperatura superficial das amostras “*In Situ*” ligados a um *datalogger* da marca Techenetics chamado Mikromec Logger Multisens de forma a recolher e armazenar a informação referente às variações das temperaturas superficiais das amostras.



Figura 25 - Datalogger Mikromec Logger Multisens com termopares ligados, fonte (Sá, 2017)

O *datalogger*, tal como o da Figura 25, armazena os dados de temperaturas superficiais das amostras que se encontram no local ao longo do tempo com intervalos de 10 minutos, tal como foi programado. Também possui um painel que possibilita verificar em tempo real os valores que se estão a registar e assim verificar se a sua medição está em correto funcionamento. Por fim, possui 16 entradas para a possível utilização de 16 termopares e uma saída para a conexão a um computador de forma a se extrair os valores medidos.

O procedimento para a obtenção das temperaturas superficiais é a seguinte:

1. Primeiramente, colocam-se os termopares dentro de uma câmara climática com temperatura de 23° C, para se verificar se o seu funcionamento é correto e que variações de temperaturas se verificam para um clima controlado;
2. Verificando que os termopares se encontram com um correto funcionamento e registando temperaturas semelhantes entre si, pode-se prosseguir para a sua instalação no local que se pretende, sendo que primeiro coloca-se somente numa amostra, de forma a verificar se registam as temperaturas e suas variações corretamente num clima não controlado;
3. Confirmando o seu correto funcionamento numa única amostra, procede-se à colocação dos restantes termopares nas restantes amostras. Em alguns casos, pode-se colocar dois termopares por amostra e fazer a média entre os valores registados nos dois termopares.

No presente estudo, visto que as amostras já se encontravam em monitorização contínua os pontos 1 e 2 não foram realizados.

4

**PROPRIEDADES ÓTICAS:
RESULTADOS E DISCUSSÃO****4.1. REFLETÂNCIA SOLAR****4.1.1. Refletância Solar com Espectrofotômetro**

Para a análise das medições de refletância solar foram efetuadas medições com espectrofotômetro modular da marca Ocean Optics nas amostras que se encontram “*In Situ*”, representadas no sub-capítulo 3.1 e detalhadas no Anexo A.1, sujeitas a temperaturas e condições meteorológicas adversas durante vários anos, e nas amostras que se encontram em laboratório, detalhadas no anexo A.2, não estando sujeitas a estas condições.

Para as medições das amostras “*In Situ*” e em laboratório foi utilizado o método da ASTM E 903, com recurso a espectrofotômetro modular descrito no sub-capítulo 3.2.1.2.

O objetivo passa por comparar valores de refletância entre as amostras em diferentes condições:

- Não envelhecidas: as amostras encontram-se em laboratório e não sofreram alterações devido a ação climática;
- Envelhecidas: amostras “*In Situ*” sujeitas a alterações das suas propriedades refletivas devido à ação do clima.

Para as medições com o espectrofotômetro não foi necessário ter em atenção as condições atmosféricas, visto que a calibração é realizada imediatamente antes das medições, não sendo exigidas condições específicas para a medição. Assim, as medições das amostras “*In Situ*” foram realizadas nos dias 2 e 3 de maio e 11 de junho de 2019, durante todo o dia. Para as amostras em laboratório as medições foram realizadas nos dias 2 de abril e 11 de junho de 2019.

De forma a obter uma análise quanto ao efeito da rugosidade que diferentes zonas das amostras pudessem apresentar, realizaram-se 9 medições de valores de refletância por amostra, para verificar a existência de algum padrão quanto à refletância em cada zona da amostra. Assim, tal como representado na Figura 26, definiram-se 9 pontos específicos em que se mediu com o espectrofotômetro valores de refletância que em seguida foram tratados com uso do programa informático Excel.

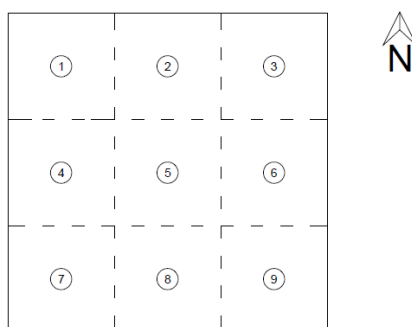


Figura 26 - Posições das medições com espectrofotômetro por cada amostra

Para se verificar se existe algum padrão de rugosidade nas amostras, verificaram-se os pontos onde ocorrem os valores máximos e mínimos de refletância em cada amostra, e a frequência com que ocorrem.

Assim, a Figura 27 apresenta as frequências com que se registaram refletâncias máximas e mínimas em cada amostra. Pode-se verificar que as posições 2 e 5 são onde ocorrem as menores refletâncias, e as posições 6 e 7 onde ocorrem as maiores refletâncias.

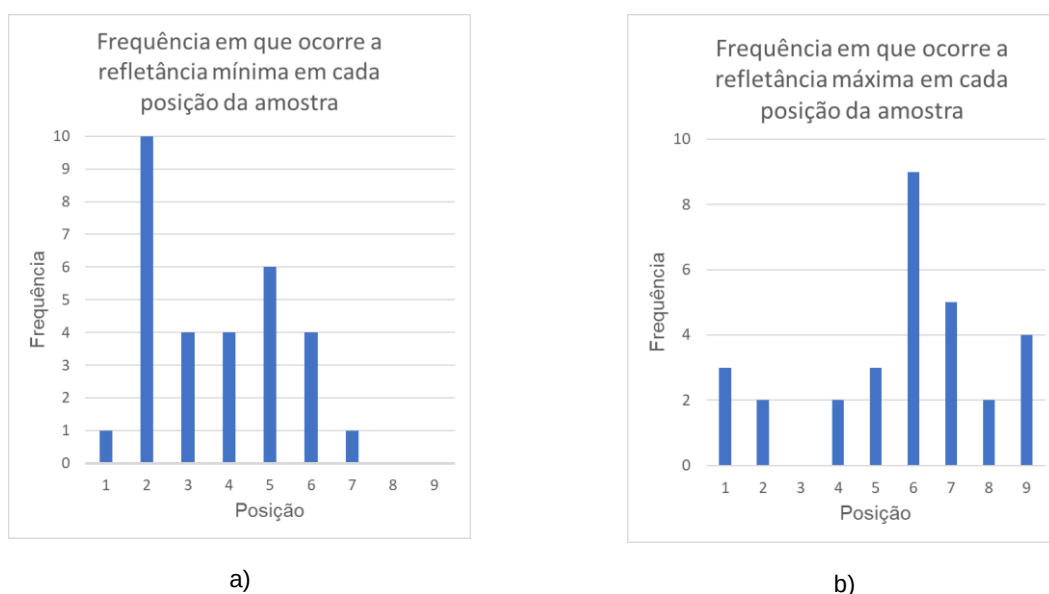


Figura 27 - Frequência com que ocorrem refletâncias mínima a) e máxima b) em cada posição das amostras

Pode-se assim verificar que não existe um padrão quando se compara a zona central e extremidades da amostra, nem mesmo entre as posições superiores e inferiores das amostras ou devido à orientação das mesmas.

A Figura 28 representa a diferença entre os valores de refletância para a zona central das amostras e as extremidades. Pode-se verificar que para alguns casos a zona central tem maior refletância que as extremidades e para outros casos verifica-se o contrário.

Pode-se assim concluir que não existe um padrão de refletância para uma zona central da amostra e das extremidades. Verifica-se que a rugosidade da amostra, ainda que diferente nas 9 posições onde se registraram as medidas, não segue nenhuma regra devido à posição das mesmas.

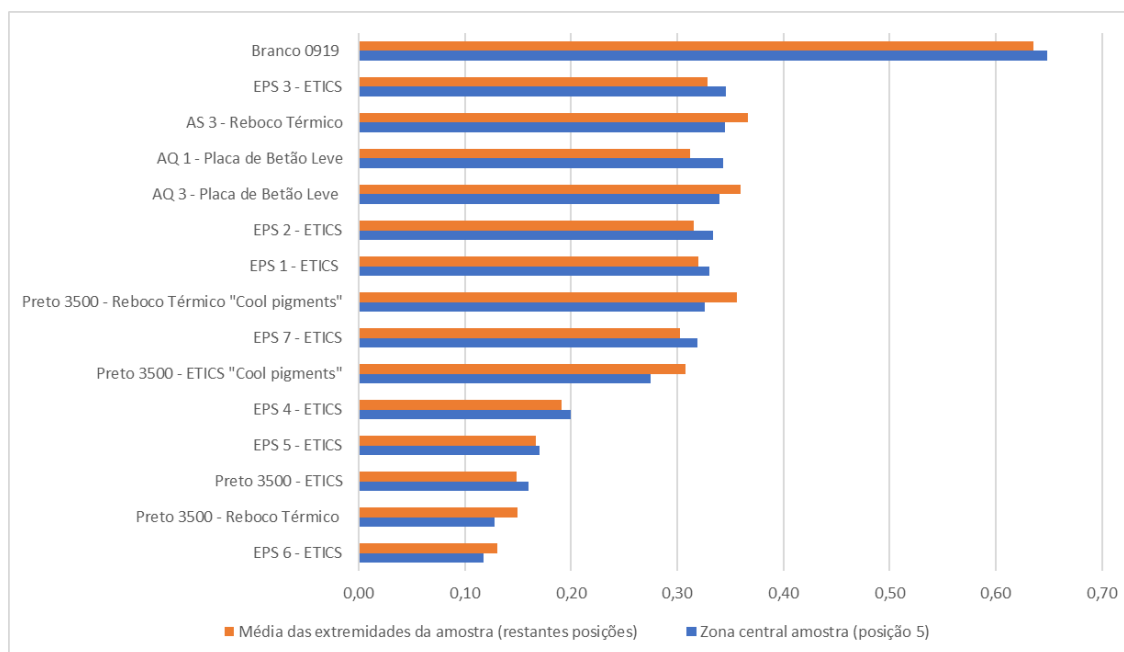


Figura 28 – Comparação de refletância entre zona centro vs. extremidade da amostra (100 ordenadas)

Os valores de refletância por ponto para cada amostra são semelhantes entre si devido às camadas de revestimento terem sido fabricadas e aplicadas homogeneamente e também por as amostras estarem colocadas na horizontal, o que significa que todos os pontos estão sujeitos à mesma radiação solar, vento e chuva. As diferenças de refletância entre os vários pontos, devem-se a que algumas das posições onde se realizaram as medições têm maior ou menor rugosidade que as outras, o que significa que a luminosidade incidente do espectrofotómetro se possa perder, visto que com o aumento da rugosidade os feixes de luz refratam e não são captados para o cálculo da refletância. Também, o espectrofotómetro só regista a refletância de uma determinada área da amostra, podendo aumentar o erro de cálculo da refletância por ponto. Verifica-se na Tabela 9 que os desvios-padrão de cada amostra são bastante baixos para as medições de refletância solar efetuada para os 9 pontos de cada amostra, demonstrando que não existe uma elevada variação entre os diferentes pontos de cada amostra.

Concluiu-se que os valores de refletância calculados para os 9 pontos por amostra não variavam demasiado do esperado, ainda que tenham uma correta avaliação qualitativa entre si, daí, não influenciarem as conclusões quanto à rugosidade das amostras. Para se analisar os valores de refletância medidos com o espectrofotómetro foi necessário realizar novas medições das amostras, sendo que, neste caso só se realizaram em 3 pontos e foi tido em consideração para cada medição de ponto por amostra, os valores que o espectrofotómetro registava para o padrão branco (refletância de 100 %) e preto (refletância de 0%), em especial na região do NIR.

Tabela 9 - Valor médio da refletância de 9 posições e desvio-padrão

Amostra	Refletância ρ (0-1)			
	Método 100 ordenadas		Método 50 ordenadas	
	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Branco 0919	0,64	0,02	0,64	0,02
Preto 3500 ETICS	0,15	0,01	0,15	0,01
Preto 3500 ETICS "Cool Pigments"	0,30	0,04	0,31	0,04
Preto 3500 Reboco Térmico	0,15	0,02	0,15	0,02
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool Pigments"	0,35	0,02	0,35	0,02
EPS 1 - ETICS	0,32	0,02	0,32	0,02
EPS 2 - ETICS	0,32	0,01	0,31	0,01
EPS 3 - ETICS	0,33	0,01	0,32	0,01
EPS 4 - ETICS	0,19	0,01	0,19	0,01
EPS 5 - ETICS	0,17	0,02	0,17	0,02
EPS 6 - ETICS	0,13	0,01	0,13	0,01
EPS 7 - ETICS	0,31	0,04	0,30	0,04
AQ 1 - Placa de Betão Leve	0,32	0,03	0,32	0,03
AQ 3 - Placa de Betão Leve	0,36	0,01	0,35	0,01
AS 3 - Reboco Térmico	0,36	0,03	0,36	0,03

No presente trabalho, mediu-se a refletância de diferentes amostras assim agrupadas: amostras “*In Situ*” e em laboratório.

O cálculo da refletância, segundo o método da E 903, foi efetuado para 50 e 100 ordenadas estipuladas de acordo com o anexo X2 da norma ASTM E903. Como tal, para o tratamento de dados, foi escolhido o método de 50 ordenadas, por apresentar um desvio-padrão baixo para todas as amostras, como se representa na Tabela 9, e, devido à presença de um pico na ordem dos 1400 nm, devido ao efeito da incidência do feixe de luz nas amostras, os valores apresentados na tabela X2.3 da norma ASTM E903 para o cálculo da refletância com 50 ordenadas não assumem valores de refletância nesta gama, reduzindo o erro de cálculo.

Para as amostras “*In Situ*”, foi efetuado o cálculo de uma média dessas 3 medições, que se apresentam na Tabela 10. Para as amostras em laboratório foi efetuado o mesmo procedimento e os valores médios são apresentados na Tabela 11. Os valores da 3 medições efetuadas, pelo método de 50 e 100 ordenadas selecionadas, apresentam-se no anexo B, onde se encontram os valores medidos para os 3 pontos de cada amostra.

Tabela 10 - Refletância com o espectrofotômetro das amostras "In Situ" (após o cálculo)

Amostras "In Situ"	Refletância ρ (0-1) Método 50 ordenadas (valor médio)
Branco 0919	0,53
Preto 3500 ETICS	0,15
Preto 3500 ETICS "Cool Pigments"	0,25
Preto 3500 Reboco Térmico	0,14
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool Pigments"	0,30
EPS 1 - ETICS	0,24
EPS 2 - ETICS	0,29
EPS 3 - ETICS	0,27
EPS 4 - ETICS	0,13
EPS 5 - ETICS	0,22
EPS 6 - ETICS	0,11
EPS 7 - ETICS	0,35
AQ 1 - Placa de Betão Leve	0,25
AQ 3 - Placa de Betão Leve	0,26
AS 3 - Reboco Térmico	0,26

Tabela 11 - Refletância com o espectrofotômetro das amostras em Laboratório (após o cálculo)

Amostras em Laboratório	Refletância ρ (0-1) Método 50 ordenadas (valor médio)
Branco 0919	0,68
Preto 3500 – ETICS	0,10
Preto 3500 – ETICS – "Cool Pigments"	0,24
Preto 3500 - Reboco Térmico	0,10
Preto 3500 - Reboco Térmico - "Cool Pigments"	0,25
Vermelho 0444 - ETICS – "Cool Pigments"	0,37
Vermelho 0444 – ETICS	0,34
Azul 1774 – ETICS	0,51
Verde 1436 – ETICS	0,40
Pastel 0839 – ETICS	0,67
Tijolo 0555 – ETICS	0,36
Castanho 0426 – ETICS	0,25
Wengué 0412 – ETICS	0,13

Tanto para as amostras "In Situ" como em laboratório foram efetuados os respetivos gráficos com os valores de refletância medidos através do espectrofotômetro em função do comprimento de onda. Os gráficos encontram-se nos anexos C e D. Com esses gráficos é possível verificar a refletância medida em função do comprimento de onda e, assim, tirar algumas conclusões em função dos valores que se registam nas diferentes regiões do espectro solar: UV, VIS e NIR.

As principais conclusões que se retiram dos valores médios de refletância calculados e para os valores de refletância das amostras em função do comprimento de onda, e respetivas regiões, são:

Efeito em função da região do espectro

- Todas as amostras registam valores de refletância entre os 0 e 0,1 para os comprimentos de onda de 200-400 nm, região do UV;
- As amostras de cor Preto 3500 têm valores de refletância inferiores a amostras de outras cores, entre 0,1 e 0,2, para os comprimentos de onda entre 400-700 nm, região do VIS;
- Para as amostras de Branco e amostras de laboratório que possuem diferentes cores, com exceção do Preto 3500 (maioria das amostras de laboratório), verifica-se valores de refletância variados na região do VIS, em função da cor que possuem;
- Onde se verificam maiores variações de refletância é na região do NIR para todas as amostras, devido à presença ou não de “Cool Pigments” nas amostras, já que os pigmentos refletantes têm como característica a refletância na região do NIR.

Efeito de “Cool Pigments” no revestimento

- A amostra EPS 4 tem menor refletância na região do NIR que a amostra EPS 2, com valores entre 0,5 e 0,6, o que se deve à amostra EPS 4 ter uma camada de revestimento sem “Cool Pigments”, ao contrário da amostra EPS 2;
- A amostra EPS 1, EPS 2, EPS 3, EPS 5 e EPS 7 têm valores maiores de refletância na região do NIR devido a terem “Cool Pigments” no seu revestimento;
- A amostra EPS 7 tem valores de refletância na região do NIR entre 0,3 e 0,5 devido à presença de “Cool Pigments” na camada de primário e final. Sendo que tem uma refletância maior que a amostra EPS 3, devido à presença de 0,2 % de “Cool Pigments” no revestimento;
- As amostras de Preto 3500 em ETICS e Reboco Térmico sem “Cool Pigments” têm valores de refletância na região do NIR de 0,1-0,2. Quando têm a presença de “Cool Pigments” atingem refletância de quase 0,4-0,6, devido aos pigmentos.

Efeito de “Cool Pigments” na camada de primário

- A amostra AQ 3 – Placa de Betão Leve apresenta a maior refletância, na ordem do 0,4, entre os 800-1000 nm, enquanto que na amostra AQ 1 é de aproximadamente 0,2-0,3. A diferença entre as duas amostras está na presença de “Cool Pigments” na camada de primário da amostra AQ3, que resultou em valores de refletância superiores;
- Nas amostras EPS – ETICS, verificou-se que as amostras com refletância menor na região do NIR são as EPS 4, com aproximadamente 0,1, e EPS 6, com aproximadamente 0,05, devido à falta de “Cool Pigments” numa camada de primário;
- A amostra EPS 3 tem valores de refletância entre 0,5 e 0,6 devido à presença da camada final com “Cool Pigments”. Ainda assim a refletância é menor que na amostra EPS 2 devido à presença de “Cool Pigments” na camada de primário da amostra EPS 3.

Efeito da camada de primário

- A amostra EPS 1 tem valores menores de refletância, entre 0,4 e 0,6 na região do NIR, que a amostra EPS 2, entre 0,5 e 0,7 na região do NIR, devido a não ter uma camada de primário como tem a EPS 2.

Efeito do suporte

- A amostra AQ 3 e AS 3 têm o mesmo valor de refletância, com EPS a ser 0,27 e com 0,01 maior que as restantes devido ao suporte em ETICS.

Efeito do envelhecimento

- Em comparação com as amostras em laboratório, verifica-se que nas amostras Preto 3500 sem “Cool Pigments” a refletância aumentou para todo o espectro e para os valores médios. As amostras com “Cool Pigments” têm menores valores de refletância em laboratório do que para “In Situ”, tanto os valores médios como na região do NIR, onde variam entre 0,3 e 0,6, devido à perda de cor das amostras “In Situ”;
- A amostra de Branco 0919 de laboratório tem valores de refletância entre 0,7 e 0,9 para a região do VIS e entre 0,5 e 0,6 para a região do NIR. A amostra de Branco 0919 que se encontra “In Situ” tem valores menores de refletância para a região do VIS, perto de 0,5 a 0,7, devido à perda de cor da amostra que se encontra no local, já que a região NIR se encontram iguais para ambos os casos.

Efeito do espectrofotómetro

- Entre os comprimentos de onda de 200-250 nm e 800-900 nm verificam-se alterações bruscas das refletâncias. Isto deve-se a um ajuste do espectrofotómetro, que regista as regiões do UV-VIS e que nas extremidades dos valores registados perde a precisão;
- Também se verifica algumas descontinuidades perto dos 900 nm visto que, nessa zona, é onde se encontra o fim dos valores registados com o espectrofotómetro das regiões do UV-VIS e o espectrofotómetro que regista a região do NIR, este último, que só começa a registar valores para 930 nm;
- Para todas as amostras verifica-se um pico nos 1400 nm que se deve à composição química dos revestimentos das amostras, como se verifica nos gráficos das amostras no Anexo C e D.

É possível verificar na Figura 29 que a presença dos “Cool Pigments” afeta a refletância das amostras, como se verifica para os casos das amostras de Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico, onde a presença dos pigmentos garante valores mais elevados de refletância nas amostras mesmo depois de exposição a intempéries de 3 anos.

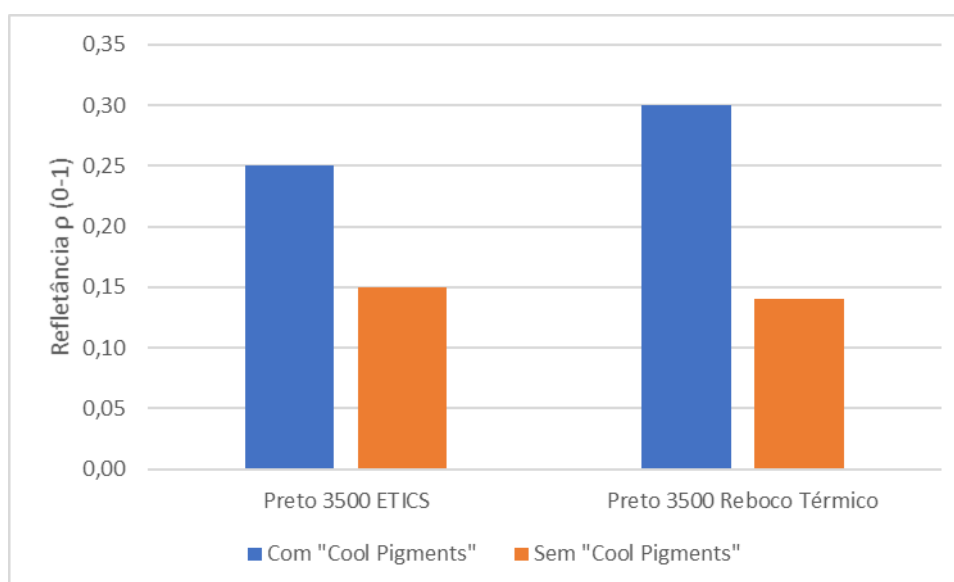


Figura 29 - Comparação de refletância entre amostras com e sem "Cool Pigments" com espectrofotómetro

4.1.2. REFLETÂNCIA SOLAR COM PIRANÓMETRO

Como já foi referido, a medição da refletância solar pode ser realizada por diferentes métodos. A medição da refletância solar através de piranómetro, foi realizada nas amostras que se encontram “*In Situ*”, sujeitas a temperaturas e condições meteorológicas adversas, de acordo com o método alternativo E 1918 A.

O objetivo passa por comparar valores de refletância ao longo do tempo, desde as primeiras medições datadas de 2 e 3 anos, até à data da presente dissertação, comparando-as entre si.

Para as medições com o piranómetro foi essencial a escolha dos dias para realização do ensaio, como referido em 3.2.2.2, com a necessidade de condições atmosféricas de céu limpo, sem qualquer nebulosidade, tendo o sol um ângulo inferior a 45° com a normal à superfície das amostras.

Nos dias 2, 3 e 21 de maio de 2019 foi possível encontrar as condições atmosféricas necessárias para as medições com o piranómetro. Para garantir um ângulo inferior a 45° com a normal à superfície das amostras realizou-se o ensaio entre as 12:00h e as 15:00h.

Na Tabela 12 encontram-se os valores de refletância registados para as medições com piranómetro para os vários anos (2016 a 2019), analisando a variação para os valores registados nos diferentes anos.

O cálculo dos valores de refletância solar foi efetuado conforme se refere no sub-capítulo 3.2.2 de forma a se obter a média dos valores registados em 3 medições.

Tabela 12 – Valores e variações de refletância com o piranómetro

	Refletância solar ρ (0-1)						
	Junho 2016	Variação percentual % 2016-2017	Abril 2017	Variação percentual % 2017-2018	Maio 2018	Variação percentual % 2018-2019	Junho 2019
AQ 1 - Placa de betão leve	-	-	0,25	-4,0	0,24	-12,5	0,21
AQ 3 - Placa de Betão leve	-	-	0,25	-16,0	0,21	14,3	0,24
AS 3 - Reboco Térmico	-	-	0,25	-4,0	0,24	4,2	0,25
Branco 0919	0,73	-15,1	0,62	-1,6	0,61	-18,0	0,50
EPS 1 - ETICS	-	-	0,25	0,0	0,25	-24,0	0,19
EPS 2 - ETICS	-	-	0,23	0,0	0,23	4,3	0,24
EPS 3 - ETICS	-	-	0,25	-8,0	0,23	0,0	0,23
EPS 4 - ETICS	-	-	0,11	9,1	0,12	-33,3	0,08
EPS 5 - ETICS	-	-	0,21	4,8	0,22	13,6	0,25
EPS 6 - ETICS	-	-	0,12	0,0	0,12	-33,3	0,08
EPS 7 - ETICS	-	-	0,30	16,7	0,35	-11,4	0,31
Preto 3500 ETICS	0,12	0,0	0,12	-8,3	0,11	-45,5	0,06
Preto 3500 ETICS "Cool pigments"	0,27	0,0	0,27	-18,5	0,22	9,1	0,24
Preto 3500 Reboco térmico	0,12	0,0	0,12	-8,3	0,11	0,0	0,11
Preto 3500 Reboco térmico "Cool pigments"	0,27	0,0	0,27	-18,5	0,22	9,1	0,24

No gráfico da Figura 30 pode-se verificar a variação ao longo dos diferentes anos em que as amostras estiver expostas às condições atmosféricas adversas por forma a se ter uma visualização da sua alteração com o tempo.

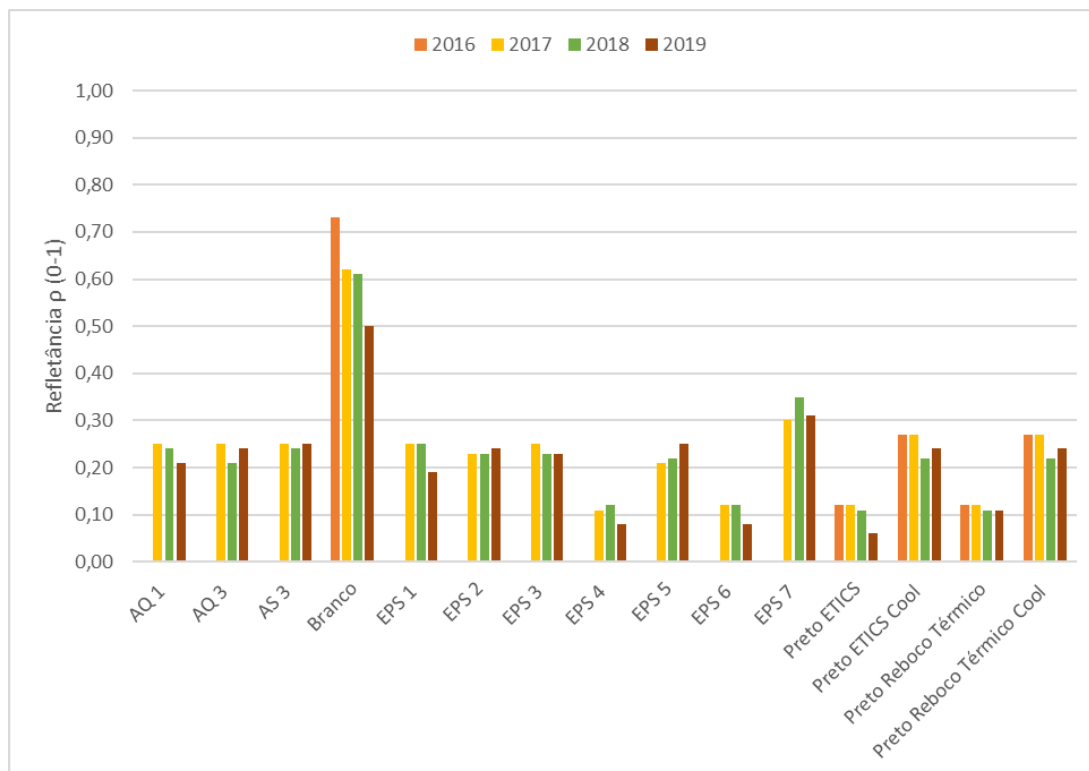


Figura 30 - Variações de refletância com o piranômetro

É possível, através dos valores apresentados na Tabela 12 e na Figura 30, retirar algumas conclusões quanto à refletância e durabilidade das amostras em estudo (amostras “*In Situ*” apresentadas no subcapítulo 3.1):

Efeito de “Cool Pigments” no revestimento

- Entre as amostras denominadas EPS verifica-se que EPS 4, amostra sem “Cool Pigments” e com TiO_2 , continua a ter os menores valores de refletância que a amostra EPS 2, que possui “Cool Pigments” e TiO_2 , devido à falta dos “Cool Pigments”;
- A amostra EPS 7, que possui primário e camada de revestimento com 0,2 % de “Cool Pigments” tem o maior valor de refletância de entre as amostras EPS devido a alteração de cor e presença dos “Cool Pigments”;
- As amostras Preto 3500, em ETICS ou Reboco Térmico, têm maiores valores de refletância quando se tem a presença de “cool pigments”.

Efeito de “Cool Pigments” na camada de primário

- As amostras EPS 1 e EPS 6 sem camada de primário têm das menores refletâncias, sendo que a amostra EPS 4, que possui primário sem “Cool Pigments” também tem uma refletância baixa;
- As amostras EPS 4 e EPS 6 devido à falta de uma camada de primário com “Cool Pigments” têm as refletâncias mais baixas e sofreram uma diminuição mais elevada de refletância no último ano devido à falta de “Cool Pigments” nessa camada de primário;
- As amostras AQ 1 e AQ 3, em suporte de placas de betão leve, têm valores de refletância diferentes devido à presença de “cool pigments” numa camada de primário a amostra AQ3, garantido-lhe maior refletância;

- Verifica-se que a falta de camada de primário com “Cool Pigments” e a presença destes mesmos pigmentos na camada final influenciam a refletância das amostras.

Efeito do suporte

- Verifica-se que a amostra AS 3 tem uma refletância superior a AQ 3 devido ao suporte em reboco térmico que possui.

Efeito do envelhecimento

- As amostras AQ 1 – Placa de Betão Leve , Branco 0919, EPS 1, EPS 4, EPS 6, EPS 7, Preto 3500 - ETICS diminuíram os valores de refletância de 2018 para 2019;
- As amostras AQ 3 – Placa de Betão Leve, AS 3 – Reboco Térmico, Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”, Preto 3500 – Reboco Térmico “Cool Pigments”, EPS 5 e EPS 2 foram as amostras que aumentaram o seu valor de refletância de 2018 para 2019;
- As amostras EPS 3 e Preto 3500 – Reboco Térmico mantiveram os valores de refletância de 2018 para 2019;
- A amostra Branco 0919 teve uma diminuição do valor de refletância de 0,61 para 0,5 no último ano em parte devido a acumulação de sujidade e ao visível escurecimento da sua cor;
- A amostra Preto 3500 – ETICS foi a que teve a maior variação no valor de refletância registada com uma diminuição de 0,11 para 0,06;
- As amostras sem “Cool Pigments” na sua constituição têm maiores alterações nas suas propriedades de refletância ao longo dos anos ao contrário das amostras com pigmentos refletantes.

É possível verificar pela Figura 31 que a presença dos “Cool Pigments” afeta a refletância das amostras, como se verifica para os casos das amostras de Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico, onde a presença dos pigmentos garante valores mais elevados de refletância nas amostras mesmo depois de exposição a intempéries de 3 anos.

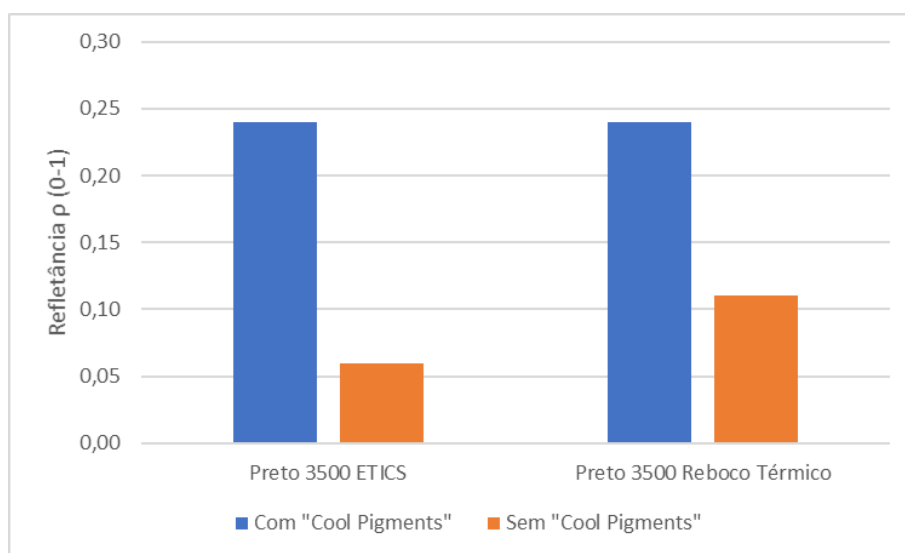


Figura 31 - Comparação de refletância entre amostras com e sem "Cool Pigments" com piranómetro

4.1.3. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR: ESPETROFOTÓMETRO VS. PIRANÓMETRO

De forma a perceber se os diferentes métodos utilizados apresentam similaridade de resultados no que se refere à refletância solar, foi efetuada uma comparação entre os resultados obtidos com recurso a espectrofotômetro e com recurso a piranômetro.

Verificou-se que existem algumas diferenças em alguns valores de refletância quando medidos com o espectrofotômetro ou o piranômetro. Seja devido aos erros associados à ponderação das 50 ordenadas para o cálculo da refletância solar com o espectrofotômetro ou a calibração do mesmo, sejam erros associados à medição com o piranômetro.

Para analisar a variação de refletância com os dois métodos apresenta-se na Tabela 13 uma comparação dos valores medidos com o piranômetro e com o espectrofotômetro.

Tabela 13 - Comparação dos valores de refletância com piranômetro e espectrofotômetro

	Refletância ρ (0-1)		
	Piranômetro	Espectrofotômetro Método 50 Ordenadas	Variação Percentual %
AQ 1 - Placa de betão leve	0,21	0,25	19,0
AQ 3 - Placa de Betão leve	0,24	0,26	8,3
AS 3 - Reboco Térmico	0,25	0,26	4,0
Branco 0919	0,50	0,53	6,0
EPS 1 - ETICS	0,19	0,24	26,3
EPS 2 - ETICS	0,24	0,29	20,8
EPS 3 - ETICS	0,23	0,27	17,4
EPS 4 - ETICS	0,08	0,13	62,5
EPS 5 - ETICS	0,25	0,22	-12,0
EPS 6 - ETICS	0,08	0,11	37,5
EPS 7 - ETICS	0,31	0,35	12,9
Preto 3500 ETICS	0,06	0,15	150,0
Preto 3500 ETICS "Cool pigments"	0,24	0,25	4,2
Preto 3500 Reboco térmico	0,11	0,14	27,3
Preto 3500 Reboco térmico "Cool pigments"	0,24	0,30	25,0

Através da análise da Tabela 13 pode-se verificar o seguinte:

- Todas as amostras, com exceção do EPS 5, aumentam a refletância solar do piranômetro para o espectrofotômetro;
- As maiores alterações são nas amostras Preto 3500 – ETICS, EPS 4 e EPS6, que registaram os menores valores no método do piranômetro, podendo dever-se às condicionantes do clima no período de medição, nomeadamente o vento, mesmo cumprindo os critérios de medição;
- As amostras EPS apesar de alterarem todas as refletâncias de uma medição para a outra não variam muito entre si. Com exceção da EPS5, que com a diminuição de refletância no espectrofotômetro, passa a ter uma refletância inferior a EPS 1, EPS 2 e EPS 3 enquanto que

pelo piranómetro teria valores de refletância superiores. Podendo se dever à amostra EPS 5 não ter partículas de TiO_2 ;

- A amostra EPS 4, que pelo piranómetro tem a mesma refletância que a amostra EPS 6, devido a não terem “Cool Pigments” na sua camada de primário mas, no caso do espectrofotómetro, a refletância da amostra EPS 4 é superior, podendo dever-se à presença da camada de primário regulador sem “Cool Pigments”, que lhe confere maior durabilidade;
- As amostras Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico com “Cool Pigments” têm refletâncias iguais no caso do piranómetro mas no caso do espectrofotómetro a amostra de Reboco Térmico é superior.

A análise destes valores de refletância leva à conclusão que existem diferenças entre os métodos, que se devem à composição das camadas das amostras. O facto do espectrofotómetro funcionar com uma fonte de iluminação artificial, com feixe de luz entre o UV e o NIR, que incide nas amostras e a atravessam nas diferentes camadas, leva a que esta medição da refletância seja diferente da realizada com a radiação solar em que o método do piranómetro se baseia, conduzindo a uma diferença entre os métodos analisados.

Para se verificar a relação entre os valores de refletância registados nos anos de 2016, 2017 e 2018 com os valores registados no presente ano com o recurso do espectrofotómetro foi elaborada a Tabela 14 que indica a variação da refletância solar das amostras que no presente ano se encontram “*In Situ*”, sendo que para os restantes anos a refletância foi calculada com o uso do piranómetro.

Tabela 14 – Valores e variação da refletância solar ao longo dos anos (recurso ao espectrofotômetro em 2019)

	Refletância solar ρ (0-1)						
	Junho 2016	Variação percentual % 2016-2017	Abril 2017	Variação percentual % 2017-2018	Maio 2018	Variação percentual % 2018-2019	Junho 2019
AQ 1 - Placa de betão leve	-	-	0,25	-4,0	0,24	4,3	0,25
AQ 3 - Placa de Betão leve	-	-	0,25	-16,0	0,21	24,3	0,26
AS 3 - Reboco Térmico	-	-	0,25	-4,0	0,24	8,9	0,26
Branco 0919	0,73	-15,1	0,62	-1,6	0,61	-13,1	0,53
EPS 1 - ETICS	-	-	0,25	0,0	0,25	-3,1	0,24
EPS 2 - ETICS	-	-	0,23	0,0	0,23	27,2	0,29
EPS 3 - ETICS	-	-	0,25	-8,0	0,23	16,1	0,27
EPS 4 - ETICS	-	-	0,11	9,1	0,12	12,2	0,13
EPS 5 - ETICS	-	-	0,21	4,8	0,22	-0,9	0,22
EPS 6 - ETICS	-	-	0,12	0,0	0,12	-11,7	0,11
EPS 7 - ETICS	-	-	0,30	16,7	0,35	-0,8	0,35
Preto 3500 ETICS	0,12	0,0	0,12	-8,3	0,11	40,0	0,15
Preto 3500 ETICS "Cool pigments"	0,27	0,0	0,27	-18,5	0,22	13,5	0,25
Preto 3500 Reboco Térmico	0,12	0,0	0,12	-8,3	0,11	22,7	0,14
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool pigments"	0,27	0,0	0,27	-18,5	0,22	36,8	0,30

De forma a ter uma leitura mais facilitada dos valores de refletância registrados na Tabela 14 apresenta-se na Figura 32 sob forma gráfica.

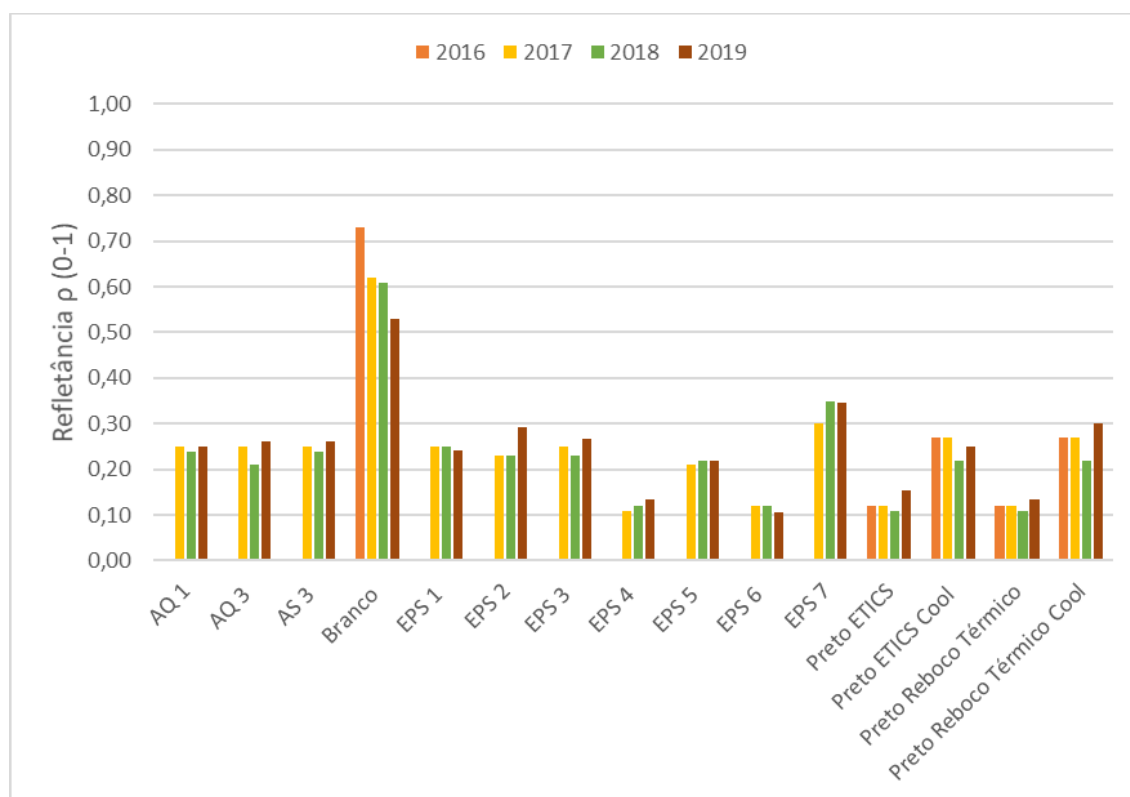


Figura 32 - Variações de refletância com o espectrofotômetro em 2019

As principais conclusões a retirar da Tabela 14 e Figura 32 são:

- A amostra Branco 0919 diminuiu o valor de refletância no passado ano. Com a amostra Branco 0919 a ter a maior diminuição de todas, passando de 0,61 para 0,53, devido ao escurecimento da amostra;
- As amostras Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments”, aumentaram os valores de refletância solar entre 0,03 e 0,07, devido à perda de cor escura;
- As amostras EPS 2, EPS 3 e EPS 4 aumentaram ligeiramente as suas refletâncias solares, com as amostras EPS 5 e EPS 7 a manter o mesmo valor de refletância, devido à perda de cor escura;
- As amostras EPS que diminuíram o valor de refletância são as que não possuem camada de primário o que pode originar a perda da sua refletância;
- As amostras EPS 4, EPS 6, Preto 3500 – ETICS e Preto 3500 – Reboco Térmico têm os menores valores de refletância devido a não terem “Cool Pigments” na sua camada final ou camada de primário;
- A amostra EPS 5 tem menor refletância que a amostra EPS 3 devido à falta de partículas de TiO_2 ;
- A amostra EPS 7 continua a ter os valores mais elevados de refletância entre as amostras EPS devido à presença de 0,2% de “Cool Pigments” na camada final e de ter estes pigmentos na camada de primário;

- A amostra EPS 1 que não possui camada de primário mas tem camada final com “Cool Pigments” tem uma refletância menor que a amostra EPS 3 que possui camada de primário com “Cool Pigments”.

4.2. MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS DE COR

4.2.1. RESULTADOS

A análise dos parâmetros de cor do CIELab foi efetuado pela empresa Weber-Saint Gobain no ano da presente dissertação no dia 11 de junho. O ensaio consistiu em registrar os valores dos parâmetros L, a e b e efetuar o cálculo da variação de cor. Os valores da Tabela 15, para as amostras de laboratório, e da Tabela 16 para as amostras “*In Situ*”, dizem respeito a valores obtidos pela empresa Weber-Saint Gobain durante as campanhas experimentais de 2016 a 2019. Sendo que no anexo E se encontram os valores de medições das diferentes campanhas disponibilizados pela empresa Weber-Saint Gobain.

Os valores utilizados foram os facultados pela empresa Weber-Saint Gobain, visto que os valores que se obtiveram através do espectrofotômetro não seriam utilizáveis para uma comparação com os parâmetros de cor dos diferentes anos.

Tabela 15 - Parâmetros de cor CIELab e variação da cor das amostras de Laboratório

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
Branco 0919	2016	88,5	1,0	3,1	-
	2017	-	-	-	-
	2018	87,6	1,4	4,2	1,5
	2019	87,0	1,4	3,6	1,7
Preto 3500 – ETICS	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	-	-	-	-
	2018	32,9	0,6	-1,0	0,7
	2019	33,1	0,9	-0,8	0,8
Preto 3500 – ETICS – “Cool Pigments”	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	-	-	-	-
	2018	34,2	1,3	-1,9	1,0
	2019	34,7	1,6	-1,9	0,8

Tabela 16 - Parâmetros de cor CIELab e variação da cor da amostras "In Situ"

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
Branco 0919	2016	88,5	1,0	3,1	-
	2017	79,7	1,0	7,4	9,8
	2018	75,9	2,6	8,6	13,9
	2019	68,8	3,2	9,2	20,8
Preto 3500 ETICS	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	34,5	0,6	0,4	2,1
	2018	34,7	0,1	0,7	2,6
	2019	35,9	-0,4	1,7	4,1
Preto 3500 ETICS "Cool Pigments"	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	35,4	0,9	-1,0	1,4
	2018	36,1	0,1	-1,6	1,6
	2019	36,1	-0,6	-0,1	3,0
Preto 3500 Reboco Térmico	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	33,7	0,4	0,2	1,6
	2018	33,9	0,0	1,1	2,6
	2019	34,9	-0,3	1,5	3,4
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool Pigments"	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	35,0	0,9	-0,4	2,0
	2018	34,0	0,4	-0,8	2,0
	2019	36,3	-0,3	-0,5	2,6
EPS 1 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	35,0	0,4	-2,3	-
	2018	34,7	0,1	-1,0	1,4
	2019	36,3	-0,5	-0,5	2,4
EPS 2 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	33,9	0,9	-2,1	-
	2018	33,3	0,6	-1,1	1,2
	2019	34,6	0,0	-1,3	1,4
EPS 3 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	34,1	0,7	-2,0	-
	2018	33,5	0,5	-1,4	0,9
	2019	35,5	0,3	-1,3	1,6
EPS 4 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	33,4	0,1	-1,0	-
	2018	33,3	-0,2	0,0	1,0
	2019	34,5	0,5	1,1	2,4
EPS 5 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	22,9	2,0	1,5	-
	2018	23,1	1,7	2,0	0,6
	2019	25,2	1,3	2,0	2,4

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
EPS 6 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	34,0	-0,2	-1,5	-
	2018	33,9	-0,1	0,0	1,5
	2019	35,9	-0,5	0,4	2,7
EPS 7 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	39,7	2,2	0,5	-
	2018	49,7	1,7	2,1	10,1
	2019	51,1	1,9	2,4	11,6
AQ 1 - Placa de Betão Leve	2016	-	-	-	-
	2017	34,4	0,6	-2,3	-
	2018	34,5	0,5	-1,2	1,1
	2019	35,0	-0,1	-1,4	1,4
AQ 3 - Placa de Betão Leve	2016	-	-	-	-
	2017	34,4	0,7	-2,2	-
	2018	33,9	0,6	-1,0	1,4
	2019	34,2	1,1	-0,9	1,4
AS 3 - Reboco Térmico	2016	-	-	-	-
	2017	34,5	0,7	-2,1	-
	2018	32,7	0,7	-1,2	2,0
	2019	33,6	0,6	-0,4	2,0

Na Figura 33 registam-se as variações de cor calculadas para as amostras que se encontram “In Situ”, com as amostras EPS, AQ e AS datadas de 2018 e as amostras Branco 0919 e Preto 3500 de 2017.

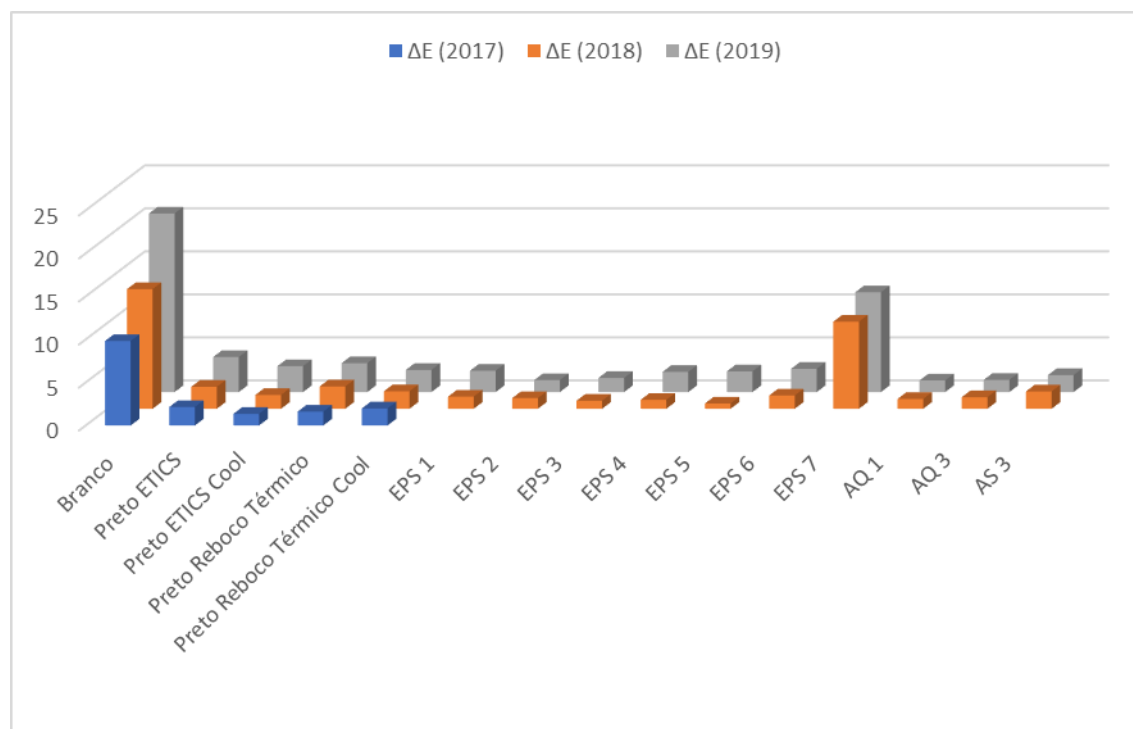


Figura 33 - Variação da Cor

Na Figura 34 apresenta-se a variação do parâmetro de luminosidade das amostras que se encontram “*In Situ*”.

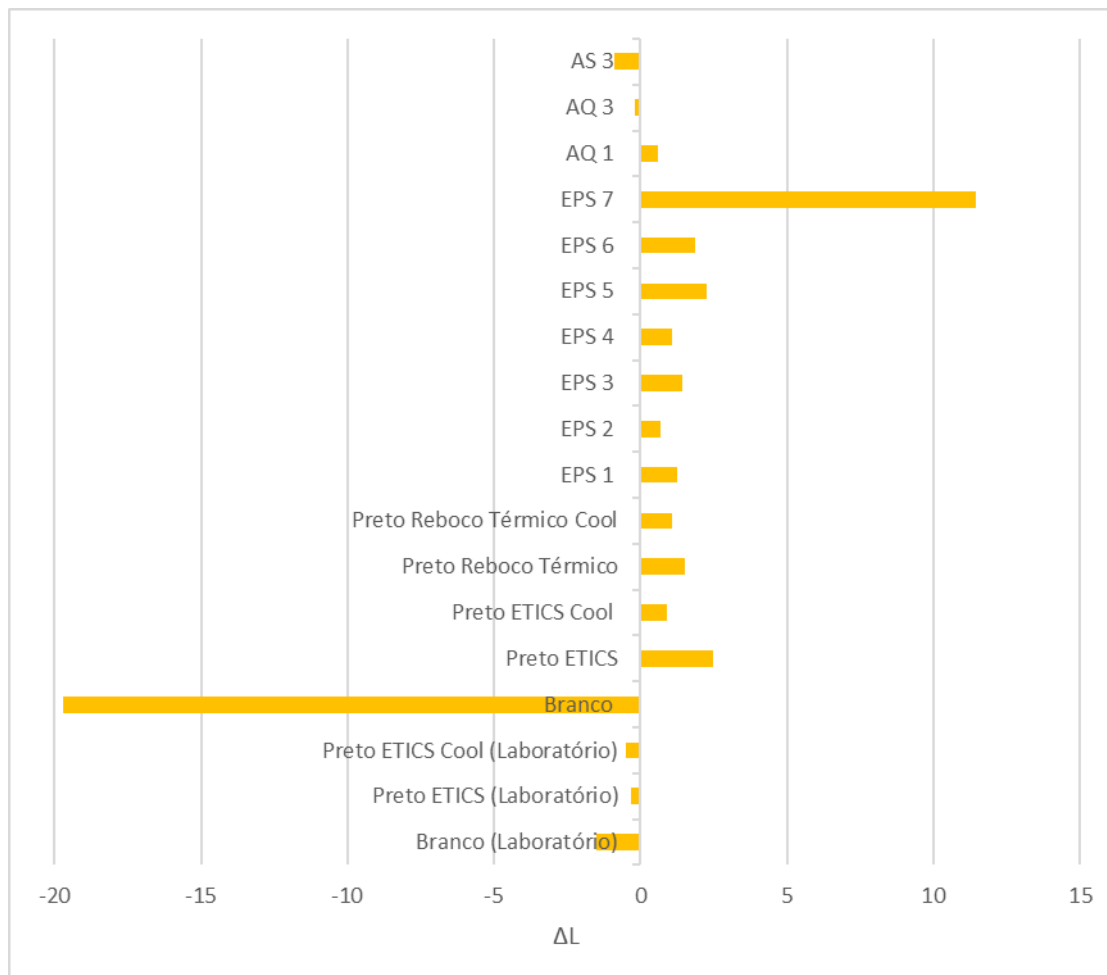


Figura 34 - Variação do Parâmetro de Luminosidade

Algumas conclusões que se retiram da análise dos parâmetros de cor do CIELab são:

- Existe um aumento de variação de cor mais significativo nas amostras Branco 0919, EPS 7, EPS 5 e Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico;
- A amostra Branco 0919 aumentou de 13,9 para 20,75 no espaço de 1 ano a variação de cor, enquanto que as amostras Preto 3500 aumentaram na ordem de 2;
- A amostra Branco 0919 sofreu a maior alteração de luminosidade, perdendo 19,7 desde a sua colocação em 2016, passando de um parâmetro de luminosidade de 88,5 para 68,8, devido ao seu escurecimento da cor devido à exposição no local;
- As amostras Preto 3500 aumentaram a luminosidade ao longo do tempo com as amostras sem “Cool Pigments” a sofrerem os maiores aumentos devido à perda de cor, visto que a sua variação de cor também é maior que para as amostras Preto 3500 com “Cool Pigments”.
- As amostras EPS 7 e EPS 5 foi das amostras EPS que sofreu mais alterações perdendo a coloração escura, por não terem pigmentos de TiO_2 ;

- A amostra AQ 3 ficou mais escura que a amostra AQ 1 devido à maior presença de “Cool Pigments” e acumulação de sujidade;
- As amostras em laboratório tiveram uma diminuição de luminosidade devido a não estarem sujeitas a radiação solar e intempéries meteorológicas. É possível que a diminuição seja devido a acumulação de sujidade.

4.2.2. DURABILIDADE DA COR: AMOSTRAS EM LABORATÓRIO VS. “IN SITU”

De forma a verificar se o efeito do clima (chuva, a exposição solar e a deposição de sujidade), afeta a refletância solar, realizou-se uma comparação pormenorizada entre as amostras que se encontram em laboratório e “*In Situ*”, de forma a se poder ter uma comparação entre a amostra “nova” e a amostra em uso.

Neste caso só temos as amostras Preto 3500, ETICS e Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments” e as amostras Branco 0919.

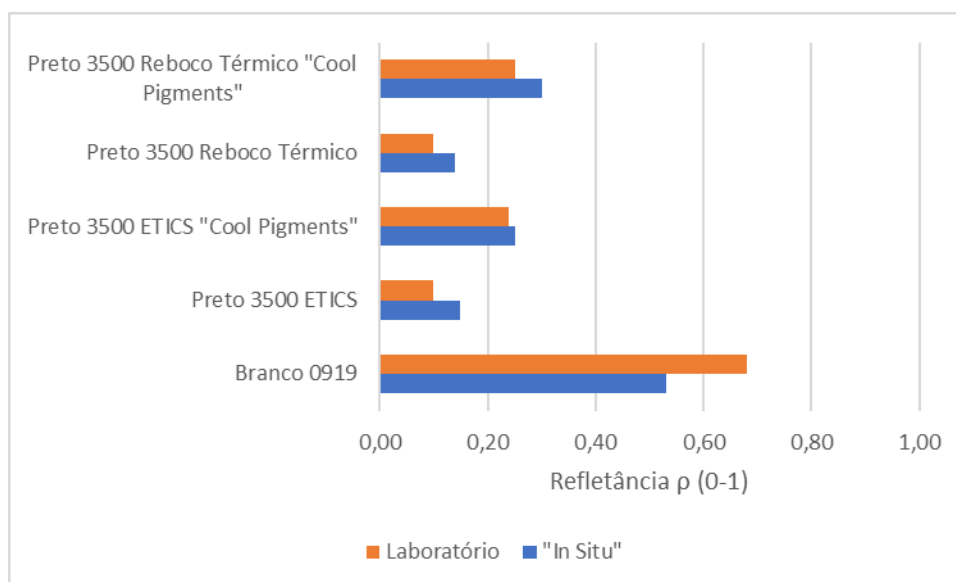


Figura 35 - Comparação dos valores de Refletância com espectrofotómetro para amostras “*In Situ*” e Laboratório

Na Figura 35 verificam-se as diferenças das refletâncias medidas com o espectrofotómetro onde a amostra Branco 0919 teve uma diminuição de 0,1 na sua refletância. Todas as amostras Preto 3500 aumentaram a refletância em comparação com as amostras de laboratório, sendo que a variação foi menor nas amostras com “Cool Pigments”.

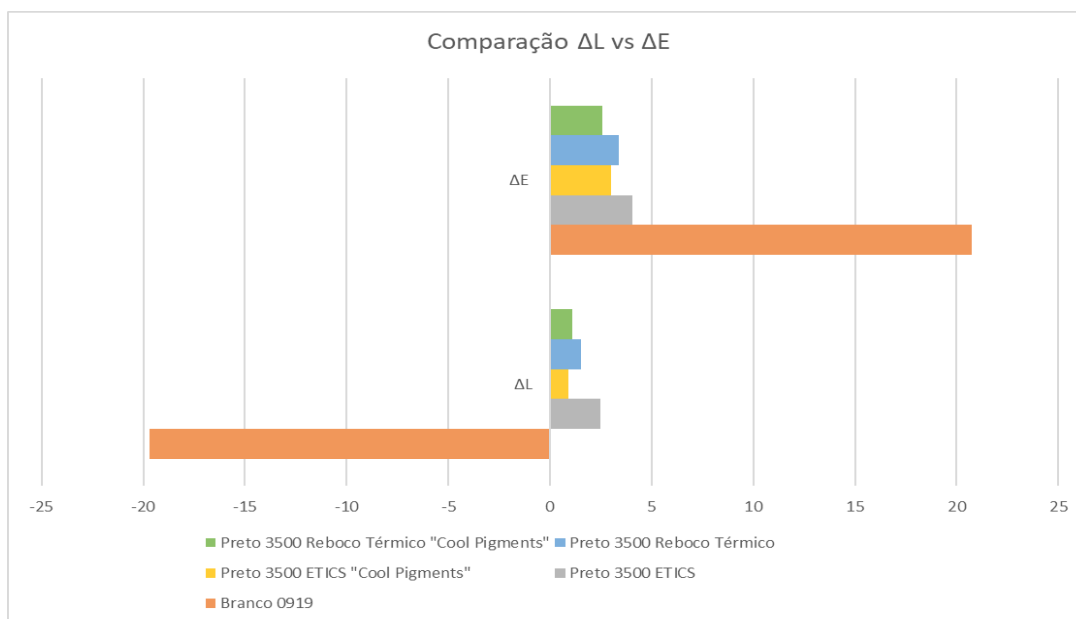


Figura 36 - Variação do parâmetro da cor e luminosidade das amostras "In Situ"

Estes resultados devem-se ao facto de as amostras "In Situ" perderem a sua cor ou ganharem sujidade, como se verifica na Figura 36, com base nos dados facultados pela empresa Weber-Saint Gobain onde se verifica alterações de cor para todas as amostras, mas a diminuição de luminosidade na amostra Branco 0919 indica uma perda de coloração branca nesta amostra e o aumento de luminosidade nas amostras Preto 3500 indica uma perda de coloração preta nestas amostra.

Conclui-se assim que a exposição a intempéries altera tanto amostras brancas como pretas, com e sem "Cool Pigments". Ainda assim verifica-se que as amostras com "Cool Pigments" sofrem menores alterações no parâmetro de luminosidade e de cor, garantindo menores alterações na refletância solar do que as amostras sem "Cool Pigments".

5

TEMPERATURA SUPERFICIAL: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DAS AMOSTRAS

Para se verificar o envelhecimento e aferir a durabilidade que as amostras com características termo-refletantes apresentam com o passar do tempo, em condições de exposição natural, efetuou-se uma análise da temperatura superficial das diferentes amostras “*In Situ*”.

A medição da temperatura superficial das amostras que se encontram na cobertura do edifício G da FEUP foi efetuada, como se referiu no sub-capítulo 3.2.4, com recurso a termopares do tipo T. Os dados do clima exterior foram obtidos através da estação meteorológica do Laboratório de Física das Construção da FEUP.

A monitorização da temperatura superficial tem vindo a ser realizada desde 2016, ano em que se colocaram no local as primeiras amostras. Visto existir um número reduzido de termopares, a análise tem sido faseada, de forma a abranger-se o maior número de amostras possível. Sendo que, no ano de 2016 foram medidas algumas amostras que hoje já não se encontram no local. No ano de 2017 foram colocadas novas amostras (a juntar às 5 amostras que permaneceram) que, desde então, foram monitorizadas quanto à sua temperatura superficial, em função do número de termopares disponível.

Na presente dissertação não foi efetuada uma calibração dos termopares, visto que a medição se encontrava em curso desde 2018. Os dias que se utilizaram vão de acordo com a relevância que se registou na temperatura ambiente desse dia, assim deu-se preferência a uma apresentação de resultados em função do clima registado, sendo que, os valores deste ano mais relevantes de analisar, pelo impacto que originaram no aumento da temperatura superficial, se registaram entre os meses de maio e junho de 2019.

Assim no ano de 2016, denominado ano 0, foram medidas as temperaturas superficiais, temperatura exterior e radiação solar global das amostras Branco 0919, Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments”. Com a exceção da amostra Branco 0919, as outras não foram medidas no ano de 2018, ano 2.

Para as amostras EPS, AQ e AS serão apresentados os valores medidos desde o ano de 2017, ano 1, sendo que, conforme a utilização que se efetuou com os termopares, variam as amostras que se puderam medir nos anos seguintes.

Tabela 17 - Registos das temperatura máximas superficiais das amostras e respetiva temperatura exterior

Amostra	Ano	Temperatura máxima superficial [°C]	Temperatura exterior [°C]	Radiação Solar Global [W/m ²]
Branco 0919	0	49,0	34,9	831
	1	57,5	37,0	874
	2	55,8	36,2	977
	3	58,8	32,3	734
Preto 3500 - ETICS	0	75,6	34,9	831
	1	67,4	25,0	796
	2	-	-	-
	3	73,5	32,3	734
Preto 3500 - ETICS "Cool Pigments"	0	68,2	34,9	831
	1	60,8	25,0	796
	2	-	-	-
	3	72,4	31,1	797
Preto 3500 - Reboco Térmico	0	76,5	34,9	831
	1	68,7	28,6	864
	2	-	-	-
	3	67,3	25,0	785
Preto 3500 - Reboco Térmico "Cool Pigments"	0	71,1	34,9	831
	1	64,3	28,6	864
	2	-	-	-
	3	64,4	25,0	785
EPS 1 - ETICS	1	58,9	25,0	796
	2	71,1	36,2	977
	3	69,9	31,5	707
EPS 2 - ETICS	1	72,1	35,6	902
	2	70,1	36,2	977
	3	-	-	-
EPS 3 - ETICS	1	73,1	37,0	874
	2	71,7	36,2	977
	3	71,8	33,2	795
EPS 4 - ETICS	1	77,2	35,6	902
	2	76,8	36,2	977
	3	-	-	-
EPS 5 - ETICS	1	75,6	35,6	902
	2	74,0	36,2	977
	3	-	-	-
EPS 6 - ETICS	1	65,1	25,0	796
	2	73,1	36,2	977
	3	73,4	32,3	734
EPS 7 - ETICS	1	69,9	35,6	902
	2	67,0	36,2	977
	3	-	-	-
AQ 1 - Placa de Betão Leve	1	56,8	28,6	864
	2	-	-	-
	3	-	-	-
AQ 3 - Placa de Betão Leve	1	66,7	37,0	874
	2	-	-	-
	3	61,9	33,5	777
AS 3 - Reboco Térmico	1	73,0	37,0	874
	2	-	-	-
	3	66,3	25,3	784

Na Tabela 17 apresentam-se as temperaturas máximas superficiais, as temperaturas exteriores e radiação solar global correspondentes, das 4 medições realizadas “In Situ”. Verifica-se a relação entre a temperatura máxima que se registaram nas superfícies das amostras em função da temperatura ambiente no local e da radiação solar global para os vários anos, existindo um aumento de temperatura superficial.

No ano de 2019, ano 3, foi assim possível ter medidas relevantes da temperatura superficial das amostras Branco 0919, Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments”, EPS 1, EPS 3, EPS 6, AQ 3 e AS 3, como se verifica na Figura 37 e Figura 38.

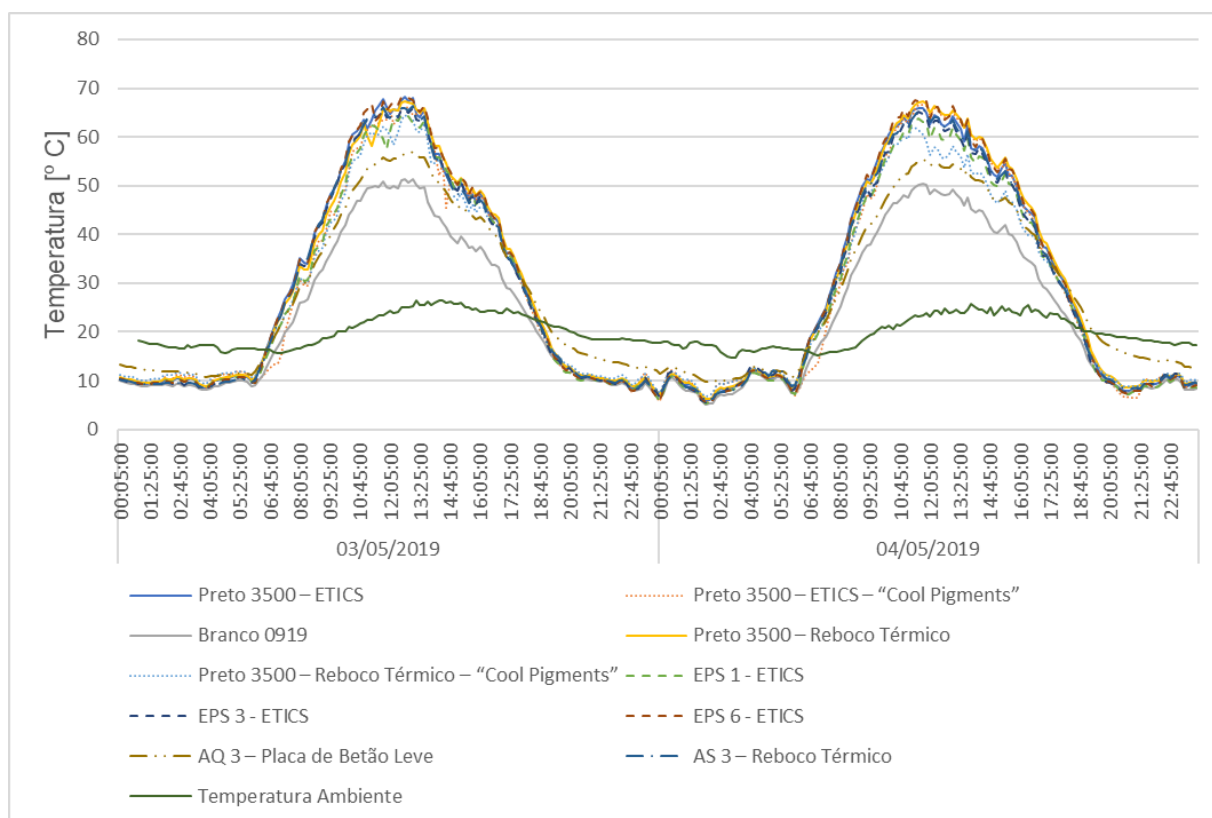


Figura 37 - Temperaturas superficiais das amostras para maio de 2019

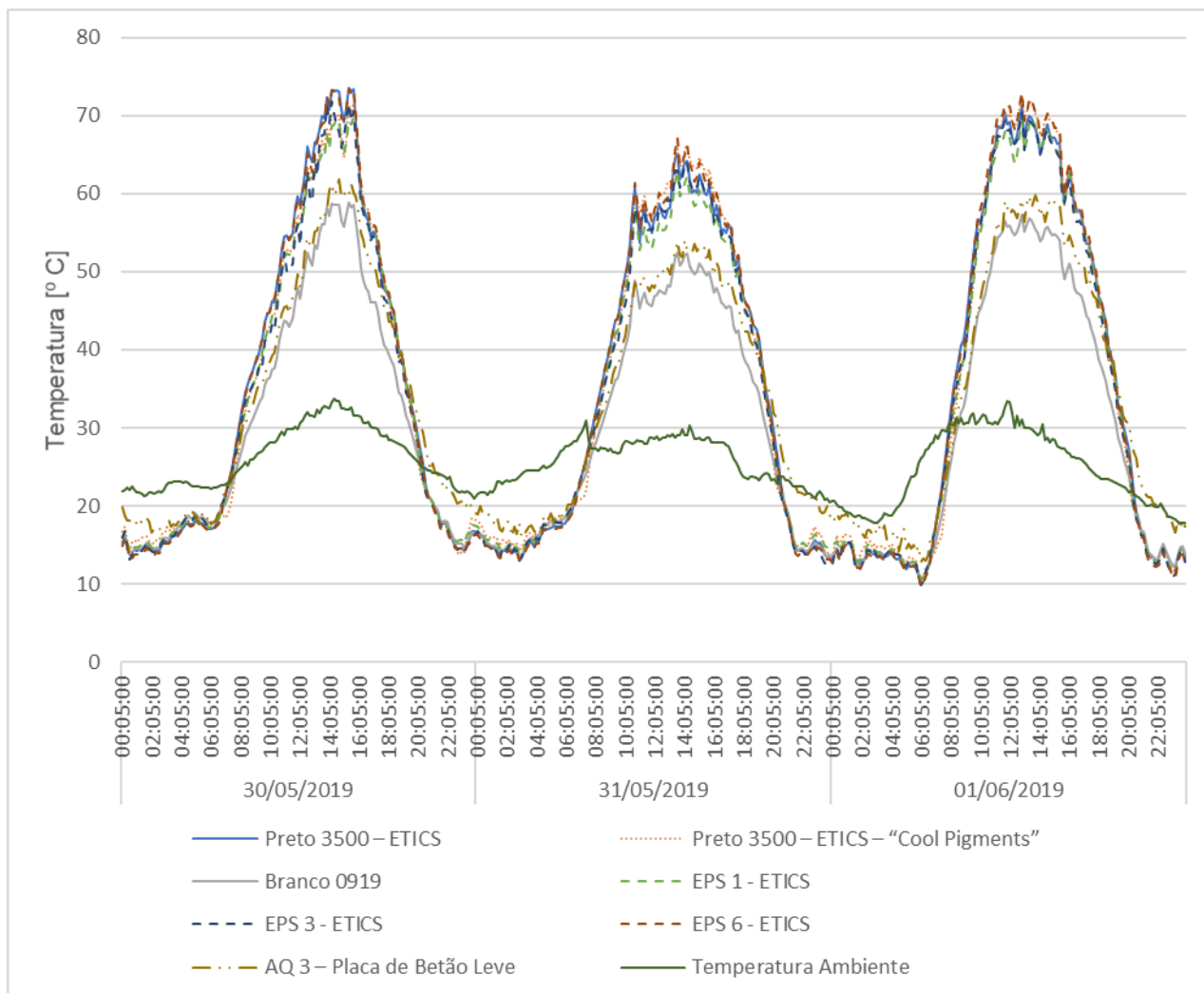


Figura 38 - Temperaturas superficiais das amostras para maio e junho de 2019

Através da análise da Tabela 17 e da Figura 37 e Figura 38, é possível tirar algumas conclusões acerca da influência da exposição a temperaturas elevadas na durabilidade das amostras:

- A amostra EPS 6 apresenta valores mais elevados de temperatura superficial;
- A amostra Branco 0919 apresenta as temperaturas superficiais mais baixas de entre todas, ainda assim, tem valores mais elevados do que no ano 0, devido à sua perda de cor e refletância;
- A amostra AQ 3 – Placa de Betão Leve apresenta das temperaturas superficiais mais baixas para as amostras de cor preta quase se equivalendo à amostra Branco 0919, devido ao aumento de refletância e não ser isolada termicamente como a amostra EPS 3 que em tudo o resto é igual;
- Existe maior diferença entre os Preto 3500 - Reboco Térmico, com e sem “Cool Pigments”, que entre os Preto 3500 - ETICS, o que se pode dever a que as amostras de Reboco Térmico não tenham atingido valores de temperatura exterior tão elevada como as amostras de ETICS;
- As amostras apresentam valores semelhantes entre si, com exceção da amostra Branco 0919 e AQ 3 – Placa de Betão Leve, devido à cor e isolamento térmico diferentes;
- No período noturno todas as amostras com ETICS e Reboco Térmico têm a mesma temperatura, sendo que a amostra de Betão Leve atinge temperaturas superiores em 3° C.

Para se verificar as diferenças entre as temperaturas superficiais que são observadas para cada amostra foram verificadas as temperaturas para diferentes dias e calculadas as frequências acumuladas dessas temperaturas registradas. Foram registrados para estas análises as temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019.

A Figura 39 tem a frequência acumulada das temperaturas superficiais e exterior registrada nas amostras Branco 0919, AS 3, Preto 3500 – Reboco Térmico e Preto 3500 – Reboco Térmico – “Cool Pigments” nos dias 2 e 3 de maio de 2019, onde se verifica que:

- Existe uma diferença entre as temperaturas registradas na amostra Preto 3500 – Reboco Térmico com e sem “Cool Pigments”, onde se verifica que a temperatura ambiente mais elevada, a amostra sem “Cool Pigments” registra temperatura superficial mais elevada devido à falta de presença dos pigmentos;
- A amostra AS 3 é semelhante à amostra Preto 3500 – Reboco Térmico – “Cool Pigments”, com a exceção de presença de primário com “Cool Pigments” em AS 3, sendo que têm datas de colocação diferentes. Verifica-se que AS 3 tem maior semelhança quanto à temperatura superficial com a amostra Preto - Reboco Térmico sem “Cool Pigments”, a presença de uma camada de primário confere à amostra maior temperatura superficial;
- A amostra Branco 0919 tem uma temperatura superficial inferior às restantes amostras devido à sua elevada refletância solar.

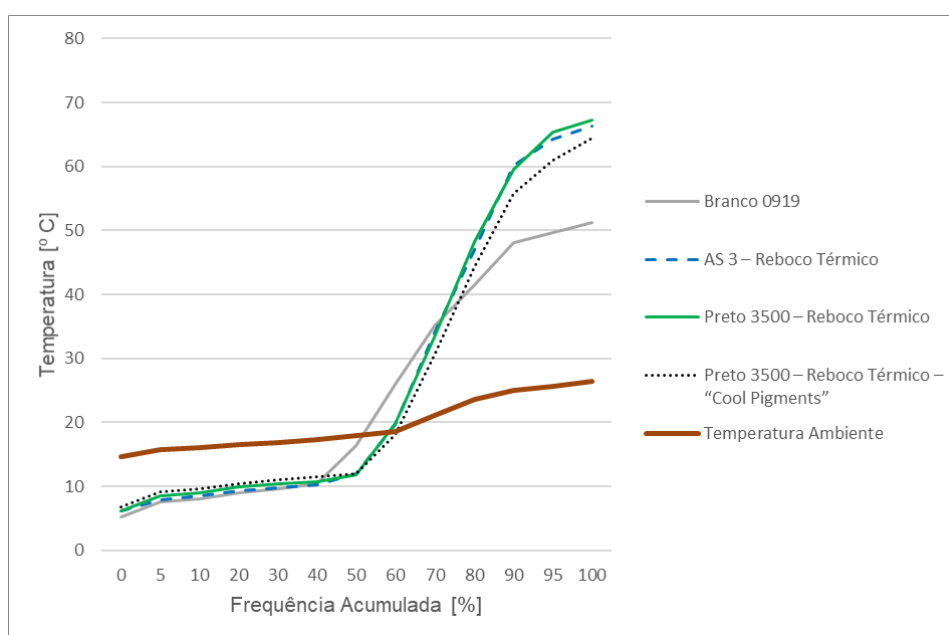


Figura 39 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, AS 3, Preto Reboco Térmico e Preto Reboco Térmico “Cool Pigments”

A Figura 40 tem a frequência acumulada das temperaturas superficiais e exterior registrada nas amostras Branco 0919, Preto 3500 – ETICS e Preto 3500 – ETICS – “Cool Pigments” nos dias 2 e 3 de maio de 2019, onde se verifica que:

- Nas amostras Preto 3500 – ETICS, com e sem “Cool Pigments”, verifica-se que a temperatura ambiente mais elevada, a amostra sem “Cool Pigments” regista temperatura superficial mais elevada devido à falta da presença dos pigmentos;
- A amostra Branco 0919 apresenta temperaturas superficiais inferiores devido à refletância elevada em comparação com as amostras pretas.

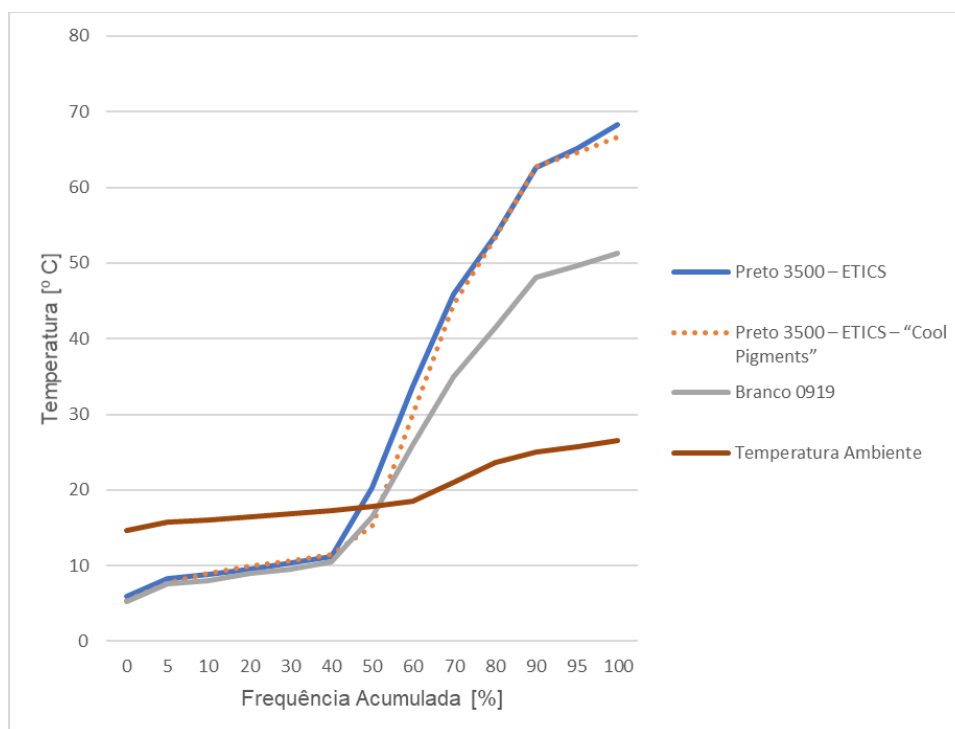


Figura 40 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, Preto ETICS e Preto ETICS “Cool Pigments”

A Figura 41 tem a frequência acumulada das temperaturas superficiais e exterior registada nas amostras Branco 0919, EPS 1, EPS 3, EPS 6 e AQ 3 nos dias 2 e 3 de maio de 2019, onde se verifica que:

- A amostra Branco 0919 e AQ 3 são bastante parecidas no comportamento da temperatura superficial, sendo que para temperaturas ambientes médias a amostra Branco 0919 apresenta maiores temperaturas superficiais, enquanto que para temperaturas ambientes superiores a amostra AQ 3 apresenta maiores temperaturas superficiais, devido a não ter um isolamento térmico e devido a uma maior refletância solar da amostra Branco;
- Entre as amostras EPS, as amostras EPS 1 e EPS 3 são semelhantes entre si, enquanto que a amostra EPS 6, regista temperaturas inferiores, devido a não ter “Cool Pigments”;
- Todas as amostras a temperaturas inferiores registam temperaturas semelhantes com exceção da amostra AQ 3, devido ao tipo de suporte que possui.

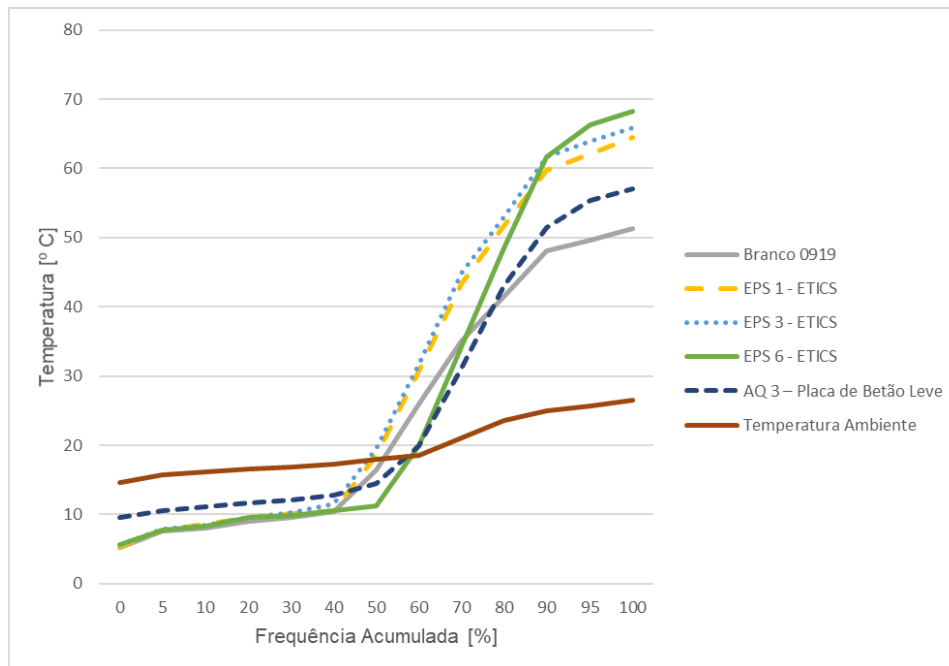


Figura 41 - Frequência acumulada das temperaturas entre os dias 2 e 3 de maio de 2019, amostras Branco, EPS 1, EPS 3, EPS 6 e AQ 3

De forma a se ter uma evolução da temperatura superficial ao longo do tempo, considerando um dia mais severo em termos de temperatura exterior máxima atingida, para se analisar a durabilidade das amostras, foram seleccionados gráficos para as diferentes campanhas efetuadas desde 2016. A Figura 42, Figura 43 e Figura 44 dizem respeito às medidas de temperaturas superficiais efetuadas durante essas campanhas.

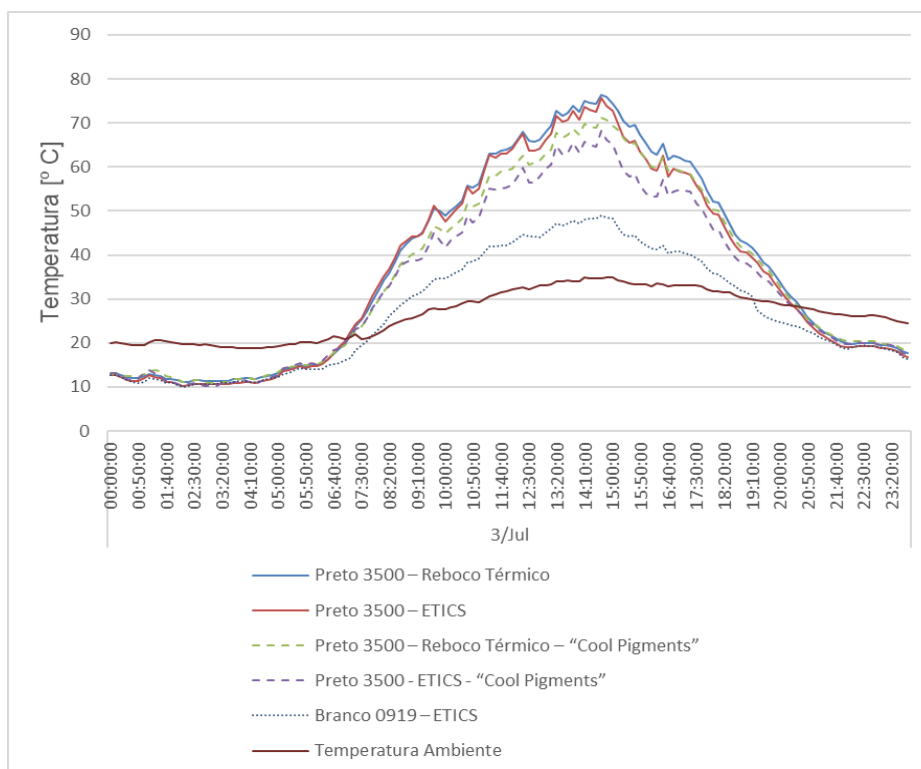


Figura 42 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 0, 2016

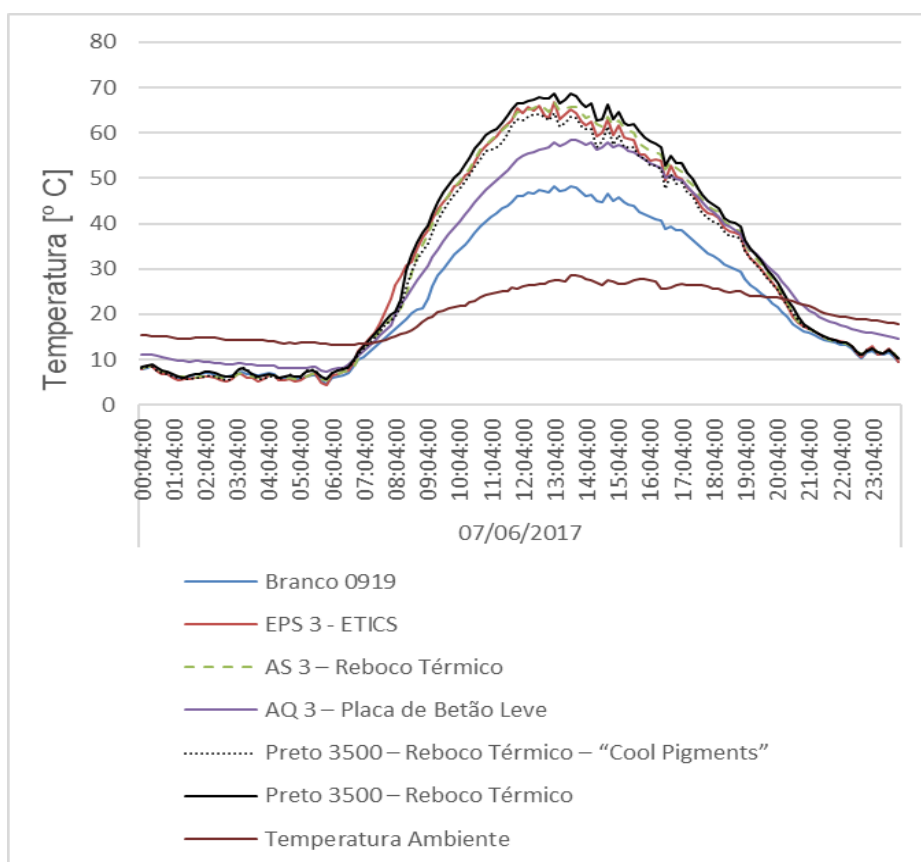


Figura 43 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 1, 2017

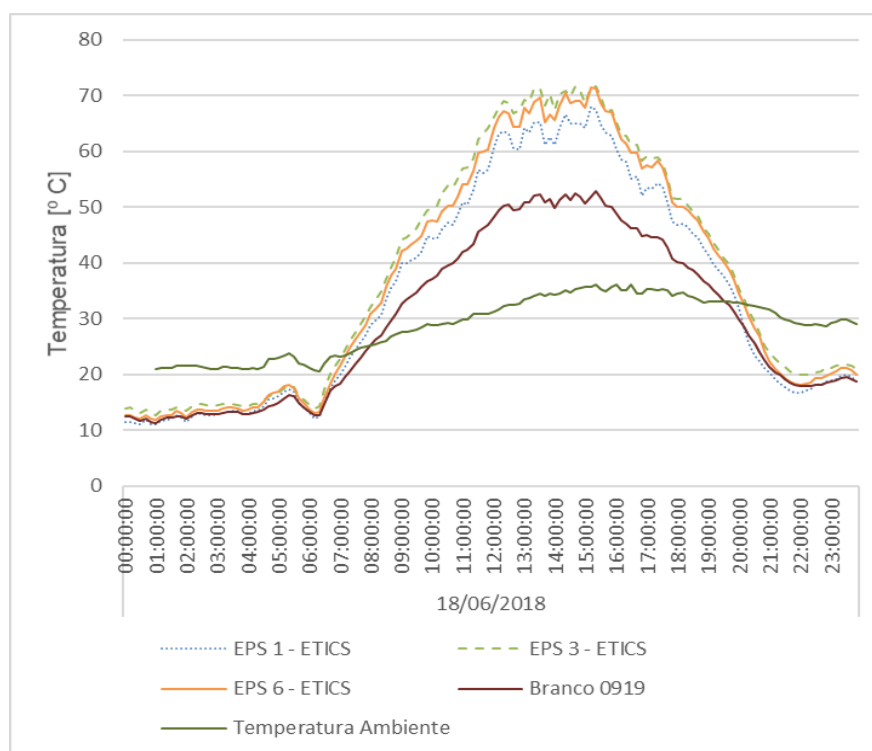


Figura 44 - Temperaturas superficiais da campanha do ano 2, 2018

Através dos valores das temperaturas superficiais da Tabela 17 e da Figura 42, Figura 43 e Figura 44, as conclusões que se pode retirar da evolução temporal nas amostras será:

- As amostras ETICS, com e sem “Cool Pigments”, tinham uma diferença de temperatura de 7° C em função da presença dos pigmentos no ano 0. No último ano a diferença das temperaturas é quase nula, o que pode ser explicado pelo envelhecimento das amostras e a alteração das propriedades químicas das mesmas;
- As amostras que inicialmente apresentaram temperatura superficial mais elevada foram as amostras Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico. No entanto, no presente ano a amostra EPS 6 foi a que apresentou maior temperatura superficial, possivelmente devido à perda de cor das amostras Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico (que também se encontram com mais um ano de envelhecimento do que a EPS 6);
- As amostras com “Cool Pigments” no revestimento, como a amostra Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”, EPS 1 e EPS 3, que garantiam nos primeiros anos temperaturas superficiais mais baixas, começaram a apresentar valores de temperaturas superficiais mais elevados com o passar do tempo, mas mais aproximados das amostras sem os “Cool Pigments” no revestimento. Nos primeiros anos existiam diferenças de 7 ° C que neste ano se verificam nos 2 ° C.

Algumas das conclusões que se podem retirar da medição da temperatura superficial ao longo do tempo, em função da influência que certos componentes têm nas amostras é referido em seguida.

Influência de “Cool Pigments” no revestimento - no ano de 2017 a amostra EPS 6 apresentava temperaturas superficiais superiores em 7° C que a amostra EPS 1. No presente ano verifica-se a mesma situação mas com uma diferença de apenas 3° C. A presença de “Cool Pigments”, na amostra EPS 1, vai reduzindo com o passar dos anos a sua influência na temperatura superficial.

Influência de primário com “Cool Pigments” - a amostra EPS 1 apresentava valores de temperatura superficial inferiores à amostra EPS 3 no primeiro ano, ainda que com a presença de uma camada de primário com “Cool Pigments” na amostra EPS 3. Com o passar dos anos o mesmo verifica-se, visto a amostra EPS 3 atinge temperaturas superficiais superiores a EPS 1, com a diferença de 2 ° C. O efeito dos “Cool Pigments” na camada de primário mantém-se ao longo dos anos.

Influência da data de colocação - a amostra EPS 6 e Preto 3500 – ETICS apresentam a mesma constituição, diferindo apenas no ano da sua colocação “*In Situ*”, com a primeira amostra a ter menos um ano de envelhecimento. No ano de 2017 ambas atingiam temperaturas elevadas, com a amostra Preto 3500 – ETICS a ter temperaturas com mais 2 ° C que a EPS 6. No presente ano verifica-se que ambas atingem a mesma temperatura superficial o que indica que as amostras terão tendência para a mesma temperatura superficial ao longo do tempo.

Influência do suporte - a amostra EPS 3, AS 3 e AQ 3 diferem apenas no suporte (ETICS, Reboco Térmico e Betão Leve, respetivamente). As amostras EPS 3 e AS 3 sempre apresentam valores semelhantes quanto à temperatura superficial desde o início da monitorização, o que ainda se verifica. Já a amostra AQ 3, no ano de 2017, apresentava uma temperatura superficial 6 °C menor que as amostras EPS 3 e AS 3. No presente ano, verificou-se que a amostra AQ 3 tem uma temperatura superficial 5 °C menor. Deve-se a que a amostra AQ 3 tenha um coeficiente de transmissão térmica, U , superior às amostras AS 3 e EPS 3. Pela equação 11 verifica-se que, para um estado estacionário, o aumento do U origina uma diminuição da temperatura superficial exterior, T_{se} , da amostra.

$$T_{se} = T_e - U \cdot R_{se} (T_e - T_i) \quad (11)$$

5.2. PARÂMETROS CLIMÁTICOS E ÓTICOS

De forma a analisar a influência que alguns parâmetros têm sobre as amostras em estudo, foram analisados, para o ano de 2019 entre os meses de maio e junho, os dias com valores de temperatura exterior e radiação solar global mais elevados.

Para estas medições serão utilizados os dados de temperaturas superficiais das amostras Branco 0919, Preto 3500 – ETICS, com e sem “Cool Pigments”, EPS 1, EPS 3, EPS 6 e AQ 3, visto que são as amostras que estavam ligados aos termopares disponíveis.

Entre os dias 30 de maio e 1 de junho foi possível obter os valores mais elevados de temperatura ambiente exterior com um pico máximo de 33,7 ° C. A Figura 45 demonstra as variações nas temperaturas superficiais das amostras.

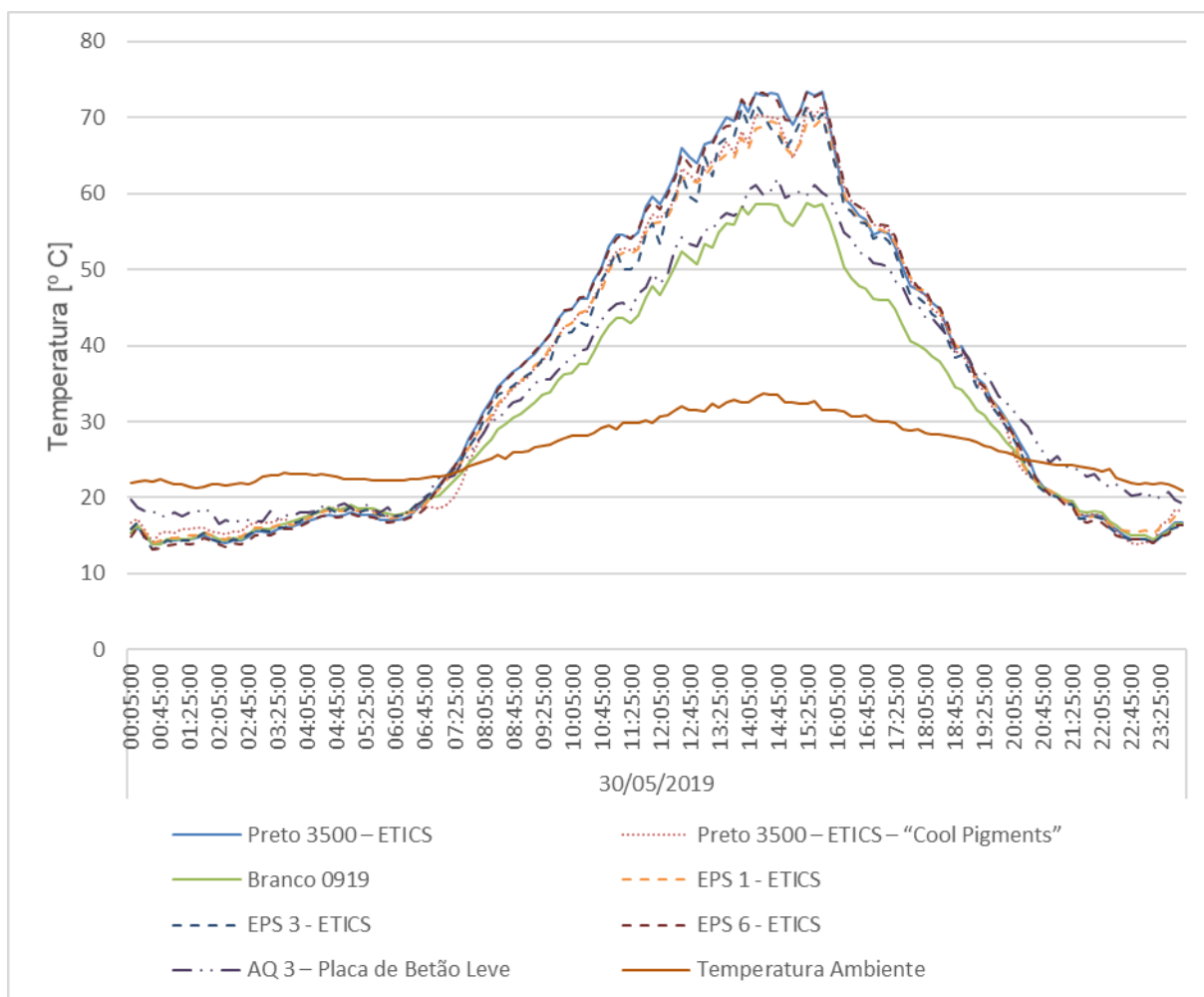


Figura 45 - Temperaturas superficiais para o caso de temperatura exterior máxima

A temperatura exterior máxima de 33,7 °C foi atingida no dia 30 de maio de 2019 às 14h45. Analisando a Figura 45 conclui-se o seguinte:

- Se o aumento da temperatura exterior foi gradual em vez de repentino, as temperaturas superficiais serão superiores;
- As amostras sem “Cool Pigments”, como Preto 3500 – ETICS e EPS 6, têm temperaturas superficiais superiores às amostras com pigmentos no seu revestimento;
- As amostras com “Cool Pigments” apresentam variação de temperatura superficial menor do que as amostras que não têm estes pigmentos no seu revestimento;
- A existência de isolamento térmico, como EPS, garante uma menor variação de temperatura superficial quando comparado com a placa de betão leve, que não apresenta qualquer isolamento.

No dia 28 de maio de 2019 registou-se a maior radiação solar global média 309,5 W/m². Na Figura 46 representam-se os valores de temperatura superficiais registados para este dia.

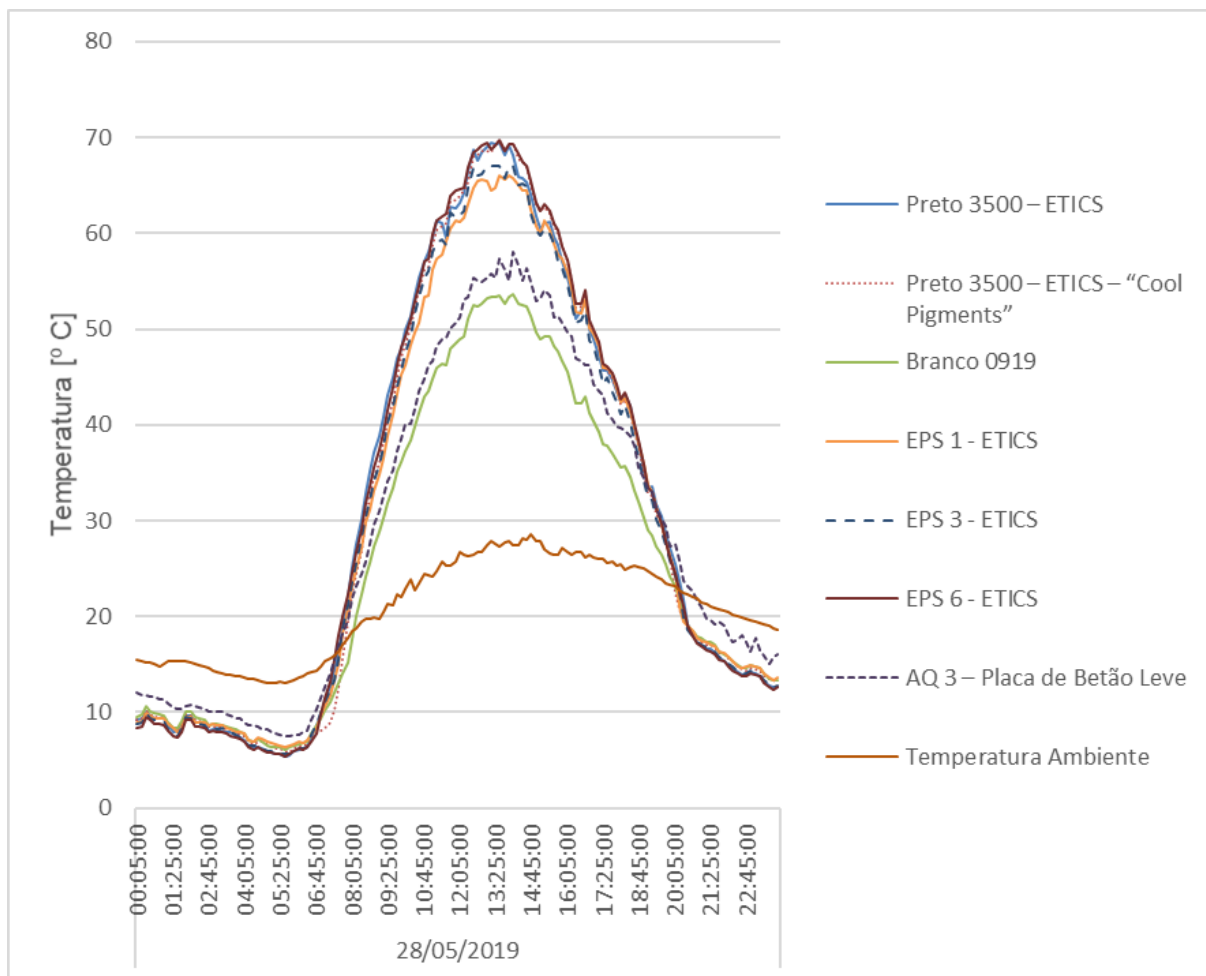


Figura 46 - Temperaturas superficiais para o caso de dia com média máxima de radiação solar global

Algumas das conclusões que se pode obter do gráfico da Figura 46 são:

- As temperaturas superficiais das amostras quando a radiação solar global média é máxima são inferiores às temperaturas superficiais para uma temperatura exterior máxima;
- As amostras EPS 6, Preto 3500 – ETICS, com e sem “Cool Pigments”, atingem as temperaturas mais elevadas quando a radiação solar global média é máxima;
- As amostras Branco 0919 e AQ 3 atingem as temperaturas mais baixas quando a radiação solar global média é máxima;
- Todos os valores de temperaturas superficiais das amostras são inferiores para o caso de radiação solar global média que, para o caso de temperatura máxima exterior. Deve-se a que mesmo com uma radiação solar global elevada a temperatura exterior, como se verifica, é menor do que no caso da temperatura superficial máxima, devido a nebulosidade no céu ou situações de chuva.

Pode-se assim afirmar que o parâmetro de temperatura exterior máximo é mais influente que a radiação solar global média máxima.

De forma a comparar-se a temperatura superficial das amostras com os valores calculados de refletância das mesmas elaborou-se o gráfico da Figura 47 e Figura 48, onde se analisa a influência que a refletância tem na temperatura superficial máxima registada.

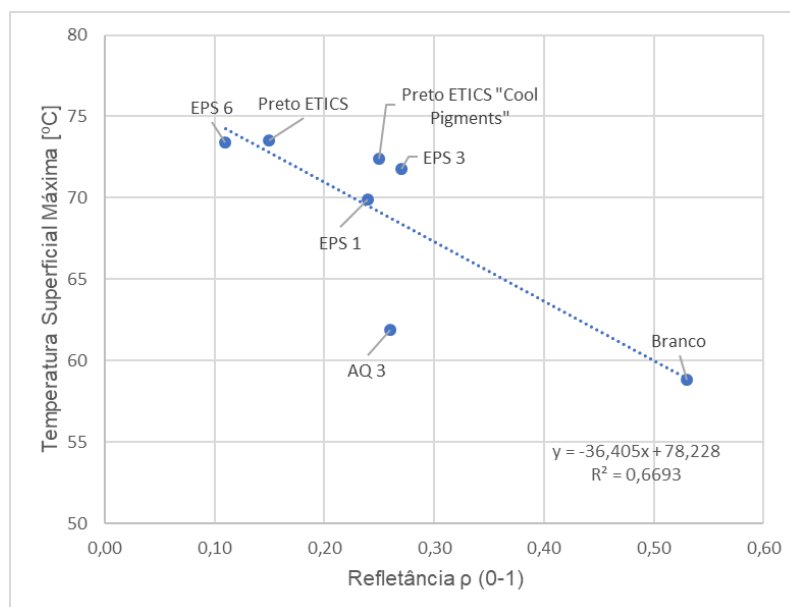


Figura 47 - Temperatura Superficial vs Refletância (Para condições de temperatura exterior acima de 30° C) considerando as várias amostras em análise

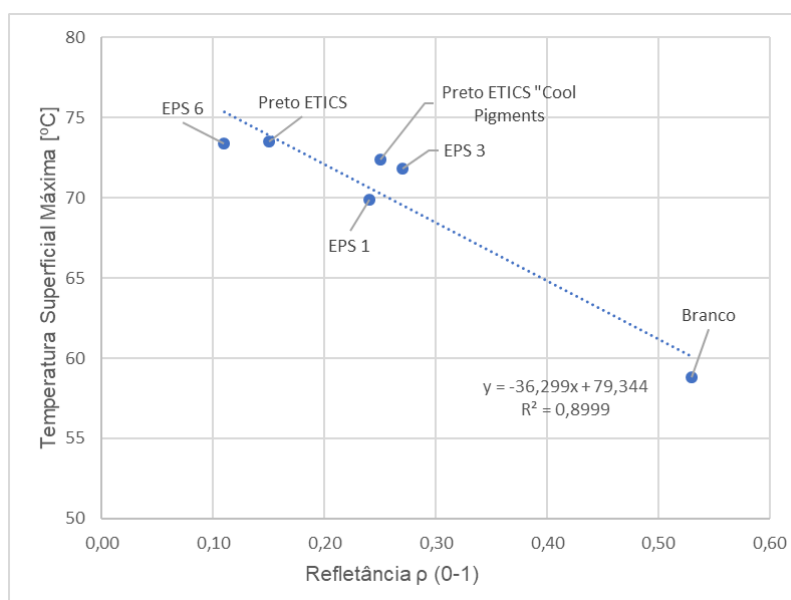


Figura 48 - Temperatura Superficial vs Refletância (Para condições de temperatura exterior acima de 30° C), considerando as amostras com isolamento térmico

De uma forma geral, verifica-se que quanto maior a refletância solar menor a temperatura superficial máxima, o que pode indicar uma mais-valia na durabilidade deste tipo de sistemas, com cores escuras,

ao reduzir as tensões, e consequente fissuração, originadas por grandes variações térmicas. Algumas das conclusões que podemos retirar da Figura 47 e Figura 48 são:

- Todas as amostras em ETICS, excetuando a amostra branca, têm temperaturas máximas superficiais na ordem dos 70-75 °C, enquanto que a amostra em Betão Leve tem uma temperatura máxima de 62 °C. Isto deve-se à composição do suporte das amostras e não à sua refletância, como já foi referido no ponto 5.1 pela equação 11;
- As amostras com menor refletância, EPS6 e Preto 3500 – ETICS, têm as maiores temperaturas superficiais máximas, devido à presença dos “Cool Pigments”;
- A amostra Branco 0919, com a maior refletância, tem a temperatura superficial máxima mais baixa;
- As amostras Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”, EPS3 e EPS 1 têm valores de refletância semelhantes. Ainda assim, a amostra EPS 1, semelhante na sua composição à amostra Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”, tem uma temperatura superficial máxima inferior que as restantes, devido a ter menos um ano de exposição no local;
- Comparando as Figura 47 e Figura 48, verifica-se que pelo facto da amostra AQ 3 ter um comportamento bastante diferente das restantes amostra implica uma pior correlação entre os parâmetros analisados de temperatura superficial máxima e refletância solar. Verifica-se assim, que o aumento da refletância solar implica um aumento da temperatura superficial máxima das amostras.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA

Os revestimentos com isolamento térmico pelo exterior apresentam-se como uma das principais soluções para a nova construção e reabilitação de fachadas de edifícios. Sendo o sistema ETICS um dos mais procurados na atualidade, a realização de trabalhos de investigação apresenta uma grande importância no sentido de procurar novas soluções de sistemas de fachada. O âmbito de toda a pesquisa e desenvolvimento está relacionada com a procura de aferir a durabilidade e as alterações que existiram nos revestimentos termo-refetantes ao longo do tempo.

Em seguida, apresentam-se as principais conclusões que se retiraram ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Quanto à medição da refletância solar verificou-se que:

- Foi possível aplicar o método de medição de refletância de acordo com a norma ASTM E 903, com o auxílio de espectrofotómetro modular, e o método E 1918, com recurso a piranómetro, nas amostras “*In Situ*”;
- Após análise de resultados medidos, verificou-se que os valores obtidos através do método da norma E 903, com o espectrofotómetro, eram superiores aos obtidos através do método E 1918 para todas as amostras analisadas, exceto na amostra EPS 5. Esta diferença pode estar associada ao cálculo da refletância global com os valores medidos pelo espectrofotómetro, pelo facto do espectrofotómetro não medir na gama entre 1600 nm e 2500 nm;
- Os dois métodos analisados permitiram obter um valor unitário da refletância solar, os quais se apresentaram aproximados. No entanto, algumas das diferenças observadas podem estar relacionadas com as condições climáticas registadas, visto que os ensaios foram realizados em dias diferentes, e também com erros associados a cada um dos métodos de medição e cálculo;
- Foi possível concluir que as amostras que possuem “Cool Pigments” e TiO_2 nas camadas final e primário mantêm, passados os anos, os maiores valores de refletância. Ainda assim verificou-se que a presença de “Cool Pigments” na camada de primário confere uma maior refletância nas amostras que têm esta camada do que as que não têm, devido à alteração das propriedades refletivas da camada final. Como se verifica pela comparação das amostras EPS 1 e EPS 3, tendo EPS 3 uma camada de primário com “Cool Pigments”, o que lhe confere uma refletância superior à amostra EPS 1;
- Verificou-se, numa comparação entre as mesmas amostras expostas “*In Situ*” durante 3 anos e inalteradas em laboratório, que, a amostra Branco 0919 teve uma maior alteração da sua refletância quando comparada com as alterações de refletância das restantes amostras pretas e que as amostras com “Cool Pigments” sofreram uma alteração de refletância muito menor que as amostras sem pigmentos.

Quanto à medição dos parâmetros de cor:

- As amostras analisadas alteraram a sua cor, sendo que a amostra Branco 0919 foi a que maior alteração sofreu, com uma variação de cor de 20,75, em parte devido a uma diminuição do parâmetro de cor L^* em 19,7, o que é perceptível a olho humano, visto que esta amostra está a escurecer. As amostras de cor preta tiveram alterações de cor menos significativas, sendo que se deve a um aumento do parâmetro de luminosidade, visto que as amostras estão a ficar mais claras;
- Nos parâmetros de cor verificou-se maiores alterações nas amostras analisadas sem “Cool Pigments” quando comparadas com o mesmo tipo de amostra com “Cool Pigments”. A presença dos pigmentos confere às amostras Preto 3500 – ETICS e Reboco Térmico menores alterações de cor;
- Verificou-se que as amostras EPS 7 e EPS 5 sofreram maiores alterações de cor de entre todas as amostras EPS devido à falta da presença de pigmentos de TiO_2 .

Quanto à análise de temperaturas superficiais das amostras foi possível verificar que:

- As amostras com “Cool Pigments” atingem temperaturas inferiores do que as amostras da mesma composição sem pigmentos, para as mesmas condições meteorológicas;
- No ano de 2017 a amostra EPS 6 apresentava temperaturas superficiais superiores em 7° C que a amostra EPS 1. No presente ano verifica-se a mesma situação mas com uma diferença de apenas 3° C. A presença de “Cool Pigments”, na amostra EPS 1, vai reduzindo com o passar dos anos a sua influência na temperatura superficial;
- Constatou-se que a amostra EPS 6 e Preto 3500 – ETICS só diferem pelo ano da sua colocação, e que no ano de 2017 a amostra Preto 3500 – ETICS atingia temperaturas com mais 2 ° C que a EPS 6. No presente ano verifica-se que ambas atingem a mesma temperatura superficial o que indica que as amostras terão tendência para a mesma temperatura superficial ao longo do tempo;
- As amostra EPS 3, AS 3 e AQ 3 diferem no suporte, sendo o primeiro um ETICS, o segundo um Reboco Térmico e o terceiro um Betão Leve. As amostras EPS 3 e AS 3 sempre foram semelhantes quanto à temperatura superficial desde o princípio e o mesmo ainda se verifica. Já a amostra AQ 3 , no ano de 2017, apresentava uma temperatura superficial 6 °C menor que as amostras EPS 3 e AS 3. No presente ano, verificou-se que a amostra AQ 3 tem uma temperatura superficial 5 °C menor. Deve-se a que a amostra AQ 3 tenha um coeficiente de transmissão térmica , U, superior às amostras AS 3 e EPS 3;
- Verificou-se que para um dia com radiação global máxima média as temperaturas superficiais das amostras eram inferiores às registadas num dia com temperatura máxima ambiente, concluindo assim que o fator de temperatura tem maior influência na temperatura superficial do que a radiação global, devido à presença de nebulosidade;
- Ficou provado que o aumento da refletância confere às amostras uma diminuição da temperatura superficial mesmo depois de vários anos, tendo as amostras com “Cool Pigments” temperaturas superficiais menores devido à presença dos pigmentos.

Conclui-se assim que devido à presença de “Cool Pigments” e TiO_2 nas amostras analisadas, as propriedades óticas de refletância e cor mantêm-se com maior frequência do que para amostras sem a presença destes pigmentos refletantes. Também devido à presença dos pigmentos refletantes as temperaturas superficiais são menores nas amostras.

Verifica-se portanto que os diferentes parâmetros e métodos permitem avaliar a durabilidade de revestimentos termo-refletantes contribuindo para o aumento do desempenho de sistemas de isolamento térmico pelo exterior de fachadas de edifícios.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste campo de investigação podem ser realizados e abordados novos temas e medições que não foram elaborados esta dissertação, de forma a garantir o desenvolvimento da temática. Assim, enumeram-se alguns aspetos que poderão ser alvo de projetos de investigação no seguimento do tema:

- Realizar medições com espectrofotómetro e piranómetro em novas amostras de forma a comparar com os valores que se podem medir “*In Situ*”;
- Aperfeiçoar o método de cálculo da norma E 903 de forma a diminuir os erros associados com a falta dos valores de refletância entre os 1600 – 2500 nm;
- Realizar novos métodos de medição de refletância para aferir as diferenças entre todos os métodos;
- Realizar avaliações de durabilidade tendo em conta o comportamento mecânico;
- Realizar medições de emissividade nas amostras para verificar os efeitos que os “Cool Pigments” e TiO_2 têm nas amostras e na emissão de radiação em períodos noturnos em comparação com as amostras sem pigmentos;
- Realizar medições de refletância, cor e temperatura superficial em amostras na vertical, de forma a ter valores mais detalhados quanto à rugosidade;
- Utilizar programas de simulação como o WUFI para avaliar o desempenho higrotérmico de fachadas para verificar a influência de diferentes coeficientes de absorção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. ; LEVINSON, R. ; BERDAHL, P. (1996) - ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing their Steady-State Surface Temperatures.
- AKBARI, Hashem ; LEVINSON, Ronnen ; BERDAHL, Paul (2013) - Cool Materials Rating Instrumentation and Testing. In Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment. p. 174-194.
- AMADO, Bárbara ; BRITO, Jorge de ; SARAIVA, Diogo; FLORES-COLEN, Inês (2012) - Sistema de inspeção e diagnóstico de ETICS em paredes.
- APFAC (2014) - Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS.
- (2015) - Manual ETICS.
- ASTM (2012a) - ASTM E 903: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- BARREIRA, Eva Sofia Botelho Machado (2010) - Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Doutoramento.
- BENNETT, A. F. ; CLARK, S.; BERGE, C. (2001) - DESIGN FOR DURABILITY – A REVIEW OF NEW ZEALAND PRACTICE. In CIB World Building Congress. Wellington, New Zealand: 2001.
- CARNEIRO, Bruno Daniel Gonçalves (2016) - A Influência da Cor na Temperatura Superficial de Revestimentos Térmicos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado.
- CHAI, Cristina; BRITO, Jorge de; SILVA, Ana; GASPAR, Pedro L. (2011) - Previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores.
- COZZA, E. S.; ALLOISIO, M.; COMITE, A.; DI TANNA, G.; VICINI, S. (2015) - NIR-reflecting properties of new paints for energy-efficient buildings. Solar Energy [Em linha]. 116: 108-116. Disponível em WWW: <URL: <Go to ISI>://WOS:000356198300010>. ISSN 0038-092x.
- DANIOTTI, B.; CECCONI, F. R. (2010) - CIB W080: WG3 Test methods for service life prediction.
- DANIOTTI, B.; CECCONI, F. R.; PAOLINI, R.; GALLIANO, R.; FERRER, J.; BATTAGLIA, L. (2012) - Durability evaluation of ETICS: analysis of failures case studies and heat and moisture transfer simulations to assess the frequency of critical events.
- DANIOTTI, Bruno; PAOLINI, Riccardo (2005) - Durability Design of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. In 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components. Lyon [France]: 2005.
- DOYA, Maxime; BOZONNET, Emmanuel; ALLARD, Francis (2012) - Experimental measurement of cool facades' performance in a dense urban environment. Energy and Buildings [Em linha]. 55: 42-50. ISSN 03787788.

- DUFF, Matthew ; TOWEY, Joseph (2010) - Two ways to measure temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility. Analog Dialogue [Em linha]. 44:10
- EOTA, European Organisation for Technical Approvals (2013) - Guideline for european technical approval of external thermal insulation composite systems (ETICS) with rendering. ETAG nº 004. Brussels, Belgium: EOTA.
- FASSA-BORTOLO (2011) - Ficha técnica: KT 48
- FERRO (2014) - Cool Colors™ Pigments - Infrared (IR) Heat and Energy Saving Pigments.
- FREITAS, Vasco Peixoto de (2002) - Isolamento térmico de fachadas pelo exterior - Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido - ETICS HT 191A/02: MAXIT - TECNOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO E RENOVAÇÃO, Lda (Sistema "HOTSKIN").
- GODNJAVEC, J.; ZABRET, J.; ZNOJ, B.; SKALE, S.; VERONOVSKI, N.; VENTURINI, P. (2014) - Investigation of surface modification of rutile TiO₂ nanoparticles with SiO₂/Al₂O₃ on the properties of polyacrylic composite coating. Progress in Organic Coatings [Em linha]. 77:1 47-52.
- GOMES, M. Glória; FLORES-COLEN, Inês; MELO, Humberto; SOARES, António (2019) - Physical performance of industrial and EPS and cork experimental thermal insulation renders. Construction and Building Materials [Em linha]. 198: 786-795. ISSN 09500618.
- HUKSEFLUX (2019) - SR05-D1A3 pyranometer [Em linha]. [Consult. 20 de abril]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.hukseflux.com/products/solar-radiation-sensors/pyranometers/sr05-d1a3-pyranometer>>.
- INE (2017) - Edifícios licenciados aumentaram 7,4% e edifícios concluídos cresceram 12,2% - 2.º Trimestre de 2017 [Em linha]. [Consult. 5 de junho]. Disponível em WWW: <URL: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=281128687&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt>.
- ISO (2000) - ISO 15686-1 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles.
- JOSE, Sheethu; JOSHY, Deepak; NARENDRANATH, Soumya B.; PERIYAT, Pradeepan (2019) - Recent advances in infrared reflective inorganic pigments. Solar Energy Materials and Solar Cells [Em linha]. 194: 7-27. ISSN 09270248.
- KAI L. UEMOTO, Neide M.N. Sato, Vanderley M. John (2010) - Estimating thermal performance of cool colored paints. [Em linha].
- KARLESSI, T. ; SANTAMOURIS, M. ; APOSTOLAKIS, K.; SYNNEFA, A.; LIVADA, I. (2009) - Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. Solar Energy [Em linha]. 83 4. 538-551
- KÜNZEL, Helmut ; KÜNZEL, Hartwig M. ; SEDLBAUER, Klaus (2006) - LONG-TERM PERFORMANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION SYSTEMS (ETICS). Architectura 5 [Em linha]. 1:2006. 11–24.
- KVANDE, Tore; BAKKEN, Noralf; BERGHEIM, Einar; THUE, Jan (2018) - Durability of ETICS with Rendering in Norway—Experimental and Field Investigations. Buildings [Em linha]. 8:7. 93. ISSN 2075-5309.

- LEVINSON, Ronnen; AKBARI, Hashem; BERDAHL, Paul (2010) - Measuring solar reflectance—Part II: Review of practical methods. Solar Energy [Em linha]. 84:9. 1745-1759. ISSN 0038092X.
- LUONGO, N. ; MASSARI, S.; SPAGNOLO, S. Lupica ; DIAMANTI, M.V. ; DANIOTTI, B. ; PEDEFERRI, MP. (2018) - Characterization of durability and photocatalytic properties of TiO₂ cement-based materials. Materials for Energy, Efficiency and Sustainability: TechConnect Briefs 2018 [Em linha].
- OORSCHOT, Heleen Teleng-van; COLORTREND, Evonik (2012) - Colourful façade coatings with inorganic colourants. PPCJ - Architectural Coatings [Em linha].
- OPTICS, Ocean (2013) - Ocean View - Installation and Operation Manual.
- (2015) - Flame Miniature Spectrometer - User Manual.
- (2016) - Flame-NIR Miniature Spectrometer - User Manual.
- (2017) - DH-2000 Deuterium-Halogen Light Source - Installation and Operation Manual.
- (2019a) - How can I reduce the noise in my spectra? [Em linha]. [Consult. 10 de Junho]. Disponível em WWW: <URL: <https://oceanoptics.com/faq/can-reduce-noise-spectra/>>.
- (2019b) - Modular spectrophotometers [Em linha]. [Consult. 15 de junho]. Disponível em WWW: <URL: <https://oceanoptics.com/product/flame-nir-spectrometer/>>.
- (2019c) - Premium-grade Reflection Probes [Em linha]. [Consult. 1 de maio]. Disponível em WWW: <URL: <https://oceanoptics.com/product/premium-grade-reflection-probes/#tab-details>>.
- PAOLINI, Riccardo; ZANI, Andrea; POLI, Tiziana; ANTRETTER, Florian; ZINZI, Michele (2017) - Natural aging of cool walls: Impact on solar reflectance, sensitivity to thermal shocks and building energy needs. Energy and Buildings [Em linha]. 153: 287-296. Disponível em WWW: <URL: <Go to ISI>://WOS:000412959600024>. ISSN 03787788.
- PETRIE, Thomas W. ; DESJARLAIS, André O. ; ATCHLEY, Jerald A. ; CHILDS, Phillip W. (2007) - Energy Savings for Stucco Walls Coated with Cool Colors. ASHRAE [Em linha].
- REPÚBLICA, Diário da (2006) - Decreto-Lei nº 80/2006. Diário da República:
- (2013) - Decreto-Lei nº 118/2013. Diário da República:
- SÁ, João Tiago Teixeira de (2018) - Durabilidade de ETICS com elevada absorção solar. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado.
- SÁ, Miguel Reis da Costa e (2017) - A influência dos pigmentos refletantes na temperatura superficial dos revestimentos térmicos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado.
- SANTAMOURIS, M. (2014) - Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy [Em linha]. 103: 682-703. ISSN 0038092X.
- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. (2011) - Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar Energy [Em linha]. 85:12. 3085-3102. ISSN 0038092X.
- SECIL (2016) - Secil Ecocork Lime - reboco de cal hidráulica natural com incorporação de cortiça. [Em linha].

--- (2017) - Isodur - Reboco Térmico Projectado.

SHARMA, Gaurav ; WU, Wencheng ; DALAL, Edul N. (2004) - The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations.

SHEN, Hui; TAN, Hongwei; TZEMPELIKOS, Athanasios (2011) - The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study. Energy and Buildings [Em linha]. 43:2-3. 573-580. ISSN 03787788.

SOUSA, Luís Filipe Tavares Teixeira de (2010) - Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil - ETICS. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado.

WEBER, Saint-Gobain (2015) - Guia de soluções para fachadas termicamente eficientes.

--- (2018) - O guia Weber.

XIE, Ning; LI, Hui; ABDELHADY, Ahmed; HARVEY, John (2019) - Laboratorial investigation on optical and thermal properties of cool pavement nano-coatings for urban heat island mitigation. Building and Environment [Em linha]. 147: 231-240. ISSN 03601323.

XIMENES, S.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. (2014) - Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls. Materials and Structures [Em linha]. 48:7. 2235-2249. ISSN 1359-59971871-6873.

XUE, Xiao; QIN, Jie; SONG, Jianrong; QU, Jian; SHI, Yunxing; ZHANG, Weidong; SONG, Zhongnan; JIANG, Lihong; LI, Jingfang; GUO, Haishan; ZHANG, Tao (2014) - The methods for creating energy efficient cool gray building coatings—Part I: Preparation from white and black pigments. Solar Energy Materials and Solar Cells [Em linha]. 130: 587-598. ISSN 09270248.

ZHANG, Hui ; WANG, Fei ; LIANG, Jinsheng; TANG, Qingguo ; CHEN, Yalei (2017) - Design of Thermal Insulation Energy-Saving Coatings for Exterior Wall. Chemical Engineering Transactions, [Em linha]. ISSN 2283-9216.

ANEXOS

A. FICHAS TÉCNICAS DAS AMOSTRAS

A.1. FICHAS TÉCNICAS DAS AMOSTRAS “IN SITU”

Amostra	Sistema	Camadas dos sistemas
Branco 0919	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas)
Preto 3500	ETICS	– Weber.plast decor M, com presença de TiO ₂
Preto 3500 – “Cool Pigments”	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M, com “Cool Pigments” e TiO ₂
Preto 3500	Reboco Térmico	– Weber.therm aislone – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M com presença de TiO ₂
Preto 3500 – “Cool Pigments”	Reboco Térmico	– Weber.therm aislone – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M, com “Cool Pigments” e TiO ₂
EPS 1	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO ₂
EPS 2	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO ₂
EPS 3	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador, com “Cool Pigments” – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO ₂
EPS 4	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador (aplicação de primário) – Weber.plast decor M (Preto 3500), com TiO ₂
EPS 5	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador (aplicação de primário), com presença de “Cool Pigments” – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments”
EPS 6	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M (Preto 3500), com TiO ₂
EPS 7	ETICS	– Weber.therm EPS – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador, com “Cool Pigments” – Weber.plast decor M (Preto 3500), com 0,2% “Cool Pigments”

Amostra	Sistema	Camadas dos sistemas
AQ 1	Placa de Betão Leve	– Betão leve Aquaroc – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO_2
AQ 3	Placa de Betão Leve	– Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador, com “Cool Pigments” – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO_2
AS 3	Reboco Térmico	– Weber.therm aislone – Weber.therm pro (2 camadas) + Weber.therm rede normal (entre as 2 camadas) – Weber.prim regulador, com presença de “Cool Pigments” – Weber.plast decor M (Preto 3500), com “Cool Pigments” e TiO_2

A.2. FICHAS TÉCNICAS DAS AMOSTRAS DE LABORATÓRIO

Amostra	Sistema	Cor do revestimento	Referência da cor
Branco 0919	ETICS	Branco	0919
Preto 3500	ETICS	Preto	3500
Preto 3500 – “Cool Pigments”	ETICS	Preto	3500
Preto 3500	Reboco Térmico	Preto	3500
Preto 3500 - “Cool Pigments”	Reboco Térmico	Preto	3500
Vermelho 0444 - “Cool Pigments”	ETICS	Vermelho	0444
Vermelho 0444	ETICS	Vermelho	0444
Azul 1774	ETICS	Azul	1774
Verde 1436	ETICS	Verde	1436
Pastel 0839	ETICS	Pastel	0839
Tijolo 0555	ETICS	Tijolo	0555
Castanho 0426	ETICS	Castanho	0426
Wengué 0412	ETICS	Wengué	0412

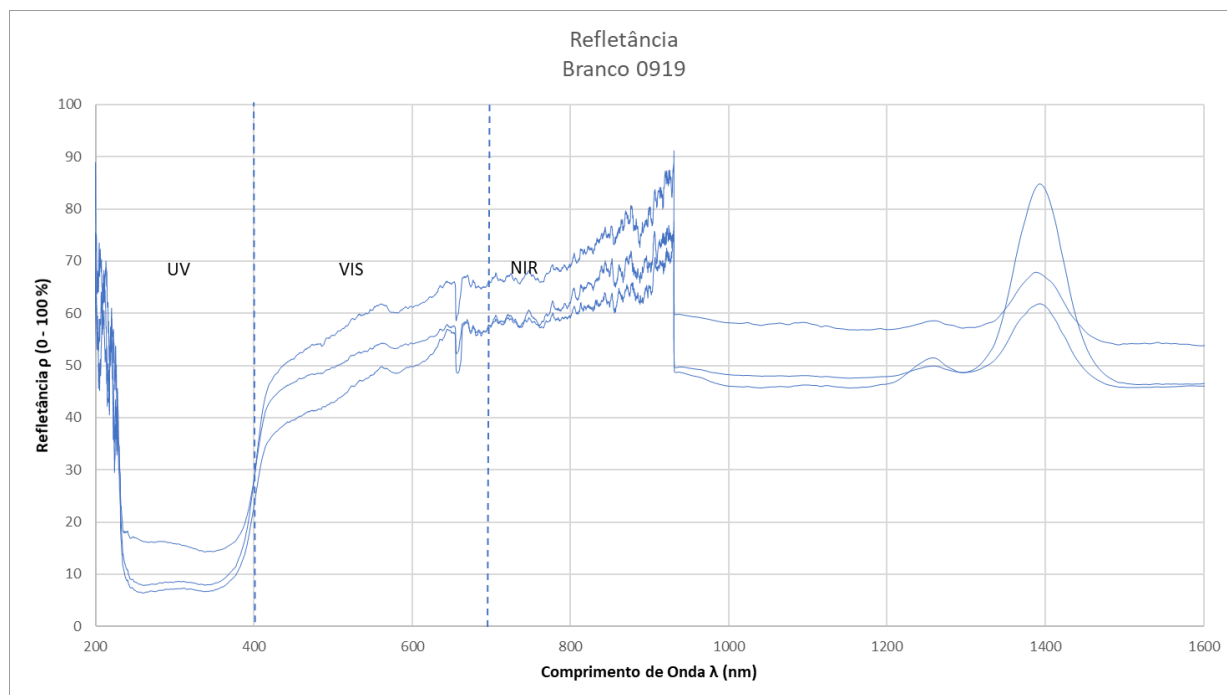
B. MEDIÇÕES DE REFLETÂNCIA COM USO DO ESPETROFOTÓMETRO (APÓS O CÁLCULO)**B.1. REFLETÂNCIA COM ESPETROFOTÓMETRO PARA AMOSTRAS “IN SITU”**

Amostra	Refletância ρ (0-1)							
	Método 50 ordenadas				Método 100 ordenadas			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Branco 0919	0,51	0,50	0,59	0,53	0,52	0,50	0,60	0,54
Preto 3500 ETICS	0,13	0,17	0,16	0,15	0,14	0,18	0,16	0,16
Preto 3500 ETICS "Cool Pigments"	0,26	0,25	0,24	0,25	0,27	0,25	0,24	0,25
Preto 3500 Reboco Térmico	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool Pigments"	0,31	0,30	0,30	0,30	0,31	0,29	0,31	0,30
EPS 1 - ETICS	0,26	0,26	0,21	0,24	0,27	0,26	0,21	0,24
EPS 2 - ETICS	0,26	0,32	0,30	0,29	0,26	0,32	0,30	0,29
EPS 3 - ETICS	0,26	0,28	0,27	0,27	0,26	0,28	0,27	0,27
EPS 4 - ETICS	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14
EPS 5 - ETICS	0,22	0,24	0,19	0,22	0,22	0,24	0,20	0,22
EPS 6 - ETICS	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
EPS 7 - ETICS	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,36	0,34	0,35
AQ 1 - Placa de Betão Leve	0,26	0,24	0,25	0,25	0,26	0,24	0,25	0,25
AQ 3 - Placa de Betão Leve	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	0,27	0,26
AS 3 - Reboco Térmico	0,24	0,26	0,29	0,26	0,25	0,26	0,29	0,26

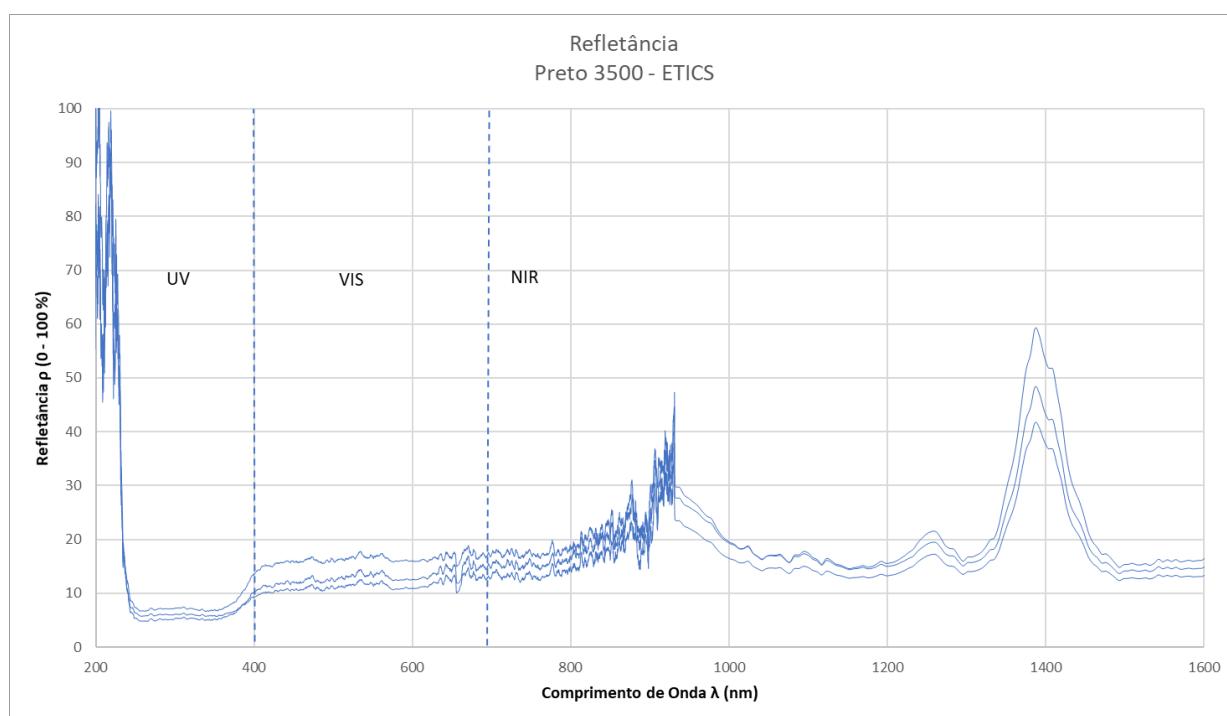
B.2. REFLETÂNCIA COM ESPETROFOTÓMETRO PARA AMOSTRAS EM LABORATÓRIO

Amostra	Refletância ρ (0-1)							
	Método 50 ordenadas				Método 100 ordenadas			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Branco 0919	0,67	0,70	0,68	0,68	0,67	0,70	0,69	0,69
Preto 3500 – ETICS	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,11
Preto 3500 – ETICS – “Cool Pigments”	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24
Preto 3500 - Reboco Térmico	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
Preto 3500 - Reboco Térmico - "Cool Pigments"	0,26	0,26	0,23	0,25	0,26	0,26	0,24	0,25
Vermelho 0444 - ETICS – “Cool Pigments”	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,37
Vermelho 0444 – ETICS	0,34	0,36	0,32	0,34	0,34	0,36	0,32	0,34
Azul 1774 – ETICS	0,48	0,49	0,55	0,51	0,48	0,49	0,56	0,51
Verde 1436 – ETICS	0,41	0,39	0,39	0,40	0,42	0,39	0,39	0,40
Pastel 0839 – ETICS	0,68	0,69	0,63	0,67	0,68	0,70	0,63	0,67
Tijolo 0555 – ETICS	0,38	0,36	0,35	0,36	0,38	0,36	0,35	0,36
Castanho 0426 – ETICS	0,23	0,25	0,27	0,25	0,23	0,25	0,27	0,25
Wengué 0412 – ETICS	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,14	0,13

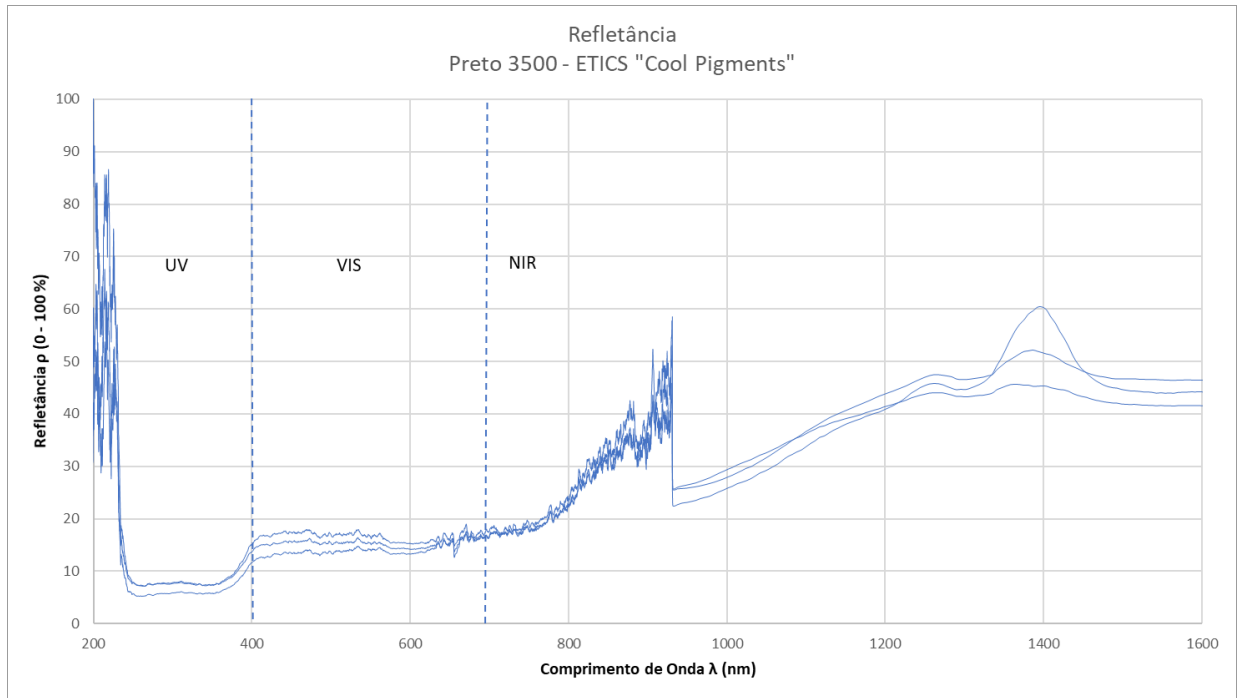
C. GRÁFICOS DE REFLETÂNCIA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS AMOSTRAS “IN SITU”



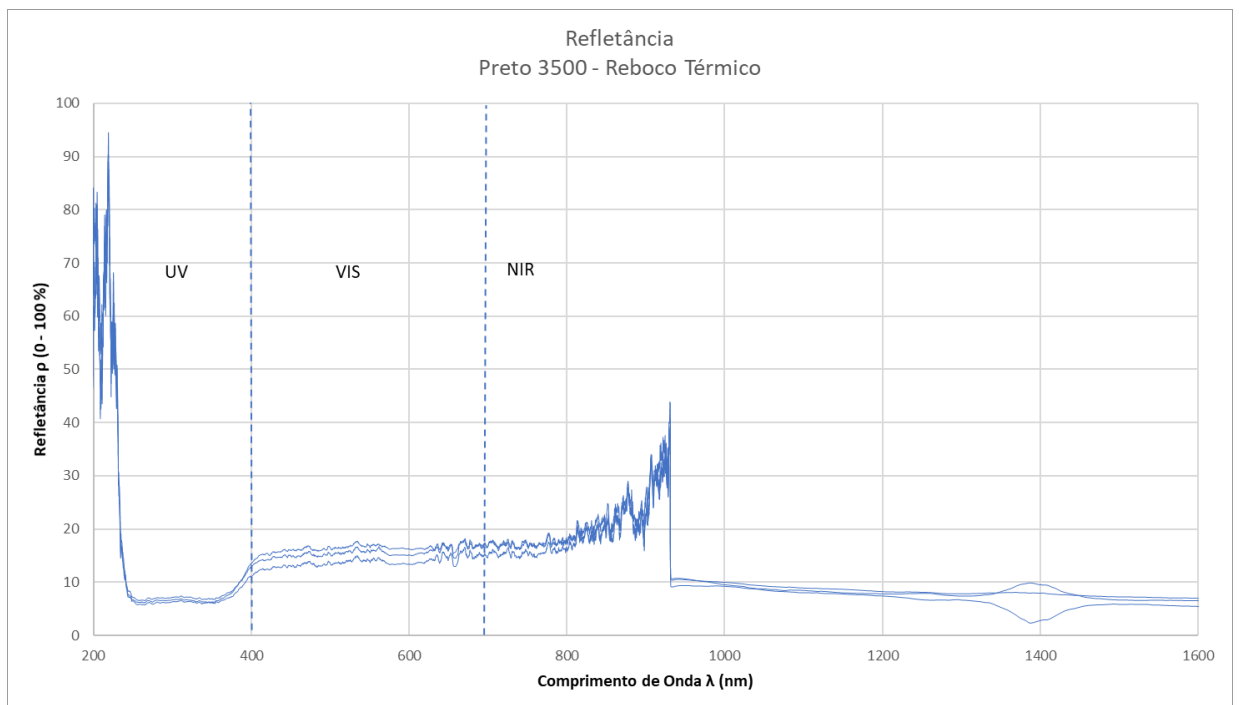
C.1 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Branco 0919



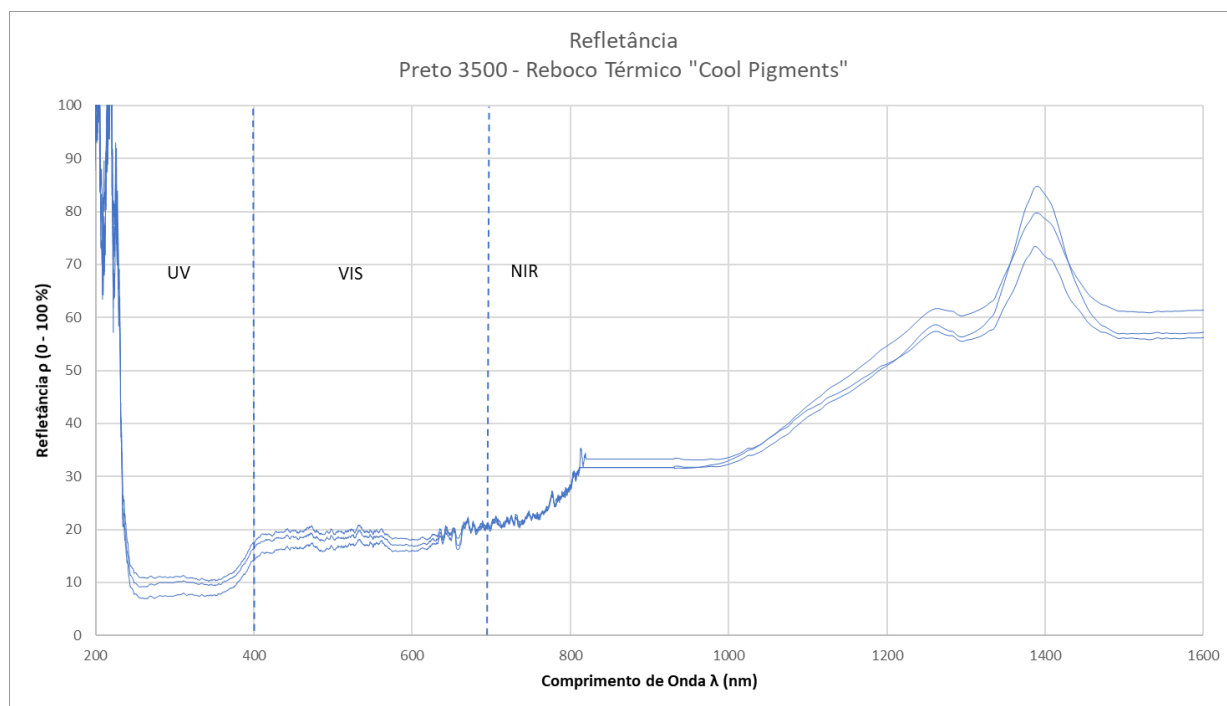
C.2 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – ETICS



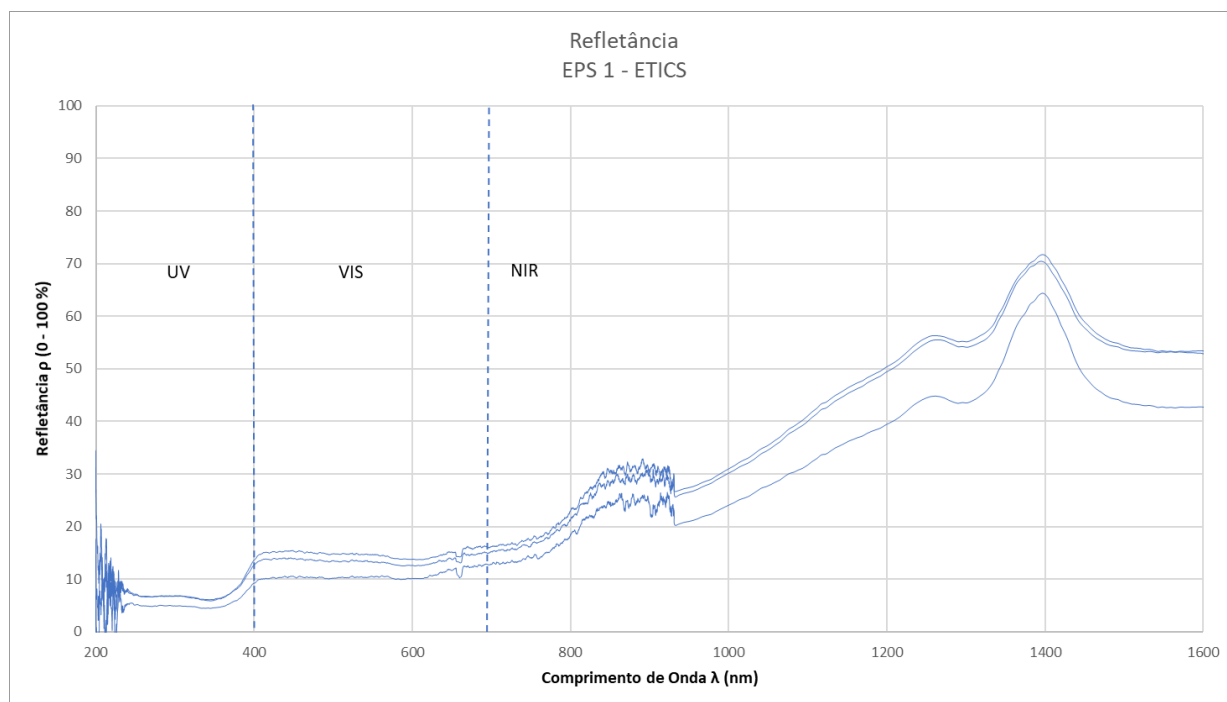
C.3 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”



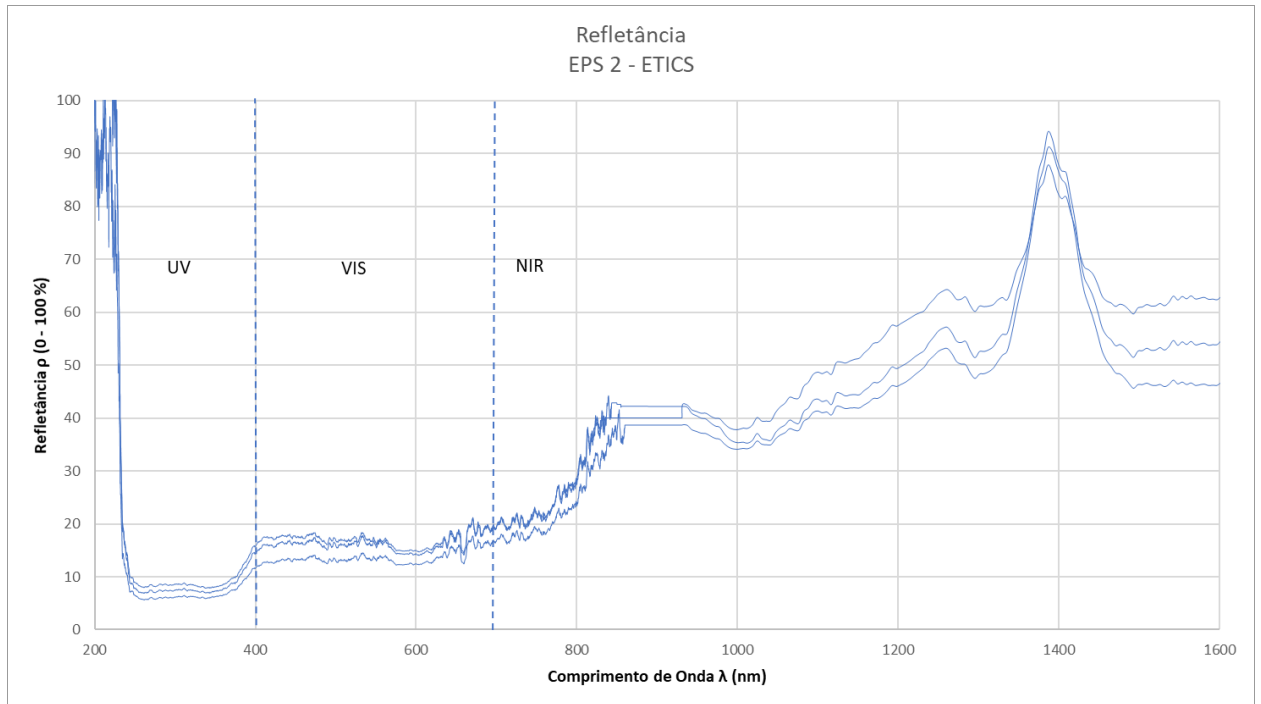
C.4 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – Reboco Térmico



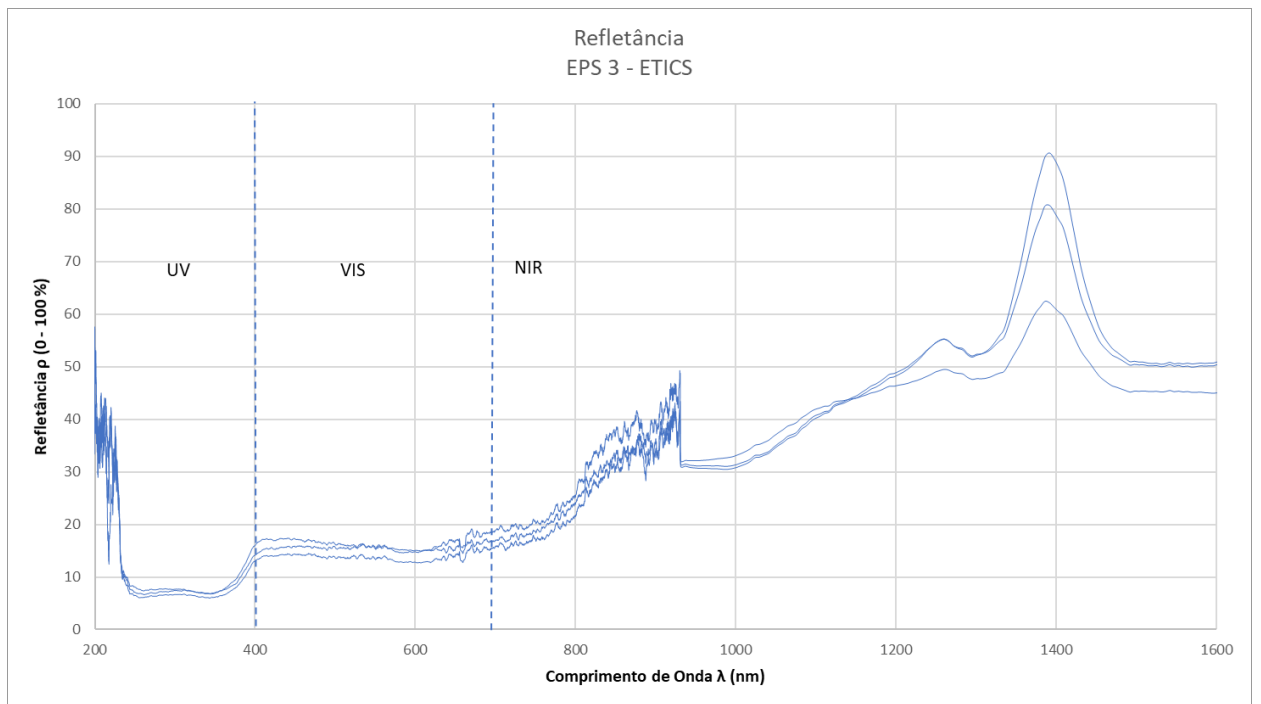
C.5 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – Reboco Térmico “Cool Pigments”



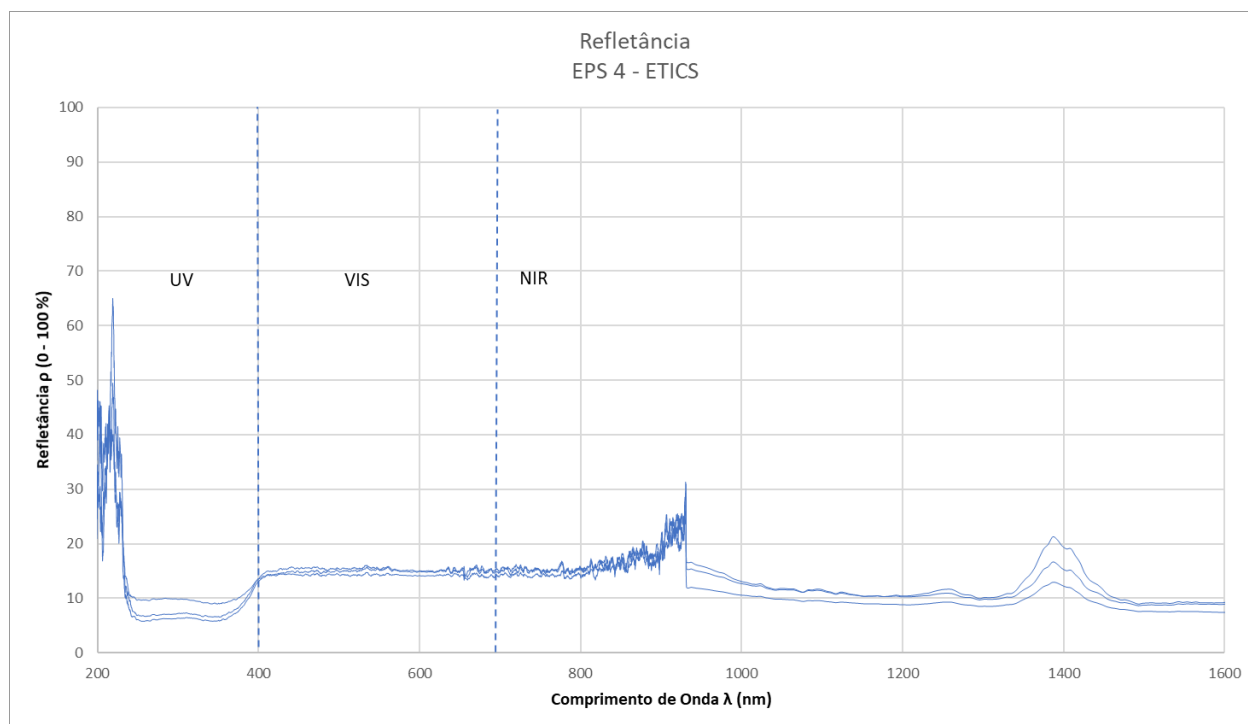
C.6 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 1 - ETICS



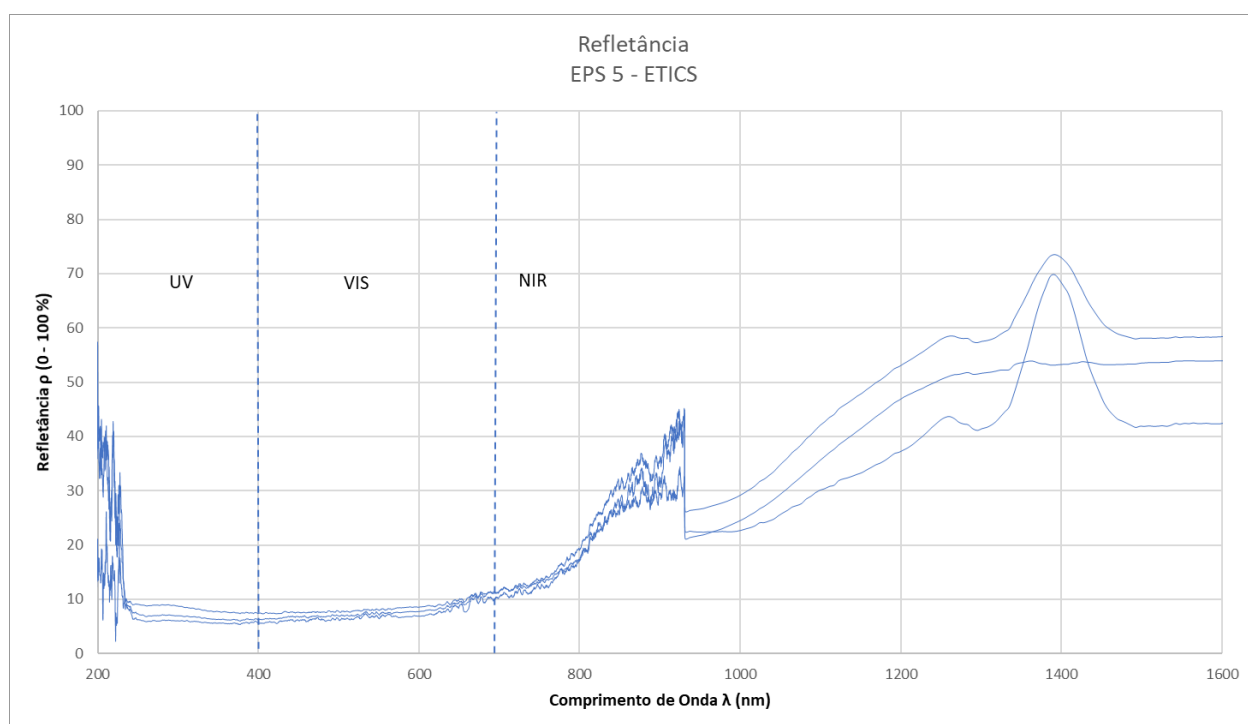
C.7 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 2 – ETICS



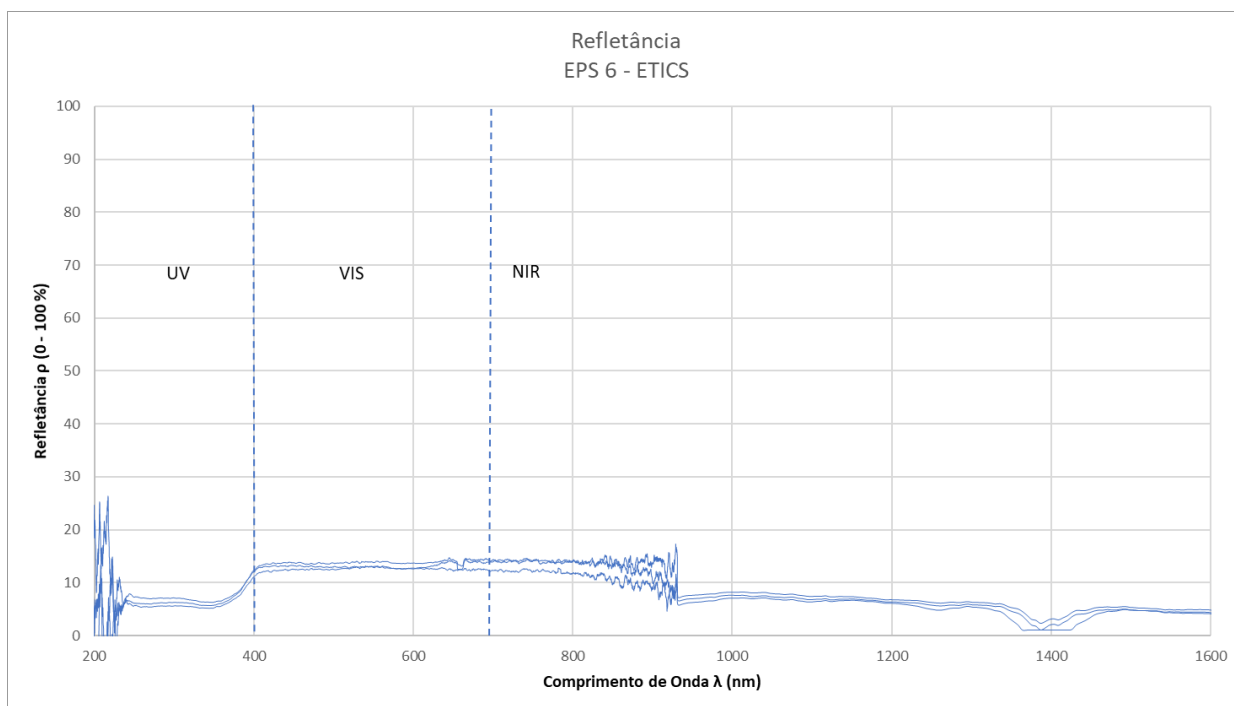
C.8 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 3 - ETICS



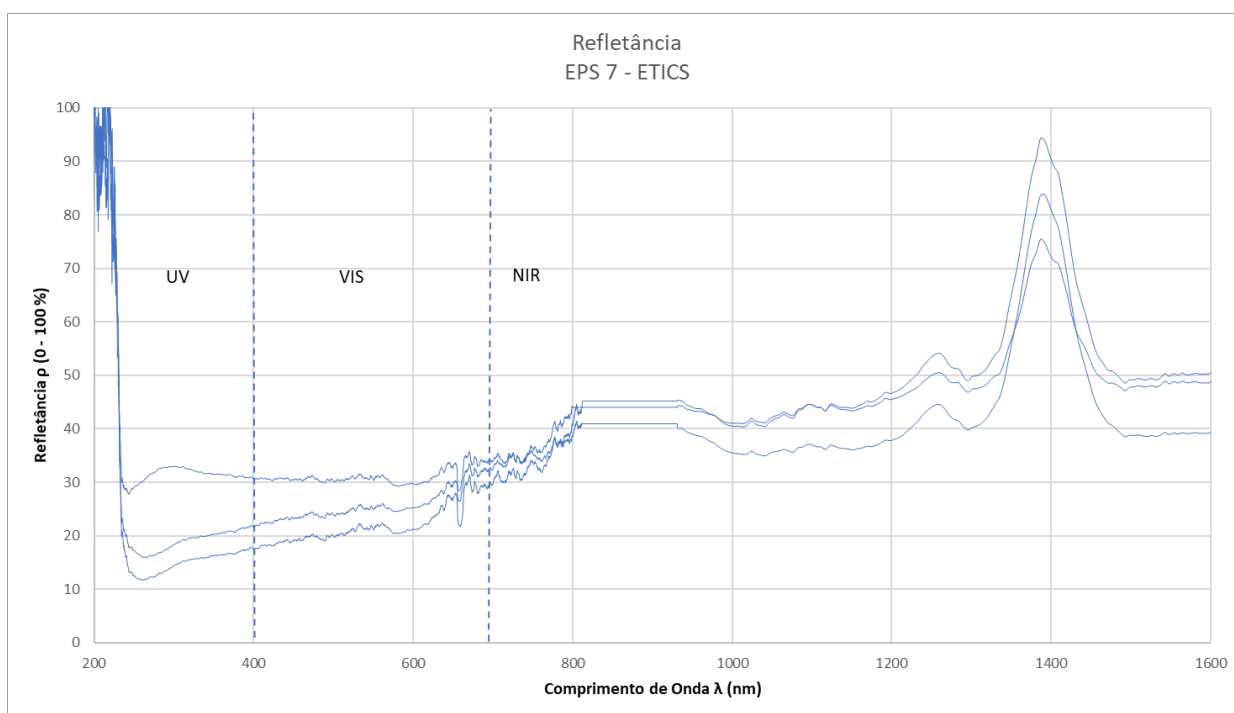
C.9 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 4 – ETICS



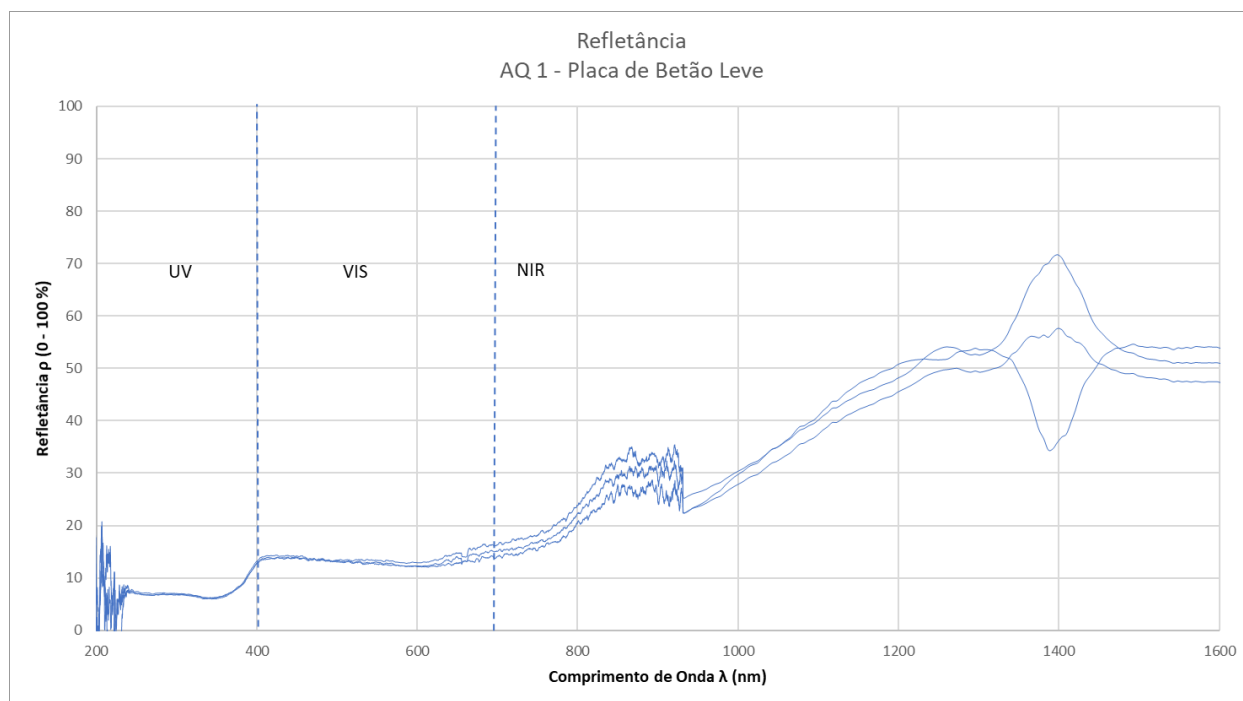
C.10 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 5 - ETICS



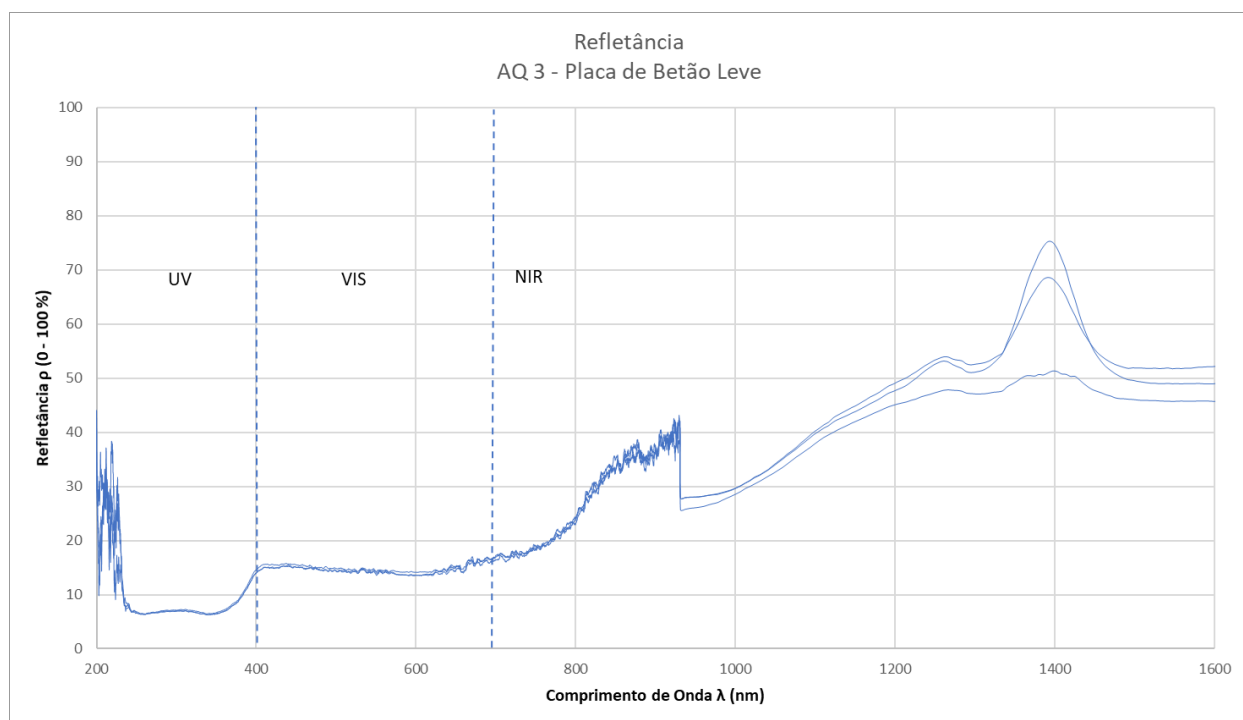
C.11 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 6 – ETICS



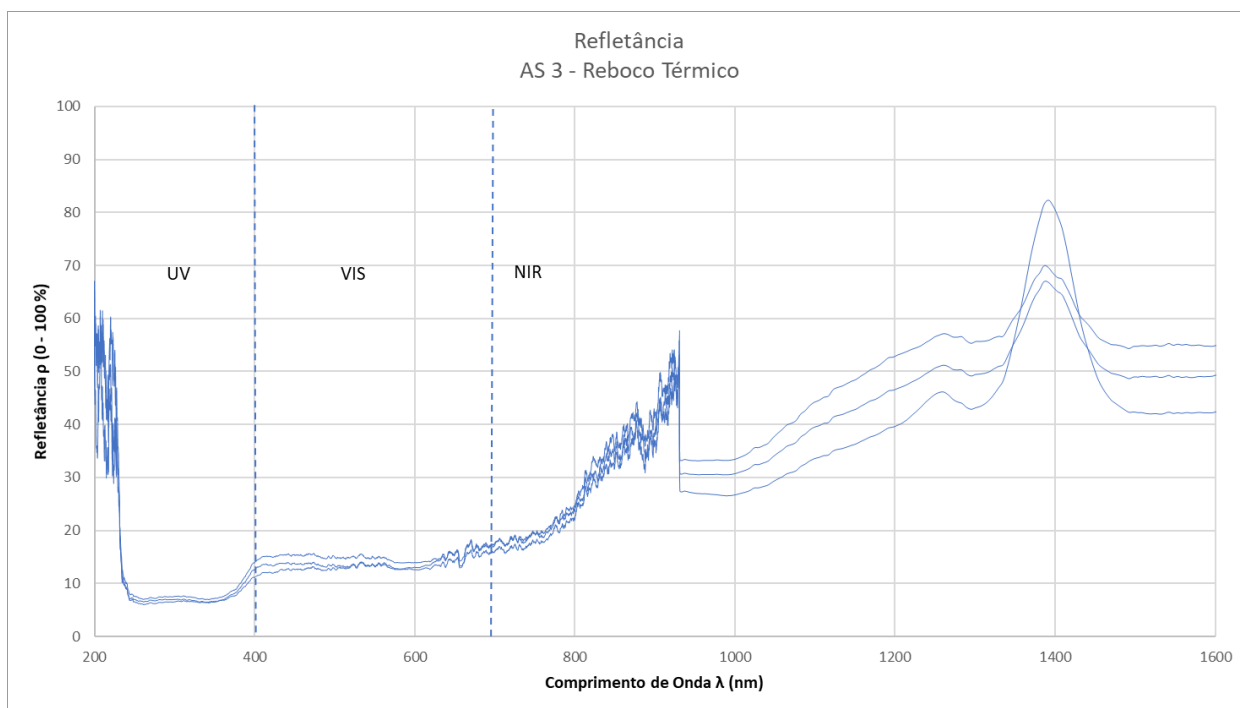
C.12 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra EPS 7 – ETICS



C.13 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra AQ 1 – Placa de Betão Leve

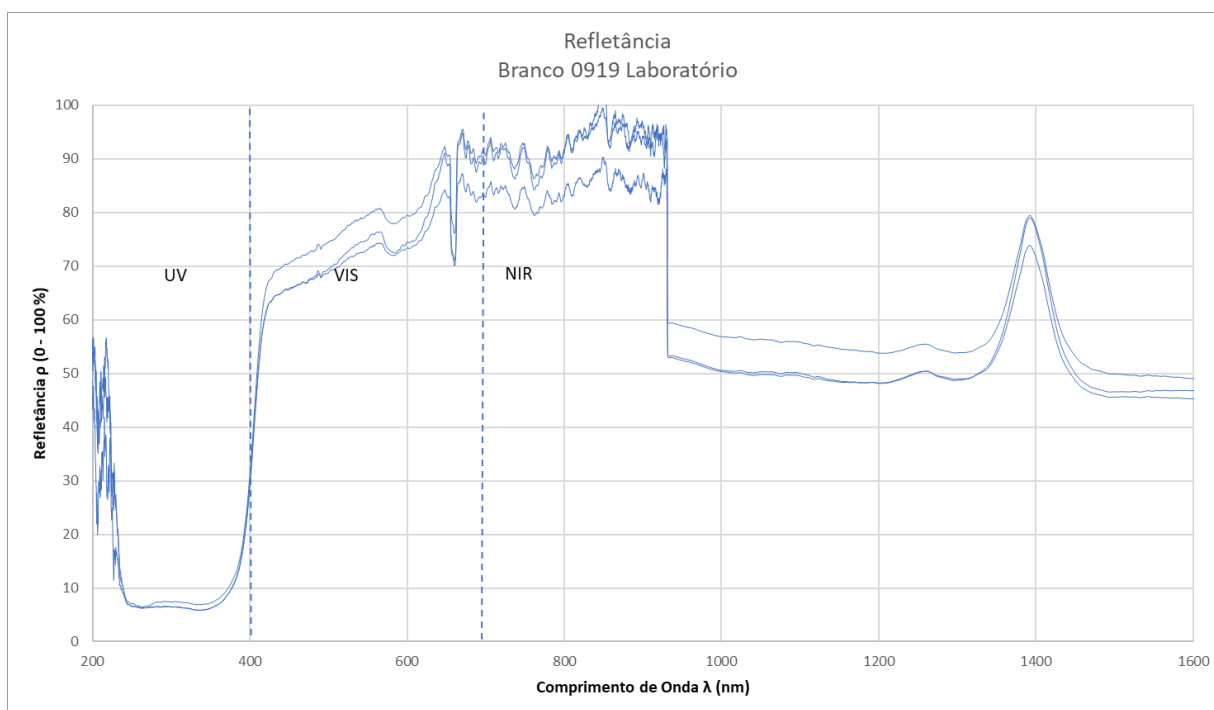


C.14 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra AQ 3 – Placa de Betão Leve

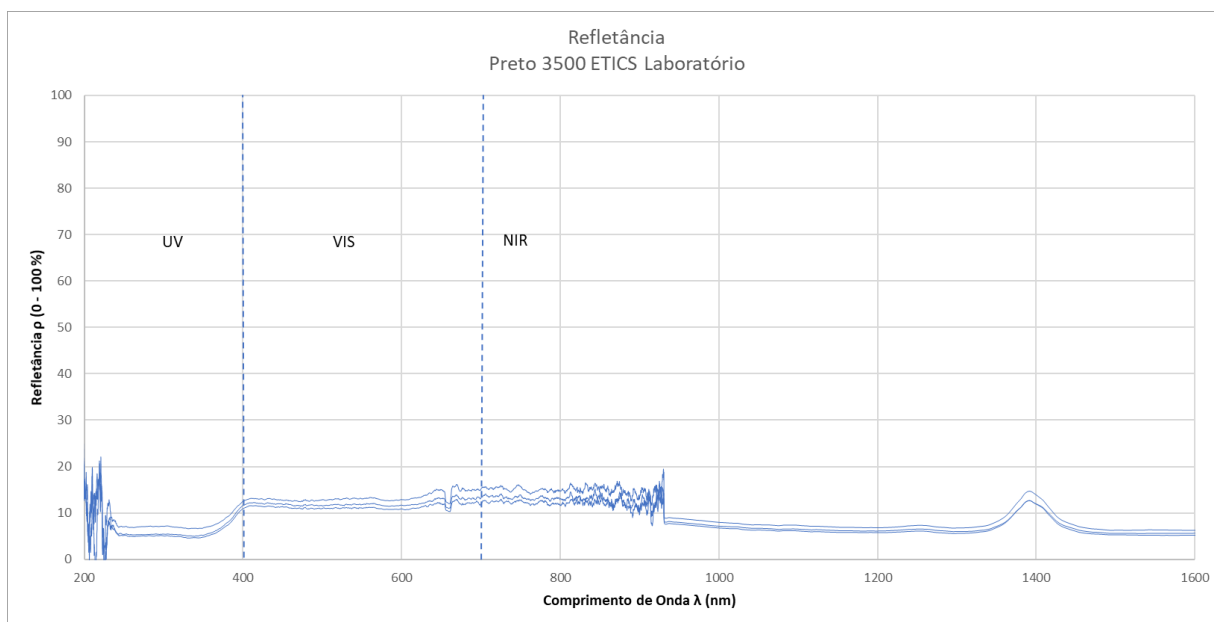


C.15 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra AS 3 – Reboco Térmico

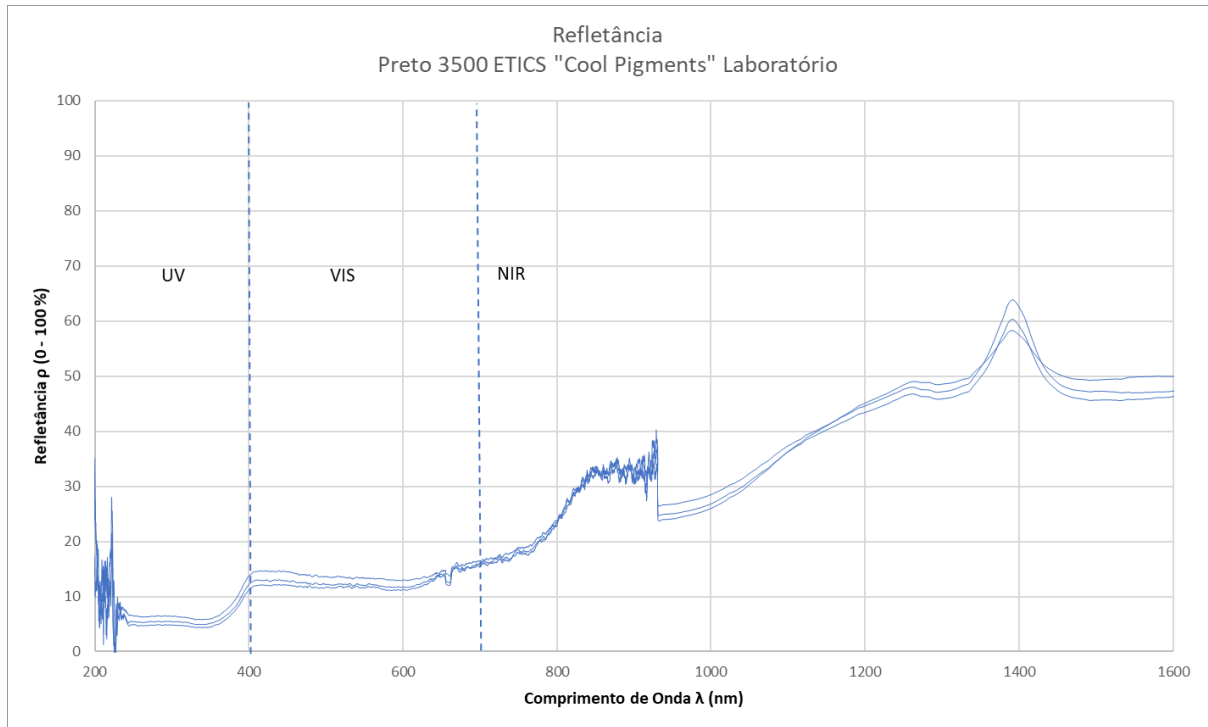
D. GRÁFICOS DE REFLETÂNCIA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS AMOSTRAS EM LABORATÓRIO



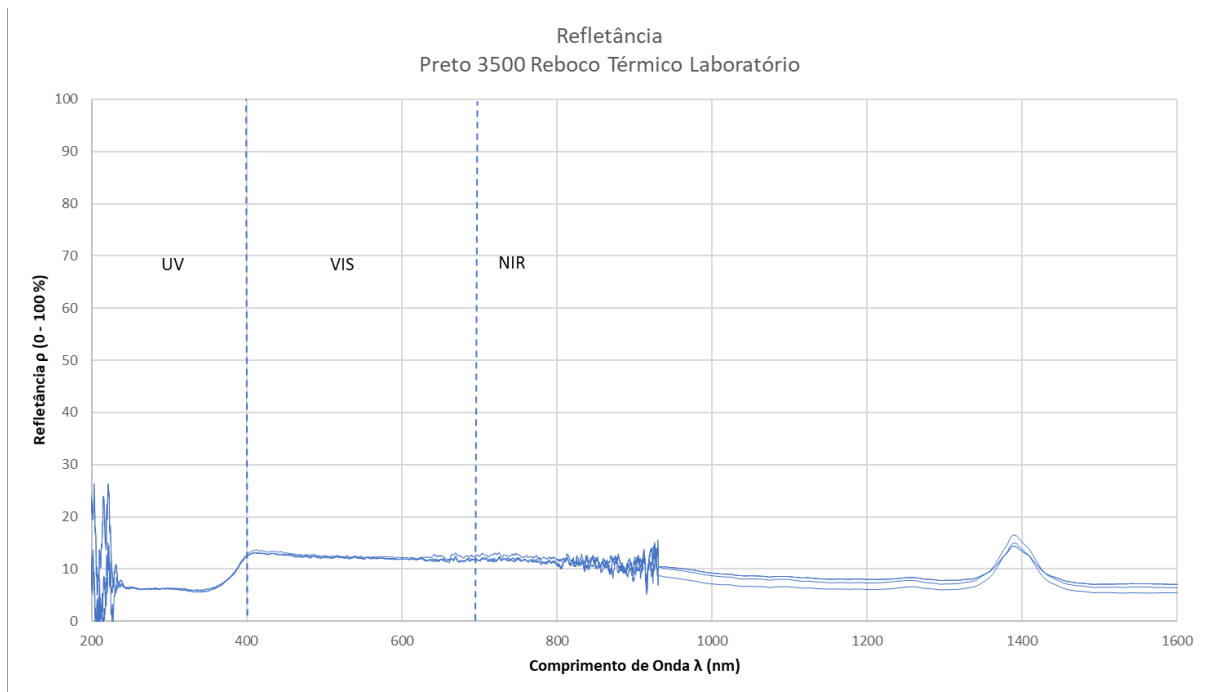
D.1 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Branco 0919



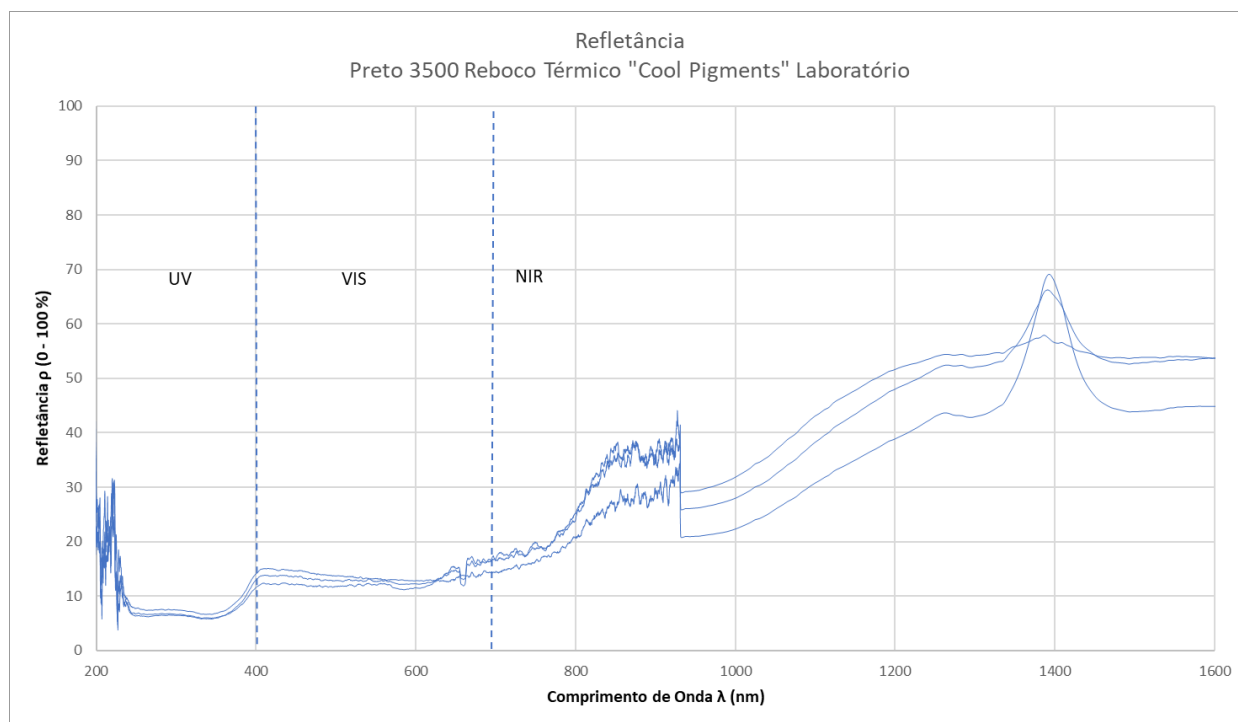
D.2 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – ETICS



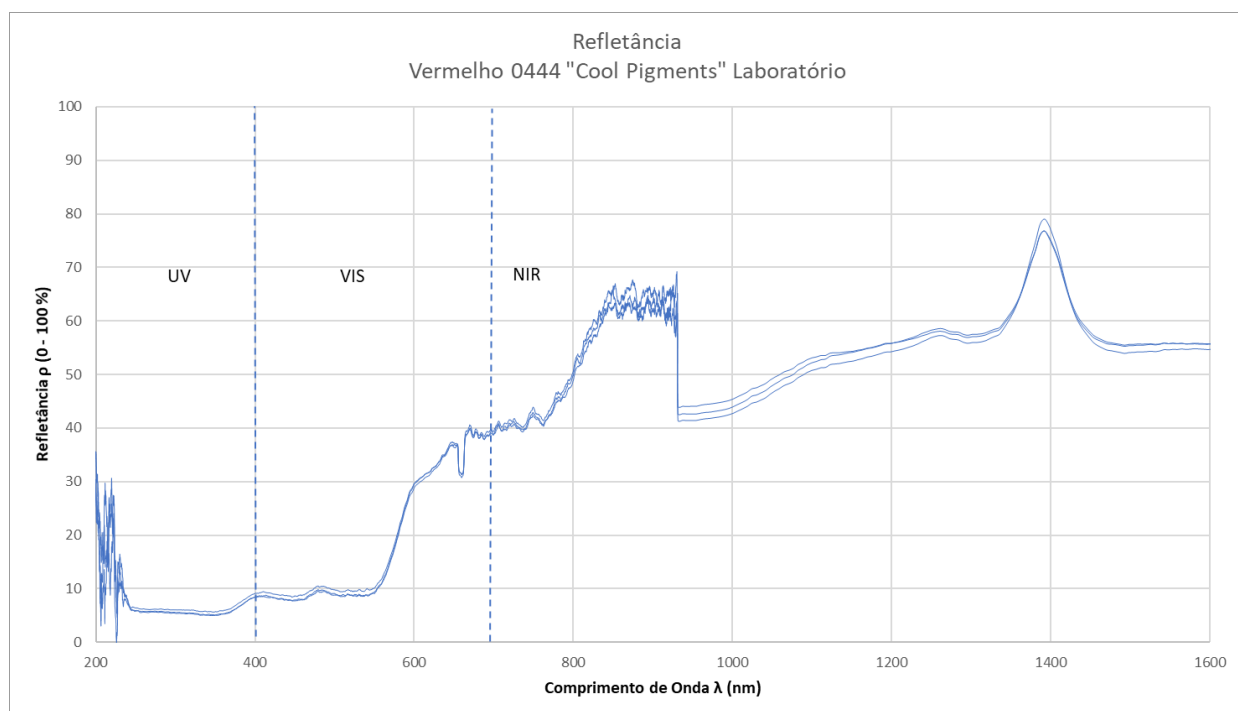
D.3 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – ETICS “Cool Pigments”



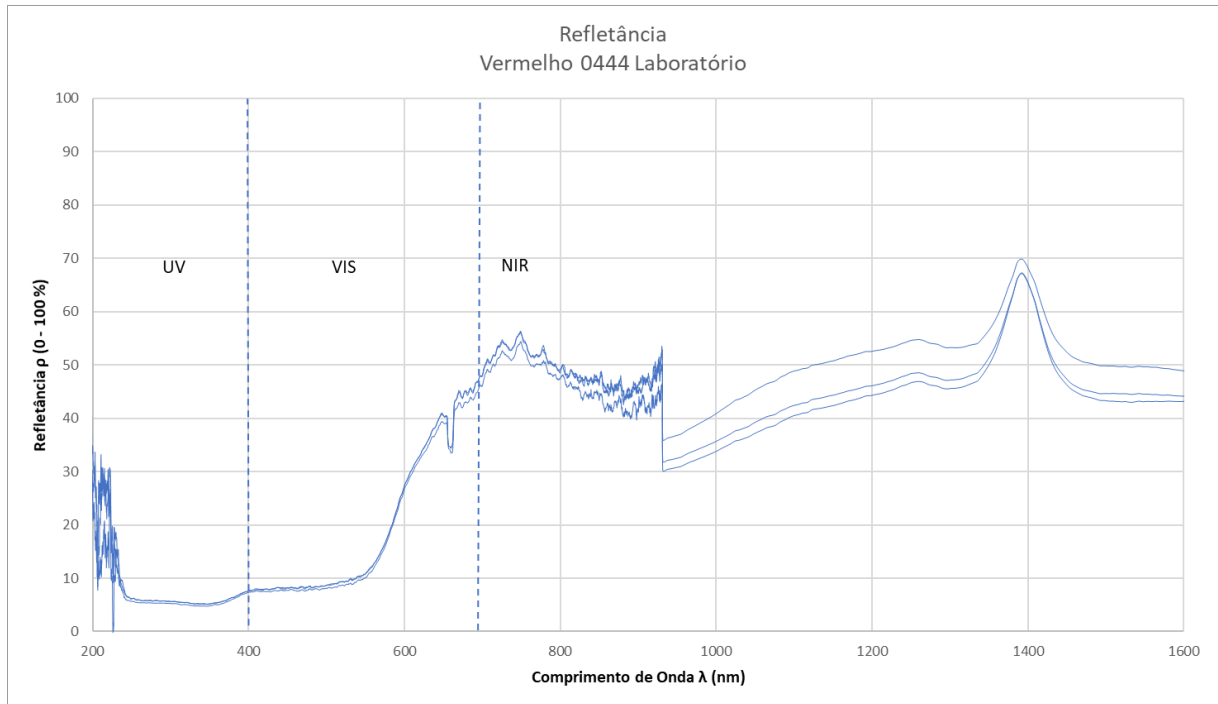
D.4 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – Reboco Térmico



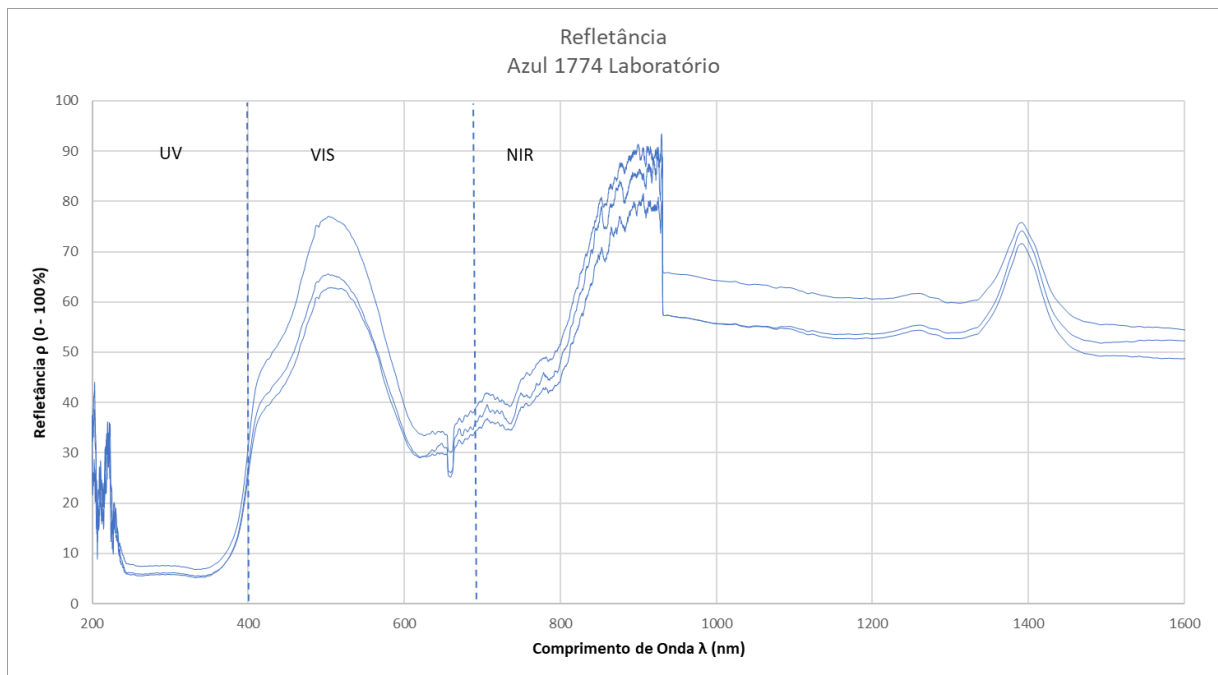
D.5 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Preto 3500 – Reboco Térmico “Cool Pigments”



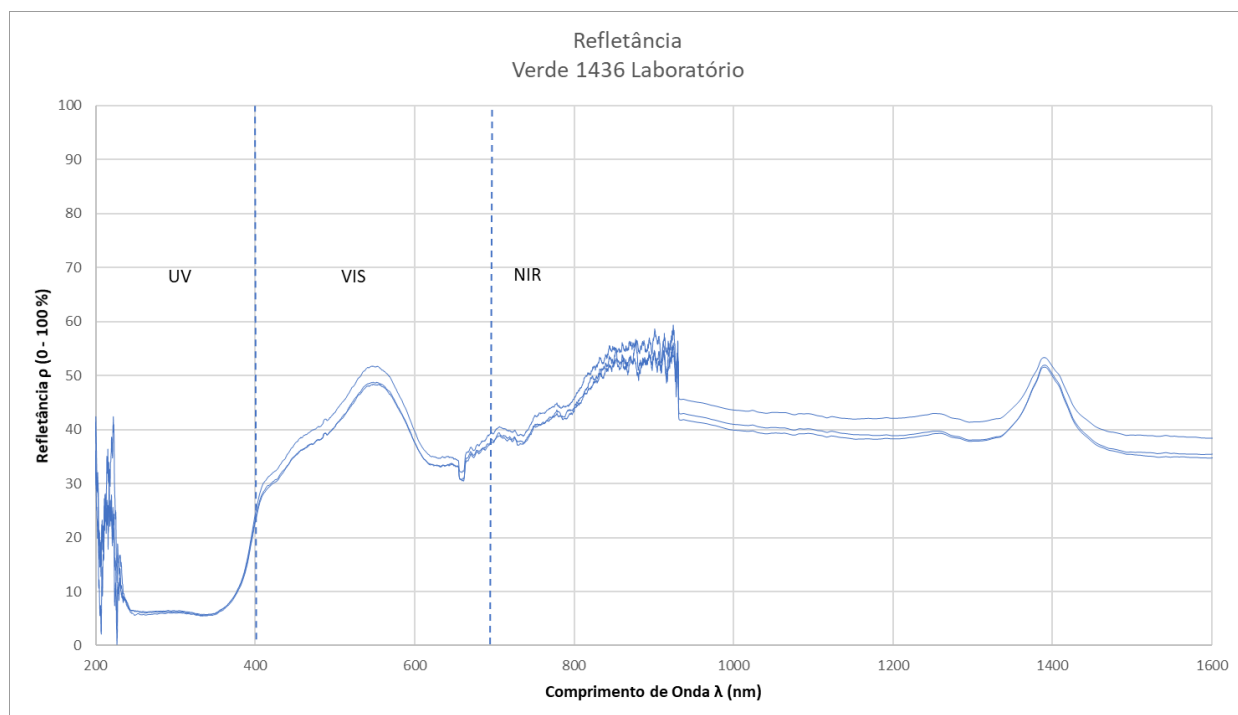
D.6 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Vermelho 0444 – ETICS “Cool Pigments”



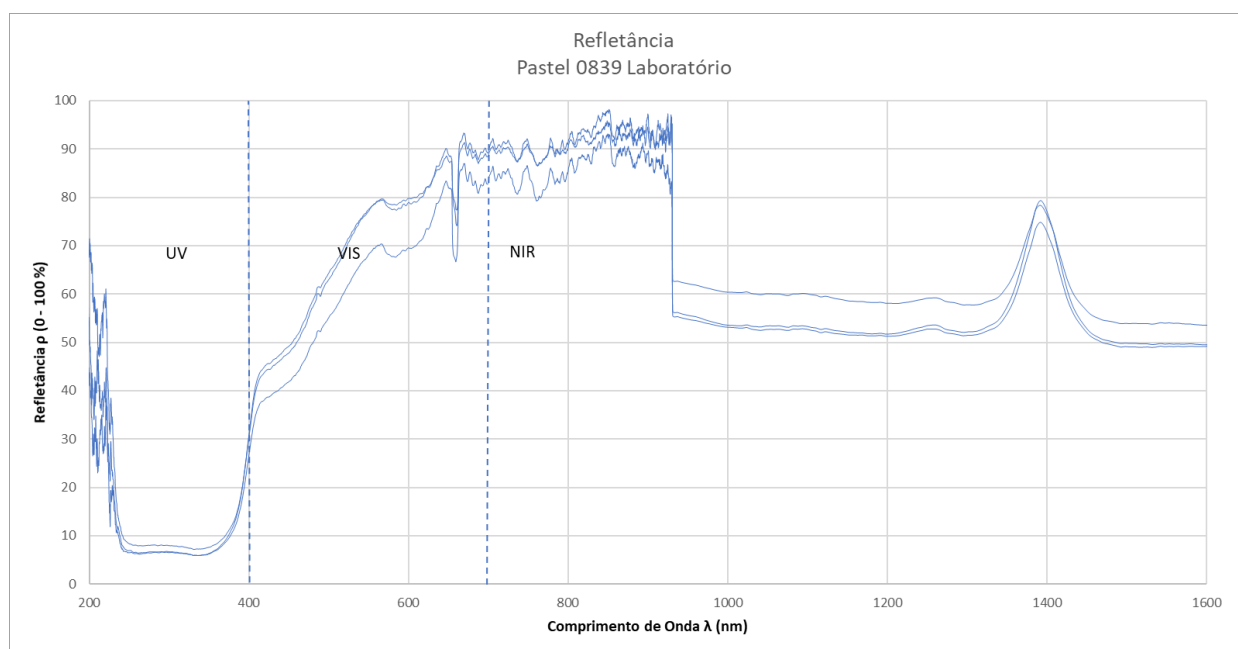
D.7 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Vermelho 0444 – ETICS



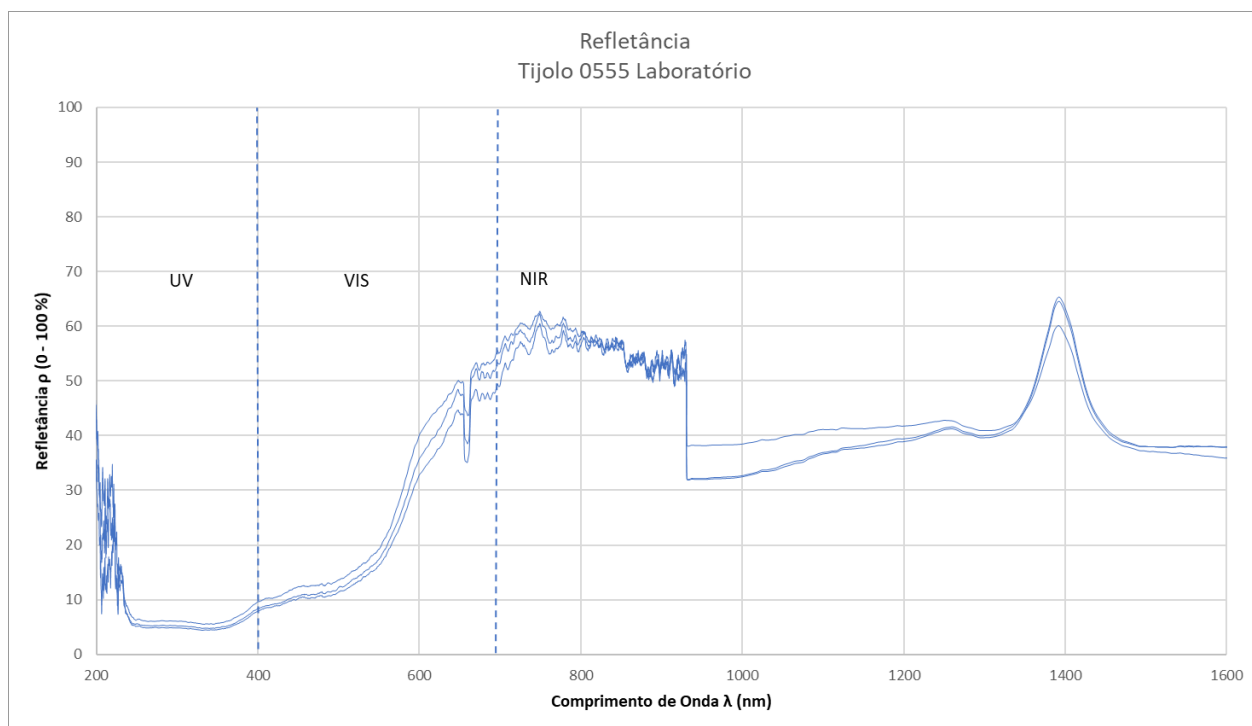
D.8 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Azul 1774 – ETICS



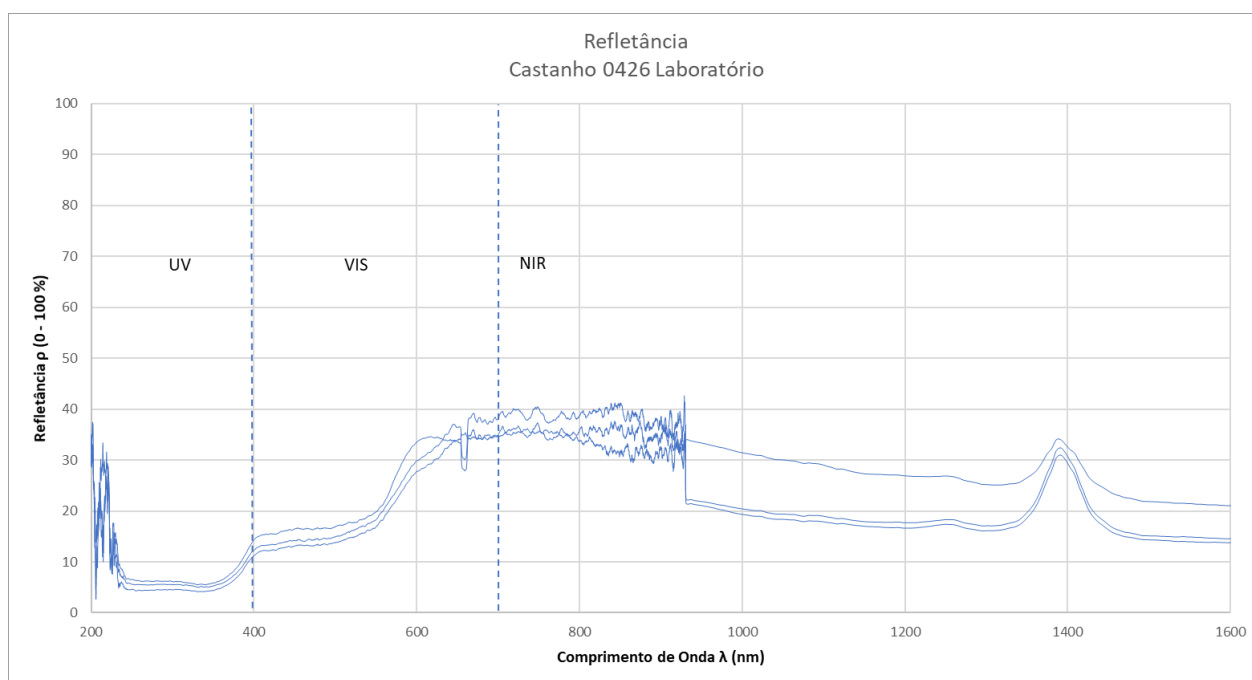
D.9 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Verde 1436 – ETICS



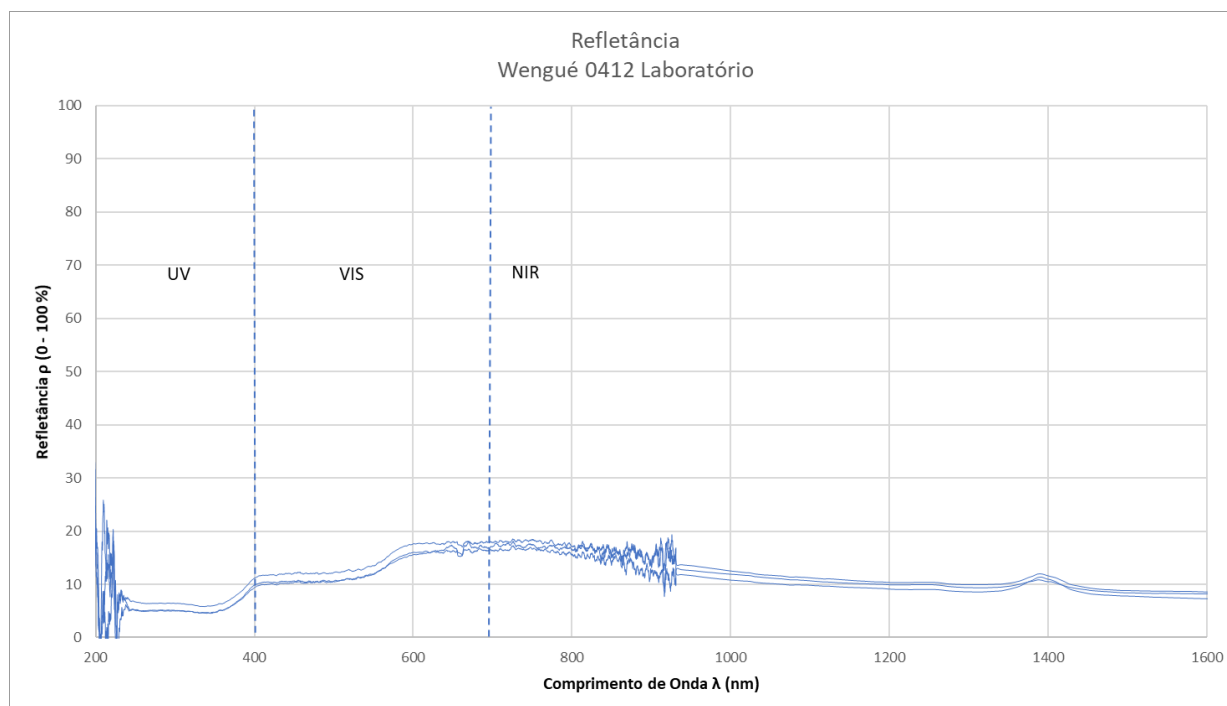
D.10 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Pastel 0839 – ETICS



D.11 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Tijolo 0555 – ETICS



D.12 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Castanho 0426 – ETICS



D.13 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda da amostra Wengué 0412 – ETICS

E. PARÂMETROS DE COR CIELAB E VARIAÇÃO DA COR**E.1. PARÂMETROS DE COR CIELAB E VARIAÇÃO DA COR DAS AMOSTRAS DE LABORATÓRIO**

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
Branco 0919	2016	88,5	1,0	3,1	-
	2017	-	-	-	-
	2018	87,6	1,4	4,2	1,5
	2019	87,0	1,4	3,6	1,7
Preto 3500 – ETICS	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	-	-	-	-
	2018	32,9	0,6	-1,0	0,7
	2019	33,1	0,9	-0,8	0,8
Preto 3500 – ETICS – “Cool Pigments”	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	-	-	-	-
	2018	34,2	1,3	-1,9	1,0
	2019	34,7	1,6	-1,9	0,8
Preto 3500 - Reboco Térmico - "Cool Pigments"	2016	-	-	-	-
	2017	-	-	-	-
	2018	-	-	-	-
	2019	-	-	-	-
Preto 3500 - Reboco Térmico	2016	-	-	-	-
	2017	-	-	-	-
	2018	-	-	-	-
	2019	-	-	-	-
Vermelho 0444 - ETICS – “Cool Pigments”	2016	38,7	28,4	17,8	-
	2017	-	-	-	-
	2018	38,2	28,0	18,0	0,6
	2019	-	-	-	-
Vermelho 0444 – ETICS	2016	38,9	30,7	19,6	-
	2017	-	-	-	-
	2018	39,0	30,3	19,6	0,4
	2019	-	-	-	-
Azul 1774 – ETICS	2016	73,1	-30,6	-0,6	-
	2017	-	-	-	-
	2018	72,2	-30,0	-0,1	1,3
	2019	-	-	-	-
Verde 1436 – ETICS	2016	63,2	-12,6	9,3	-
	2017	-	-	-	-
	2018	62,4	-12,2	9,5	1,0
	2019	-	-	-	-
Pastel 0839 – ETICS	2016	84,2	0,1	23,8	-
	2017	-	-	-	-
	2018	82,9	0,7	24,1	1,5
	2019	-	-	-	-
Tijolo 0555 – ETICS	2016	47,9	25,4	25,0	-
	2017	-	-	-	-
	2018	46,7	25,1	25,1	1,2
	2019	-	-	-	-
Castanho 0426 – ETICS	2016	46,9	16,3	14,5	-
	2017	-	-	-	-
	2018	46,1	16,2	14,7	0,8
	2019	-	-	-	-

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
Wengué 0412 – ETICS	2016	35,9	6,6	6,1	-
	2017	-	-	-	-
	2018	-	6,5	6,2	-
	2019	-	-	-	-

E.2. PARÂMETROS DE COR CIELAB E VARIAÇÃO DA COR DAS AMOSTRAS "IN SITU"

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
Branco 0919	2016	88,5	1,0	3,1	-
	2017	79,7	1,0	7,4	9,8
	2018	75,9	2,6	8,6	13,9
	2019	68,8	3,2	9,2	20,8
Preto 3500 ETICS	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	34,5	0,6	0,4	2,1
	2018	34,7	0,1	0,7	2,6
	2019	35,9	-0,4	1,7	4,1
Preto 3500 ETICS "Cool Pigments"	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	35,4	0,9	-1,0	1,4
	2018	36,1	0,1	-1,6	1,6
	2019	36,1	-0,6	-0,1	3,0
Preto 3500 Reboco Térmico	2016	33,4	0,5	-1,4	-
	2017	33,7	0,4	0,2	1,6
	2018	33,9	0,0	1,1	2,6
	2019	34,9	-0,3	1,5	3,4
Preto 3500 Reboco Térmico "Cool Pigments"	2016	35,2	1,2	-2,3	-
	2017	35,0	0,9	-0,4	2,0
	2018	34,0	0,4	-0,8	2,0
	2019	36,3	-0,3	-0,5	2,6
EPS 1 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	35,0	0,4	-2,3	-
	2018	34,7	0,1	-1,0	1,4
	2019	36,3	-0,5	-0,5	2,4
EPS 2 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	33,9	0,9	-2,1	-
	2018	33,3	0,6	-1,1	1,2
	2019	34,6	0,0	-1,3	1,4
EPS 3 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	34,1	0,7	-2,0	-
	2018	33,5	0,5	-1,4	0,9
	2019	35,5	0,3	-1,3	1,6
EPS 4 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	33,4	0,1	-1,0	-
	2018	33,3	-0,2	0,0	1,0
	2019	34,5	0,5	1,1	2,4
EPS 5 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	22,9	2,0	1,5	-
	2018	23,1	1,7	2,0	0,6
	2019	25,2	1,3	2,0	2,4

Amostra	Ano	L	a	b	ΔE
EPS 6 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	34,0	-0,2	-1,5	-
	2018	33,9	-0,1	0,0	1,5
	2019	35,9	-0,5	0,4	2,7
EPS 7 - ETICS	2016	-	-	-	-
	2017	39,7	2,2	0,5	-
	2018	49,7	1,7	2,1	10,1
	2019	51,1	1,9	2,4	11,6
AQ 1 - Placa de Betão Leve	2016	-	-	-	-
	2017	34,4	0,6	-2,3	-
	2018	34,5	0,5	-1,2	1,1
	2019	35,0	-0,1	-1,4	1,4
AQ 3 - Placa de Betão Leve	2016	-	-	-	-
	2017	34,4	0,7	-2,2	-
	2018	33,9	0,6	-1,0	1,4
	2019	34,2	1,1	-0,9	1,4
AS 3 - Reboco Térmico	2016	-	-	-	-
	2017	34,5	0,7	-2,1	-
	2018	32,7	0,7	-1,2	2,0
	2019	33,6	0,6	-0,4	2,0