

EMISSIVIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO – INFLUÊNCIA DA MEDIÇÃO EM DIFERENTES VARIANTES

ANA CRISTINA MOREIRA PEREIRA

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

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientadora: Professora Doutora Maria de Lurdes de Oliveira
Simões

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

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 - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

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.

A meus Pais

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são para todas as pessoas e entidades que, de forma direta ou indireta, tornaram possível a realização desta dissertação, nomeadamente:

À minha orientadora, Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira, pela disponibilidade, conhecimentos transmitidos, incentivo e orientação importantes para elaboração deste trabalho.

À minha coorientadora, Professora Maria de Lurdes de Oliveira Simões, por todo o apoio, conhecimentos transmitidos sobre o programa SPSS, pelas sugestões e pela disponibilidade, essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Laboratório de Física das Construções da FEUP, à Prof.^a Eva Barreira pela disponibilização do material utilizado e do equipamento fundamental para a presente dissertação.

À Engenheira Joana e à Engenheira Sofia pela disponibilidade durante a realização dos ensaios.

Às minhas primeiras amigas da faculdade, o grupo DALAMA, por todas as boas memórias, gargalhadas e sorrisos partilhados. Obrigada à Daniela, Aida, Luísa, Alexandra e Márcia pela amizade.

A todos os meus colegas que durante estes anos me ajudaram em alguns momentos, que me deram palavras de incentivo e me ajudaram, em especial à Susana, Sandra, João, Joaquim e Vera, por toda a ajuda nestes últimos dois anos.

À Daniela pelos momentos divertidos, pelas conversas durante todos os anos da faculdade, pela ajuda e principalmente, pela amizade.

À Bárbara, que já há uns aninhos atrás, tinha sido a minha companhia em AMAT e RM, mas que há dois anos voltou a entrar na minha vida e me ajudou tanto. Obrigada por estes últimos dois anos, pelas conversas, pelo incentivo e pela amizade.

À Aida, a minha melhor amiga, amiga desde 2007, que fez tanto por mim que nem sei por onde começar. Obrigada pela amizade, pelas palavras, pelos silêncios, pelas críticas, pelo apoio e pelos elogios. Obrigada por todos estes anos em que te foste tornando na minha melhor amiga e por todos que anda estão para vir, pois amizades assim não acabam. Obrigada pelo encorajamento durante todo o meu percurso académico.

À minha família, obrigada por, mesmo que não estejamos todos juntos muitas vezes, continuam a ser aquelas pessoas que fazem parte de mim e da minha vida. Obrigada à Filipa, Mariana e Raquel.

Ao Pedro que me torna uma melhor pessoa cada dia que passa. A pessoa que me fez ter um objetivo de vida, que me fez não querer desistir e continuar a lutar para concretizar todos os meus sonhos. A pessoa que me fez conseguir imaginar o meu futuro. Obrigada porque sem ti, se calhar, ainda não haveria dissertação. Obrigada, também, por toda a paciência para os meus problemas e stresses relacionados com a tese. Obrigada pelo apoio e pelas palavras “Tu consegues!” que tanto me motivaram ao longo destes últimos meses.

Aos meus pais, irmão, cunhada e sobrinho, o meu mais importante obrigada. Aos meus pais por tudo o que fizeram por mim, pelos sacrifícios, pela paciência, pela confiança de que eu conseguiria, por todo o carinho e apoio. Obrigada, pois tudo o que sou, devo a vocês. Ao meu irmão, o meu ídolo quando era criança, a primeira pessoa que me motivou a ser melhor. Obrigada por seres um grande exemplo para mim. À minha cunhada, que considero como se fosse minha irmã, obrigada por todos os conselhos e apoio. E ao Tomás, que apenas com meses de vida, me traz tanta alegria e me motiva a ser uma melhor pessoa para que um dia ele se orgulhe da madrinha. Sem a minha família, seria impossível a concretização desta dissertação.

RESUMO

A emissividade é uma propriedade dos materiais de construção muito relevante, porque a radiação térmica emitida pelas superfícies depende da emissividade. Todos os materiais emitem radiação térmica. A radiação emitida condiciona a temperatura superficial, o que pode condicionar o desempenho higrotérmico dos edifícios e a ocorrência de patologias.

Existem vários valores da emissividade disponibilizados na literatura, contudo estes valores são muitas vezes difíceis de utilizar porque se desconhece as características dos materiais e as condições em que decorreu a determinação da emissividade. Face a esta situação, nesta dissertação pretendeu-se determinar valores da emissividade de vários materiais de construção à temperatura ambiente, tendo sido realizado um conjunto de ensaios com um emissómetro.

No sentido de entender melhor o conceito de emissividade, desenvolveu-se um capítulo sobre vários conceitos e leis relacionados com a emissão de radiação pelos corpos, como o corpo negro, a Lei de Planck, a Lei de Stephan-Boltzmann e a Lei do deslocamento de Wien. Para melhor entender a variação da emissividade, descrevem-se os parâmetros que a influenciam como, por exemplo, a temperatura e o comprimento de onda.

Para determinar a emissividade existem vários métodos. Um dos métodos consiste na utilização do emissómetro. O emissómetro é um equipamento que transfere calor para a amostra e a diferença de calor emitida e recebida pelo detetor do emissómetro permite determinar a emissividade do material. Foi detalhado o seu funcionamento e descritos os vários procedimentos de ensaio.

Para além da determinação da emissividade de vários materiais, também se avaliou se a medição era influenciada por algumas variantes, nomeadamente a superfície de apoio da amostra (horizontal em madeira, horizontal metálica, inclinada em madeira e dissipador de calor) e a comparação com o padrão de referência de baixa emissividade. Foram realizados ensaios para todas estas variantes e foram analisados os resultados no programa SPSS através dos seguintes testes estatísticos: Teste de Kruskal-Wallis, o Teste de Wilcoxon (Wilcoxon Signed Ranks), o Teste do Sinal e o Teste de Homogeneidade Marginal.

Os resultados obtidos permitiram concluir que as medições realizadas para cada ensaio são estatisticamente iguais, quer para cada amostra, quer para as variantes. Verificou-se também que os valores obtidos através dos ensaios são da mesma ordem de grandeza dos valores da literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades dos materiais, Emissividade, Emissómetro, Análise estatística

ABSTRACT

Emissivity is a very important construction material's property because the thermal radiation emitted by the surfaces depends on the emissivity. All materials emit thermal radiation. The emitted radiation affects the surface temperature, which may affect the hygrothermal performance of buildings and the occurrence of pathologies.

There are several emissivity values available in the literature however these values are many times difficult to use because it is unaware of the characteristics of the materials and the conditions in which they determinate the emissivity. Due to this situation, it is intended, through this work, to determine the emissivity of several construction materials at room temperature using an emissometer.

In order to better understand the concept of emissivity, a chapter was developed on various concepts and laws related to the radiation such as black body definition, Planck's law, Stefan-Boltzmann's law and Wien's displacement law. Also, for a better understand the variation of emissivity, parameters that influence it were described, such as the temperature and wavelength.

There are several methods to determine emissivity. One of these methods is the use of an emissometer. The emissometer is an equipment that transfers heat to the sample and the difference of the emitted heat and received by the detector of the emissometer is what determines the emissivity to the emissometer. Its operation is detailed and it is described the various test procedures.

In addition to determining the emissivity, studies were made to determine the influence of other variables in particular the sample bearing surface (horizontal wood, metal horizontal, inclined timber and heat sink) and the comparison with low emissivity standard reference. Tests were carried out for all of these variants and the results were analyzed using SPSS through the following statistical tests: Kruskal-Wallis test, Wilcoxon Signed Ranks Test, Signal Test and Marginal Homogeneity Test.

The results showed that measurements taken for each test are statistically equal, either for each sample either to the variants. It was also verified that the values obtained from the tests are of the same order of magnitude as the literature values.

KEYWORDS: Materials' properties, Emissivity, Emissometer, Statistic analysis

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2

2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	3
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
2.2. DEFINIÇÃO DE CORPO NEGRO	4
2.3. LEIS FUNDAMENTAIS	4
2.4. INTRODUÇÃO DE CONCEITO DE EMISSIVIDADE	6
2.5. PARÂMETRO QUE INFLUENCIAM A EMISSIVIDADE	8

3. MEDIÇÃO DE EMISSIVIDADE ATRAVÉS DE UM EMISSÓMETRO	13
3.1. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	13
3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	15
3.3. CUIDADOS ESPECIAIS NA MEDIÇÃO	16
3.4. CALIBRAÇÃO	17
3.5. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS PLANOS COM CONDUTIBILIDADE TÉRMICA ELEVADA	19
3.6. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS COM CONDUTIBILIDADE TÉRMICA BAIXA	20
3.7. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS QUE NÃO PODEM SER COLOCADOS SOBRE O DISSIPADOR DE CALOR	21
3.8. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS CILÍNDRICOS	21
3.9. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS RUGOSOS	22
3.10. PROCEDIMENTO PARA SUPERFÍCIES NÃO PLANAS	24
3.11. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS SEMITRANSSPARENTES	25
3.12. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO EMISSÓMETRO	25
3.13. MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	26

4. PROCEDIMENTO	27
4.1. OBJETIVOS	27
4.2. EQUIPAMENTOS	27
4.2.1. EMISSÓMETRO	27
4.2.2. OUTROS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS	27
4.3. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS E CONSIDERAÇÕES DE ENSAIO	29
4.4. PROCEDIMENTOS	35
5. RESULTADOS	43
5.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	43
5.1.1. PROCEDIMENTO P	44
5.1.2. PROCEDIMENTO BC	45
5.1.3. PROCEDIMENTO ND	46
5.1.4. PROCEDIMENTO ST	48
5.1.5. PROCEDIMENTO AI	48
5.1.6. PROCEDIMENTO AM	40
5.1.7. PROCEDIMENTO PBE	50
5.2. ANÁLISES DOS RESULTADOS	51
5.2.1. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES	52
5.2.2. ANÁLISE DAS VARIANTES	54
5.2.3. VALORES DA EMISSIVIDADE	55
5.2.4. COMPARAÇÃO COM VALORES DA LITERATURA	57
5.3. SÍNTESE CRÍTICA	60
6. CONCLUSÕES	61
6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS	61
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	65
ANEXO I FICHAS DE ENSAIO	

ANEXO II DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Condução, Convecção e Radiação (Adaptado de [1])	3
Figura 2.2 – Traçado da emitância espectral corpo negro em escala logarítmica (Adaptado de [1])	6
Figura 2.3 – Absorção, Reflexão e Transmissão [6]	7
Figura 2.4 – Variação da Emissividade com o comprimento de onda (Adaptado de [11]).....	8
Figura 2.5 – Comparação da emissão do corpo negro e de um corpo real. (a) Distribuição espectral. (b) Distribuição direcional (Adaptado de [1]).....	8
Figura 2.6 – Variação da emissividade com o ângulo de observação (Adaptado de [3])	10
Figura 2.7 – Variação da emissividade total com a temperatura de materiais não metais: borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5) (Adaptado de [11]).....	10
Figura 2.8 – Variação da emissividade total com a temperatura de metais (adaptado de [11]).....	11
Figura 2.9 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onde de materiais não metálicos: água (1); terra (2); plástico (3) [11]	11
Figura 2.10 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onda de metais: cobre (1); ferro (2); alumínio (3); prata (4). [11]	11
Figura 2.11 – Variação da emissividade com a condição da superfície (Adaptado de [11])	12
Figura 3.1 – Partes constituintes do emissómetro [13]	13
Figura 3.2 – Adaptadores opcionais: (1) Modelo padrão AE-AD1; (2) Modelo padrão AE-AD3; (3) Modelo padrão AE-ADP; (4) Adaptador personalizado [13].....	15
Figura 3.3 – Esquema do emissómetro [14].....	16
Figura 3.4 – Procedimento para a calibração do emissómetro [13]	18
Figura 3.5 – Gráfico das leituras do emissómetro em função do tempo [13].....	20
Figura 3.6 – Procedimento para a determinação da emissividade numa superfície cilíndrica usando folha de alumínio (adaptado de [13])	22
Figura 3.7 –Gráfico da variação da emissividade em função da distância [13]	23
Figura 3.8 – Compasso de Calibre [13].....	24
Figura 3.9 – Emissómetro com o adaptador de manga e com padrões de referência cilíndricos [13]. .	24
Figura 4.1 – Calibração do emissómetro.....	36
Figura 4.2 – Procedimento “P”.	36
Figura 4.3 – Procedimento “BC”.	37
Figura 4.4 – Procedimento “ND”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no último ponto ..	38
Figura 4.5 – Procedimento “ST”.....	39
Figura 4.6 – Procedimento “AI”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro	

ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto..... 40

Figura 4.7 – Procedimento “AM”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto..... 41

Figura 4.8 – Procedimento “PBE”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto..... 42

Figura 5.1 – Ficha de ensaio exemplificativa – AM-I1.11. 44

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito	8
Quadro 4.1 – Equipamentos utilizados nas medições	28
Quadro 4.2 – Amostras	29
Quadro 4.3 – Procedimentos de ensaios adotados em função do tipo de amostra	35
Quadro 4.4 – Variantes do ensaio com o emissómetro	39
Quadro 5.1 – Resultados dos ensaios com o procedimento P	45
Quadro 5.2 – Resultados dos ensaios com o procedimento BC	45
Quadro 5.3 – Resultados dos ensaios com o procedimento ND.....	46
Quadro 5.4 – Resultados dos ensaios com o procedimento ST.....	48
Quadro 5.5 – Resultados dos ensaios com o procedimento AI	48
Quadro 5.6 – Resultados dos ensaios com o procedimento AM.....	49
Quadro 5.7 – Resultados dos ensaios com o procedimento PBE	51
Quadro 5.8 – Comparação das medições por material.....	53
Quadro 5.9 – Análise comparativa da emissividade em função das Variantes	54
Quadro 5.10 – Principais medidas estatísticas para materiais isolantes	55
Quadro 5.11 – medidas estatísticas para materiais diversos.....	56
Quadro 5.12 – Principais medidas estatísticas para materiais de suporte	57
Quadro 5.13 – Principais medidas estatísticas para materiais de espessura reduzida	57
Quadro 5.14 – Comparação da emissividade medida com os valores da literatura	58
Quadro 5.15 – Resultados da aplicação dos Testes Estatísticos.....	59

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

c – Velocidade da luz [3×10^8 m/s]

d – Deslocamento médio [polegadas]

D – Distância máxima [polegadas]

e – Número de Euler [-]

h – Constante de Planck [$6,626 \times 10^{-34}$ J.S]

H – Hipótese para testes estatísticos [-]

I – Intensidade [$W/m^2.sr$]

K – Constante de Boltzmann [$1,381 \times 10^{-23}$ J/K]

q_r'' - Quantidade de calor [W/m^2]

n_i – Observações ao nível i [-]

N – Tamanho da amostra [-]

p – Valor de p dos testes estatísticos [-]

Q – Constante do detetor do emissómetro [-]

r – Raio da curvatura [polegadas]

R_i – Soma das ordens dos n_i [-]

R_0 – Emissividade do material para o método transiente [-]

V – Tensão de saída do voltímetro

V_{alta} – Tensão de saída do voltímetro do padrão de referência de alta emissividade

V_{baixa} – Tensão de saída do voltímetro do padrão de referência de baixa emissividade

W – Emitância espectral de um corpo negro

x – Espessura do material [m]

T – Temperatura [K]

α - Absorção espectral [-]

δ - Direção da radiação térmica [°]

ϵ – Emissividade [-]

$\epsilon_{\lambda\theta}$ – Emissividade direcional espectral [-]

ϵ_{alta} – Emissividade do padrão de referência de alta emissividade [-]

ϵ_{baixa} – Emissividade do padrão de referência de baixa emissividade [-]

ϵ_{bd} – Leitura da emissividade do padrão de referência de baixa emissividade medida no deslocamento escolhido [-]

ϵ_{ad} - Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade medida no deslocamento escolhido [-]

ϵ_{λ} – Emissividade hemisférica espectral [-]

ϵ_i – Emissividade lida no voltímetro do emissómetro [-]

ϵ_{θ} – Emissividade total direcional [-]

θ – Direção do corpo negro [°]

λ – Comprimento de onda [μm]

λ – Condutibilidade térmica [W/mK]

σ – Constante de Stephan-Boltzmann [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$]

ρ - Reflexão espectral [-]

τ - Transmissão espectral [-]

ϕ – Quantidade de radiação emitida por um corpo negro [W/m^2]

ACRÓNIMOS

D&S – Devices and Services Company

ABREVIATURAS

esp – Espessura

Ref - Referência

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Para temperaturas acima do zero absoluto, todos os materiais emitem radiação térmica. A emissividade é uma propriedade dos materiais que rege a transmissão de radiação e, portanto, condiciona a temperatura superficial. Materiais com menor emissividade vão emitir menor quantidade de radiação térmica e a sua temperatura superficial será maior.

Apesar de existirem valores disponíveis na literatura para vários materiais, muitas vezes não podem ser utilizados porque não se conhecem as suas características nem as condições em que foi determinada a emissividade

Sem o conhecimento exato e fiável da emissividade de um material é difícil de determinar a temperatura exata de uma superfície. Equipamentos como pirómetros e câmaras de infravermelho, utilizados para medir temperaturas usando a radiação térmica, implicam o conhecimento da emissividade. Estes equipamentos são importantes para o diagnóstico quantitativo de edifícios ou de estruturas de engenharia civil, por termografia de infravermelhos.

A emissividade também é importante para a simulação higrotérmica avançada, sendo um dos parâmetros de entrada das ferramentas disponíveis. Este aspeto releva a grande importância do conhecimento da emissividade, visto haver, cada vez mais, uma maior preocupação com a eficiência energética e o conforto térmico de um edifício.

Um estudo sobre as variações emissividade de um material devido à degradação das superfícies pode ser útil em muitas outras situações, tais como mapeamento térmico de estradas ou diagnóstico de isolamento para construção.

1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO

A emissividade da superfície de um material depende de muitas propriedades químicas e físicas, sendo difícil de avaliar. Existem vários métodos para a sua determinação, alguns mais precisos que outros.

O objetivo principal do trabalho desenvolvido na presente dissertação consistiu na determinação da emissividade de vários materiais utilizados na construção civil, utilizando o emissómetro, e entender se a medição era influenciada por algumas variantes como o ângulo com a horizontal e o tipo de apoio onde era colocada a amostra. Para atingir este objetivo, definiu-se um conjunto de tarefas e objetivos parciais, que a seguir se sintetizam:

- Estudo do funcionamento do emissómetro e do seu modo de utilização. Estudo sobre que género de amostras poderiam ser avaliadas e todos os procedimentos de medição possíveis;
- Seleção de amostras de diferentes materiais utilizados na construção civil que pudessem ser ensaiados com o emissómetro, ou seja, amostras com superfícies lisas e com área de superfície suficiente para a realização dos procedimentos de ensaio;
- Exploração de variantes possíveis ao ensaio utilizando o equipamento em estudo, de modo a determinar se a emissividade era influenciada pelas mesmas;
- Realização de um conjunto de medições para cada amostra, havendo várias medições para cada ensaio de forma a detetar possíveis erros de medição;
- Realização de alguns ensaios que não estão de acordo com a norma para o procedimento de determinação da emissividade com o emissómetro, para avaliar as diferenças obtidas;
- Análise dos resultados das medições efetuadas e determinação dos valores da emissividade para cada amostra;
- Análise dos resultados provenientes dos ensaios com as variantes e determinação das limitações do emissómetro;
- Comparações entre os valores obtidos e os valores tabelados da emissividades das amostras.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

O texto encontra-se organizado em cinco capítulos cujos conteúdos são os seguintes:

- Capítulo 1 – Introdução ao tema, onde é abordado a seu enquadramento, mostrando importância do assunto, bem como os seus objetivos, organização e estratégia para alcançar os objetivos;
- Capítulo 2 – Apresentam-se os conceitos, as leis fundamentais, os parâmetros que regem a emissão de radiação pelos corpos sólidos e que são fundamentais para a compreensão da emissividade. Apresentam-se todos os constituintes do emissómetro, equipamento utilizado nas medições, descreve-se o seu funcionamento, cuidados necessários na manutenção e procedimento para a sua calibração e para a medição em função dos diferentes tipos de materiais. Por fim, são apresentadas as vantagens e limitações do emissómetro;
- Capítulo 3 – Descreve os ensaios realizados, caracterizando as amostra utilizadas, tal com as dimensões, condutibilidade térmica e emissividade de acordo com a literatura. Descreve o equipamento utilizado e são pormenorizadamente descritos todos os procedimentos de ensaio. Também são apresentadas as variantes dos ensaios e os seus respetivos procedimentos;
- Capítulo 4 – Apresenta os resultados dos ensaios experimentais para todas as amostras, assim como os resultados dos ensaios com as variantes. Comentam-se observações e casos especiais. Analisam-se estatisticamente as quatro medições de cada ensaio para verificar se podem ser consideradas iguais. Analisam-se também estatisticamente os resultados dos vários ensaios para cada amostra para verificar se podem ser considerados iguais. Determina-se a emissividade média para cada amostra e compara-se com os valores da literatura. Termina com uma síntese crítica onde se expõem as conclusões mais relevantes;
- Capítulo 5 – Apresenta as principais conclusões deste estudo e os desenvolvimentos futuros para uma melhor avaliação deste método.
- Anexos – Contêm todas as fichas dos ensaios e todos os procedimentos.

2

Transferência de calor por radiação

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Um corpo não contém calor, o calor é um fenómeno transitório.

Transferência de calor ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre dois pontos, sendo que a energia térmica (calor) é transferida de um ponto para outro até que se encontre um equilíbrio térmico. A transferência de temperatura dá-se sempre do ponto com temperatura superior para o ponto com temperatura inferior [1,2,3].

Esta transferência pode ocorrer de três modos: condução, convecção e radiação (Figura 2.1).

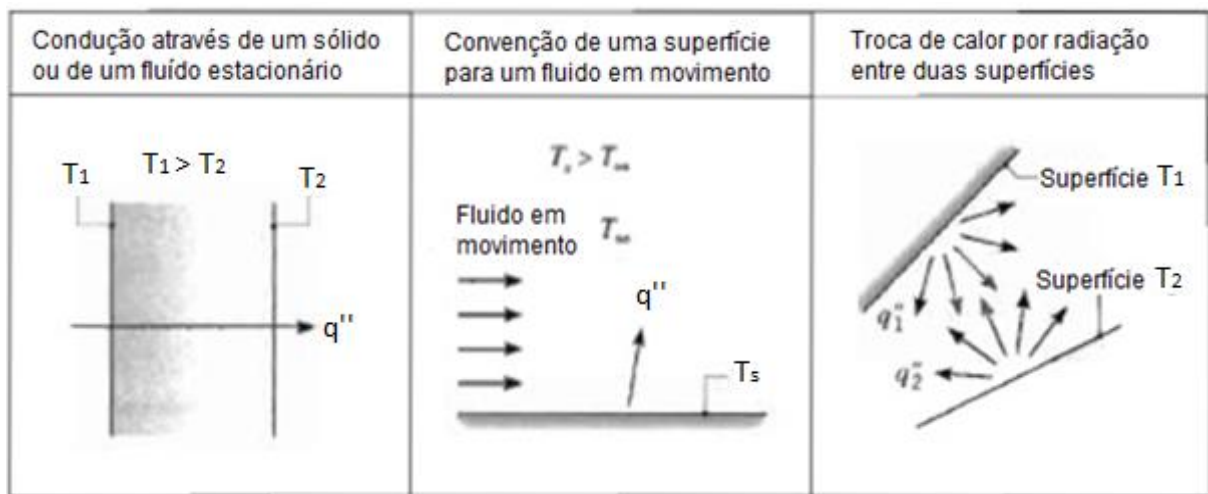


Figura 2.1 – Condução, Convecção e Radiação (adaptado de [1])

A condução ocorre nos sólidos e nos fluídos. Na condução não há transporte de matéria, estando associada à transferência de calor ao nível molecular. Nos corpos com maior temperatura, as moléculas têm maior energia cinética e, quando colidem com as moléculas do corpo a temperatura mais baixa, cedem parte dessa energia. Esta transmissão é propagada molécula a molécula, ao longo de todo o corpo ou corpos que estejam em contacto direto. É dependente da condutibilidade térmica do material, da diferença de temperaturas, da qualidade da superfície de contacto e da área de superfície, que afetam a rapidez da transferência de calor [1,2,4].

Quando a transferência de calor ocorre entre uma superfície sólida e um fluido ou gás em movimento, designa-se por convecção. É um processo de transporte de energia que depende fundamentalmente do movimento do próprio fluido. Existe a convecção forçada, no caso do movimento ser provocado por agentes externos, e existe a convecção natural, quando o movimento é provocado por diferenças de densidade do próprio aquecimento do fluido. A energia transferida por unidade de tempo, é afetada pela densidade do fluido, velocidade do fluido, diferença de temperatura, rugosidade da superfície [2,4,5].

Ao contrário da condução e da convecção, que necessitam de um meio físico, a transferência de calor por radiação não necessita da presença de um meio. Todas as superfícies com temperaturas diferentes do zero absoluto emitem energia na forma de onda eletromagnética. No vácuo, a transferência de energia é mais rápida, ocorrendo à velocidade da luz e não sofre atenuação. A energia não é transportada ponto a ponto no interior do meio, estando relacionada com as oscilações ou transições dos elétrons que constituem os átomos, iões ou moléculas. A transferência de calor por radiação é afetada pela diferença de temperatura, distância ao corpo quente, emissividade do material e fatores atmosféricos. Uma maior diferença de temperatura, menor distância e maior emissividade aumentam a rapidez da transferência [1,3,6].

2.2. DEFINIÇÃO DO CORPO NEGRO

Analisar a transferência de calor por radiação é difícil devido à reflexão, isto é, um feixe de radiação pode ser refletido várias vezes, com reflexão parcial a ocorrer em cada superfície, antes de ser completamente absorvido. Para facilitar esta análise criou-se o conceito de corpos negros, que são corpos teóricos que não refletem radiação [5].

Um corpo negro é considerado o perfeito absorvedor e emissor, pois absorve toda a radiação incidente, independentemente da direção e do comprimento de onda, e emite mais energia que qualquer superfície para uma determinada temperatura e comprimento de onda, além de ainda ser um emissor difuso, visto a emissão ocorrer em todas as direções. [1,7].

Não existe nenhum objeto com as propriedades exatamente iguais às de um corpo negro, mas consegue-se obter propriedades bastante aproximadas de duas maneiras: utilizando-se um revestimento absorvente perfeito ou criando-se uma cavidade praticamente fechada, cuja temperatura interior é uniforme. O primeiro caso consiste na utilização de pinturas ou tratamentos de superfície que permitam que um determinado objeto tenha o comportamento de um corpo negro. O caso da cavidade praticamente fechada, baseia-se na criação de uma cavidade dentro de um sólido, cuja ligação ao exterior se realiza por um orifício com dimensão bastante inferior ao da cavidade. Deste modo, qualquer radiação que entra no orifício é refletida por tempo indeterminado ou absorvido e é improvável que saia do sistema, fazendo com que seja um absorvente quase perfeito [1,8].

2.3. LEIS FUNDAMENTAIS

Existem três leis fundamentais que regem a emissão de radiação por um corpo negro:

- Lei de Stephan-Boltzmann (relaciona a temperatura com a energia);
- Lei de Planck (relaciona a energia com o comprimento de onda);
- Lei do deslocamento de Wien (relaciona a temperatura com o comprimento de onda).

A Lei de Stephan-Boltzmann descreve a energia transmitida por radiação por um corpo negro em função da sua temperatura. Esta lei estabelece que a energia total transferida por radiação, por unidade de área de superfície de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura [1,9]:

$$q_r'' = \sigma * T^4 \quad (2.1)$$

onde σ é a constante de Stephan-Boltzmann e tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, q_r'' é a quantidade de calor transferido por radiação, por unidade de área, em W/m^2 e T é a temperatura em Kelvin.

Quanto maior for a temperatura do corpo negro, maior será a energia transferida por radiação.

Graficamente, a Lei de Stephan-Boltzmann é representada pela área abaixo da curva de Planck para uma determinada temperatura (Figura 2.2).

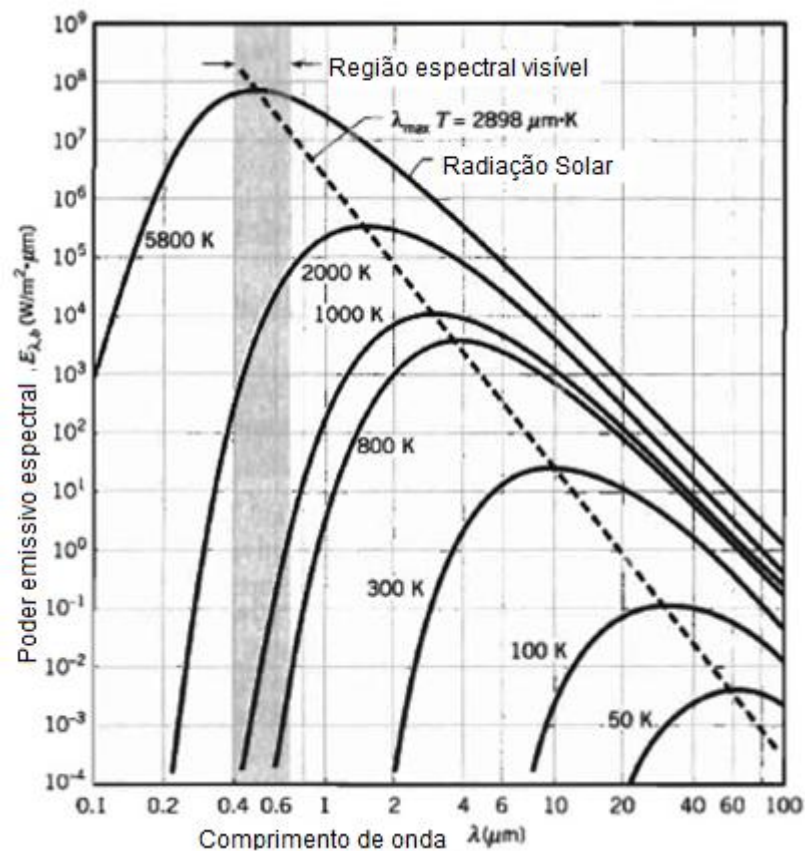


Figura 2.2 – Traçado da emitância espectral corpo negro em escala logarítmica (adaptado de [1])

A Lei de Planck descreve a quantidade de energia emitida por um corpo negro, em equilíbrio térmico, a uma temperatura definida para cada comprimento de onda λ . A equação 2.2, descreve a distribuição espectral da radiação de um corpo negro [1]:

$$W(\lambda, T) = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1]} \quad (2.2)$$

onde λ é o comprimento de onda em metros, T é a temperatura do corpo negro em Kelvin, h é a constante de Planck e tem o valor de $6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, c é a velocidade da luz e tem o valor de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$,

K é a constante de Boltzmann tendo o valor de $1,381 \times 10^{-23}$ J/K e $W(\lambda, T)$ é a emitância espectral do corpo negro radiante no comprimento de onda λ .

A Figura 2.2 permite observar que a radiação emitida pelo corpo negro varia continuamente com o comprimento de onda, com a intensidade da radiação emitida a aumentar com o aumento da temperatura [1].

A Lei do Deslocamento de Wien é a lei física que relaciona a temperatura e o comprimento de onda onde ocorre a máxima emissão de energia [1]:

$$\lambda_{\max} = 2898/T \quad (2.3)$$

onde T é a temperatura em Kelvin e λ o comprimento de onda (μm).

Ao observar a Figura 2.2, verifica-se que a distribuição espectral máxima e o seu correspondente comprimento de onda máximo dependem da temperatura. Com o aumento da temperatura, o poder emissivo de potência máximo desloca-se para comprimentos de onda mais pequenos [1].

2.4. INTRODUÇÃO DE CONCEITO DE EMISSIVIDADE

O corpo negro é um corpo teórico, logo os corpos reais não se comportam com tal, apesar se poderem comportar de forma semelhante para determinados intervalos espectrais [2].

Num corpo real, quando a radiação atinge uma superfície, uma fração é absorvida (α), uma fração é refletida (ρ) e uma fração é transmitida (τ), como se pode verificar na Figura 2.3. E, para um dado comprimento de onda, a soma destas frações é a totalidade da radiação sendo, por isso, igual à unidade [2,10].

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.4)$$

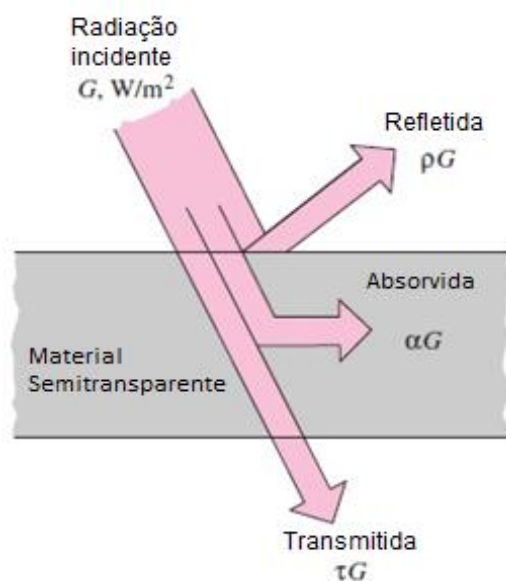


Figura 2.3 – Absorção, Reflexão e Transmissão [6]

A absorção espectral α traduz a razão entre a radiação absorvida pelo objeto e a radiação total incidente, para um dado comprimento de onda. [2,10].

A reflexão espectral ρ traduz a razão entre a radiação refletida pelo objeto e a radiação total incidente, dependendo do tipo de material, das propriedades da superfície e da temperatura [10].

A transmissão espectral τ traduz a razão entre a radiação transmitida e a radiação total incidente, dependendo da espessura e tipo do material, sendo que a maioria dos materiais tem transmissão nula [10].

Para a mesma temperatura e comprimento de onda, relativamente a um corpo negro, um objeto tem, também, a capacidade de emitir energia infravermelha, definindo-se, deste modo, o conceito de emissividade ε [2].

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia emitida pelo corpo real}}{\text{Energia emitida pelo corpo negro}} \quad (2.5)$$

Segundo a Lei de Kirchhoff, para uma determinada temperatura e um dado comprimento de onda, para qualquer material, a emissividade espectral e a absorção espectral de uma superfície são iguais [10]:

$$\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda) \quad (2.6)$$

Pode-se, então, definir a fórmula da lei da conservação da energia, $\alpha + \rho + \tau = 1$ (2.4), da seguinte forma:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (2.7)$$

A emissividade determina a maior ou menor quantidade de energia que um corpo emite num dado comprimento de onda. Pode variar entre os valores 0 e 1, dependendo de vários fatores como as propriedades da superfície e a temperatura do objeto. Materiais metálicos com superfícies brilhantes têm baixa emissividade enquanto que materiais não metálicos têm emissividade mais elevada [10].

A maior parte dos objetos reais comportam-se como corpos cinzentos, sendo um corpo cinzento um objeto de transmissão nula e cuja emissividade é constante para todos os comprimentos de onda (Figura 2.4). Objetos como superfícies polidas e brilhantes são corpos cinzentos com baixa emissividade e reflexão elevada [2].

Corpos não cinzentos são corpos cuja emissividade varia com o comprimento de onda (Figura 2.4), existindo reflexão e transmissão de radiação infravermelha. Exemplos deste género de corpos são vidro, gases, filme de plástico fino e materiais óticos [2].



Figura 2.4 – Variação da Emissividade com o comprimento de onda (adaptado de [11])

A aplicação da Lei de Stephan-Boltzmann para corpos cinzentos e não cinzentos é dada por [10]:

$$q_r'' = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (2.8)$$

Pode-se, então, afirmar que a quantidade de calor transferido por radiação de um corpo cinzento é igual ao do corpo negro, para a mesma temperatura, mas reduzido proporcionalmente ao valor ε do corpo cinzento.

Como se mostra na tabela seguinte, alguns materiais apresentam valores particulares para os parâmetros de emissividade espectral, reflexão espectral e transmissão espectral [8,10]:

Quadro 2.1 – Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito

Material	Emissividade Espectral $\varepsilon(\lambda)$	Reflexão Espectral $\rho(\lambda)$	Transmissão Espectral $\tau(\lambda)$
Corpo Negro	1	0	0
Corpo Transparente	0	0	1
Espelho Perfeito	0	1	0
Superfície Opaca	$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$		0
Corpo Cinzento	$\varepsilon(\lambda) = \text{constante}$	$\rho(\lambda) = \text{constante}$	

2.5. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A EMISSIVIDADE

A radiação espectral emitida por uma superfície real difere da distribuição de Planck, pois a distribuição direcional de radiação não é, geralmente, difusa, dependendo da direção da emissão, como ilustrado na Figura 2.5. A emissividade pode assumir valores diferentes em função do comprimento de onda, da direção, ou das médias integradas sobre os comprimentos ou direções [1].

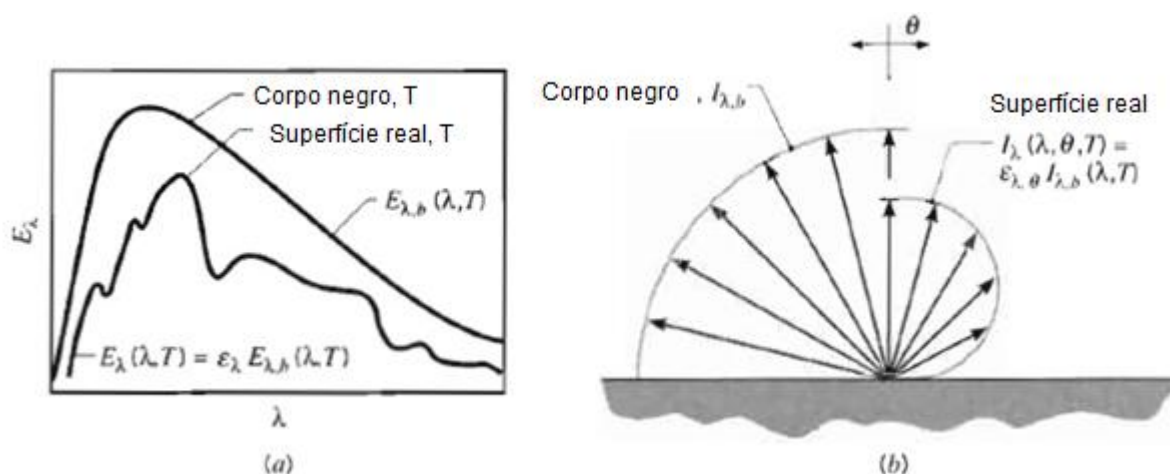


Figura 2.5 – Comparação da emissão do corpo negro e de um corpo real. (a) Distribuição espectral. (b) Distribuição direcional (Adaptado de [1])

Define-se emissividade direcional espectral de uma superfície a uma temperatura T como a razão entre a intensidade da radiação emitida pela superfície no comprimento de onda λ e na direção θ e φ e a intensidade de radiação emitida por um corpo negro nos mesmos valores de T e λ :

$$\varepsilon_{\lambda\theta}(\lambda, \theta, \varphi, T) = \frac{I_{\lambda}(\lambda, \theta, \varphi, T)}{I_{\lambda}(\lambda, T)} \quad (2.9)$$

Onde λ e θ são usados para designar quantidades espectral e direcional respetivamente [1].

A emissividade total direcional é definida de forma semelhante, usando intensidades totais (intensidades integradas sobre todos os comprimentos de onda) [1]:

$$\varepsilon_{\theta}(\theta, \delta, T) = \frac{I(\theta, \delta, T)}{I(T)} \quad (2.10)$$

Na prática, é normalmente mais conveniente trabalhar com propriedades hemisféricas, isto é, propriedades de radiação média sobre todas as direções. Tendo em conta que o integral da radiação emitida num dado comprimento de onda específico, por unidade de área superficial ao longo de todo o hemisfério, é o poder emissivo espectral, a emissividade hemisférica espectral pode ser expressa como sendo a razão entre a radiação média emitida no comprimento de onda λ considerando a contribuição de todas as direções θ e φ , e a radiação emitida pelo corpo negro nos mesmos valores de T e λ . [1]:

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{E_{\lambda}(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)} \quad (2.11)$$

A emissividade de um material para um dado comprimento de onda λ pode variar com a temperatura, uma vez que a distribuição espectral da radiação emitida (e, portanto, a quantidade de radiação emitida) também varia com a temperatura [3].

A emissividade hemisférica total de uma superfície a uma dada temperatura T representa a média sobre todos os possíveis comprimentos de onda e direções e é definida como sendo a razão entre a radiação média emitida considerando a contribuição de todos os comprimentos de onda λ e as contribuições de todas as direções θ e φ , e a radiação emitida pelo corpo negro na mesma temperatura [1]:

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) E_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda}{\sigma \times T^4} \quad (2.12)$$

Um dos parâmetros que faz com que a emissividade varie é o ângulo de observação. Como referido anteriormente, os corpos reais não apresentam uma emissão perfeitamente difusa. Superfícies não planas apresentam uma emissividade aparente, que, apesar de não haver alteração do material, varia de ponto para ponto. Como se pode observar na Figura 2.6, para materiais não condutores, até um ângulo de 60° em relação à perpendicular à superfície, a emissividade mantém-se quase constante. Para materiais condutores, a variação da emissividade é quase nula até aos 40° , havendo um aumento acentuado para ângulos superiores [3].

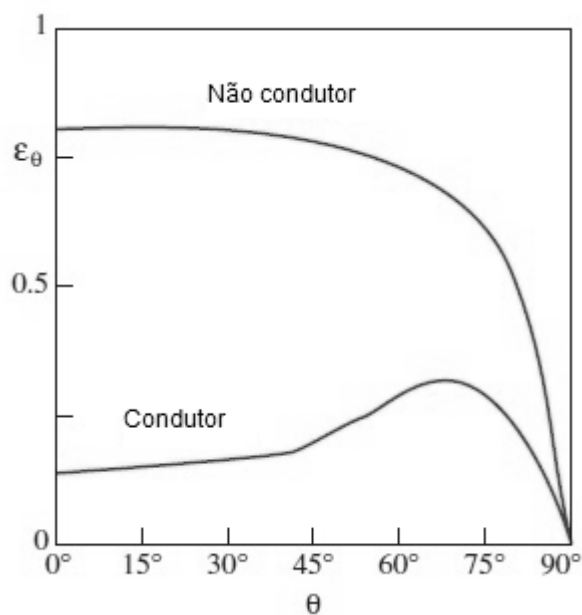


Figura 2.6 – Variação da emissividade com o ângulo de observação (Adaptado de [3])

Para materiais não metais, a emissividade total, $\epsilon(T)$, diminui com o aumento da temperatura, uma vez que o índice de refração deste tipo de materiais aumenta com a temperatura (Figura 2.7).

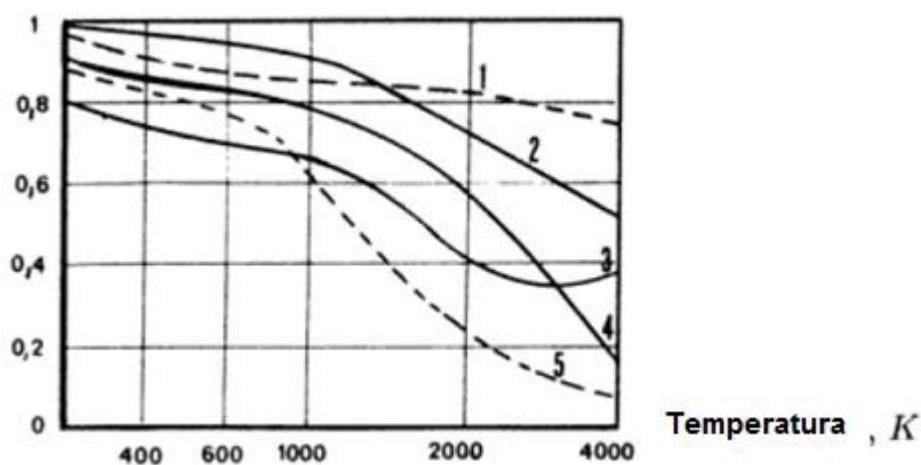


Figura 2.7 – Variação da emissividade total com a temperatura de materiais não metais: borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5) (Adaptado de [11])

Através da Figura 2.8 pode-se afirmar que, nos metais, a emissividade aumenta com a temperatura. Com o aumento da temperatura, a condutibilidade elétrica diminui, sendo provocado pelo movimento térmico da estrutura molecular que produz um aumento da emissividade [11].

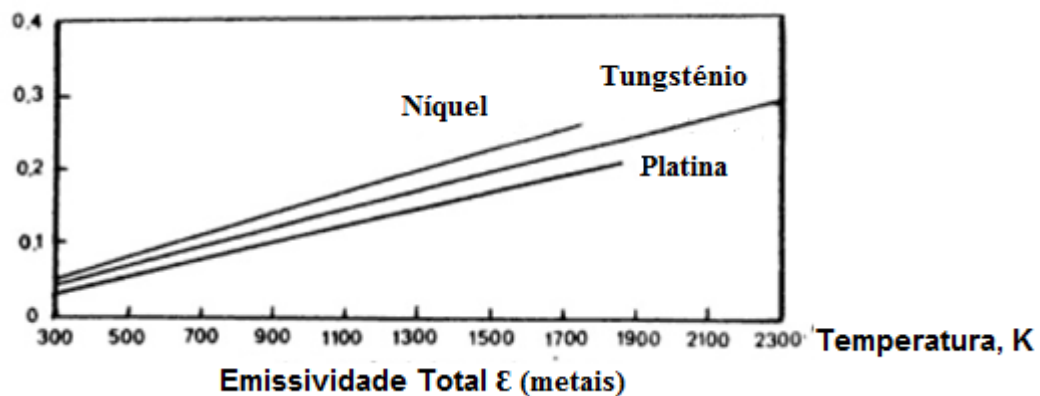


Figura 2.8 – Variação da emissividade total com a temperatura metais (Adaptado de [11])

Para materiais não metálicos, a emissividade tende a aumentar até determinado comprimento de onda, diminuindo após esse comprimento de onda (Figura 2.9). No caso de metais, a emissividade tende a diminuir com o aumento do comprimento de onda (Figura 2.10). Para materiais sólidos, a emissividade varia lentamente com o comprimento de onda, enquanto que para gases e líquidos sofre flutuações mais acentuadas [11].

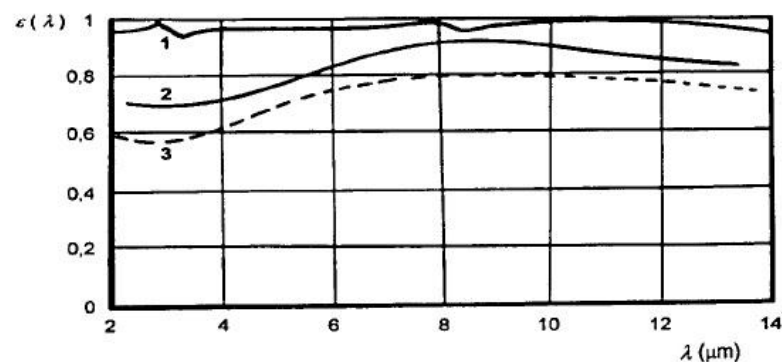


Figura 2.9 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onda de materiais não metálicos: água (1); terra (2); plástico (3) [11]

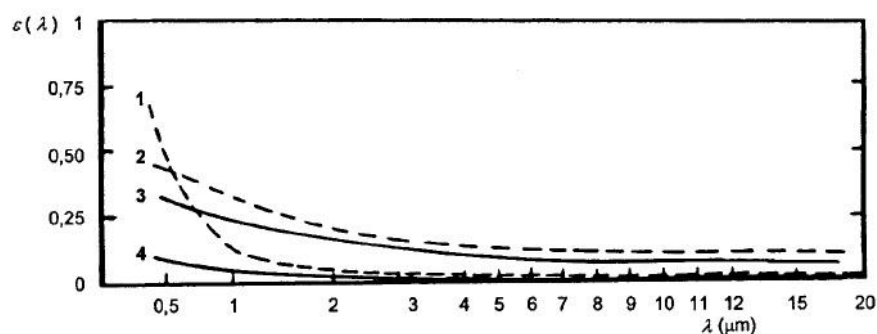


Figura 2.10 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onda de metais: cobre (1); ferro (2); alumínio (3); prata (4) [11]

A emissividade também é influenciada pela geometria da superfície e pelas alterações de forma. A emissividade de um material diminui se a forma desse mesmo material for convexa e aumenta se esta for côncava [9].

Um outro parâmetro que influencia significativamente a emissividade é o estado do material. Nos metais, o nível de oxidação faz variar a emissividade como se mostra na Figura 2.11. A emissividade varia proporcionalmente com a oxidação, ou seja, quanto menor o nível de oxidação, menor o valor da emissividade [11].

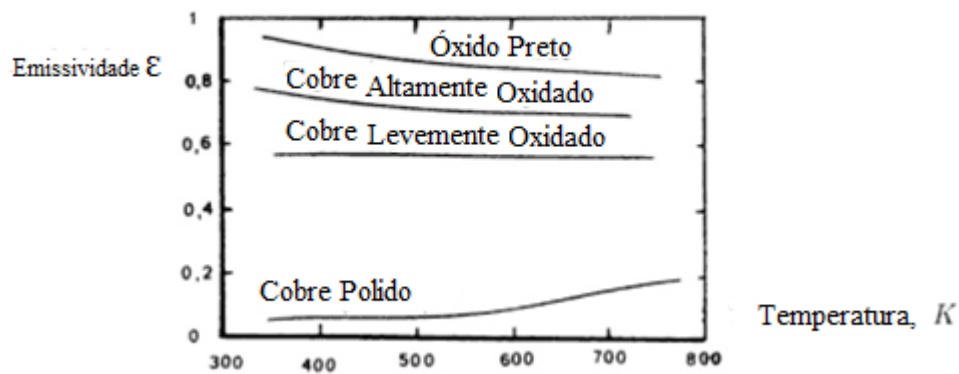


Figura 2.11 – Variação da emissividade com a condição da superfície (Adaptado de [11])

3

Medição de emissividade através de um emissómetro

3.1. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Na Figura 3.1 mostra as diferentes partes constituintes do equipamento [13,14]:

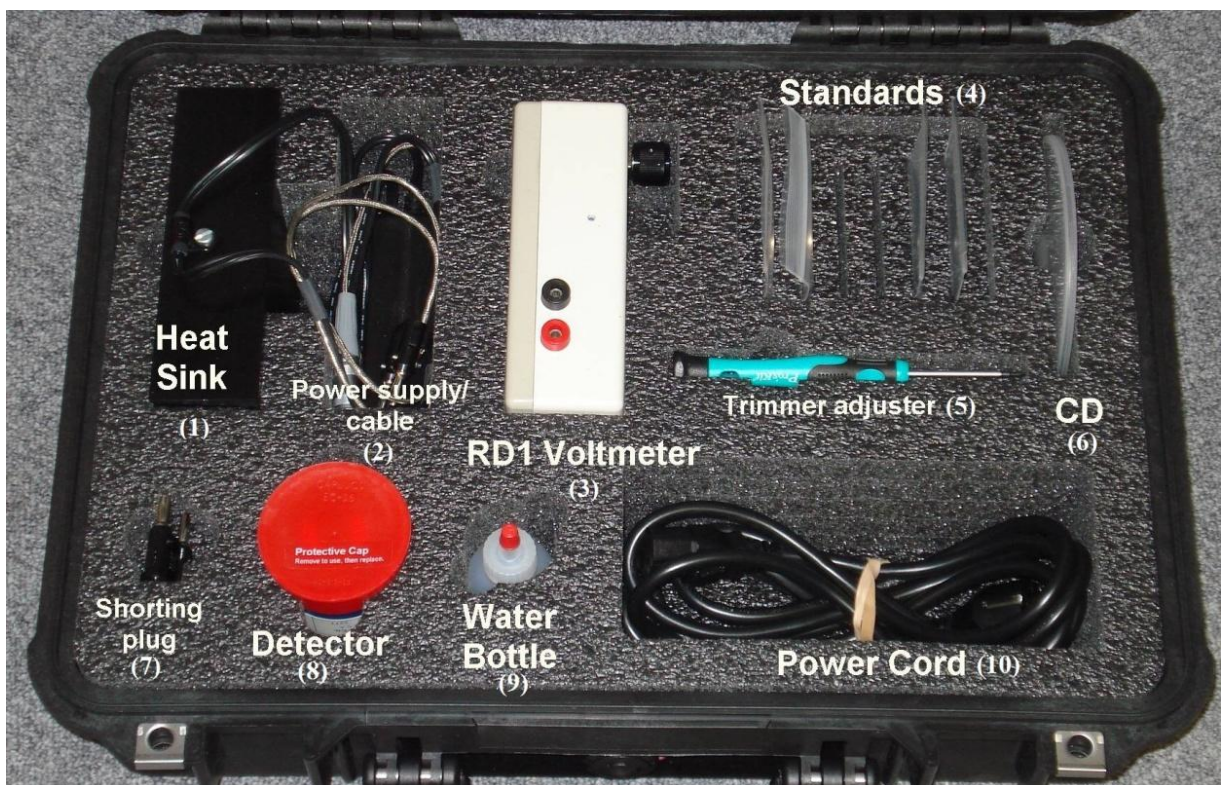


Figura 3.1 – Partes constituintes do emissómetro [13]

- 1) Dissipador de calor - Superfície com uma área de $0,10 \times 0,15 \text{ m}^2$ onde se colocam as amostras que vão ser analisadas; tem como função manter as amostras a uma temperatura uniforme próxima da temperatura ambiente, enquanto se aplica o detetor aquecido;
- 2) Fonte de alimentação;
- 3) Voltímetro RD1 – Voltímetro digital com escala que permite que o valor da emissividade da amostra seja lido diretamente sem serem necessários cálculos;

- 4) Padrões de referência de alta e baixa emissividade – Os padrões de referência de alta emissividade são em alumínio anodizado de cor preta com emissividade de 0,88, e os padrões de referência de baixa emissividade são em latão niquelado brilhante, com uma emissividade de 0,05. Estes padrões têm como função a calibração do aparelho que deve ser sempre realizada antes das medições. São fornecidos 2 conjuntos de padrões, em que um conjunto deve ser o que se utiliza sempre que se realize uma medição e o outro conjunto deve ser guardado para comparação periódica com os primeiros.
- 5) Ferramenta de ajuste – Chave-de-fendas que tem como função ajustar a cabeça de medição e parafusos no voltímetro durante a calibração, quando os valores medidos são diferentes dos valores padrão.
- 6) CD – Contém o manual do equipamento, o certificado de calibração e notas técnicas.
- 7) “Shorting Plug” – Utilizado para levar o voltímetro a zeros;
- 8) Detetor de energia radiante com uma pilha termoelétrica – permite o aquecimento dos sensores até 75°C, garantindo uma diferença de temperatura entre o detetor e a amostra. É composto por elementos com elevada e baixa emissividade, que produzem uma tensão de saída proporcional à diferença de temperatura causada por diferentes quantidades de energia térmica emitida e absorvida por cada um. O detetor é projetado para ter uma saída de tensão que varia linearmente com a emissividade do material a medir. Os sensores são facilmente danificáveis pelo que é necessário especial cuidado no manuseamento do detetor.
- 9) Recipiente com água – A água é utilizada como um fluido de transferência de calor entre o dissipador de calor e a amostra, preenchendo os espaços entre os dois;
- 10) Cabo de alimentação.

A versão corrente do emissómetro apenas permite determinar a emissividade de superfícies planas e com condutibilidade térmica elevada. Opcionalmente, também poderão ser adquiridos adaptadores para fazer a medição da emissividade noutro tipo de materiais. Alguns desses adaptadores opcionais podem ser observados na Figura 3.2 [13].

O adaptador (1) tem um diâmetro de 3,5 cm e é utilizado para amostras de pequena dimensão, para superfícies com saliências/reentrâncias ou com objetos fixados que reduzem o espaço disponível para a medição com o detetor corrente. O adaptador (2) tem um diâmetro de 1,9 centímetros e é utilizado nas mesmas situações do adaptador (1). O adaptador (3) pode ser utilizado em amostras com baixa condutibilidade térmica, em superfícies cilíndricas cujo raio é maior de 5 centímetros, em superfícies ásperas ou texturadas e em amostras pequenas, tendo um diâmetro de entrada de 3,5 centímetros. O adaptador (4) deve utilizado em superfícies cilíndricas de pequeno diâmetro. Adaptadores para outras geometrias também podem ser concebidos [13].

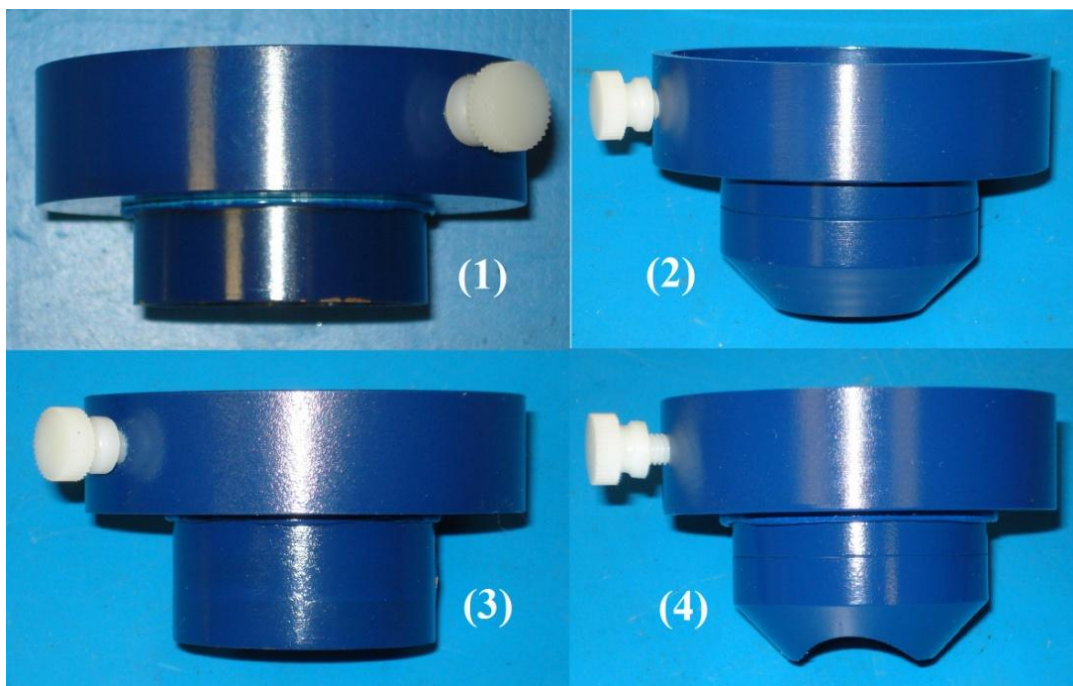


Figura 3.2 – Adaptadores opcionais: (1) Modelo padrão AE-AD1; (2) Modelo padrão AE-AD3; (3) Modelo padrão AE-ADP; (4) Adaptador personalizado [13]

Um outro componente extra que poderá ser adquirido consiste numa bateria que permite que o emissómetro seja portátil. Esta bateria traz incluído um cabo que pode ser conectado ao computador ou à bateria portátil [13].

3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Este método de ensaio consiste na utilização de uma pilha termoeétrica diferencial para a determinação da emissividade hemisférica de determinados materiais. O diferencial da pilha termoeétrica é constituído por uma pilha termoeétrica coberta com um revestimento preto com alta emissividade e por outra pilha termoeétrica com um revestimento refletor com baixa emissividade (Figura 3.3). O detetor é aquecido e a amostra está à temperatura ambiente. Esta diferença de temperatura origina transferência de calor por condução, convecção e radiação entre eles. As pilhas termoeétricas, que são os sensores do emissómetro, vão medir a diferença de temperatura entre as zonas de alta e baixa emissividade na superfície. Considera-se que a transferência de calor por condução e convecção é igual para ambas as zonas de baixa e alta emissividade e, portanto, a leitura do emissómetro irá apenas depender da transferência de calor por radiação. A energia incidente na superfície do detetor é a soma da energia emitida pela amostra mais a energia que é emitida pela superfície do detetor e depois refletida pela amostra de volta para o detetor. A diferença na perda de calor entre as zonas de baixa e alta da emissividade é aproximadamente uma função linear da emissividade da amostra [13,14, 15].

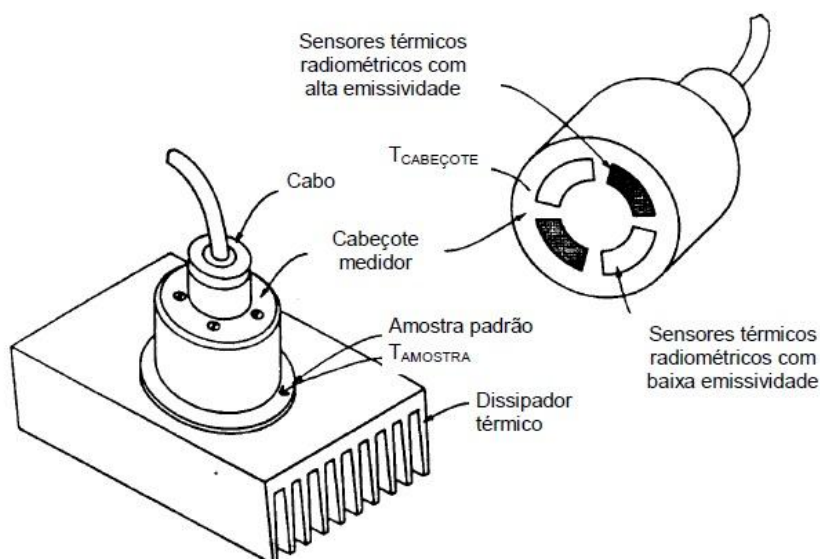


Figura 3.3 – Esquema do emissómetro [14]

A amostra do material a ser estudado é colocado sobre o dissipador de calor e a sua emissividade é quantificada pela comparação direta com a emissividade dos padrões de referência. Uma vez que a temperatura absoluta é conhecida e o fluxo de calor é medido, e visto que o aparelho é calibrado em relação aos padrões de referência de emissividade conhecida, à mesma temperatura da amostra a ser medida, a tensão de saída do voltímetro pode ser calculada a partir da seguinte equação [13,14]:

$$V = \frac{Q \times \sigma \times (T_{amostra}^4 - T_{detetor}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{amostra}} + \frac{1}{\epsilon_{detetor}} - 1} \quad (2.13)$$

Onde V é a tensão de saída do voltímetro, Q é a constante do detetor, σ é a constante de Stefan-Boltzman, T é a temperatura absoluta e ϵ é a emissividade.

O emissómetro trabalha para temperaturas desde os -10°C até aos 40°C .

3.3. CUIDADOS ESPECIAIS NA MEDIÇÃO

Um aspeto fundamental para garantir a precisão da medição é de a temperatura do material em estudo ter de ser igual à temperatura dos dois padrões quando o instrumento for calibrado, e mais importante ainda, deve ser igual à do padrão de referência de alta emissividade com a qual a amostra vai ser comparada no processo de medição. Não se pode deixar o emissómetro sobre os padrões de referência, pois se tal acontecer, vai aquecê-los, o que resultará numa diferença de temperatura entre os padrões de referência e a amostra. Por esse motivo, deve-se ter o cuidado de retirar o emissómetro de cima dos padrões quando não se está a efetuar a medição [13].

Também não se deve deixar o detetor no dissipador de calor quando não está a ser utilizado, para evitar o sobreaquecimento dos padrões de referência. Deve-se sempre verificar que nem o detetor nem os padrões de referência estão diretamente expostos a nenhuma fonte de calor ou frio [13].

Se se estiverem a utilizar adaptadores, deve-se colocar o adaptador sobre o detetor e apertar os parafusos plásticos para o fixar corretamente. Depois calibrado o detetor mais adaptador, não se pode mudar a posição do adaptador [13].

Outros cuidados a ter prendem-se com o facto da amostra do material a ser testado dever ser recolhida o mais próximo possível do momento de realização do teste para não haver alteração do material que possa interferir com a leitura da emissividade. Também se deverá ter o cuidado da superfície da amostra não ser exposta a nenhum fluxo de ar ou líquido, que não faça parte do processo previsto para a medição [14].

A razão entre a condutibilidade térmica e a espessura da amostra deve ser maior do que $1100 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, correspondendo a uma resistência térmica inferior a $0,00091 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Por exemplo, se material de amostra é vidro, com uma condutibilidade térmica de cerca de $1,0 \text{ W/mK}$, então espessura da amostra deve ser inferior a $0,91 \text{ mm}$ [14].

3.4. CALIBRAÇÃO

A calibração é um conjunto de operações, realizadas em condições de utilização, que permitem o ajuste do equipamento para que os valores fornecidos durante o processo de calibração coincidam com os valores previstos para as amostras de referência. A calibração é uma função importante para a qualidade das leituras. Através dela, é possível quantificar os erros sistemáticos que o equipamento apresenta, assim como avaliar o comportamento do aparelho, podendo-se, deste modo, diminuir os erros e conseguir resultados mais fiáveis [16,17].

O emissómetro é calibrado usando dois padrões de referência, um com uma alta emissividade e outro com uma baixa emissividade, que são colocados sobre a superfície plana do dissipador de calor [14].

Deve-se repetir a calibração pelo menos uma vez a cada trinta minutos, para minimizar erros devido a mudanças na temperatura da amostra e temperatura ambiente. Se as medições forem feitas sobre superfícies não horizontais, a calibração deve ser efetuada no mesmo ângulo da medição [13].

Para efetuar a calibração de um emissómetro, deve-se seguir os seguintes passos [13,14]:

1. Ligar o emissómetro ao cabo de alimentação e depois a uma fonte de alimentação e deixar o detetor aquecer durante 30 minutos numa posição lateral, para que a eventual humidade adsorvida no revestimento do detetor seja eliminada.
2. Ao colocar o interruptor na posição “variable”, o dimensionamento apropriado dos valores de entrada é garantido através do “variable gain knob”. O “variable gain knob” não tem qualquer efeito na posição “milivolts”.
3. Rodar totalmente o “variable gain knob” no sentido horário. Colocar o “dual banana plug” nas tomadas laterais, ajustar o voltímetro para o valor de 0.00, utilizando a chave de fendas fornecida, como indicado na Figura 3.4 (a).
4. Colocar os dois padrões de alta e baixa emissividade sobre o dissipador de calor. O contato térmico entre os padrões e o dissipador de calor é melhorado se se preencher os espaços de ar com água destilada ou outro material de alta condutância (Figura 3.4 (d)). A quantidade de água não deverá ser excessiva para não interferir com as amostras. Deixar espaço livre à volta do dissipador de calor para permitir a passagem de ar de modo a que a temperatura do dissipador de calor seja o mais próximo possível da temperatura ambiente.
5. Colocar o detetor em cima do padrão de referência de alta emissividade. Fixar durante, pelo menos, 90 segundos para a leitura no voltímetro estabilizar. Utilizar o “variable gain knob” do

- voltímetro para que a leitura corresponda ao valor correto da emissividade do padrão de referência (Figura 3.4 (b)).
- Colocar o detetor em cima do padrão de referência de baixa emissividade e esperar novamente 90 segundos para a leitura estabilizar. Usar a chave-de-fendas para ajustar, no “offset trimmer” do detetor, o valor da leitura até ser obtido o valor correto (Figura 3.4 (c)). Contudo, se se estiver a usar um adaptador, então o ajuste da leitura deve ser realizado no “voltmeter offset” e não no detetor, uma vez que o ajuste necessário para a combinação detetor mais adaptador é considerável e o ajuste através do detetor não tem alcance suficiente
 - Rodar o “variable gain knob” do voltímetro quando o detetor está no padrão de referência de alta emissividade e ajustar com o “offset trimmer” do detetor, com a ajuda da chave de fendas, quando este estiver em cima do padrão de referência de baixa emissividade (a não ser que se esteja a utilizar um adaptador, sendo que, nesse caso, ajusta-se sempre no voltímetro). Colocar o detetor no padrão de referência da emissividade alta e repetir os passos 5 e 6 até que o detetor ao ser mudado de um padrão para o outro, não necessite de ajuste na leitura.

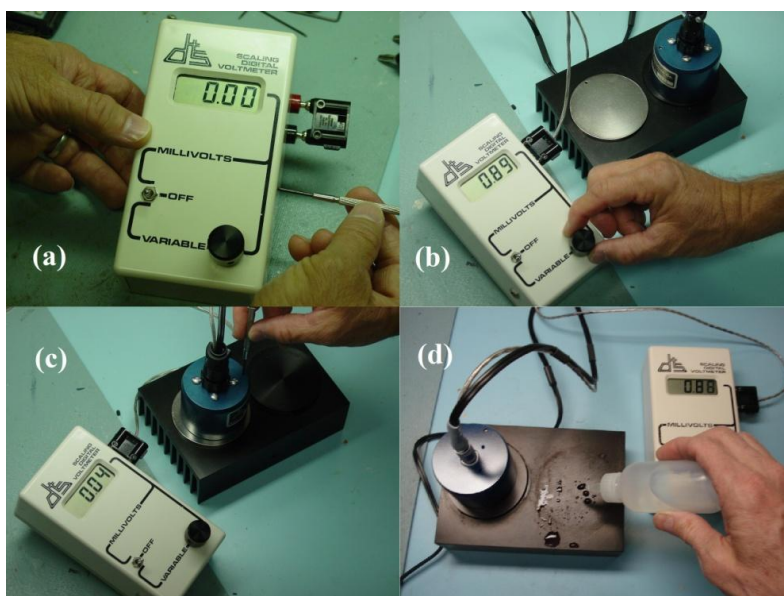


Figura 3.4 – Procedimento para a calibração do emissómetro [13]

Se não for possível calibrar o emissómetro frequentemente, deve-se colocar, entre medições, o detetor sobre o padrão de referência de alta emissividade e fixá-lo, durante cerca de dois minutos, para que a leitura estabilize. Se a leitura não for a correta, rodar o “variable gain knob” no voltímetro para ajustar a leitura até ao valor correto. [13].

No caso de os padrões de referência se danificarem ou se perderem, poderá utilizar-se como padrão de referência de baixa emissividade o papel de alumínio de cozinha. Uma folha de alumínio tem uma emissividade de 0,03 quer no lado brilhante, quer no lado mate e, para usá-la como padrão de referência, basta ter uma quantidade suficiente para cobrir metade do dissipador de calor, aplicando água suficiente entre eles para garantir um bom contato. A folha de alumínio deve ser alisada sobre o dissipador de calor com um tecido macio ou um pano limpo [13].

Para o padrão de referência de alta emissividade, pode-se utilizar uma folha de alumínio pintada com tinta preta fosca. O papel de alumínio deve ser pintado com várias camadas de tinta e estar completa-

mente coberto. Uma vez que a emissividade da tinta varia, é necessário determiná-la utilizando padrões de referência fornecidos [13].

3.5. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS PLANOS COM CONDUTIBILIDADE TÉRMICA ALTA

Este procedimento aplica-se a materiais planos, com condutibilidade térmica alta, que possam ser colocados em cima do dissipador de calor e pouco espessos, de a que a superfície do material não altere a sua temperatura devida à energia térmica absorvida a partir do emissómetro durante a medição. A razão λ/x deve ser maior do que $1000 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, onde λ é a condutibilidade térmica e x é a espessura do material. Para outros materiais que não os referidos, foram desenvolvidas técnicas especiais que serão apresentadas no § 2.6.6 [13,14,15]:

1. Ligar o emissómetro e deixar aquecer o detetor durante 30 minutos. É importante esperar os 30 minutos para que se tenha a certeza que toda a possível humidade adsorvida pelo revestimento do detetor seja eliminada.
2. Verificar a calibração do emissómetro. Se não estiver calibrado, proceder à calibração conforme descrito no § 2.6.4.
3. Colocar o interruptor no modo “variable”. Este passo é importante porque, se o interruptor não estiver no modo variável, o ajuste com o “variable gain knob” não tem efeito.
4. Colocar o padrão de referência de alta emissividade e a amostra sobre o dissipador de calor. Para as amostras não-higroscópicas, utilizar algumas gotas de água destilada ou outro material de alta condutibilidade para melhorar o contacto térmico entre a amostra e o dissipador de calor. Não se pode utilizar água com amostras higroscópicas, como papel. Aguardar durante, pelo menos, 90 segundos para que as temperaturas se estabilizem.
5. Colocar o detetor sobre o padrão de referência de alta emissividade e esperar até que a leitura no voltímetro estabilize e utilizar o “variable gain knob” no voltímetro para obter uma leitura igual à emissividade do padrão de referência.
6. Colocar o detetor por cima da amostra e esperar que a leitura estabilize.
7. Repetir os passos 5 e 6 até que a leitura com o detetor sobre o padrão de emissividade alta for a correta. De seguida, colocar o detetor sobre a amostra e o valor da emissividade será o indicado pelo voltímetro.

Para materiais que não sejam planos e com boa condutibilidade térmica, foram criadas técnicas especiais para a determinação das emissividades com o emissómetro. No Anexo II estão descritos detalhadamente os procedimentos de ensaio para os diferentes tipos de material.

Para estes procedimentos especiais, são usados adaptadores no detetor, tendo sido alguns destes adaptadores já apresentados no § 2.6.1. Para a sua correta utilização, deve-se colocar o adaptador no detetor e apertar os dois parafusos de plástico apenas o suficiente para que este não se solte. Deve também garantir-se que o detetor está corretamente ajustado à parte inferior do adaptador e, antes de se iniciarem as medições, deve-se esperar 15 minutos para que o adaptador aqueça [13].

No caso de o adaptador ser utilizado numa superfície inclinada, deve-se colocar uma película de polietileno, fornecida pelo fabricante, sobre a superfície do detetor, de modo a evitar erros causados por transferência de calor por convecção. Antes de colocar a película, deve-se deixar o detetor aquecer durante pelo menos 30 minutos, para permitir que toda a humidade adsorvida no revestimento do detetor seja libertada [13].

3.6. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS COM CONDUTIBILIDADE TÉRMICA BAIXA

Para medir materiais com baixa condutibilidade térmica, deve utilizar-se o adaptador AE-ADP (ver Figura 3.2 (3)), que tem a vantagem de reduzir a carga térmica sobre a amostra. A combinação da carga de calor reduzida com um menor diâmetro de contacto faz com que seja possível utilizar o método de deslizamento com uma área de amostra menor.

Ao colocar o detetor sobre a amostra a temperatura em toda a sua superfície começará a aumentar quando o detetor se move de ponto para ponto. O aumento da temperatura ao longo da amostra depende da condutibilidade térmica e da espessura do material. Se a superfície da amostra ou dos padrões de referência não estiverem à mesma temperatura quando a leitura do detetor estabiliza, um erro será introduzido na medição. Assumindo condições de estado em equilíbrio, consegue-se estimar esse erro. A emissividade correta é:

$$\varepsilon = \varepsilon_i + 0.856 \times \frac{x \times \varepsilon_i}{\lambda} \times (1 + 1,25 \times \varepsilon_i) \quad (2.14.)$$

onde ε é a emissividade real, ε_i é a emissividade lida no emissómetro, x é a espessura do material e λ é a condutibilidade térmica do material. Para que esta correção não seja utilizada, podem-se realizar métodos específicos para a determinação da emissividade.

Para este tipo de materiais existem dois métodos para a determinação da emissividade em materiais de baixa condutibilidade [13,15]:

- Método transiente – Este método consiste em colocar o detetor sobre um ponto da amostra, colocada sobre o dissipador de calor, e, durante dois a três minutos, ir apontando os valores da emissividade e o tempo que passou desde que se pousou o detetor sobre a amostra até a essa leitura. De seguida, desenha-se um gráfico das emissividades lidas em função do tempo e determina-se o seu valor real definindo uma reta tangencial até ao eixo das ordenadas, sendo o valor “Ro” o valor da emissividade do material (Figura 3.5)

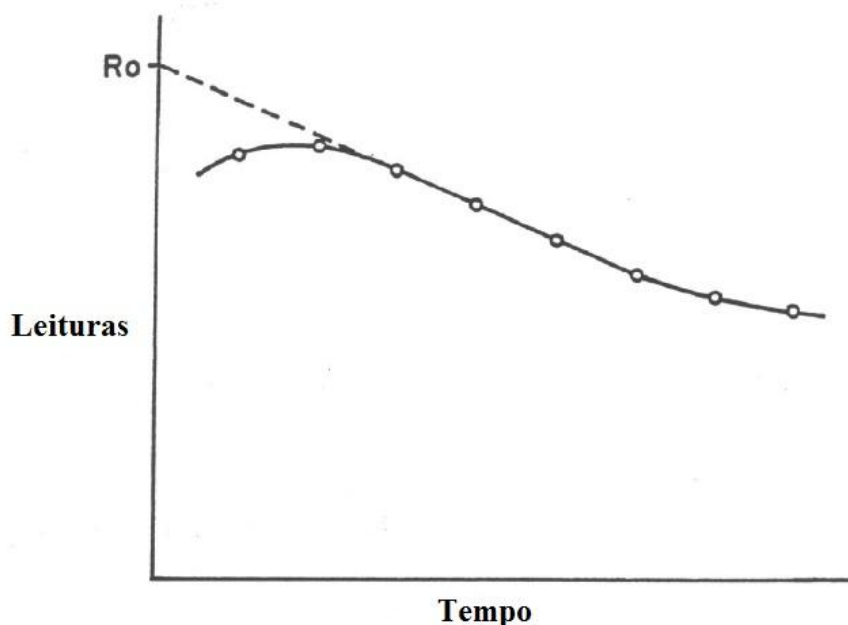


Figura 3.5 – Gráfico das leituras do emissómetro em função do tempo [13]

- Método de deslizamento – Utiliza-se sempre que as medições da emissividade precisam ser feitas num material in situ ou numa amostra de tamanho grande que não pode ser colocada no dissipador de calor. Este método assegura que a temperatura da superfície seja igual à dos padrões de calibração e evita ter que se fazer uma correção da leitura da emissividade do voltímetro. Para tal, deverá segurar-se o detetor sobre um canto da amostra durante 20 segundos, até a leitura estabilizar. Durante esse tempo, a superfície aquece diretamente por baixo do detetor e, portanto, a leitura emissividade será menor do que deveria ser. Portanto, tem-se deslizar o detetor para outro canto da amostra, o que vai permitir fazer uma outra leitura numa área onde a temperatura é a correta e, portanto, a leitura da emissividade vai aumentar um pouco e estar mais próxima do valor correto pois é preciso menos tempo para a superfície aquecer. Após 15 segundos, mover para o terceiro canto e depois para o quarto. Deve ter-se o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies para não ocorrerem erros na leitura. A leitura máxima obtida no quarto ponto é o valor da emissividade do material. Para ter uma média de várias leituras, efetuar novas medições, começando e acabando em diferentes pontos da amostra.

3.7. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS QUE NÃO PODEM SER COLOCADOS SOBRE O DISSIPADOR DE CALOR

Neste caso, também se deve utilizar o método de deslizamento. Contudo, como a amostra tem de estar à mesma temperatura que o padrão de referência, terá de se usar uma ventoinha, que deve ser ligada alguns minutos antes de se fazer a calibração e virada para o dissipador de calor com os padrões de referência em cima, para que a medição esteja nas mesmas condições que a calibração do emissómetro. A ventoinha deve ser desligada antes do início da calibração e respetivo ensaio. O detetor com o adaptador deve ser fixado num canto da amostra durante cerca de 20 segundos e, em seguida, deve deslizar-se para outro ponto. Mover para cada local diferente subsequente após cerca de 15 segundos, ou mais frequentemente, se o tamanho da amostra for suficiente. Deve ter-se o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies para não ocorrerem erros na medição. A leitura máxima obtida no último ponto, após um minuto, é o valor para essa medição única. Para ter uma média de várias leituras, fazer nova medição, a começar e acabar em diferentes pontos da amostra [13].

3.8. PROCEDIMENTO PARA SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS

Em superfícies cilíndricas, a amostra e o detetor não ficam justapostos, logo a superfície não é corretamente irradiada pelo detetor aquecido. Também existe a possibilidade do fluxo de ar, causado pelo espaço livre entre o detetor e a superfície, alterar a leitura da emissividade. Para controlar os erros de medição, deve utilizar-se um adaptador personalizado para geometrias de superfícies não planas. O adaptador fica selado contra a superfície, assegurando um contacto adequado e prevenindo que haja um fluxo de ar na superfície do detetor.

Neste caso, pode-se utilizar o adaptador AE-ADP, pois o menor diâmetro reduz os erros devido à geometria da superfície não-plana e garante o alinhamento do detetor. Deve-se ligar o adaptador de forma simétrica para minimizar os erros devido ao alinhamento do detetor. A posição dos parafusos deve ser usada para alinhar o detetor com o eixo da superfície cilíndrica, o que minimizará os erros [13].

Para evitar que o fluxo de ar sobre a superfície do detetor deve utilizar-se, durante a medição, um fole flexível entre o adaptador e a superfície de forma a vedar a superfície cilíndrica. O fole só deve ser

aplicado depois de feita a calibração com o adaptador aplicado e depois de efetuada a primeira leitura sobre o padrão de referência de alta emissividade. Para superfícies cilíndricas com emissividade superior a 0,80 e raio de curvatura superior a 5 centímetros pode-se utilizar a técnica de deslizamento se a amostra for suficientemente grande para tal, sendo necessário fazer a seguinte correção à leitura final [13]:

$$\varepsilon = \varepsilon_i - 0.167 \times \frac{(1 - \varepsilon_i^2)}{r^{1.32}} \quad (2.15)$$

Onde ε é a emissividade da superfície, ε_i é a emissividade lida no voltímetro e r é o raio da curvatura em polegadas.

Outro procedimento para determinação da emissividade de superfícies cilíndricas, independentemente do seu raio de curvatura, consiste em fazer a medição da emissividade do material utilizando papel de alumínio para o padrão referência de baixa emissividade e papel de alumínio pintado de preto para o padrão de referência de alta emissividade, como se mostra da Figura 3.6. As emissividades de ambas as folhas de alumínio aplicadas sobre o dissipador de calor, devem ser determinadas antecipadamente utilizando os padrões de referência fornecidos com o emissómetro. De seguida, deve-se fazer a calibração do equipamento utilizando as folhas de alumínio coladas sobre o material, seguindo-se o procedimento apresentado anteriormente para este tipo de materiais. Deve-se alinhar o detetor com o eixo da superfície cilíndrica e, que para estas medições, pode ser necessário utilizar o método de deslizamento, de modo a compensar o aquecimento da superfície. Neste caso, não é necessário fazer nenhuma correção do valor da emissividade devido ao facto dos padrões de referência estarem aplicados na mesma geometria [13].



Figura 3.6 – Procedimento para a determinação da emissividade numa superfície cilíndrica usando folha de alumínio (adaptado de [13])

3.9. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS RUGOSOS

Para uma superfície plana rugosa, os sensores do emissómetro distanciar-se-ão da superfície, sendo que parte do perímetro do detetor pode não estar em contacto perfeito com a superfície do material. Devido ao espaço entre o detetor e a superfície, haverá uma perda de energia refletida [13].

O gráfico da Figura 3.7 mostra um exemplo da variação da emissividade de diferentes amostras com a distância a partir da entrada do detetor, usando um adaptador:

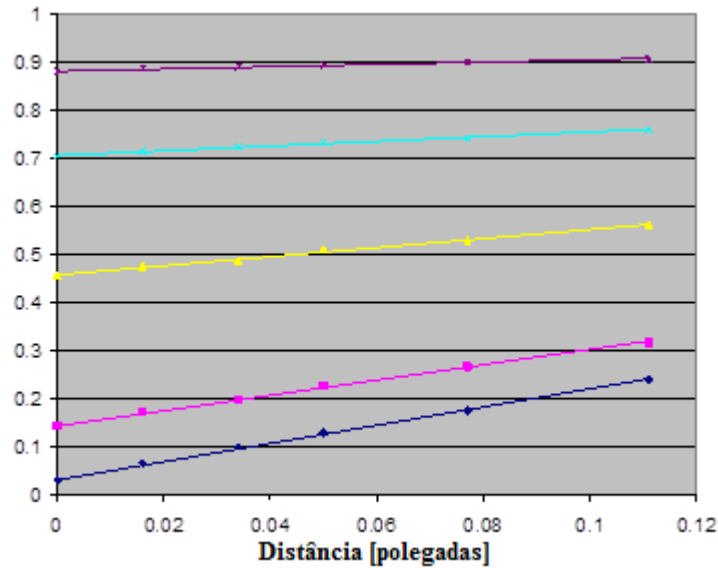


Figura 3.7 – Gráfico da variação da emissividade em função da distância [13]

Observando a Figura 3.7, pode-se concluir que a variação da emissividade com a distância é aproximadamente linear. Os padrões de referência devem ser medidos para um deslocamento máximo nominal escolhido para um determinado instrumento e adaptador.

Para efetuar a medição em materiais devem fazer-se várias medições nesse mesmo ponto para distâncias diferentes e apontar esses valores. Fazer o mesmo para outros pontos e apontar sempre os valores das leituras para cada distância. De seguida, deve-se fazer uma correção dos valores, utilizando a seguinte equação:

$$\varepsilon = (\varepsilon_{alta} - \varepsilon_{baixa}) \times \frac{\varepsilon_{amostra} - \varepsilon_{baixa}}{\varepsilon_{alta} - \varepsilon_{baixa}} + \varepsilon_{baixa} \quad (2.16)$$

em que,

$$\varepsilon_{baixa} = \varepsilon_{baixa} + (\varepsilon_{bd} - \varepsilon_{baixa}) \times \frac{d}{D} \quad (2.17)$$

$$\varepsilon_{alta} = \varepsilon_{alta} + (\varepsilon_{ad} - \varepsilon_{alta}) \times \frac{d}{D} \quad (2.18)$$

Onde ε_{bd} é a leitura da emissividade do padrão de referência de baixa emissividade medida no deslocamento escolhido, ε_{ad} é a leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade medida no deslocamento escolhido, D a máxima distância escolhida e d o deslocamento médio da superfície da amostra.

Para estimar o deslocamento médio da amostra a partir da entrada do adaptador pode ser utilizado deve considerar-se a distância entre o “ombro” do adaptador até à superfície, como se pode verificar na Figura 3.8. Ao medir pontos aleatórios na superfície e subtraindo a altura do adaptador até ao “ombro”, o deslocamento médio da superfície pode ser determinado [13].



Figura 3.8 – Compasso de calibre [13]

3.10. PROCEDIMENTO PARA SUPERFÍCIES NÃO PLANAS

Para superfícies não planas, deve-se utilizar o adaptador do género manga que se pode observar na Figura 3.9. A função do adaptador de manga é o de proporcionar uma relação geométrica entre a superfície não plana e o emissómetro. Para este tipo de superfícies, também se podem pedir a alguns fornecedores padrões de referência com a mesma geometria da superfície não plana [13].

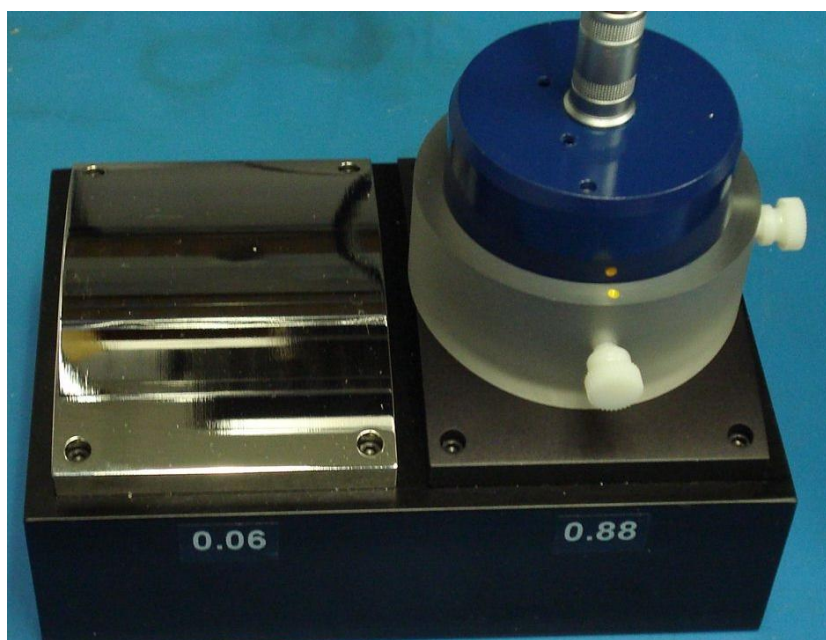


Figura 3.9 – Emissómetro com o adaptador de manga e com padrões de referência cilíndricos [13]

3.11. PROCEDIMENTO PARA MATERIAIS SEMITRANSSPARENTES

Uma vez que nos materiais semitransparentes a emissividade e a transmissão são desconhecidas, durante a medição do material devem ser usados dois suportes diferentes da amostra, um com emissividade baixa e outro com emissividade alta. A emissividade é medida segundo o procedimento normal, contudo a leitura que aparece no voltímetro é a emissividade aparente dos dois materiais combinados. É necessário que ambos os materiais estejam à mesma temperatura e que os apoios e o material semitransparente tenham um bom contato térmico. Deve existir um vazio entre os apoios e a amostra semitransparente, para que o material semitransparente não aqueça. Para determinar a emissividade da amostra semitransparente é necessário utilizar as equações 2.19 e 2.20, caso os apoios tenham emissividades diferentes, conhecendo o valor da emissividade aparente da combinação da película com apoios de diferentes emissividades e as emissividades dos apoios.

$$\varepsilon_{a,alta} = \varepsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times (1 - \tau_{amostra} \times (1 - \varepsilon_{apoio})) \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_{a,baixa} = \varepsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times \frac{\varepsilon_{amostra}}{(\varepsilon_{amostra} + \tau_{amostra})} \quad (2.20)$$

Onde $\varepsilon_{a,alta}$ é a emissividade aparente da amostra semitransparente sobre o apoio de emissividade alta, $\varepsilon_{a,baixa}$ é a emissividade aparente da amostra semitransparente sobre o apoio de emissividade baixa, ε_{apoio} é a emissividade do apoio sem a amostra e $\tau_{amostra}$ é a transmissão da amostra.

Se os apoios tiverem a mesma emissividade, a emissividade aparente da combinação dos apoios de igual emissividade com a amostra é dada por:

$$\varepsilon_{aparente} = \varepsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times \frac{(1 - \varepsilon_{apoios})}{(1 - (1 - \varepsilon_{amostra} - \tau_{amostra}) \times (1 - \varepsilon_{apoios}))} \quad (2.21)$$

onde ε é a emissividade e τ a transmissão.

3.12. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO EMISSÓMETRO

Uma das principais vantagens é que é um ensaio não destrutivo que pode ser realizado em laboratório ou in situ.

Apesar de o detetor só ler a emissividade para superfícies planas e com condutibilidade térmica alta, foram concebidos adaptadores e técnicas especiais para se poder determinar a emissividade doutro tipo de materiais. Logo, pode-se afirmar que é um método de determinação da emissividade para uma grande gama de materiais.

Outra vantagem a referir é a facilidade da utilização. É bastante simples compreender os passos a seguir e o próprio detetor aquece com recurso à corrente elétrica, não sendo, portanto, necessário aquecer a amostra.

Este método de ensaio não pode ser usado em materiais altamente anisotrópicos ou transparentes à radiação infravermelha. Este método de ensaio também não pode ser utilizado em objetos com resistência térmica significativa [14].

Um emissómetro tem como função medir a emissividade hemisférica, contudo devido à geometria do detetor e às propriedades não difusas dos sensores, o detetor é mais sensível a ângulos perto da nor-

mal. Portanto, a resposta do detetor é proporcional a uma média ponderada ao longo de todas as direções e encontra-se entre o valor da emissividade normal e da emissividade hemisférica [13].

Uma limitação é o facto da exatidão do emissómetro depender principalmente da linearidade da tensão de saída do voltímetro com a emissividade e da exatidão dos valores da emissividade dos padrões de referência usados na calibração do emissómetro. Pequenos erros poderão ocorrer por a amostra ser medida à temperatura ambiente [13].

Existe um erro que não consegue ser eliminado com a calibração do emissómetro causado pela mudança da temperatura no detetor, que ocorre quando este é colocado no padrão de referência de baixa emissividade. A temperatura fica estável quando o detetor está sobre o padrão de referência de alta emissividade, contudo quando colocado sobre o padrão de baixa emissividade, a transferência de calor sofre uma diminuição rápida e a temperatura do detetor aumenta lentamente. Quando colocado novamente sobre o padrão de referência de emissividade alta, a leitura no voltímetro irá exceder, voltando ao normal de seguida. Isto provoca um erro pequeno nas leituras da emissividade, na ordem de 0,003 [13].

3.13. MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

Relativamente aos padrões de referência, deve-se ter os seguintes cuidados [13]:

- Usar um dos conjuntos como padrões de referência de serviço e colocar os outros num local seguro;
- Verificar, periodicamente, a emissividade dos padrões de referência de serviço com os padrões que foram postos de lado;
- Manter os padrões de referência de serviço tão limpos quanto possível;
- Evitar tocar nas superfícies;
- Se necessário, limpar com um detergente neutro e, em seguida, verificar com o conjunto de padrões reserva.

Relativamente aos adaptadores, a película refletora aplicada no seu interior poderá sujar-se / degradar-se com o tempo, o que irá aumentar a sua emissividade e degradação originar alterações no desempenho do adaptador. Esta película pode ser limpa usando um detergente suave, como detergente líquido para a louça e água da torneira. Se a película for danificada ou não puder ser limpa, o adaptador deve ser devolvido ao fornecedor que procederá à sua substituição [13].

No caso da aplicação de uma película transparente de polietileno, deverá ser verificada periodicamente para ver se está limpa e corretamente estendida sobre a superfície do emissómetro. Deve-se remover a película antes de se aquecer o emissómetro. Se o emissómetro for utilizado regularmente em superfícies inclinadas, pode ser mais conveniente deixar o emissómetro ligado continuamente para evitar a remoção e substituição da película.

Após utilização, deve-se guardar o detetor com a tampa de proteção para proteger a superfície do sensor da poeira e danos, assim como, deve-se evitar tocar na superfície de deteção pois o sensor é montado sobre um material frágil que pode danificado se for aplicada muita força.

4

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

4.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA

Definiu-se como objetivo principal deste trabalho a determinação da emissividade de vários materiais de construção, assim como a influência de variantes aos procedimentos de ensaio no valor da emissividade. Para tal, utilizou-se um emissómetro. Após a determinação dos resultados, analisou-se a variabilidade das quatro medições efetuadas para cada ensaio, verificou-se a influência de diferentes suportes no valor da emissividade de cada amostra e comparou-se os resultados obtidos com os valores da literatura.

4.2. EQUIPAMENTOS

4.2.1. EMISSÓMETRO

O equipamento utilizado foi o emissómetro D&S, modelo AE1 da empresa Devices & Services Company. O emissómetro AE1 foi concebido para medir a emissividade de superfícies planas com boa condutibilidade térmica e permite a realização de ensaios de acordo com a norma ASTM C1371 “Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature. Using Portable Emissometers.”.

A emissividade é obtida através da comparação direta da amostra com os padrões de referência de emissividade conhecida, fornecidos com o emissómetro. Como a saída de tensão do voltímetro varia linearmente com a emissividade, a escala variável do voltímetro, modelo RD1, lê diretamente o valor da emissividade [13].

Os constituintes do emissómetro, os princípios de funcionamento e os procedimentos de ensaio estão descritos no § 2.6.2.

4.2.2. OUTROS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

Outros equipamentos necessários para a realização das medições foram os seguintes:

- Régua;
- Fita métrica;
- Material de escrita;
- Máquina fotográfica;
- Ventoinha;
- Fichas de ensaio.

No quadro 4.1 descrevem-se os equipamentos utilizados.

Quadro 4.1 – Equipamentos utilizados nas medições

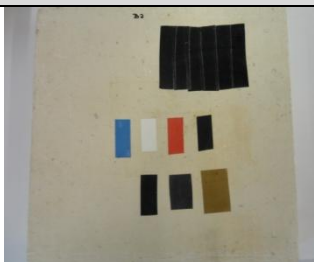
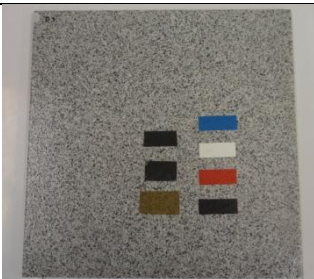
Nome	Fotografia	Descrição
Emissómetro		Emissómetro D&S Modelo AE1 Precisão de 2%
Ventilador rotativo		Ventoinha de pé de 20W Modelo FT-23E
Sensor de temperatura e humidade relativa		Marca Onset Modelo Hobo UX100-011 Precisão de $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$
Apoio inclinado		Suporte em MDF $\text{Ângulo} = 60^{\circ}$

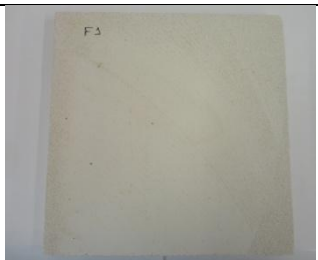
4.3. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS E CONDIÇÕES DE ENSAIOS

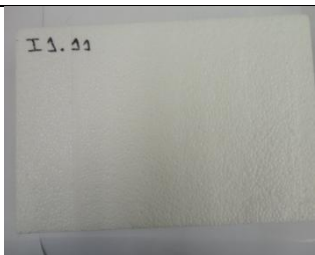
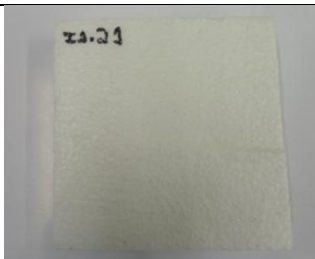
No quadro 4.2 apresentam-se as amostras utilizadas para determinar a emissividade, assim com as suas propriedades mais relevantes para a determinação da emissividade com o emissómetro. Para além das características das amostras, indica-se também a razão entre a condutibilidade e a espessura de cada amostra. Se esta razão for inferior a $1100 \text{ W/m}^2.\text{K}$, a amostra não está de acordo com a norma ASTM C1371 e, portanto, não pode ser usado o procedimento referido na norma. Para estes materiais, devem ser usados métodos especiais, como o método de deslizamento ou o método transiente, explicados no § 2.6.6 e § 2.6.7 [13,14].

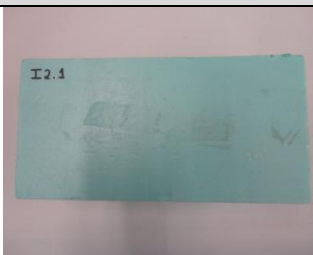
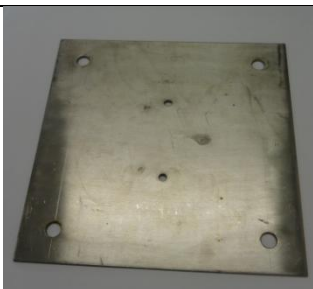
Quadro 4.2 – Amostras utilizadas

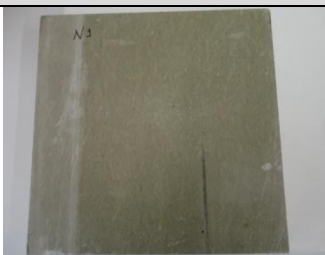
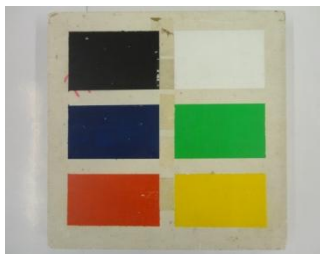
Ref ^a	Amostra	Secção (cm ²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m ² .K)	ε na literatura **	
A1	Madeira maciça Pinho		7,1x1,9	1,4	0,13	9	0,80- 0,90
A2.1	Madeira laminada não envernizada		5,0x6,7	0,8	0,09- 0,24	11-30	0,84- 0,96
A2.2	Madeira laminada envernizada		5,0x7,7	0,8	0,09- 0,24	11-30	0,84- 0,96
B1	Granito		30,0x30,0	2,0	2,8	140	0,85

Ref ^a	Amostra	Secção (cm ²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m ² .K)	ε na literatura **	
B2	Calcário		30,0x30,0	3,8	0,85- 2,3	22	0,95
C1	Argamassa de cimento		15,4x15,4	2,8	1,3- 1,8	46-64	0,87- 0,94
D1	Ladrilho Cerâmico		30,0x30,0	0,7	1,3	186	0,93
1A	Ladrilho cerâmico		15,5x15,4	0,7	1,3	186	0,90
1B	Ladrilho cerâmico		15,4x15,4	0,3	1,3	433	0,90

Ref ^a	Amostra	Secção (cm ²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m ² .K)	ε na literatura **	
1C	Ladrilho cerâmico		19,5x19,5	0,5	1,3	260	0,90
3ABC	Ladrilho cerâmico		15,8x15,6	0,6	1,3	217	0,93
E1	Cortiça		30,0x30,0	0,5	0,065	13	0,70
F1	Betão celular autoclavado		29,8x30,6	2,0	0,16- 0,27	8-14	-
G1	Tijolo Maciço		10,1x6,0	5,5	0,666	12	0,88- 0,93

Refª	Amostra	Secção (cm²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m².K)	ε na literatura **	
G2	Tijolo Furado		23,4x6,6	11,1	-	-	-
H1	Alcatifa		35,9x40,1	0,6	0,060	10	0,85- 1,00
I1.11	EPS		21,8x15,0	6,4	0,037- 0,055	0,6- 0,9	0,60
I1.21	EPS		10,0x9,8	2,0	0,037- 0,055	2-3	0,60
I1.12	EPS de baixa condutibilidade		21,9x15,1	6,3	-	-	-
I1.22	EPS de baixa condutibilidade		9,8x9,8	1,9	-	-	-

Refª	Amostra	Secção (cm²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m².K)	ε na literatura **	
I2	XPS		20,0x10,0	6,0	0,037	0,6	0,60
J1	Aço Inoxidável		20,0x20,0	0,1	17	17000	0,14- 0,18
L1	Vidro normal		113,1 (raio = 6cm)	0,1	1,4	1400	0,91- 0,94
M1	Cartão		6,6x7,7	0,5	-	-	0,81
M2	Cartão		44,5x13,0	0,1	-	-	0,81

Ref ^a	Amostra	Secção (cm ²)	Espessura (cm)	λ * (W/mK)	λ/esp (W/m ² .K)	ε na literatura **	
N1	Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)		30,0x30,2	3,1	0,22	7	-
P1	Vinílico		40,6x32,8	0,3	0,25	83	-
Q1	Papel de alumínio		13,3x6,0	-	-	-	0,03
R1	Tinta (sobre pedra calcária)	Preta	11,5x7,5		-	-	0,96
		Azul	11,5x6,8				0,94
		Vermelha	11,5x6,5				0,91
		Branca	11,3x7,3				0,90- 0,95
		Verde	11,3x6,8				0,92
		Amarela	11,3x6,6				0,90- 0,93
S1	Cartolina	Amarela	13,3x10,7		-	-	0,72
		Preta	13,5x10,4				0,90
		Verde	13,3x10,7				0,85
		Cinzenta	13,3x10,6				-

* [18,19,20,21]

** [8,17,21,22, 23,24,25]

Algumas das amostras tinham aplicadas fitas adesivas de várias cores. Estas fitas não foram utilizadas para os ensaios com o emissómetro nem são relevantes para o mesmo, contudo já se encontravam nas amostras e foram mantidas.

4.4. PROCEDIMENTOS

Os procedimentos adotados variaram em função dos diferentes tipos de amostras, de acordo com o apresentado no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Procedimentos de ensaios adotados em função do tipo de amostra

Procedimentos	Referência	Amostras
Procedimento para amostras segundo norma ASTM C 1371	P	Madeira maciça, Tijolo maciço, Cartão, Papel de alumínio
Procedimento para amostras com baixa condutibilidade térmica	BC	EPS, XPS, EPS de baixa emissividade
Procedimento para amostras que não podem ser colocadas sobre o dissipador de calor	ND	Madeira maciça, madeira laminada, Granito, Calcário, Argamassa, Ladrilhos cerâmicos, Cortiça, Betão celular, Tijolo maciço, Tijolo Furado, Alcatifa, EPS, XPS, Alumínio, Cartão. Viroc, Vinílico
Procedimento para amostras semitransparentes	ST	Vidro

Os procedimentos indicados no quadro 4.3 estão descritos nos § 2.6.5, § 2.6.6, § 2.6.7 e § 2.6.11. Contudo, como o emissómetro disponível para os ensaios não contém adaptadores, alguns procedimentos não foram realizados exatamente com descrito anteriormente. A utilização dos adaptadores melhora a precisão dos ensaios, contudo esta precisão consiste numa diferença de $\pm 0,005$ [13]. Logo, não sendo muito significativa, não é expectável que as emissividades obtidas nos ensaios estejam incorretas devido à não utilização dos adaptadores.

Antes de se iniciarem as medições, fez-se a calibração do aparelho (Figura 4.1). Como a calibração não depende dos adaptadores, seguiu-se o procedimento do § 2.6.4. Sempre que se mudou de procedimento, fez-se a calibração do emissómetro.

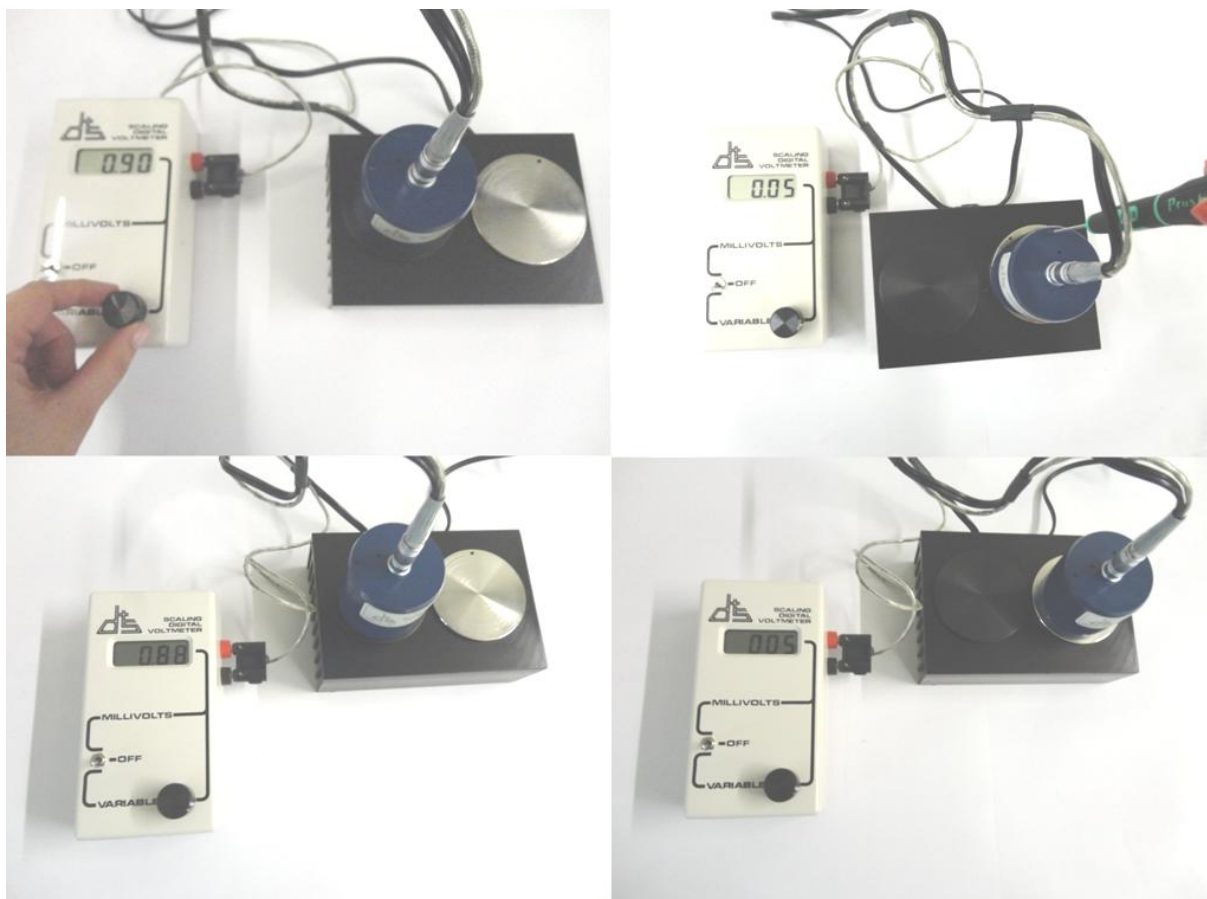


Figura 4.1 – Calibração do emissómetro

O procedimento “P” encontra-se indicado no § 2.6.5 e não tendo sido efetuadas alterações, pois não é necessário nenhum adaptador (Figura 4.2). Todos os outros incluíam a utilização de adaptadores, portanto, os procedimentos apresentados nos § 2.6.6 a § 2.6.11 foram realizados de maneira ligeiramente diferente.

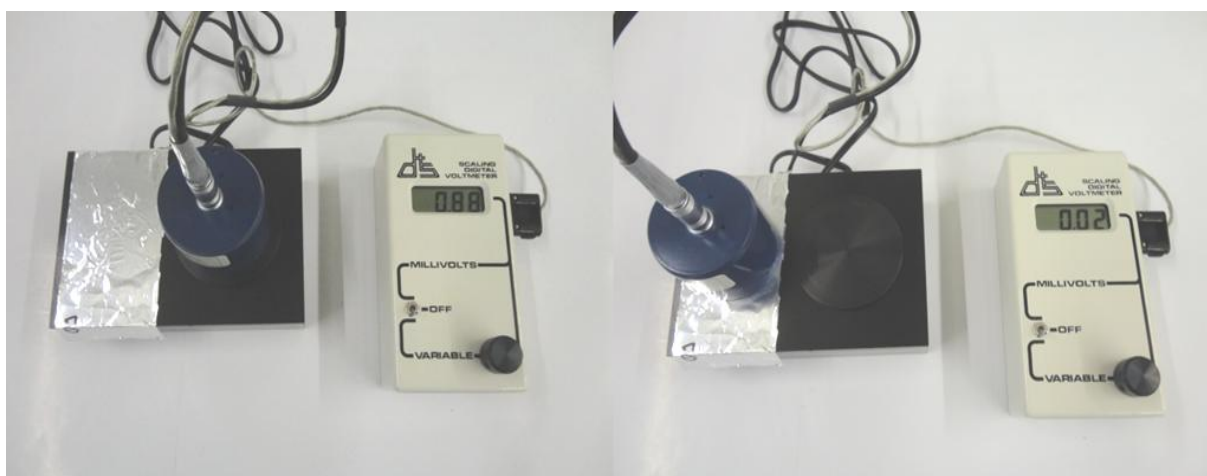


Figura 4.2 – Procedimento “P”

Relativamente ao procedimento “BC”, isto é, para amostras com baixa condutibilidade, apesar de não se ter utilizado o adaptador, efetuou-se ainda assim o método de deslizamento:

1. Ligou-se o emissómetro e deixou-se aquecer o detetor durante 30 minutos, quando ainda não tinha sido utilizado.
2. Procedeu-se à calibração, de acordo com o § 2.6.4.
3. Colocou-se o interruptor, no voltímetro, no modo variável.
4. Retirou-se o padrão de referência de baixa emissividade do dissipador de calor e colocou-se a amostra no mesmo, com água suficiente para se obter um bom contato térmico.
5. Colocou-se o detetor sobre o padrão de referência de alta emissividade e fixou-se durante 90 segundos. Sempre que o valor no voltímetro era 0,88, procedeu-se à medição da amostra. Caso contrário, ajustou-se o valor lido para 0,88.
6. Segurou-se o detetor sobre um ponto da amostra durante 20 segundos, até a leitura estabilizar (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Procedimento “BC”

7. Moveu-se o emissómetro para outro ponto da amostra e, após 15 segundos, voltou a mover-se para outro ponto da amostra. Repetiu-se este passo até, na totalidade, já ter passado um minuto. Teve-se sempre o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies. A leitura máxima obtida no último ponto correspondeu ao valor da medição.

O procedimento “ND”, ou seja, para amostras que não podem ser colocadas sobre o dissipador de calor, é muito parecido com o procedimento anterior pois também utiliza o método de deslizamento, contudo necessita de uma ventoinha:

1. Ligou-se o emissómetro e deixou-se aquecer o detetor durante 30 minutos, quando ainda não tinha sido utilizado.
2. Procedeu-se à calibração, de acordo com o § 2.6.4.
3. Colocou-se o detetor a alguma distância do dissipador de calor e da amostra e usou-se uma ventoinha para igualar as temperaturas da amostra e do dissipador de calor com o padrão de referência de alta emissividade em cima (Figura 4.4 (1)). Colocou-se a ventoinha a uma distância entre 25 a 35 centímetros do dissipador e da amostra.

4. Desligou-se a ventoinha após 5 minutos e colocou-se o detetor em cima do padrão de referência de emissividade alta.
5. Deixou-se o detetor sobre padrão de emissividade alta durante dois a três minutos, até que leitura estabilizasse completamente e ajustou-se no voltímetro de modo que o visor mostrasse a emissividade esperada do padrão referência, ou seja, 0,88 (Figura 3.4 (2)).

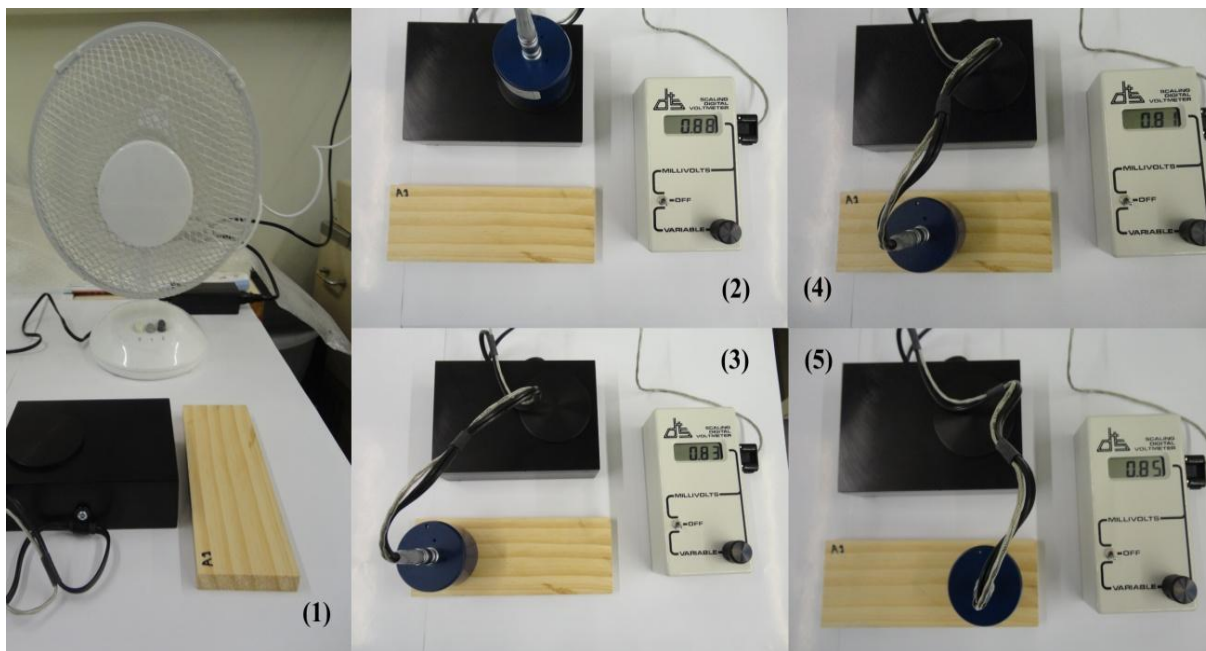


Figura 4.4 – Procedimento “ND”: (1) Utilização da ventoinha para igualar temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no último ponto.

6. Segurou-se o detetor sobre um ponto da amostra durante 20 segundos, até a leitura estabilizar (Figura 4.4 (3)).
7. Moveu-se o emissómetro para outro ponto da amostra e, após 15 segundos, voltou a mover-se para outro ponto da amostra. Repetiu-se este passo até, na totalidade, já ter passado um minuto. Teve-se sempre o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies. A leitura máxima obtida no último ponto correspondeu ao valor da medição (Figura 4.4 (4) e Figura 4.4 (5)).

O procedimento “ST” para amostras semitransparentes encontra-se descrito no § 2.6.11, não havendo qualquer alteração do mesmo para a medição da emissividade (Figura 4.5). Para se conseguir determinar a emissividade do vidro, é necessário saber a sua transmissividade. Segundo Gomes (2001) [26], para vidros transparentes comuns, a transmissividade de um vidro depende da sua espessura e utilizando a expressão determinada pelo mesmo, $\tau_v = 91 - 1,5 \times x$, sendo x a espessura em milímetros, a amostra L1 tem uma transmissividade de 0,895. Refere-se que esta expressão foi determinada para vidros a utilizar em superfícies de coletores solares.

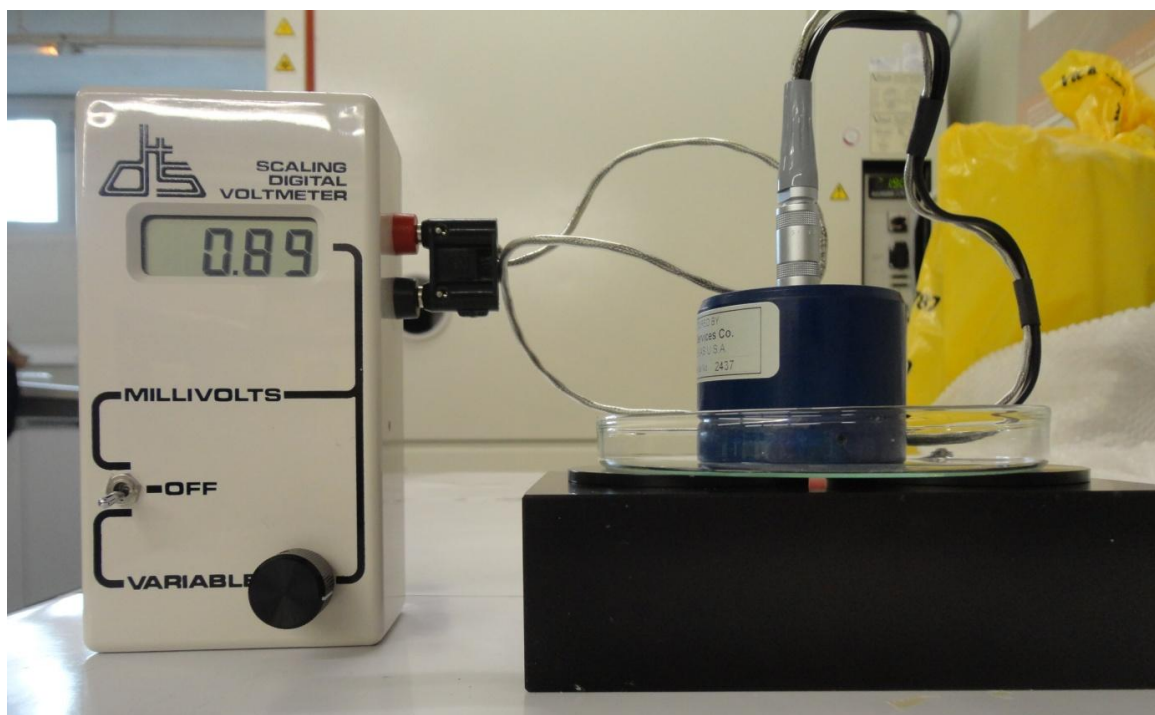


Figura 4.5 – Procedimento “ST”

De modo a fazer uma análise de sensibilidade aos procedimentos utilizados na determinação da emissividade através do emissómetro, decidiu-se fazer medições com algumas variantes dos procedimentos anteriormente descritos. No quadro 4.4 apresentam-se as variantes ao ensaio com o emissómetro.

Quadro 4.4 – Variantes do ensaio com o emissómetro

Variante		Referência
Apoio	Suporte inclinado	AI
	Bancada metálica	AM
Comparação com o padrão de referência de baixa emissividade		PBE

Relativamente ao procedimento “ND”, ou seja, procedimento para amostras que não podem ser colocadas sobre o dissipador, o manual do emissómetro não fazia referência sobre onde se deveriam pou-
 sar as amostras e, portanto, optou-se por colocar as amostras sobre uma mesa de madeira. Contudo, como não foi algo especificado nem pela norma nem pelo fornecedor, para determinar se o apoio era relevante para a determinação da emissividade, decidiu-se repetir os ensaios sobre uma superfície metálica (Figura 4.7).

Uma outra variante ao tipo de apoio consistiu na utilização de um suporte inclinado, para determinar se a inclinação iria ou não afetar a leitura da emissividade com o emissómetro. A calibração do aparelho foi realizada com a mesma inclinação das medições, de acordo com as especificações do fabricante, para evitar erros de medição (Figura 4.6).

A última variante realizada foi a comparação com o padrão de referência de baixa emissividade. Segundo a norma e o fornecedor do emissômetro, as medições devem ser realizadas comparando com o padrão de referência de alta emissividade e, portanto, achou-se interessante verificar se a comparação com o outro padrão faria diferença na leitura da emissividade.

Para a medição da emissividade nas variantes utilizou-se o método de deslizamento, que já foi explicado no § 2.6.6.

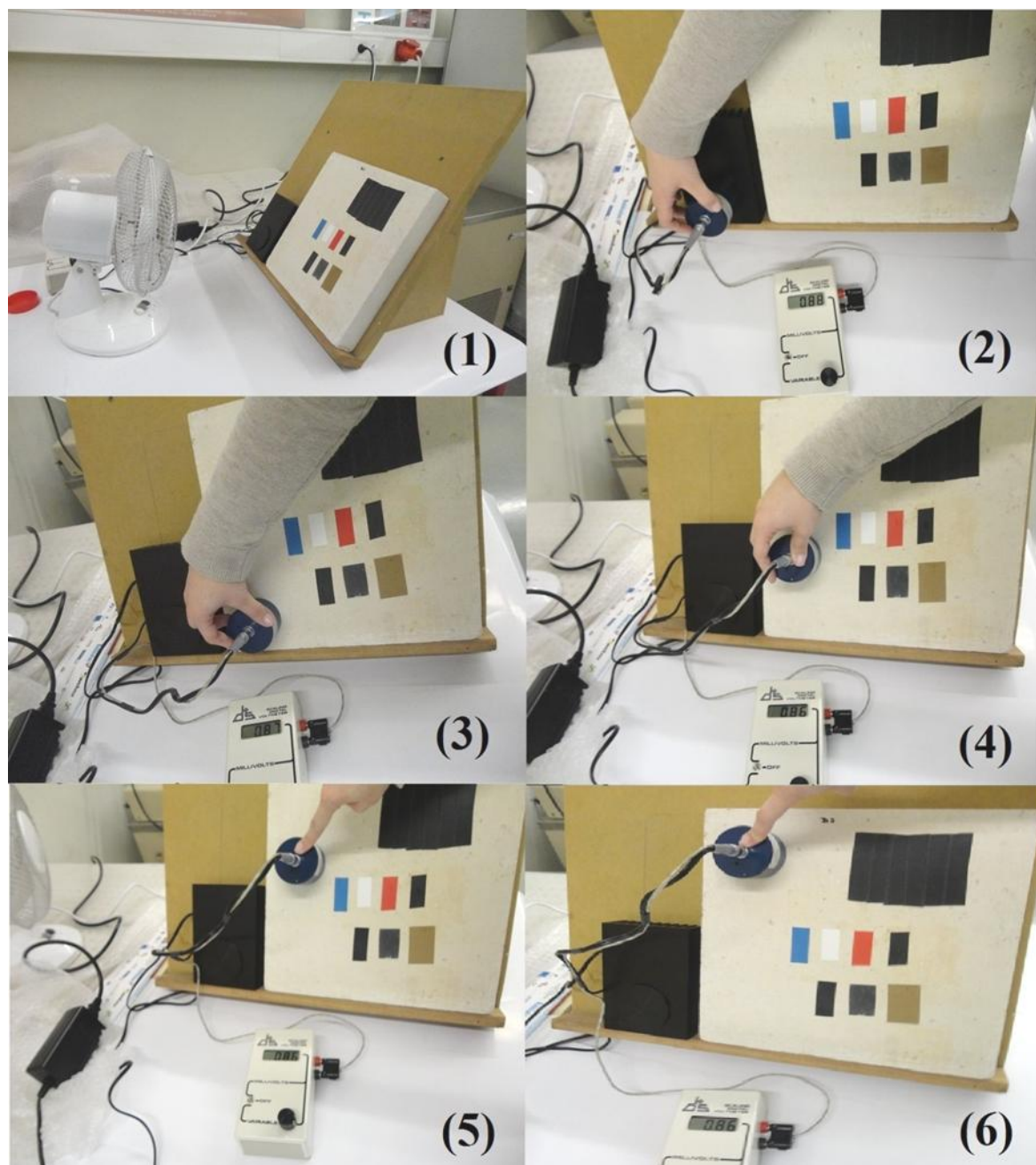


Figura 4.6 – Procedimento “AI”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto

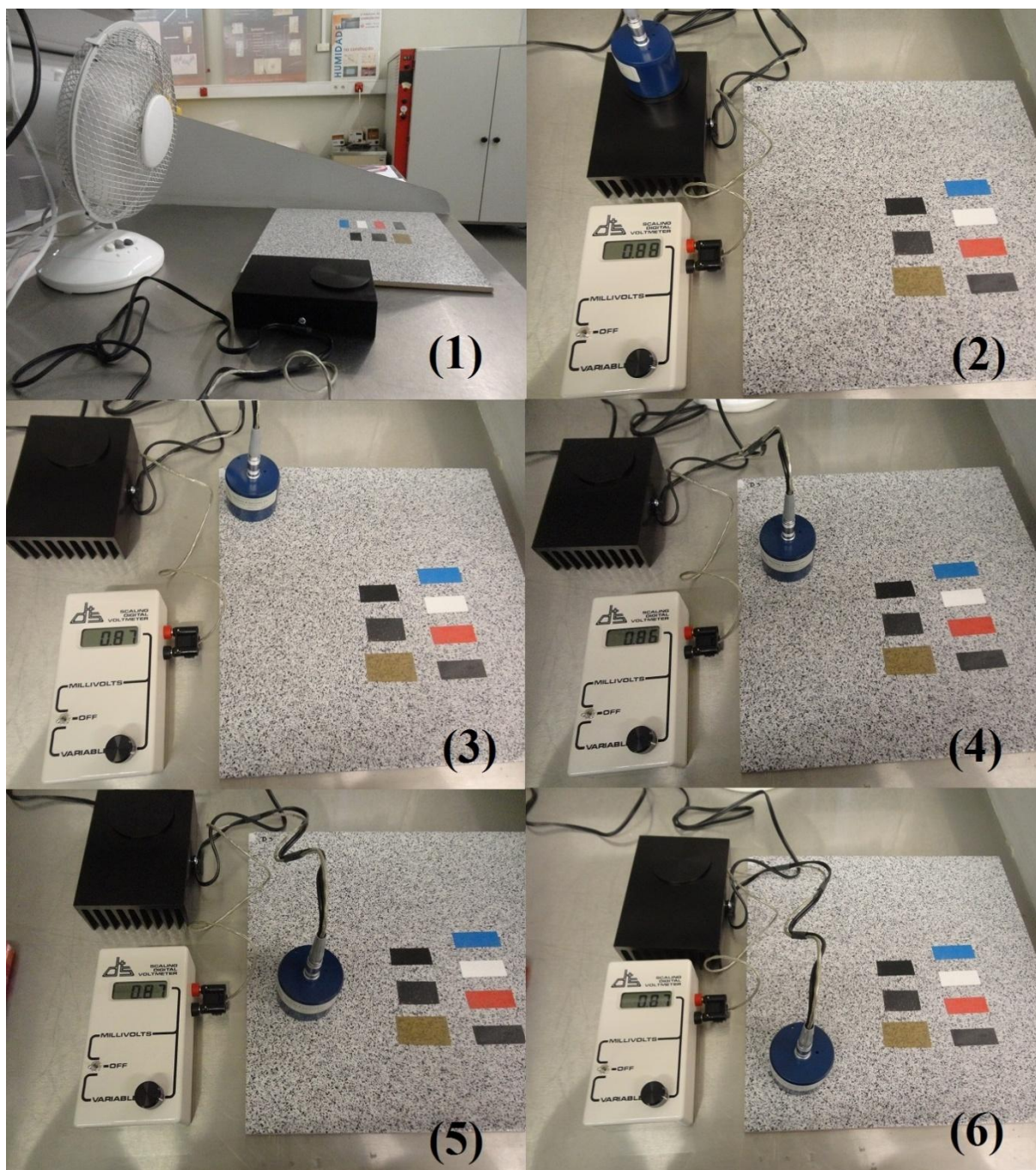


Figura 4.7 – Procedimento “AM”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto

Relativamente ao procedimento “PBE”, ou seja, para procedimento comparando as amostras com o padrão de referência de baixa emissividade, o procedimento é igual ao procedimento “ND” sendo a única diferença a não colocação do detetor sobre o padrão de referência de alta emissividade, mas sim sobre o de baixa emissividade (Figura 4.8).

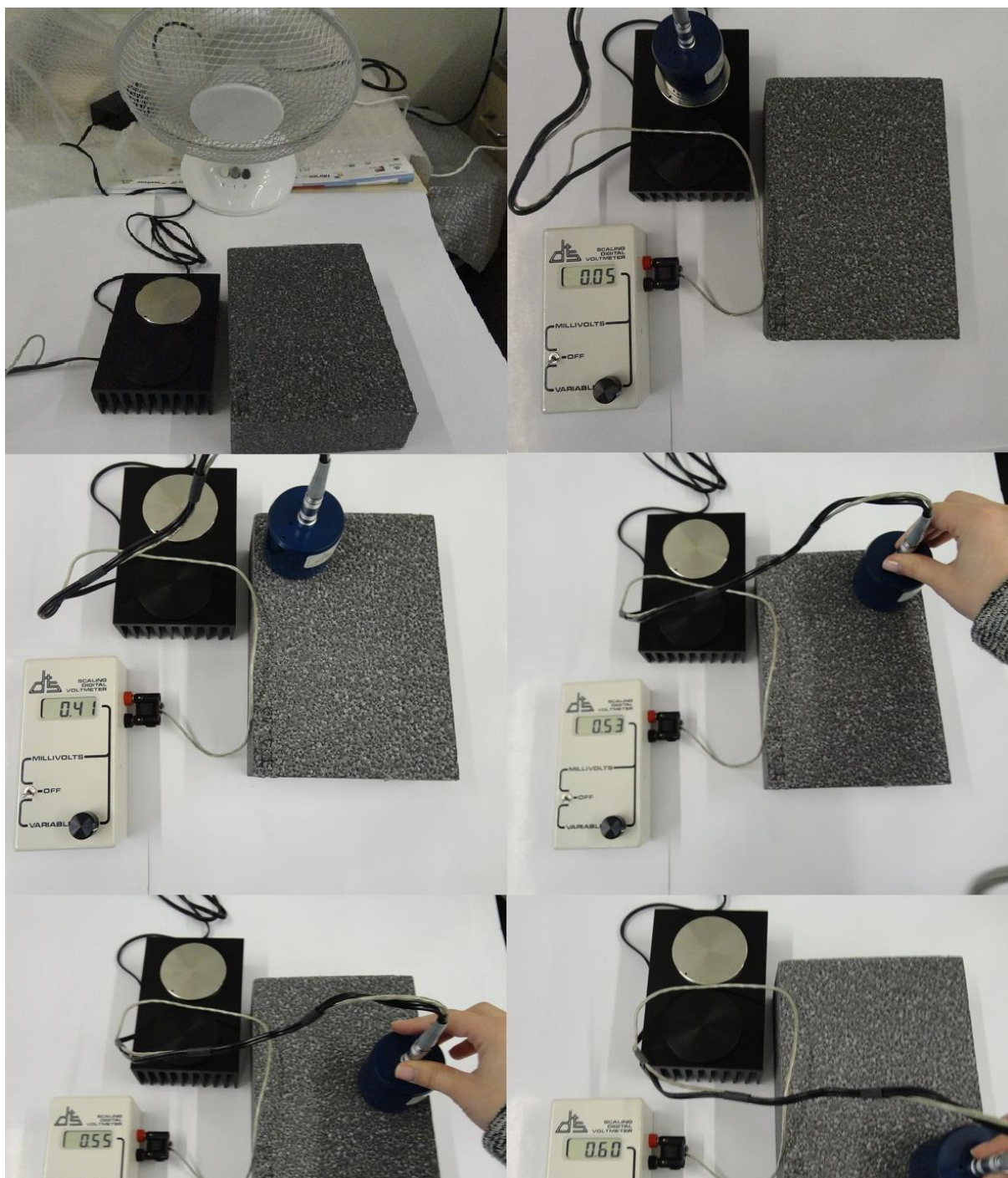


Figura 4.8 – Procedimento “PBE”: (1) Utilização da ventoinha para igualar a temperatura; (2) Leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade; (3) Leitura da emissividade no primeiro ponto; (4) Leitura da emissividade no segundo ponto; (5) Leitura da emissividade no terceiro ponto; (6) Leitura da emissividade no último ponto

5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios decorreram no mês de abril de 2015, tendo sido necessário três semanas para a realização de todas as medições. Seguiram-se os objetivos mencionados e a metodologia exposta no capítulo 3 e, no total foram realizados 372 ensaios. Foram realizadas 85 fichas de ensaio que se encontram em anexo. Cada ficha de ensaio é constituída pela referência do ensaio, por uma fotografia, por todas as leituras de emissividade para cada medição e pelo valor final da medição. Em cada ficha podem também ser incluídas algumas observações, como se pode observar na Figura 5.1. Relativamente a cada medição, nas fichas de ensaio, são fornecidos dados relativos à temperatura ambiente e à humidade relativa, assim como a data de realização.

No Anexo I apresentam-se todas as fichas de ensaio.

A ficha de ensaio exemplificativa refere-se ao ensaio AM-I1.11, ensaio realizado sobre uma superfície metálica utilizando o procedimento para amostras fora do dissipador de calor sobre uma superfície metálica para a amostra de EPS. Foram realizadas quatro medições em diferentes datas. Como neste procedimento é necessário realizar o método de deslizamento, foram feitas várias leituras da emissividade em diferentes pontos e todas elas estão indicadas nas fichas, apesar de a leitura final corresponder à leitura máxima do último ponto e, ser essa a emissividade da amostra. A ficha de ensaio também contém uma fotografia ilustrativa de uma medição do ensaio.

Neste exemplo não houve nenhuma observação a incluir sobre o ensaio mas, para exemplificar, uma das observações numa outra ficha de ensaio foi o facto de apenas ter sido possível realizar duas leituras numa amostra, utilizando o método de deslizamento, devido a esta ter uma área reduzida, apesar de serem aconselhadas pelo menos quatro leituras em quatro diferentes pontos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissímetro

Código do ensaio: AM-I1.11

Fotos



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	56,3	0,54	0,49	0,48	0,46	0,49	0,49
2ª	21/04/2015	21,0	57,5	0,53	0,49	0,48	0,47	0,49	0,49
3ª	23/04/2015	21,3	52,5	0,48	0,47	0,46	0,46	0,50	0,50
4ª	27/04/2015	21,8	62,1	0,50	0,47	0,46	0,46	0,50	0,50

Observações

Figura 5.1 – Ficha de ensaio exemplificativa – AM -I1.11

5.1.1. PROCEDIMENTO P

Os resultados dos ensaios realizados com o procedimento “P” estão apresentados no quadro 5.1.

Sabia-se que algumas amostras não deveriam ser ensaiadas através deste procedimento por não estarem de acordo com a norma, contudo decidiu-se realizar esses ensaios para verificar que realmente os seus resultados diferiam do suposto. Esta situação verifica-se na madeira maciça, no tijolo maciço e no cartão.

Quadro 5.1 – Resultados dos ensaios com o procedimento P

Amostra	Medição	Emissividade
Madeira maciça	1	0,64
	2	0,62
	3	0,65
	4	0,65
Tijolo maciço	1	0,84
	2	0,82
	3	0,84
	4	0,85
Cartão	1	0,55
	2	0,55
	3	0,54
	4	0,55
Papel de alumínio	1	0,02
	2	0,03
	3	0,02
	4	0,03
Cartolina Preta	1	0,86
	2	0,84
	3	0,86
	4	0,85
Cartolina Verde	1	0,82
	2	0,81
	3	0,82
	4	0,82
Cartolina Amarela	1	0,83
	2	0,84
	3	0,83
	4	0,84
Cartolina Cinza	1	0,82
	2	0,83
	3	0,82
	4	0,82

5.1.2. PROCEDIMENTO BC

Relativamente a estes ensaios, há uma observação importante a referir relativamente às amostras terem uma área insuficiente para a realização de mais do que duas leituras. Este facto pode afetar o resultado, uma vez que, utilizando o método de deslizamento, para resultados mais precisos, a leitura final deveria ser realizada após já ter passado um minuto desde o começo da medição.

Os resultados destes ensaios estão apresentados no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Resultados dos ensaios com o procedimento BC

Material	Medição	Emissividade
EPS	1	0,52
	2	0,51
	3	0,50
	4	0,50
EPS de baixa emissividade	1	0,53
	2	0,57
	3	0,51
	4	0,51

5.1.3. PROCEDIMENTO ND

No ensaio com a amostra do tijolo maciço, devido à superfície do mesmo não ser plana, o detetor do emissómetro não assenta completamente sobre o mesmo, para além de que apenas foi possível realizar duas leituras devido à sua superfície ser reduzida.

As leituras da emissividade com a amostra da alcatifa são bastante afetadas com a pressão exercida no detetor do emissómetro sobre a amostra. Para os ensaios de amostras que não podem ser colocadas sobre o dissipador de calor, realizaram-se medições com o detetor simplesmente pousado sobre a amostra e medições a pressionar ligeiramente o detetor. Nas primeiras medições, o resultado foi, em média, igual a 0,79 (ver ficha de ensaio em anexo) enquanto que, com o detetor pressionado sobre a amostra, o resultado médio foi de 0,71. Uma vez que, para esta amostra, também se realizaram ensaios com o suporte inclinado, onde era necessário pressionar ligeiramente o detetor sobre a alcatifa, de modo a segurá-lo para ser possível fazer a medição, decidiu-se utilizar os resultados derivados do caso em que se pressionou o detetor, pois assim todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições e a comparação entre eles foi possível.

Relativamente ao vidro, este não é o procedimento adequado para este tipo de amostras, contudo realizou-se este ensaio para comparação posterior com o procedimento adequado para materiais semitransparentes. Deve-se ter especial atenção nos ensaios com as tintas, uma vez que estas foram aplicadas sobre a pedra calcária, podendo a sua emissividade ser alterada devido a este aspeto.

Os resultados referentes a estes ensaios estão apresentados no quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Resultados dos ensaios com o procedimento ND

Material	Medições	Emissividade	Material	Medições	Emissividade
Madeira Maciça	1	0,85	Aço Inoxidável	1	0,17
	2	0,86		2	0,18
	3	0,86		3	0,17
	4	0,86		4	0,16
Madeira Laminada Não Envernizada	1	0,88	Vidro	1	0,86
	2	0,89		2	0,85
	3	0,87		3	0,86
	4	0,88		4	0,87
Madeira Laminada Envernizada	1	0,87	Cartão	1	0,79
	2	0,86		2	0,80
	3	0,86		3	0,81
	4	0,87		4	0,78
Granito	1	0,86	Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	1	0,92
	2	0,87		2	0,94
	3	0,86		3	0,93
	4	0,86		4	0,92
Calcário	1	0,88	Ladrilho cerâmico D1	1	0,88
	2	0,87		2	0,89
	3	0,88		3	0,89
	4	0,87		4	0,86

Material	Medições	Emissividade
Argamassa	1	0,93
	2	0,91
	3	0,95
	4	0,95
Vinílico	1	0,89
	2	0,89
	3	0,90
	4	0,90
Cortiça	1	0,83
	2	0,83
	3	0,84
	4	0,83
Betão Celular Autoclavado	1	0,89
	2	0,90
	3	0,90
	4	0,89
Tijolo Maciço	1	0,87
	2	0,89
	3	0,89
	4	0,88
Tijolo Furado	1	0,88
	2	0,87
	3	0,87
	4	0,87
Alcatifa	1	0,72
	2	0,72
	3	0,69
	4	0,71
EPS	1	0,50
	2	0,50
	3	0,51
	4	0,50
EPS de Baixa Emissividade	1	0,61
	2	0,63
	3	0,64
	4	0,61
XPS	1	0,53
	2	0,54
	3	0,54
	4	0,54

Material	Medições	Emissividade
Ladrilho cerâmico 1A	1	0,86
	2	0,86
	3	0,87
	4	0,86
Ladrilho cerâmico 1B	1	0,86
	2	0,86
	3	0,86
	4	0,86
Ladrilho cerâmico 1C	1	0,86
	2	0,86
	3	0,86
	4	0,86
Ladrilho cerâmico 3ABC	1	0,86
	2	0,86
	3	0,86
	4	0,86
Tinta Preta	1	0,88
	2	0,89
	3	0,87
	4	0,88
Tinta Azul	1	0,85
	2	0,92
	3	0,89
	4	0,89
Tinta Vermelha	1	0,89
	2	0,91
	3	0,88
	4	0,90
Tinta Branca	1	0,89
	2	0,93
	3	0,89
	4	0,89
Tinta Verde	1	0,89
	2	0,93
	3	0,88
	4	0,88
Tinta Amarela	1	0,90
	2	0,94
	3	0,89
	4	0,89

5.1.4. PROCEDIMENTO ST

Nestes ensaios, a emissividade lida no emissómetro não é a emissividade real da amostra, sendo necessário utilizar a seguinte fórmula para saber a emissividade aparente da amostra:

$$\varepsilon_{aparente} = \varepsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times \frac{(1 - \varepsilon_{apoios})}{(1 - (1 - \varepsilon_{amostra} - \tau_{amostra}) \times (1 - \varepsilon_{apoios}))} \quad (5.1)$$

Quadro 5.4 – Resultados dos ensaios com o procedimento ST

Material	Medições	Emissividade
Vidro	1	0,95
	2	0,99
	3	0,99
	4	0,95

5.1.5. PROCEDIMENTO AI

Os resultados para os ensaios realizados no suporte inclinado encontram-se no quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Resultados dos ensaios com o procedimento AI

Material	Medições	Emissividade	Material	Medições	Emissividade
Madeira Maciça	1	0,86	EPS	1	0,49
	2	0,86		2	0,50
	3	0,86		3	0,49
	4	0,87		4	0,49
Madeira Laminada Não Envernizada	1	0,87	EPS de Baixa Emissividade	1	0,60
	2	0,89		2	0,60
	3	0,92		3	0,58
	4	0,89		4	0,61
Madeira Laminada Envernizada	1	0,87	XPS	1	0,53
	2	0,87		2	0,52
	3	0,88		3	0,52
	4	0,88		4	0,52
Granito	1	0,86	Aço Inoxidável	1	0,17
	2	0,87		2	0,17
	3	0,88		3	0,17
	4	0,86		4	0,16
Calcário	1	0,86	Cartão	1	0,79
	2	0,87		2	0,80
	3	0,86		3	0,79
	4	0,87		4	0,79
Argamassa	1	0,94	Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	1	0,93
	2	0,92		2	0,92
	3	0,94		3	0,93
	4	0,92		4	0,92

Material	Medições	Emissividade	Material	Medições	Emissividade
Vinílico	1	0,89	Ladrilho cerâmico D1	1	0,86
	2	0,89		2	0,87
	3	0,89		3	0,89
	4	0,89		4	0,88
Cortiça	1	0,84	Ladrilho cerâmico 1A	1	0,86
	2	0,85		2	0,86
	3	0,86		3	0,88
	4	0,84		4	0,87
Betão Celular Autoclavado	1	0,89	Ladrilho cerâmico 1B	1	0,86
	2	0,89		2	0,86
	3	0,92		3	0,87
	4	0,91		4	0,86
Tijolo Maciço	1	0,89	Ladrilho cerâmico 1C	1	0,87
	2	0,90		2	0,85
	3	0,89		3	0,85
	4	0,89		4	0,86
Tijolo Furado	1	0,87	Ladrilho cerâmico 3ABC	1	0,86
	2	0,86		2	0,86
	3	0,89		3	0,86
	4	0,89		4	0,86
Alcatifa	1	0,73			
	2	0,67			
	3	0,69			
	4	0,70			

5.1.6. PROCEDIMENTO AM

Relativamente aos resultados dos ensaios realizados sobre uma superfície metálica, estes estão no quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Resultados dos ensaios com o procedimento AM

Material	Medições	Emissividade	Material	Medições	Emissividade
Madeira Maciça	1	0,86	EPS	1	0,49
	2	0,86		2	0,49
	3	0,87		3	0,50
	4	0,87		4	0,50
Madeira Laminada Não Envernizada	1	0,87	EPS de Baixa Emissividade	1	0,60
	2	0,87		2	0,61
	3	0,88		3	0,62
	4	0,89		4	0,61
Madeira Laminada Envernizada	1	0,88	XPS	1	0,54
	2	0,87		2	0,55
	3	0,88		3	0,55
	4	0,87		4	0,54

Material	Medições	Emissividade	Material	Medições	Emissividade
Granito	1	0,86	Aço Inoxidável	1	0,16
	2	0,86		2	0,17
	3	0,86		3	0,16
	4	0,88		4	0,16
Calcário	1	0,86	Cartão	1	0,78
	2	0,87		2	0,80
	3	0,87		3	0,78
	4	0,89		4	0,79
Argamassa	1	0,92	Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	1	0,93
	2	0,93		2	0,92
	3	0,93		3	0,92
	4	0,94		4	0,93
Vinílico	1	0,90	Ladrilho cerâmico D1	1	0,87
	2	0,90		2	0,87
	3	0,90		3	0,87
	4	0,89		4	0,89
Cortiça	1	0,84	1A	1	0,87
	2	0,84		2	0,86
	3	0,85		3	0,86
	4	0,84		4	0,87
Betão Celular Autoclavado	1	0,90	1B	1	0,87
	2	0,89		2	0,87
	3	0,90		3	0,86
	4	0,90		4	0,86
Tijolo Maciço	1	0,88	1C	1	0,86
	2	0,89		2	0,87
	3	0,89		3	0,87
	4	0,90		4	0,86
Tijolo Furado	1	0,88	3ABC	1	0,86
	2	0,87		2	0,86
	3	0,87		3	0,86
	4	0,88		4	0,86
Alcatifa	1	0,72			
	2	0,72			
	3	0,69			
	4	0,70			

5.1.7. PROCEDIMENTO PBE

No quadro 5.7 apresentam-se os resultados para os ensaios realizados com o emissómetro comparando as amostras com o padrão de referência de baixa emissividade.

Quadro 5.7 – Resultados dos ensaios com o procedimento PBE

Material	Medições	Emissividade
Madeira Maciça	1	0,84
	2	0,83
	3	0,85
	4	0,87
EPS	1	0,49
	2	0,49
	3	0,52
	4	0,51
EPS de Baixa Emissividade	1	0,60
	2	0,60
	3	0,58
	4	0,61
XPS	1	0,53
	2	0,54
	3	0,52
	4	0,53
Aço Inoxidável	1	0,17
	2	0,16
	3	0,16
	4	0,16

5.2. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A análise estatística dos dados obtidos nos ensaios foi realizada recorrendo ao programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versão 22. Trata-se de um software de tratamento de dados estatísticos. Para o tratamento estatístico de dados provenientes do emissómetro, inicialmente foi realizada uma análise descritiva através de algumas medidas estatísticas, nomeadamente medidas de localização central e de dispersão, e utilizaram-se testes de hipóteses, para avaliar se as amostras provinham da mesma distribuição.

Os testes estatísticos utilizados foram o Teste de Kruskal-Wallis, o Teste de Wilcoxon (Wilcoxon Signed Ranks), o Teste do Sinal e o Teste de Homogeneidade Marginal.

As hipóteses formuladas foram:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \text{não}$$

Para um nível de significância $\alpha=5\%$, se o valor de p for superior a α , aceita-se H_0 . Se o valor de p for inferior a 5% , então não se aceita a hipótese H_0 .

O Teste de Kruskal-Wallis é um teste não-paramétrico utilizado para testar a hipótese de que todas as amostras possuem a mesma média com a hipótese alternativa de que, pelo menos, uma amostra possuir uma média diferente. A estatística do teste é a seguinte [27]:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \times \sum_{i=1}^{n_i} n_i \left(R_i - \frac{N+1}{2} \right)^2 \quad (5.2)$$

Onde N é o tamanho da amostra e R_i é a soma das ordens das n_i observações ao nível i.

O Teste de Wilcoxon é também um teste de hipóteses não-paramétrico, utilizado quando se comparam duas amostras relacionadas, amostras emparelhadas ou medições repetidas numa única amostra para avaliar se a média populacional de cada variável difere das outras (ou seja, é um teste de diferença emparelhado). Assumindo que $X_1, X_2, \dots, X_n$ é uma amostra aleatória de uma distribuição contínua e simétrica com média (e mediana) μ . Calculam-se as diferenças $X_i - \mu_0$, $i=1,2,\dots,n$. Classificam-se as diferenças absolutas $|X_i - \mu_0|$, $i=1,2,\dots,n$, em ordem ascendente e depois dá-se aos níveis os sinais das suas diferenças correspondentes. Seja p^+ a soma dos níveis positivos, p^- o valor absoluto da soma das negativos e $p = \min(p^+, p^-)$ [27].

O teste do Sinal é utilizado para testar hipóteses sobre a mediana de uma distribuição contínua. A mediana de uma distribuição é um valor da variável aleatória X em que a probabilidade de que um valor observado de X ser menor ou igual à mediana é igual a 0.5, e a probabilidade de que um valor observado de X seja maior ou igual à mediana é igual a 0.5. Isto é, $P(X \leq \mu) = P(X \geq \mu) = 0,5$. Tal como nos outros testes, para $\alpha=5\%$, se p for superior a 0,05, então a hipótese H_0 é aceite [27].

O teste da homogeneidade marginal avalia as frequências marginais. Este teste é interpretado da seguinte forma: se o valor de p é menor do que o valor desejado significativamente, então conclui-se que as médias das amostras dependentes são diferentes, e se o valor de p é maior do que o nível desejado, então a média das variáveis dependentes será a mesma [27].

5.2.1. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

Para cada ensaio, foram realizadas quatro medições. Como esperado, as medições diferiram ligeiramente e, portanto, tornou-se necessário analisar se seria possível considerar-se as medições globalmente semelhantes ou não. Para tal, procedeu-se à realização do Teste de Kruskal-Wallis.

Para esta análise procedeu-se de duas maneiras diferentes. Numa primeira fase, usaram-se os valores de todas as medições de cada material separadamente, e testou-se, para cada um, se as medições eram estatisticamente iguais. Numa segunda fase, colocaram-se todas as medições de todos os materiais e testou-se, para a globalidade, se as medições eram iguais para cada ensaio.

Os resultados da análise efetuada estão apresentados no quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Comparação das medições por material

Material	Valor de p	Decisão
Madeira maciça	0,304	Aceite
Madeira Laminada Não Envernizada	0,390	Aceite
Madeira Laminada Envernizada	0,569	Aceite
Granito	0,939	Aceite
Calcário	0,647	Aceite
Argamassa	0,238	Aceite
Vinílico	0,815	Aceite
Cortiça	0,272	Aceite
Betão Celular Autoclavado	0,246	Aceite
Tijolo Maciço	0,715	Aceite
Tijolo Furado	0,274	Aceite
Alcatifa	0,085	Aceite
EPS	0,714	Aceite
EPS de baixa emissividade	0,861	Aceite
XPS	0,826	Aceite
Aço Inoxidável	0,831	Aceite
Vidro	0,975	Aceite
Cartão	0,574	Aceite
Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	0,885	Aceite
Papel de alumínio	0,392	Aceite
Ladrilho Cerâmico D1	0,572	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1A	0,306	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1B	0,748	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1C	0,911	Aceite
Ladrilho Cerâmico 3ABC	0,392	Aceite
Tinta Preta	0,392	Aceite
Tinta Azul	0,392	Aceite
Tinta Vermelha	0,392	Aceite
Tinta Branca	0,392	Aceite
Tinta Verde	0,392	Aceite
Tinta Amarela	0,392	Aceite
Cartolina Preta	0,392	Aceite
Cartolina Verde	0,392	Aceite
Cartolina Amarela	0,392	Aceite
Cartolina Cinza	0,392	Aceite
TOTAL	0,913	Aceite

Como se pode verificar, confirma-se que, para um nível de significância de 5%, as quatro medições realizadas para cada material são iguais.

5.2.2. ANÁLISE DAS VARIANTES

Uma outra análise essencial é a verificação de que as emissividades, determinadas através do emissómetro, não variam com o material de apoio e/ou com a inclinação. Para esta análise também foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis. Os resultados da análise estão apresentados no quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Análise comparativa da emissividade em função das Variantes

Material	Valor de p	Decisão
Madeira maciça	0,187	Aceite
Madeira Laminada Não Envernizada	0,387	Aceite
Madeira Laminada Envernizada	0,084	Aceite
Granito	0,343	Aceite
Calcário	0,196	Aceite
Argamassa	0,785	Aceite
Vinílico	0,111	Aceite
Cortiça	0,09	Aceite
Betão Celular Autoclavado	0,748	Aceite
Tijolo Maciço	0,239*	Aceite
Tijolo Furado	0,804	Aceite
Alcatifa	0,726	Aceite
EPS	0,122	Aceite
EPS de Baixa Emissividade	0,051*	Aceite
XPS	0,464	Aceite
Aço Inoxidável	0,068	Aceite
Vidro	0,019	Não aceite
Cartão	0,551*	Aceite
Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	0,931	Aceite
Ladrilho Cerâmico D1	0,779	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1A	0,658	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1B	0,295	Aceite
Ladrilho Cerâmico 1C	0,281	Aceite
Ladrilho Cerâmico 3ABC	0,368	Aceite

* Nem todos os ensaios desse material entraram nesta análise.

Relativamente à madeira maciça, tijolo maciço, EPS, EPS de baixa emissividade e ao cartão, para esta análise não se considerou os ensaios realizados no dissipador. Esta decisão foi tomada devido ao facto

de se saber previamente que estas amostras não estavam de acordo com a norma ASTM C1371, o que significa que ao realizar o procedimento normal, as emissividades obtidas estariam erradas.

Relativamente ao vidro, o resultado do teste estatístico indica que não deve ser aceite a hipótese de que a variante não influencia o valor da emissividade. Note-se que apenas foram realizados dois ensaios para esta amostra. Um dos ensaios era o adequado, pois era para uma amostra semitransparente e o outro era o procedimento para amostras que não podem ser colocadas sobre o dissipador de calor, procedimento não adequado para este tipo de amostras.

Para todas as outras amostras, a conclusão é de que as emissividades determinadas pelo emissómetro, para as diferentes variantes, são iguais, para um nível de confiança de 95%. Isto tem elevada relevância, pois significa que a emissividade de um material, quando medida pelo emissómetro, não depende do material de apoio nem da inclinação do mesmo.

Também se conclui que se pode determinar a emissividade comparando a amostra com o padrão de referência de baixa emissividade, algo que não era referido nem na norma nem pelo fornecedor do emissómetro. Estatisticamente não existe diferença entre os outros ensaios e o ensaio utilizando o padrão de referência de baixa emissividade.

5.2.3. VALORES DA EMISSIVIDADE

Após se ter concluído que, para um nível de significância de 5%, as quatro medições para cada ensaio eram consideradas iguais e os ensaios de cada amostra para as diferentes variantes eram também iguais, procedeu-se à determinação dos valores médios para cada ensaio, assim como à emissividade média de cada material.

As amostras foram divididas em quatro conjuntos em função da sua utilidade para a construção civil, ou seja, em função do material e das suas características: materiais isolantes, materiais utilizados para estruturas de suporte, materiais de espessura reduzida e materiais diversos.

Os valores médios de emissividade estão constam dos quadros 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13. Entre parênteses estão os desvios-padrões da emissividade para cada ensaio. O valor médio da emissividade de cada material será utilizado no § 4.2.4 seguinte para comparação com valores encontrados da literatura.

Quadro 5.10 – Principais medidas estatísticas para materiais isolantes

Material	Variantes e/ou Suportes					Total
	Dissipador	Mesa (madeira)	Inclinado (madeira)	Metálico	Outro padrão	
EPS	0,51 (0,015)	0,50 (0,005)	0,49 (0,005)	0,50 (0,006)	0,50 (0,015)	0,50 (0,013)
EPS de baixa emissividade	0,53 (0,028)	0,62 (0,015)	0,60 (0,013)	0,61 (0,008)	0,60 (0,013)	0,61* (0,012)
XPS	-	0,54 (0,005)	0,54 (0,006)	0,54 (0,005)	0,53 (0,005)	0,54 (0,001)

* Nem todos os ensaios desse material entraram nesta análise.

Tal como no caso da análise das variantes, os valores totais que apresentam um * junto ao valor, foram médias determinadas sem a emissividade no dissipador devido a estes materiais não estarem de acordo com a norma ASTM C1371 para estarem aptos a esse procedimento.

Quadro 5.11 – Principais medidas estatísticas para materiais diversos

Material	Variantes e/ou Suportes					Total
	Dissipador	Mesa (madeira)	Inclinado (madeira)	Metálico	Outro padrão	
Madeira Laminada Não Envernizada	-	0,88 (0,008)	0,89 (0,021)	0,88 (0,010)	-	0,88 (0,144)
Madeira Laminada Envernizada	-	0,87 (0,006)	0,88 (0,006)	0,88 (0,006)	-	0,88 (0,007)
Calcário	-	0,88 (0,006)	0,87 (0,006)	0,87 (0,013)	-	0,87 (0,009)
Vinílico	-	0,90 (0,006)	0,89 (0,000)	0,90 (0,005)	-	0,89 (0,005)
Cortiça	-	0,83 (0,005)	0,85 (0,010)	0,84 (0,005)	-	0,84 (0,009)
Alcatifa	-	0,71 (0,014)	0,70 (0,025)	0,71 (0,015)	-	0,71 (0,018)
Aço Inoxidável	-	0,17 (0,005)	0,17 (0,005)	0,16 (0,000)	0,16 (0,005)	0,17 (0,007)
Vidro	0,97 (0,023)	0,86 (0,008)	-	-	-	0,97* (0,023)
Cartão	0,55 (0,005)	0,80 (0,013)	0,79 (0,005)	0,79 (0,010)	-	0,79* (0,004)
Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	-	0,93 (0,010)	0,93 (0,006)	0,93 (0,006)	-	0,93 (0,007)
Ladrilho Cerâmico D1	-	0,88 (0,014)	0,89 (0,013)	0,88 (0,010)	-	0,88 (0,012)
Ladrilho Cerâmico 1A	-	0,86 (0,005)	0,87 (0,009574)	0,87 (0,006)	-	0,87 (0,006742)
Ladrilho Cerâmico 1B	-	0,86 (0,000)	0,86 (0,005)	0,87 (0,006)	-	0,86 (0,004523)
Ladrilho Cerâmico 1C	-	0,86 (0,000)	0,86 (0,010)	0,87 (0,006)	-	0,86 (0,007)
Ladrilho Cerâmico 3ABC	-	0,86 (0,000)	0,87 (0,010)	0,86 (0,000)	-	0,86 (0,006)

* Nem todos os ensaios desse material entraram nesta análise

Quadro 5.12 – Principais medidas estatísticas para materiais de suporte

Material	Variantes e/ou Suportes					Total
	Dissipador	Mesa (madeira)	Inclinado (madeira)	Metálico	Outro padrão	
Madeira maciça	0,64 (0,014)	0,86 (0,005)	0,86 (0,005)	0,87 (0,006)	0,85 (0,017)	0,86* (0,008)
Granito	-	0,86 (0,005)	0,87 (0,008)	0,87 (0,010)	-	0,87 (0,008)
Argamassa	-	0,94 (0,019)	0,93 (0,012)	0,93 (0,008)	-	0,93 (0,013)
Betão Celular Autoclavado	-	0,90 (0,006)	0,90 (0,015)	0,90 (0,005)	-	0,90 (0,009)
Tijolo Maciço	0,84 (0,016)	0,88 (0,006)	0,89 (0,005)	0,89 (0,008)	-	0,89* (0,005)
Tijolo Furado	-	0,87 (0,005)	0,88 (0,015)	0,88 (0,006)	-	0,88 (0,009)

* Nem todos os ensaios desse material entraram nesta análise

Quadro 5.13 – Principais medidas estatísticas para materiais de espessura reduzida

	Papel de alumínio	Tintas						Cartolinas			
		Preta	Azul	Vermelha	Branca	Verde	Amarela	Preta	Verde	Amarela	Cinza
Média	0,03	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,85	0,82	0,84	0,82
Devio-padrão	0,006	0,009	0,029	0,013	0,020	0,238	0,238	0,010	0,005	0,006	0,005

5.2.4. COMPARAÇÃO COM OS VALORES DA LITERATURA

Como última análise, compararam-se, para cada material, os valores obtidos através dos ensaios com os valores obtidos da literatura.

No quadro 5.11 apresentam-se esses valores.

Como se pode observar, para algumas amostras, na literatura, a emissividade não é quantificada apenas por um valor, mas por um intervalo real de valores possíveis. Para alguns materiais, como por exemplo, como o painel compósito de madeira e cimento (Viroc) e a cartolina azul, não foram encontrados dados na literatura relativamente à sua emissividade.

Quadro 5.14 – Comparação da emissividade medida com os valores da literatura

	Material	Emissómetro	Emissividade da literatura *
Isolamento	EPS	0,50	0,60
	EPS de baixa emissividade	0,61	-
	XPS	0,54	0,60
Materiais diversos	Madeira Laminada Não Envernizada	0,88	0,84-0,96
	Madeira Laminada Envernizada	0,87	0,84-0,96
	Calcário	0,87	0,95
	Vinílico	0,89	-
	Cortiça	0,84	0,70
	Alcatifa	0,71	0,85-1,00
	Aço Inoxidável	0,16	0,14-0,18
	Vidro	0,97	0,91-0,94
	Cartão	0,79	0,81
	Painel compósito de madeira e cimento (Viroc)	0,93	-
	Ladrilho Cerâmico D1	0,88	0,93
	Ladrilho Cerâmico 1A	0,87	0,90
	Ladrilho Cerâmico 1B	0,86	0,90
	Ladrilho Cerâmico 1C	0,86	0,90
	Ladrilho Cerâmico 3ABC	0,86	0,93
Suporte	Madeira maciça	0,86	0,80-0,90
	Granito	0,87	0,85
	Argamassa	0,93	0,87-0,94
	Betão Celular Autoclavado	0,90	-
	Tijolo Maciço	0,89	0,88-0,93
	Tijolo Furado	0,88	
Materiais com espessura reduzida	Papel de Alumínio	0,03	0,03
	Tinta Preta	0,88	0,96
	Tinta Azul	0,89	0,94
	Tinta Vermelha	0,90	0,91
	Tinta Branca	0,90	0,90-0,95
	Tinta Verde	0,90	0,92
	Tinta Amarela	0,91	0,90-0,93
	Cartolina Preta	0,88	0,90
	Cartolina Verde	0,82	0,90
	Cartolina Amarela	0,84	0,85
	Cartolina Cinza	0,82	-

* [8,17,21,22, 23,24,25]

De modo a analisar se os valores obtidos através do emissómetro são semelhantes aos valores encontrados na literatura, realizaram-se três testes estatísticos: Teste de Wilcoxon, Teste do Sinal e o Teste da Homogeneidade Marginal. Como explicado anteriormente, se o valor de p for inferior a 5% então os valores do emissómetro serão considerados diferentes dos valores da literatura. Os resultados desta análise estão apresentados no quadro 5.15.

Quadro 5.15 – Resultados da aplicação dos Testes Estatísticos

Testes	Valor de p	Decisão
Wilcoxon	0,002	Não aceite
Sinal	0,003	Não aceite
Homogeneidade Marginal	0,014	Não aceite

Após análise dos resultados, conclui-se que os valores da emissividade determinados pelo emissómetro não são, para um nível de significância de 5%, iguais aos valores da literatura.

Este resultado era expectável visto a emissividade ser dependente da temperatura a que é realizada a medição. Os valores da literatura foram obtidos para outras temperaturas. As emissividades na literatura para as amostras de calcário, ladrilhos cerâmicos, EPS e XPS são todas para temperaturas entre os 37°C e os 100°C, ou seja, temperaturas superiores às temperaturas dos ensaios realizados. A temperatura a que foram realizados ensaios variou entre 19°C e 22°C. Considera-se ser este, o motivo da diferença entre os valores obtidos e valores da literatura.

Contudo, se se analisarem os resultados com mais pormenor, amostra a amostra, verifica-se que algumas das emissividades obtidas pelo emissómetro estão de acordo com os valores da literatura. Isto acontece, sobretudo, para os materiais em que os valores na literatura são indicados através de um intervalo de referência, como são o caso da madeira maciça, da madeira laminada não envernizada, da madeira laminada envernizada, da argamassa, do tijolo maciço, do aço inoxidável, da tinta branca e da tinta amarela. Dos materiais que tinham um intervalo de emissividade na literatura, apenas para a alcatifa e para o vidro não se obtiveram valores dentro do intervalo tabelado. No caso da alcatifa, como foi explicado anteriormente, o valor da leitura no voltímetro do emissómetro é dependente da pressão exercida no emissómetro contra a amostra. Logo, a emissividade obtida pelo emissómetro pode diferir do intervalo tabelado devido a ter sido exercida alguma pressão. Outro fator possível para esta diferença é desconhecer se a cor da alcatifa afeta a emissividade, pois não se encontraram dados relativos a essa informação.

Outro aspeto a referir é o facto de o emissómetro ter associado um erro de $\pm 0,02$ [13]. Logo, alguns dos valores que tenham uma diferença de $\pm 0,02$ dos valores da literatura podem ser considerados iguais. Este é o caso do granito, tijolo furado, cartão, papel de alumínio, tinta vermelha, tinta verde e cartolina amarela. Referira-se, ainda, que na literatura, a temperatura a que foi registada a emissividade do granito é de 21°C, do tijolo furado é de 20°C e das tintas é de 24°C, ou seja, idênticas às temperaturas dos ensaios.

5.3. SÍNTESE CRÍTICA

Em primeiro lugar, deve-se referir que seria desejável ter realizado mais medições para cada ensaio, de modo a que a análise estatística fosse mais fidedigna, contudo tal não foi possível devido ao pouco tempo disponível. Todos os ensaios foram realizados de modo muito rigoroso, seguindo todos os cuidados e procedimentos necessários. Deve-se realizar sempre mais do que uma medição num ensaio, deste modo em caso de erro, este pode passar despercebido facilmente. Foram realizadas quatro medições para cada ensaio e, estatisticamente, conclui-se que não existem diferenças significativas, podendo-se considerá-las estatisticamente iguais.

Realizaram-se ensaios que não estavam de acordo com a norma para mostrar que, realmente, os resultados não estariam de acordo com o esperado e, comprovou-se que, para essas amostras, são necessários outros procedimentos para a determinação da emissividade. Para cada amostra, para além dos ensaios realizados segundo os procedimentos do emissómetro, efetuaram-se outros ensaios com variantes desses procedimentos. Por análise estatística, chegou-se à conclusão de que os valores das emissividades para as diferentes variantes e para os procedimentos regulares do emissómetro, excluídos os casos que não estavam de acordo com a norma, são considerados iguais para um nível de significância de 5%.

Para o ensaio da alcatifa, ocorreu uma situação inesperada pelo facto de, ao se pressionar o emissómetro contra a amostra alterar a leitura da emissividade. Como se teria de pressionar o emissómetro no caso dos ensaios com o suporte inclinado, decidiu-se exercer a mesma pressão nos outros ensaios. Como as medições e os resultados dos diferentes ensaios foram considerados iguais, confirma-se que a pressão exercida sobre o emissómetro, quando colocado sobre a amostra, é a mesma para todos os ensaios. Contudo, acredita-se que esta necessidade fez com que o valor da emissividade da alcatifa não fosse o mais correto. O valor da emissividade na literatura para a alcatifa, a uma temperatura de 21°C, ou seja, parecida com a temperatura dos ensaios, pode variar entre 0,85 e 1,00, sendo diferente da emissividade obtida nos ensaios, ou seja, 0,71.

Relativamente às tintas, como estão sobre uma pedra calcária, o valor das suas emissividades é influenciado pela emissividade da pedra calcária. Como o emissómetro transfere calor para a amostra e a diferença de calor emitida e recebida é o que determina a emissividade para o emissómetro, conclui-se que a energia transferida para as tintas, é também transferida para a pedra calcária e, a energia que volta para o emissómetro é a energia refletida pela combinação pedra calcária mais as tintas. Assim, as medições das tintas não são tão precisas quanto o esperado.

Um caso inesperado ocorreu na amostra EPS de baixa emissividade. Neste caso, era esperado que a emissividade deste material fosse menor do que a emissividade do EPS, contudo não foi o que aconteceu. Na realidade, a emissividade obtida neste material foi superior em cerca de 0,11 à emissividade obtida do EPS. Isto pode dever-se à degradação das qualidades do material ao longo do tempo, uma vez que já se encontrava no Laboratório das Físicas das Construções há alguns anos.

Para a madeira laminada, de modo a verificar como o verniz iria influenciar a emissividade, realizaram-se dois ensaios: um com uma amostra envernizada e outro com a amostra não envernizada. Concluiu-se que a madeira laminada envernizada tem uma emissividade igual à da maneira laminada não envernizada. Logo, neste caso, o verniz não influenciou a emissividade da madeira laminada.

Relativamente aos materiais semitransparentes, o objetivo era verificar se, para este tipo de material, seria possível utilizar o método de deslizamento. Da análise efetuada, conclui-se que tal não é possível, sendo mesmo necessário o procedimento para amostras semitransparentes.

Todos os restantes ensaios decorreram como previsto e os seus resultados foram os esperados.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

O trabalho desenvolvido permitiu aprofundar o conhecimento sobre a emissividade, assim como conhecer os procedimentos associados à utilização do emissômetro.

O trabalho experimental que foi realizado permitiu estimar a emissividade de vários materiais de construção e avaliar a influência de variantes ao procedimento de medição, tal como era o objetivo desta dissertação.

Apresenta-se, de seguida, as conclusões retiradas deste trabalho experimental:

- Verificou-se que, tal como a norma ASTM C1371 preconiza, os materiais cuja razão entre a condutibilidade e a espessura da amostra é menor que $1100 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, não podem ser ensaiados com o emissômetro utilizando o procedimento apresentado na norma. Para estas amostras são necessários procedimentos especiais;
- A emissividade de um material não depende do tipo de material constituinte do apoio onde está colocada, nem da sua inclinação;
- Na utilização do emissômetro, pode-se utilizar o padrão de referência de baixa emissividade para comparação com a amostra, mas aconselha-se a utilização do padrão de referência de alta emissividade como referido na norma e no manual de instruções do emissômetro;
- A emissividade da alcatifa varia com a pressão exercida no detetor do emissômetro sobre a amostra;
- Quando as tintas estão aplicadas sobre um outro material, a sua emissividade vai ser influenciada pela emissividade desse material;
- Só é possível determinar corretamente a emissividade de materiais semitransparentes utilizando o procedimento descrito pelo fabricante para este tipo de materiais. A utilização do procedimento da norma ASTM C1371, assim como outros procedimentos encontrados no manual do emissômetro, resultarão em valores errados;

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para futuros estudos sobre a determinação da emissividade de materiais de construção destaca-se:

- Avaliação de procedimentos de ensaio adequados à determinação da emissividade das tintas, de modo a ser possível analisar qual a influência do material de suporte;
- Determinação da emissividade para diferentes temperaturas e humidades relativas;

- Avaliação experimental dos resultados obtidos para amostras colocadas na vertical por comparação com amostras colocadas na horizontal;
- Realização de estudos mais aprofundados sobre materiais como a alcatifa, para um melhor conhecimento da emissividade destes materiais e da sua variação em função da cor, do tratamento e da pressão exercida sobre o detetor durante a medição;
- Avaliação do efeito do acabamento dos materiais (pintura, verniz, rugosidade, brilho, etc) nos valores da emissividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Incropera, F., Dewitt, D., Lavine, A., & Bergman, T. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th ed)*. Canadá: John Wiley & Sons Inc.
- [2] *Infrared Thermography Field Application Guide*, EPRI, Palo Alto, CA: 1999. Report TR-107142.
- [3] Çengel, Y. (2003). *Heat Transfer: A practical Approach (2nd ed.)*. McGrall-Hill, Nova Iorque, Estados Unidos da América
- [4] Serth, R. W. (2007). *Process Heat Transfer: Principles and Applications*. Elsevier.
- [5] Long, C., Sayma, N. (2009). *Heat Transfer*. Ventus Publishing ApS
- [6] Lienhard IV, J. H., Lienhard V, J. H. (2008). *A Heat Transfer Textbook (3rd ed.)*. Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos da América.
- [7] Perez, B. (2010). *Curso de Termografia - Iniciante*. Instronic Instrumentos de Teste Ltda., São Paulo, Brasil.
- [8] Barreira, E. (2004). *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- [9] Oliveira, T. (2012). *Análise de Sistema de Energia e Máquinas Elétricas com recurso à termografia*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [10] FLIR (2010). *ThermaCAM Researcher Professional (Version 2.10)*.
- [11] Gaussorgues, G. (1994). *Infrared Thermography*. Chapman & Hall.
- [12] Perin, A. (2009). *Desenvolvimento de um Equipamento para Medição de Emissividade*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- [13] Devices & Services Co. *Manual do Emissómetro Model AE*. Texas, Estados Unidos da América

- [14] ASTM (1997). *Standart Test Methods for Determination of Emittance Materials Near Room Temperatura Using Portable Emissometers*. C1371 – 97, (04.06), American Society for Testing and Materials.
- [15] Kollie, T., Weaver, F., McElroy, D. (1990). *Evaluation of a commercial, portable, ambienttemperature emissometer*. AIP Publishing LLC.
- [17] <http://www.ib.cnea.gov.ar/~experim2/Cosas/omega/emisivity.htm> abril 2015
- [18] Santos, A. P.; Matias, L. (2007) *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. ITE 50. LNEC, Lisboa, Portugal
- [19] <http://www.mspc.eng.br/ciemat/cmat310.shtml> abril 2015
- [20] http://www.ecocasa.org/userfiles/file/POLUESTIRENO_EXTRUDIDO.pdf abril 2015
- [21] Barreira, E. (2014) *Relatório de Ensaio*. FEUP, Porto, Portugal
- [22] http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf abril 2015
- [23] <http://www.ircon.com/Ircon/en-r0/IREducation/Emissivity+of+Common+Materials+and+Non-Metals.htm> abril 2015
- [24] <http://www.ib.cnea.gov.ar/~experim2/Cosas/omega/emisivity.htm> abril 2015
- [25] <http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm> abril 2015
- [26] Gomes, C. (2001). *Estudo Comparativo de Superfícies Seletivas para Coletores Solares*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- [27] Montgomery, D., Runger, G. (2003) *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, Inc, Estados Unidos da América

ANEXO I

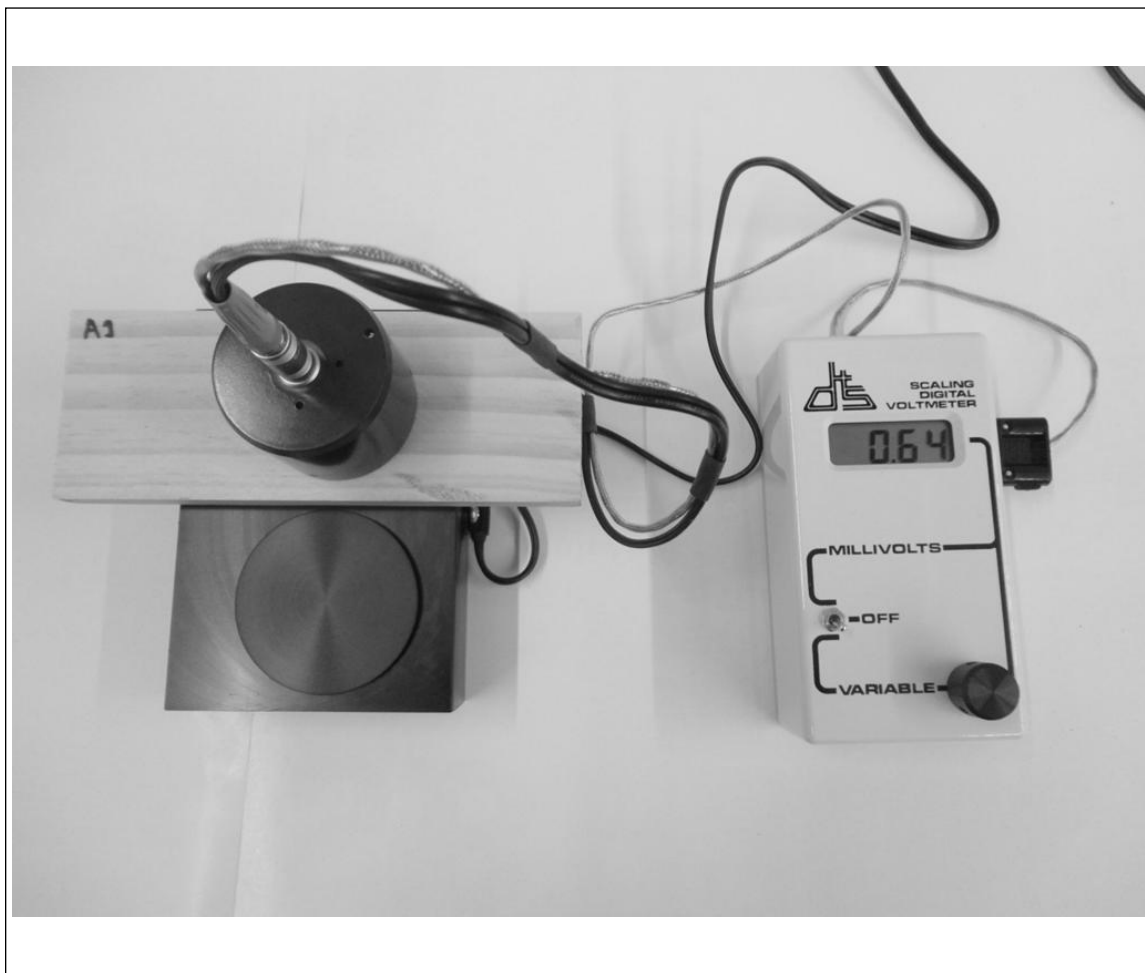
Fichas de Ensaio

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: P-A1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,8	47,7	0,64					0,64
2ª	15/04/2015	20,1	58,6	0,62					0,62
3ª	23/04/2015	21,4	51,6	0,65					0,65
4ª	24/04/2015	20,1	60,2	0,65					0,65

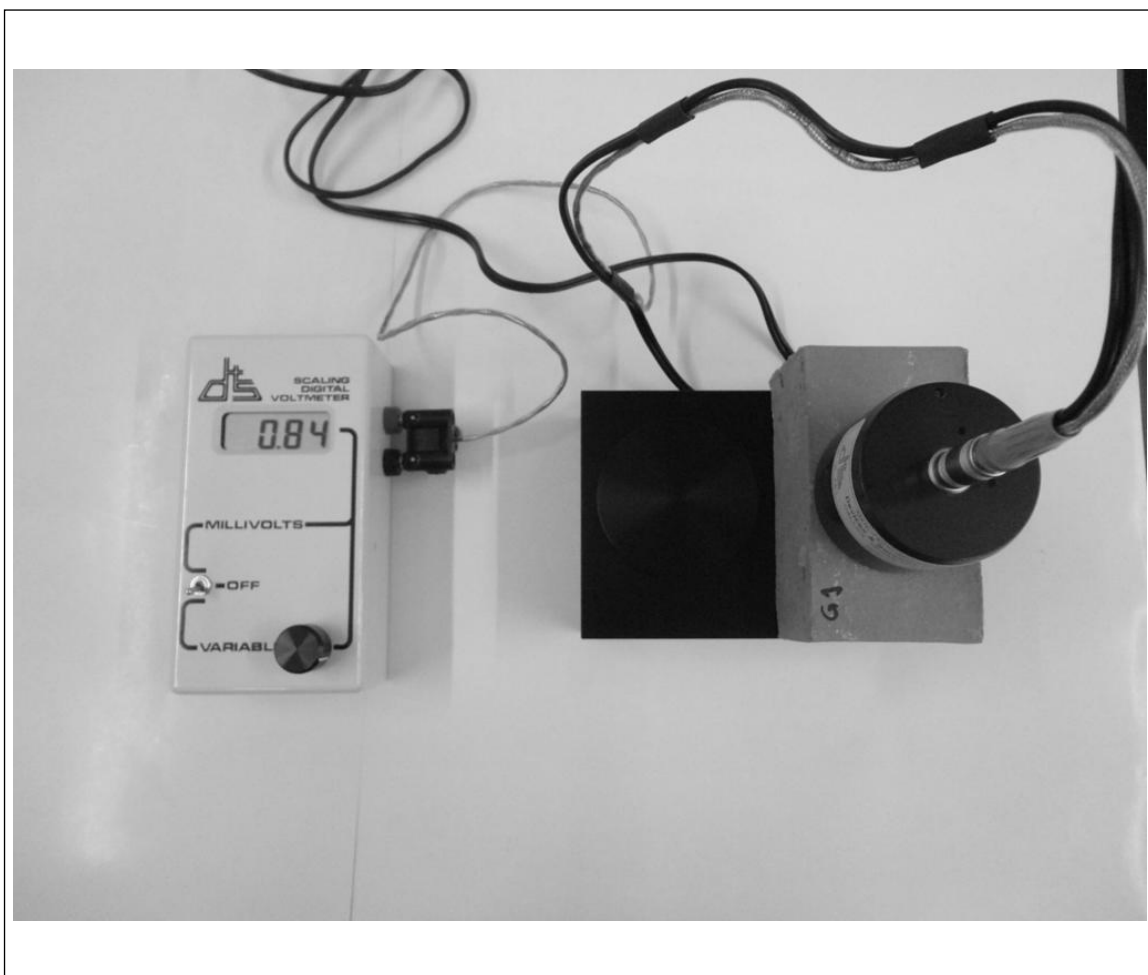
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: P-G1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,8	47,7	0,84					0,84
2ª	17/04/2015	20,1	58,6	0,82					0,82
3ª	23/04/2015	21,4	51,4	0,84					0,84
4ª	24/04/2015	20,1	60,6	0,85					0,85

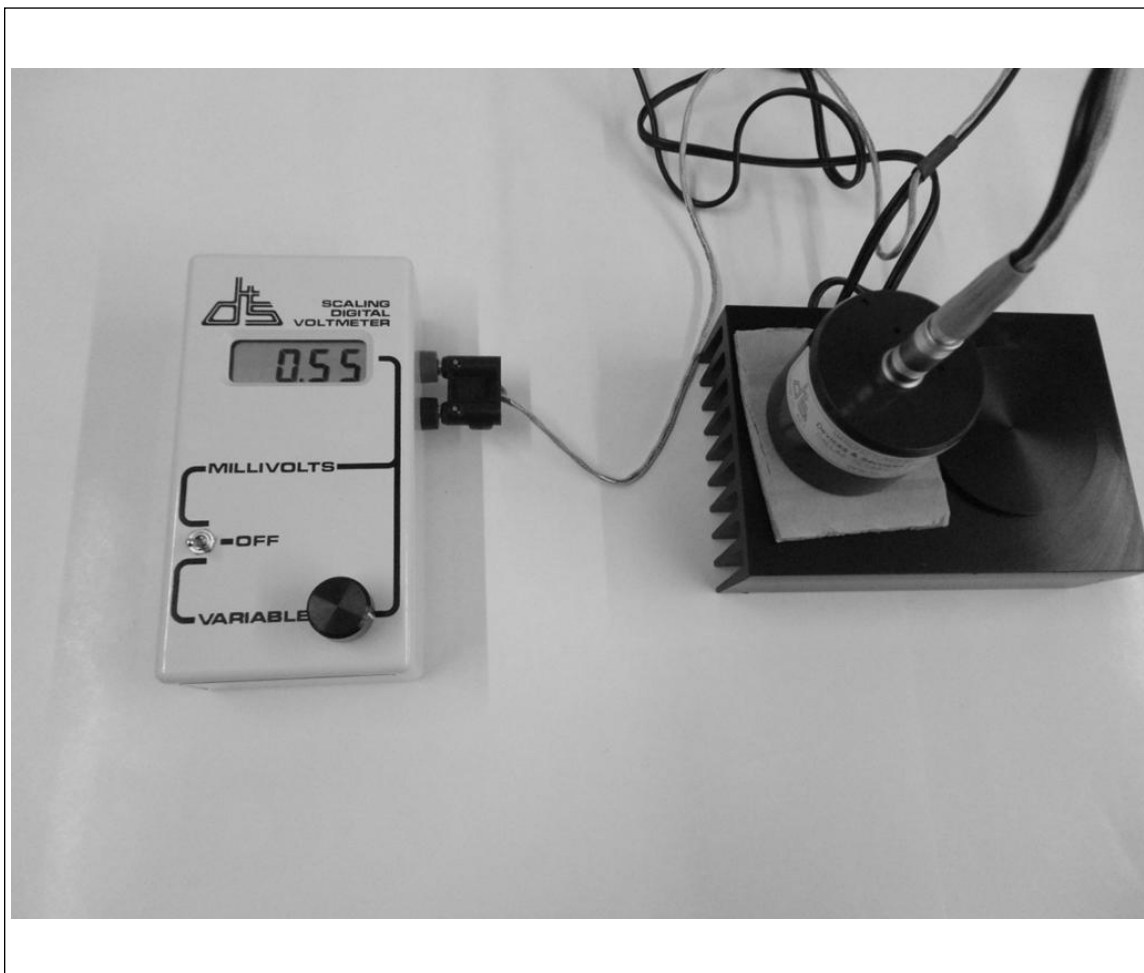
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: P-M1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1 ^a	14/04/2015	21,1	52,2	0,55					0,55
2 ^a	17/04/2015	21,3	55,7	0,55					0,55
3 ^a	23/04/2015	21,4	54,0	0,54					0,54
4 ^a	24/04/2015	20,1	66,0	0,55					0,55

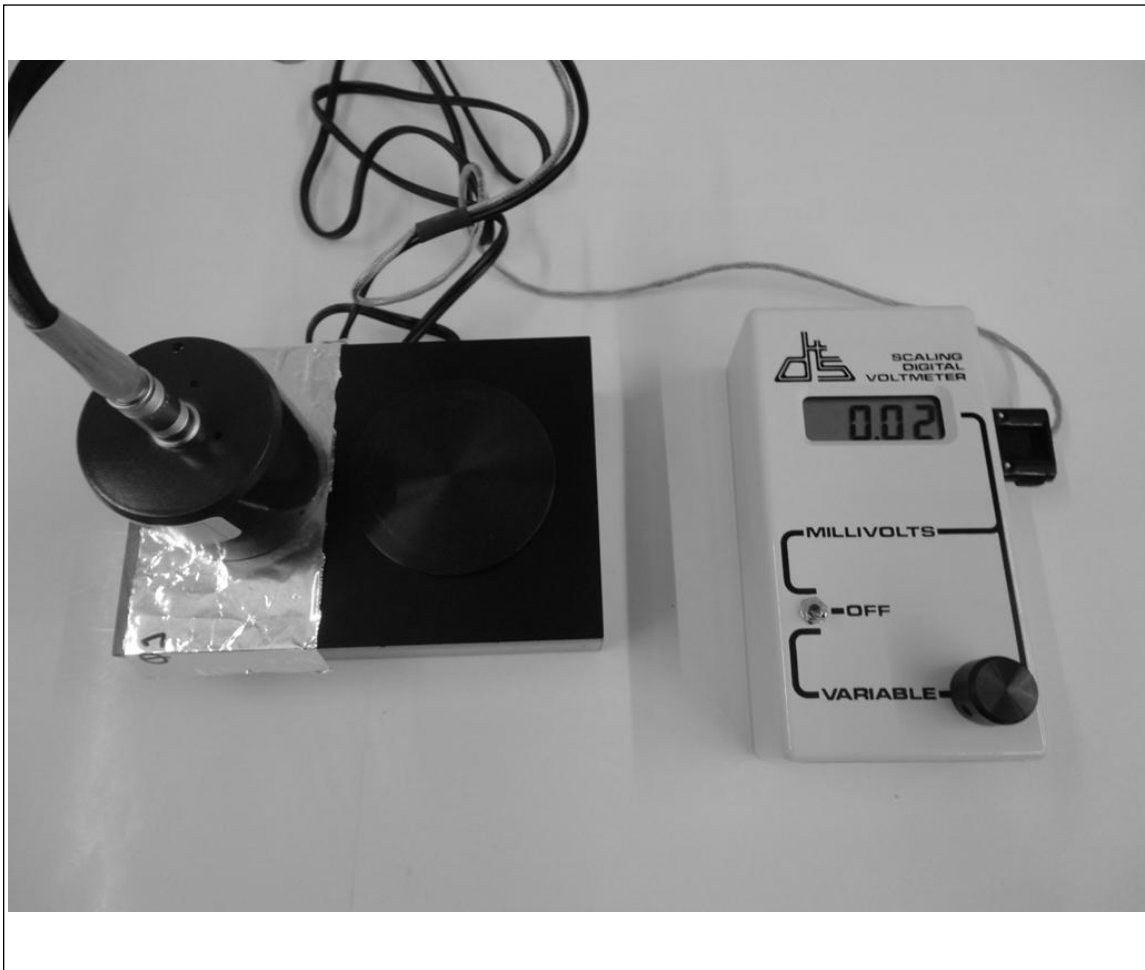
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: P-Q1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,1	52,2	0,02					0,02
2ª	15/04/2015	20,6	59,2	0,03					0,03
3ª	17/04/2015	21,3	55,9	0,02					0,02
4ª	23/04/2015	21,4	51,4	0,03					0,03

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: BC-I1.21

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,8	47,7	0,50	0,52				0,52
2ª	17/04/2015	21,3	56,7	0,50	0,53				0,51
3ª	23/04/2015	21,4	51,7	0,48	0,50				0,50
4ª	24/04/2015	20,1	61,6	0,49	0,50				0,50

Observações:

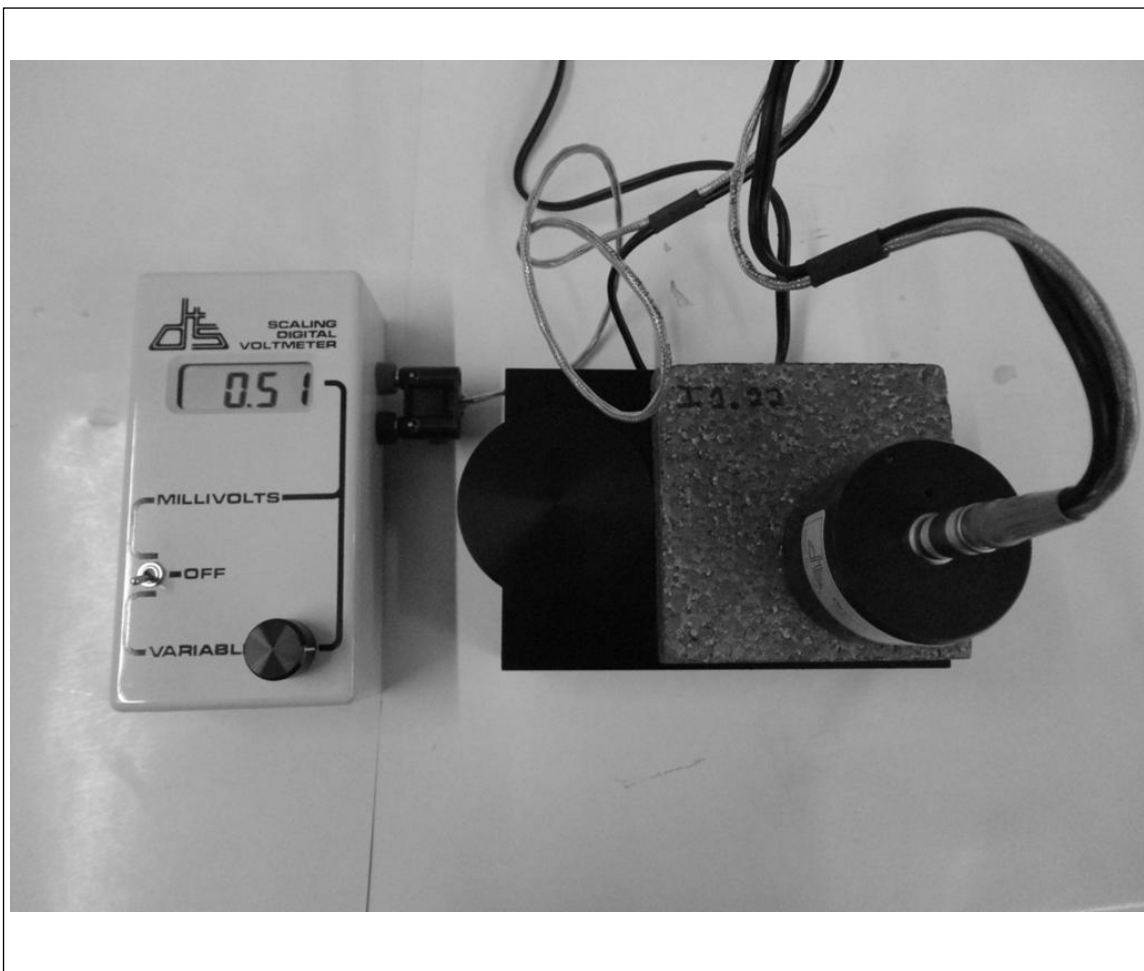
Como a amostra é pequena, apenas foi possível fazer duas medições.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: BC-I1.22

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,8	47,7	0,49	0,53				0,53
2ª	17/04/2015	21,2	56,7	0,52	0,57				0,57
3ª	23/04/2015	21,4	51,3	0,51	0,51				0,51
4ª	24/04/2015	20,1	62,5	0,47	0,51				0,51

Observações:

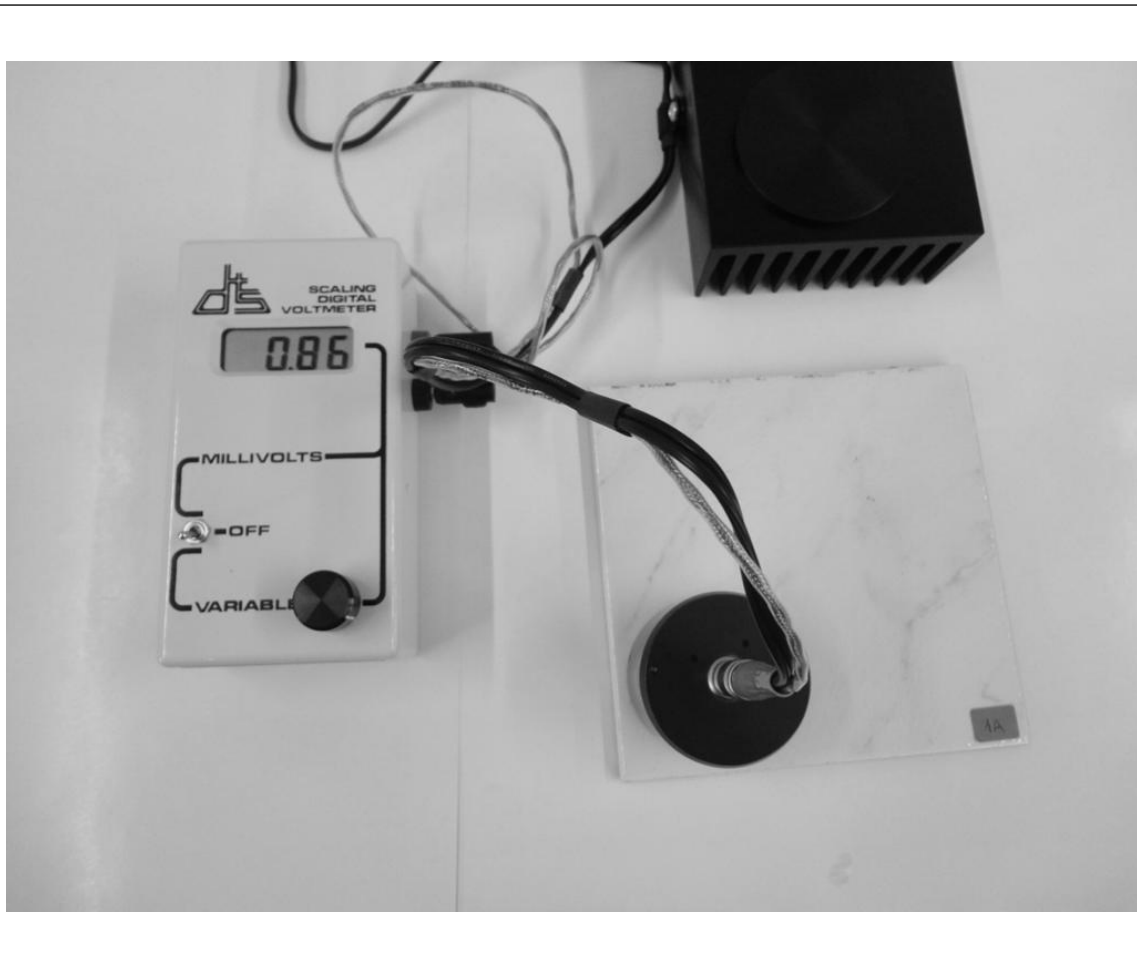
Como a amostra é pequena, apenas foi possível fazer duas medições.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-1A

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	48,0	0,86	0,86	0,87	0,86		0,86
2ª	16/04/2015	22,4	55,9	0,86	0,85	0,85	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	21,4	51,2	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87
4ª	24/04/2015	20,7	56,2	0,85	0,85	0,86	0,86		0,86

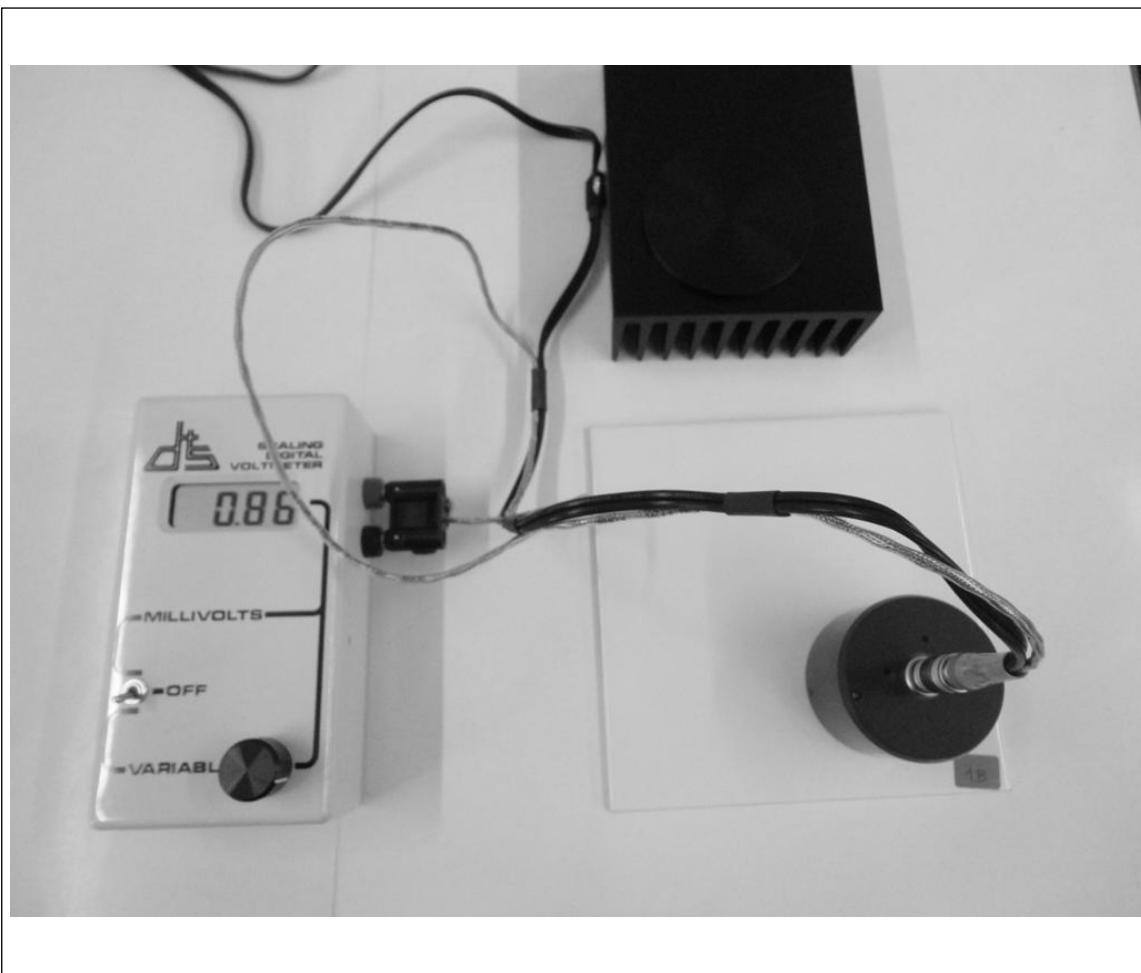
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-1B

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	48,0	0,86	0,85	0,85	0,86		0,86
2ª	16/04/2015	20,4	55,9	0,86	0,86	0,85	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	21,5	51,3	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	24/04/2015	20,9	57,2	0,85	0,85	0,86	0,86		0,86

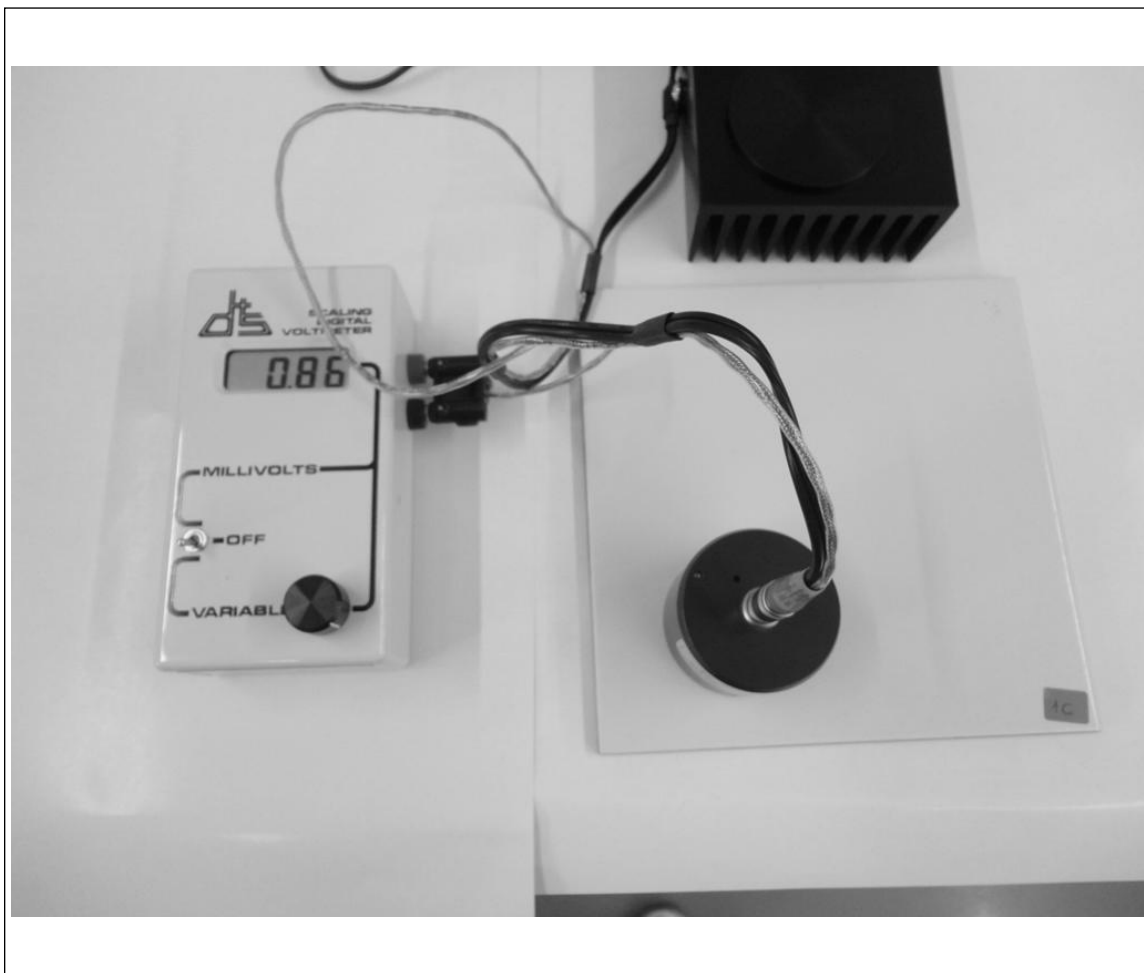
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-1C

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,2	48,1	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	16/04/2015	22,5	56,0	0,86	0,85	0,85	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	23,4	51,2	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	24/04/2015	20,6	58,1	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-3ABC

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	48,0	0,87	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	16/04/2015	22,5	55,8	0,86	0,85	0,86	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	21,5	51,3	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	24/04/2015	21,1	64,7	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86

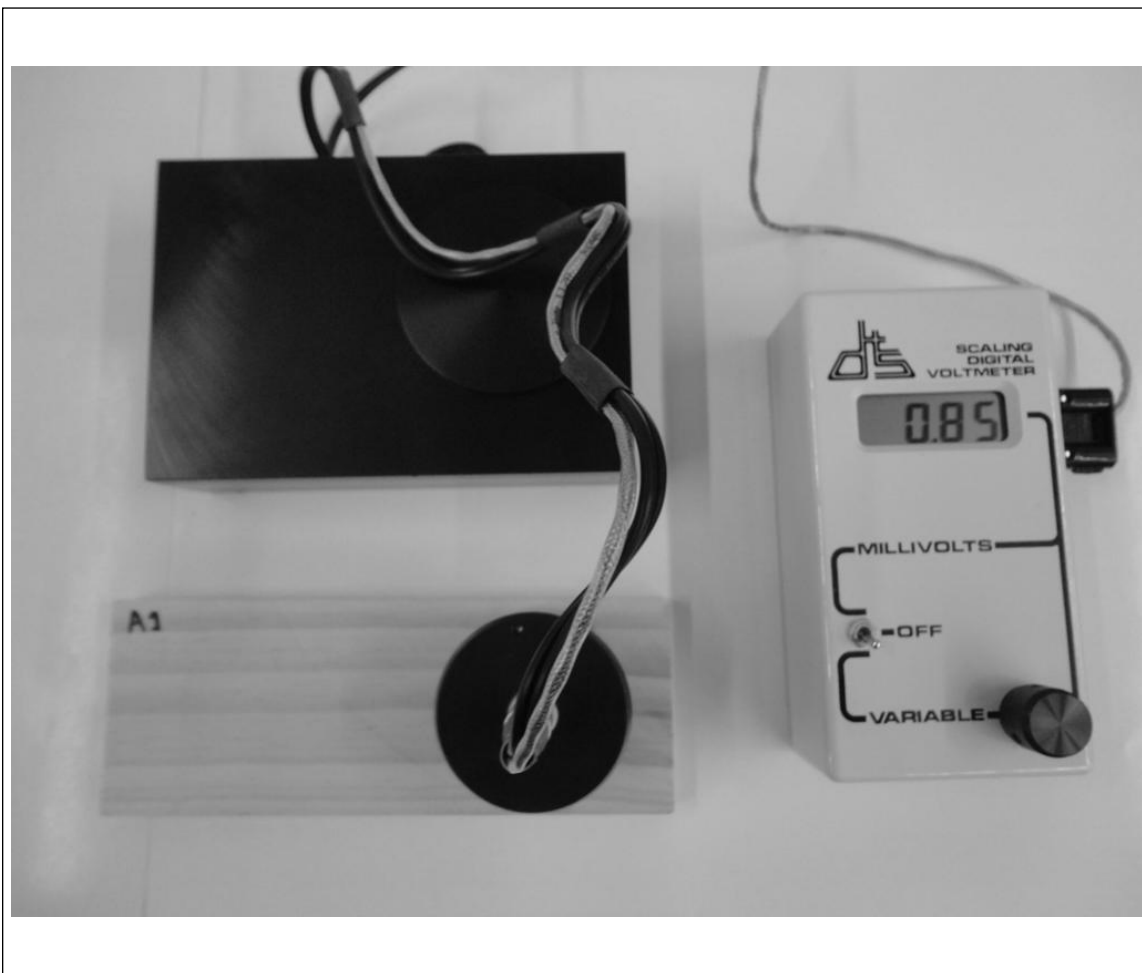
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-A1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,1	52,2	0,83	0,81	0,85			0,85
2ª	15/04/2015	20,8	59,2	0,85	0,84	0,86			0,86
3ª	17/04/2015	21,7	52,3	0,84	0,85	0,86			0,86
4ª	23/04/2015	20,1	58,1	0,85	0,86	0,86			0,86

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-A2.1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,1	52,2	0,86	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88
2ª	15/04/2015	21,5	59,5	0,83	0,86	0,88	0,89	0,89	0,89
3ª	17/04/2015	21,7	52,2	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
4ª	24/04/2015	20,1	64,1	0,85	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88

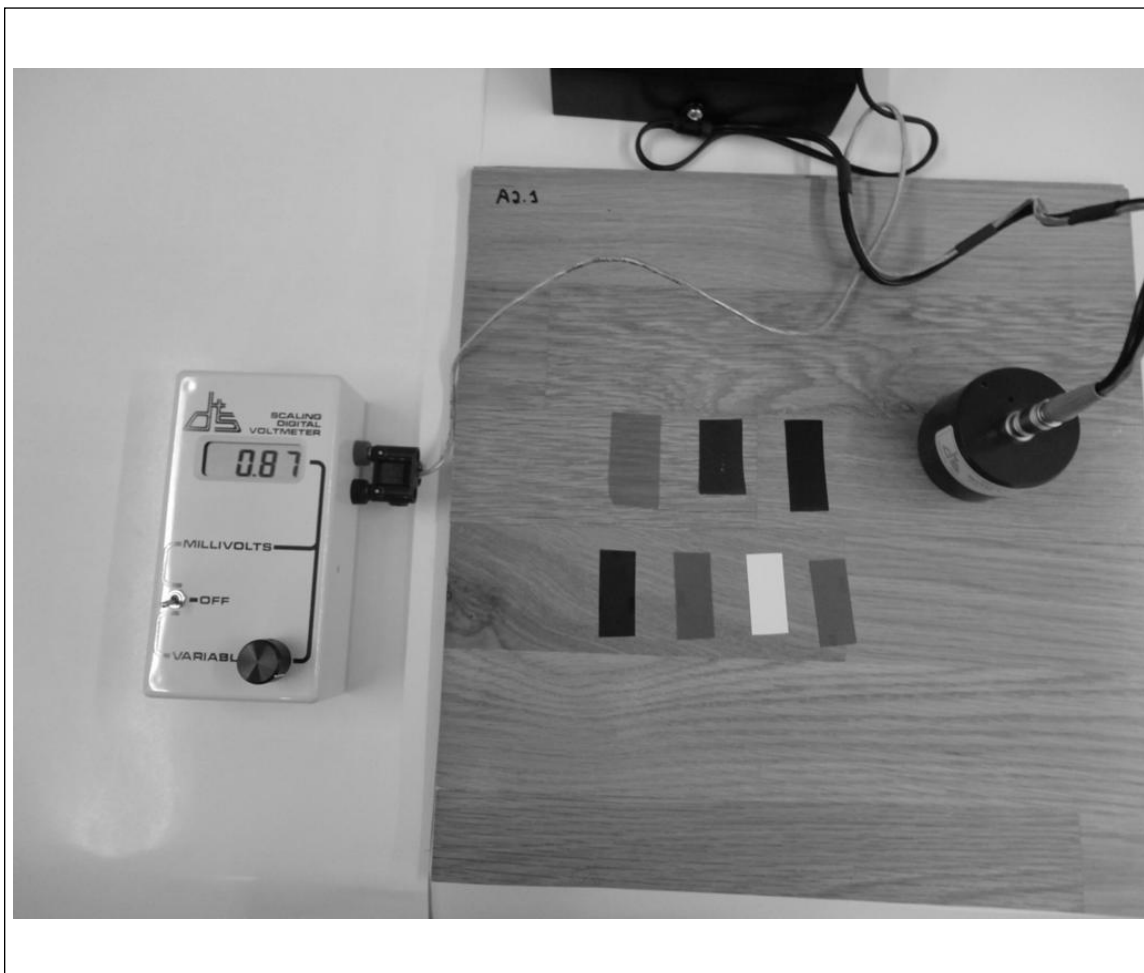
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-A2.2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,1	52,0	0,85	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87
2ª	15/04/2015	21,0	59,5	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86
3ª	17/04/2015	21,7	52,2	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86	0,86
4ª	24/04/2015	20,0	63,8	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87

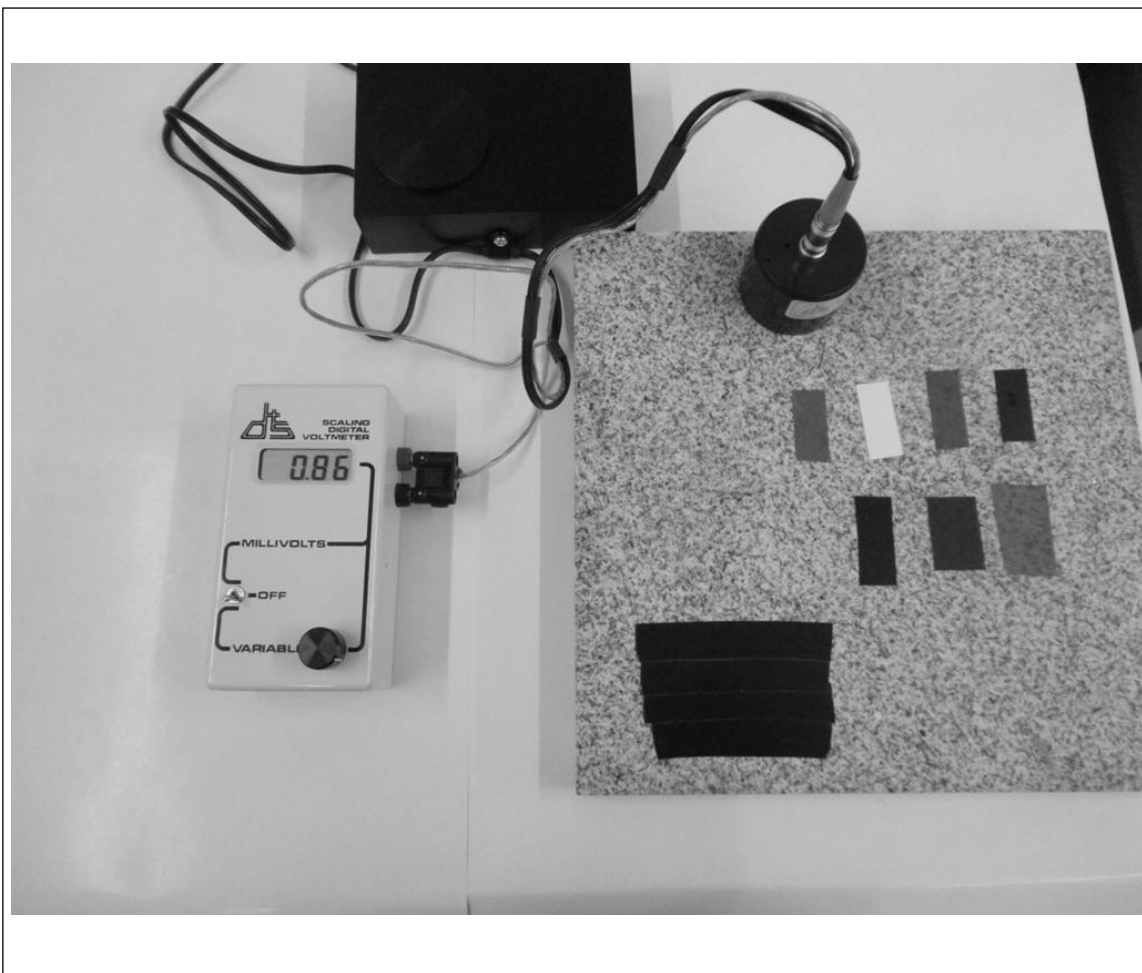
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-B1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	20,9	49,4	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	15/04/2015	21,1	59,0	0,86	0,87	0,87	0,87		0,87
3ª	20/04/2015	20,3	60,2	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	24/04/2015	20,4	57,9	0,85	0,86	0,85	0,86		0,86

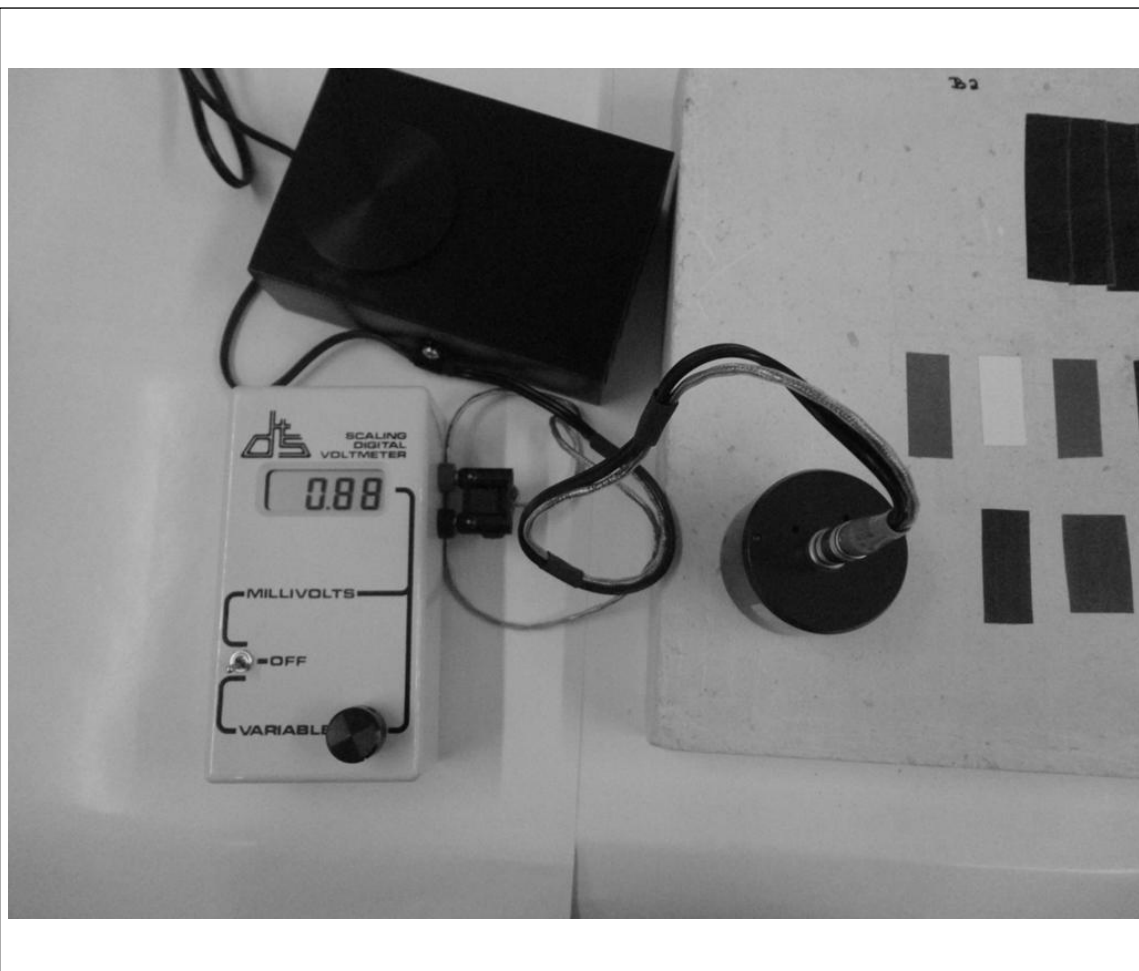
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-B2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	20,9	49,4	0,87	0,87	0,87	0,88		0,88
2ª	15/04/2015	21,1	59,8	0,87	0,87	0,87	0,87		0,87
3ª	20/04/2015	21,4	50,5	0,87	0,87	0,88	0,88		0,88
4ª	24/04/2015	20,0	60,6	0,85	0,85	0,86	0,87		0,87

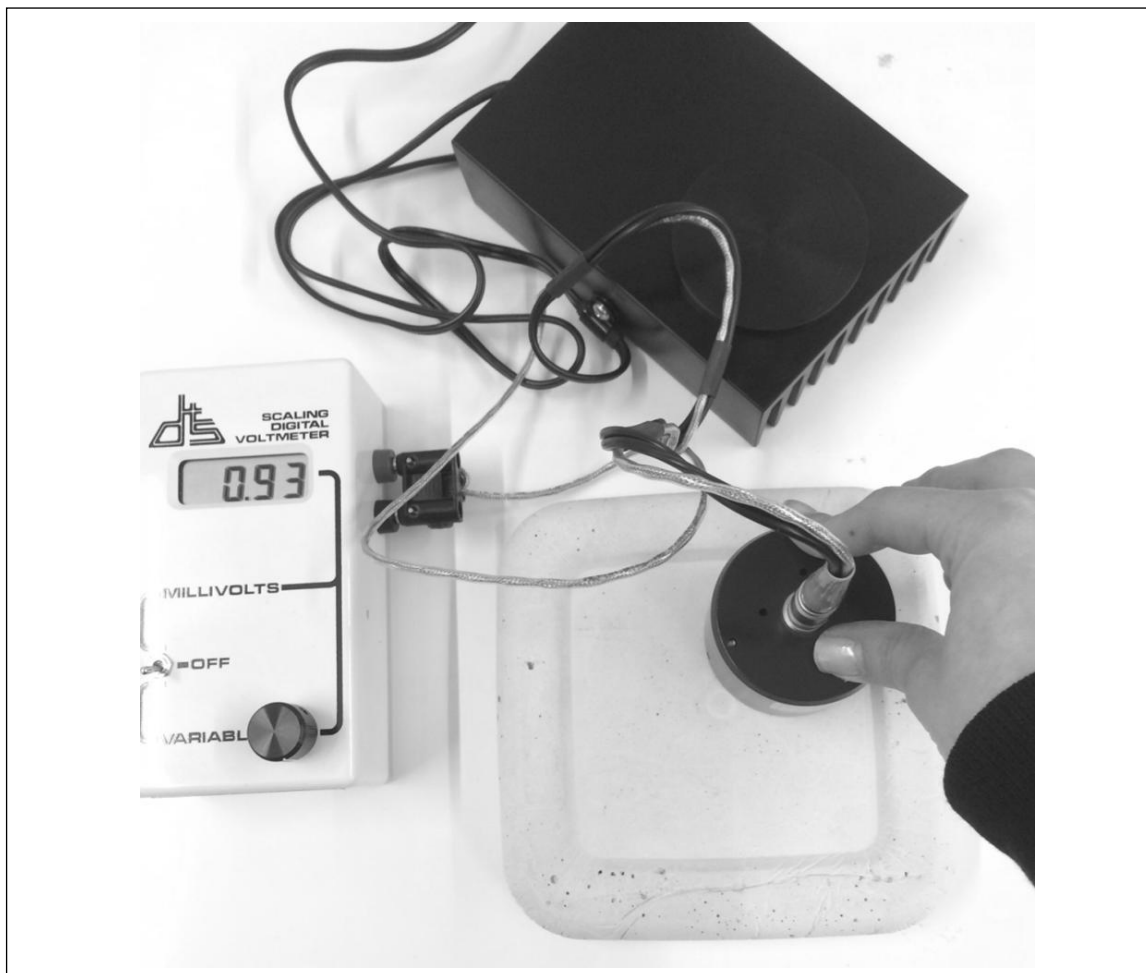
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- C1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,5	48,3	0,89	0,94	0,91	0,93		0,93
2ª	14/04/2015	20,6	51,0	0,89	0,90	0,91	0,91		0,91
3ª	23/04/2015	21,9	51,0	0,90	0,92	0,95	0,95		0,95
4ª	27/04/2015	22,4	58,3	0,91	0,93	0,94	0,95		0,95

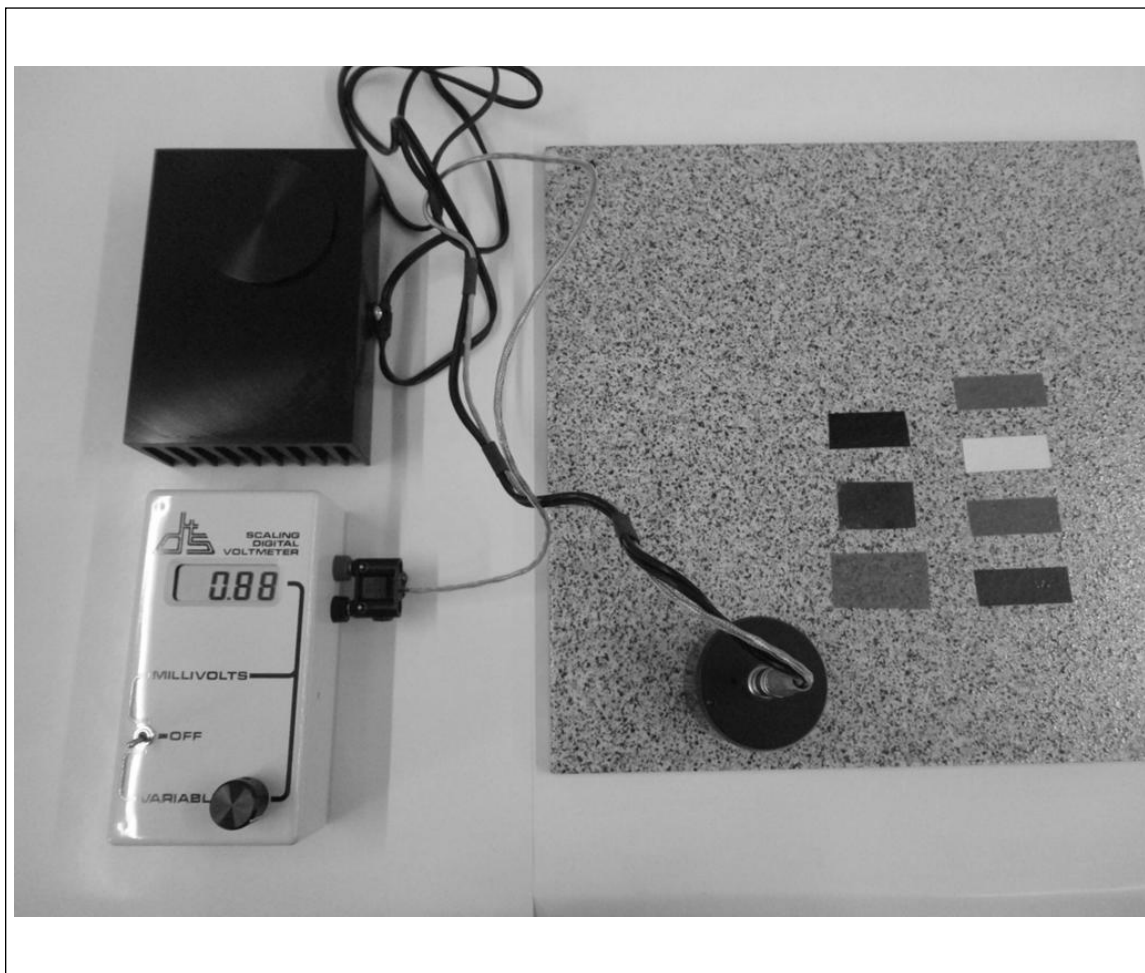
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-D1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,2	48,8	0,87	0,87	0,87	0,88		0,88
2ª	15/04/2015	21,2	59,5	0,87	0,88	0,88	0,89		0,89
3ª	20/04/2015	21,4	50,5	0,87	0,87	0,86	0,89		0,89
4ª	24/04/2015	20,4	60,4	0,87	0,86	0,86	0,86		0,86

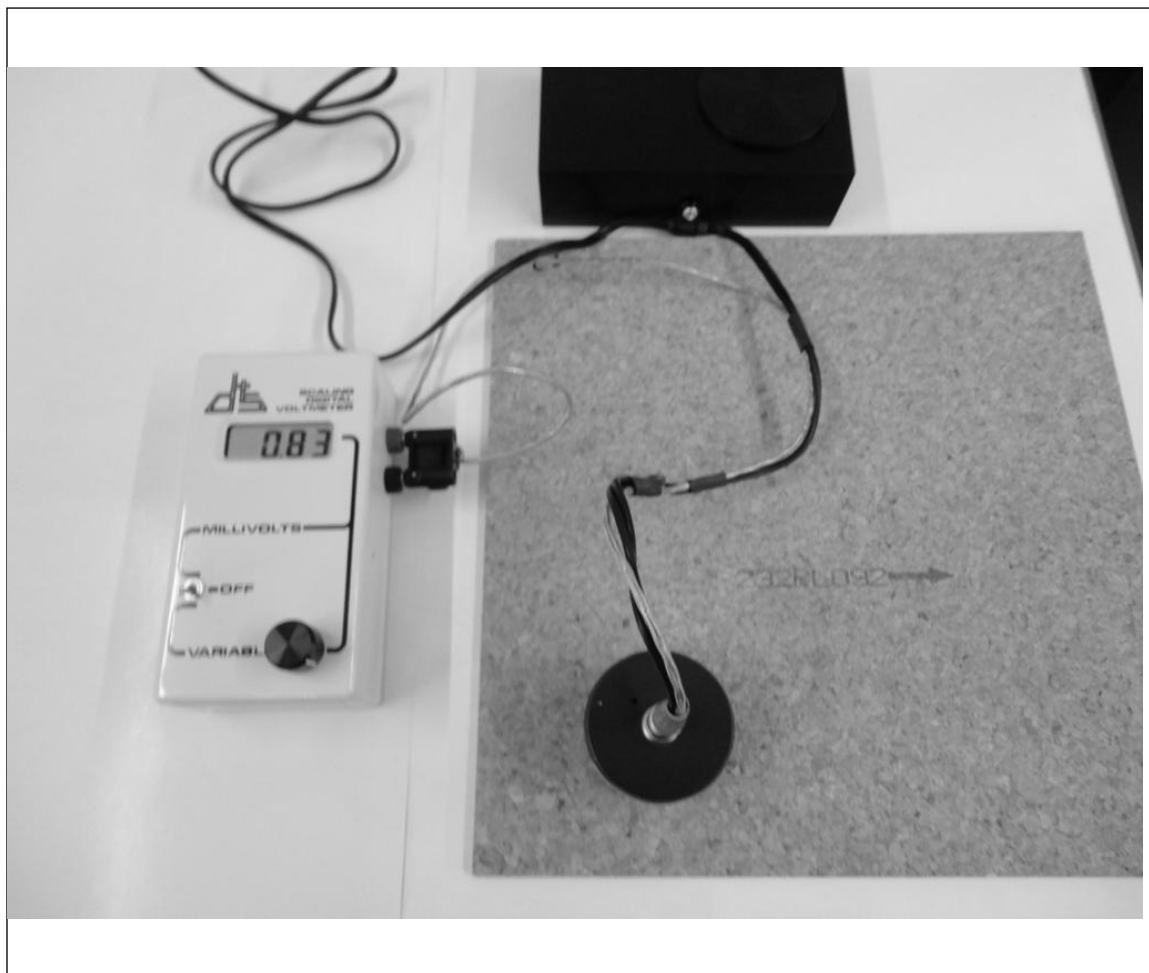
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-E1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	48,0	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83
2ª	16/04/2015	22,4	55,8	0,81	0,81	0,82	0,81	0,83	0,83
3ª	23/04/2015	21,7	51,0	0,81	0,82	0,81	0,83	0,84	0,84
4ª	24/04/2015	21,2	61,2	0,80	0,81	0,82	0,81	0,83	0,83

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-F1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	48,0	0,87	0,88	0,88	0,89		0,89
2ª	16/04/2015	22,4	56,0	0,87	0,87	0,87	0,90		0,90
3ª	23/04/2015	21,3	51,0	0,86	0,87	0,88	0,90		0,90
4ª	24/04/2015	21,3	61,0	0,87	0,87	0,87	0,89		0,89

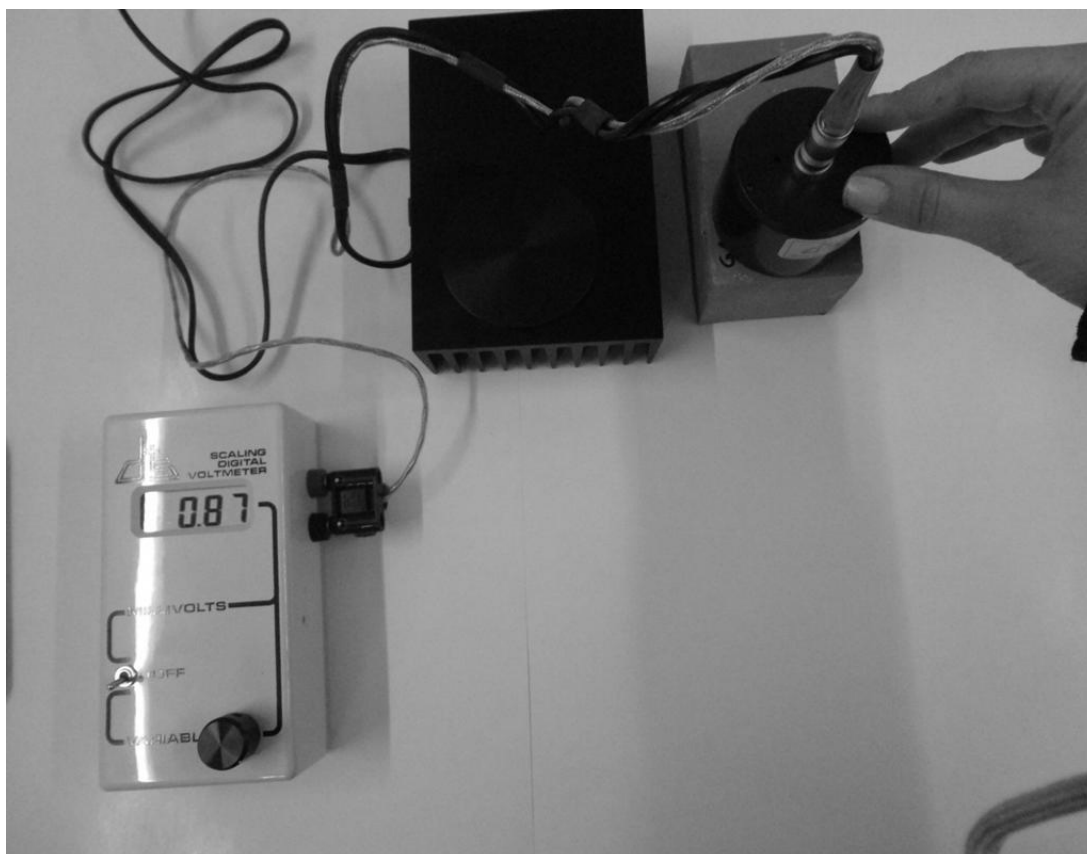
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-G1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,3	47,7	0,87	0,87				0,87
2ª	17/04/2015	21,6	53,7	0,88	0,89				0,89
3ª	23/04/2015	21,7	50,9	0,88	0,89				0,89
4ª	27/04/2015	22,0	60,0	0,88	0,88				0,88

Observações:

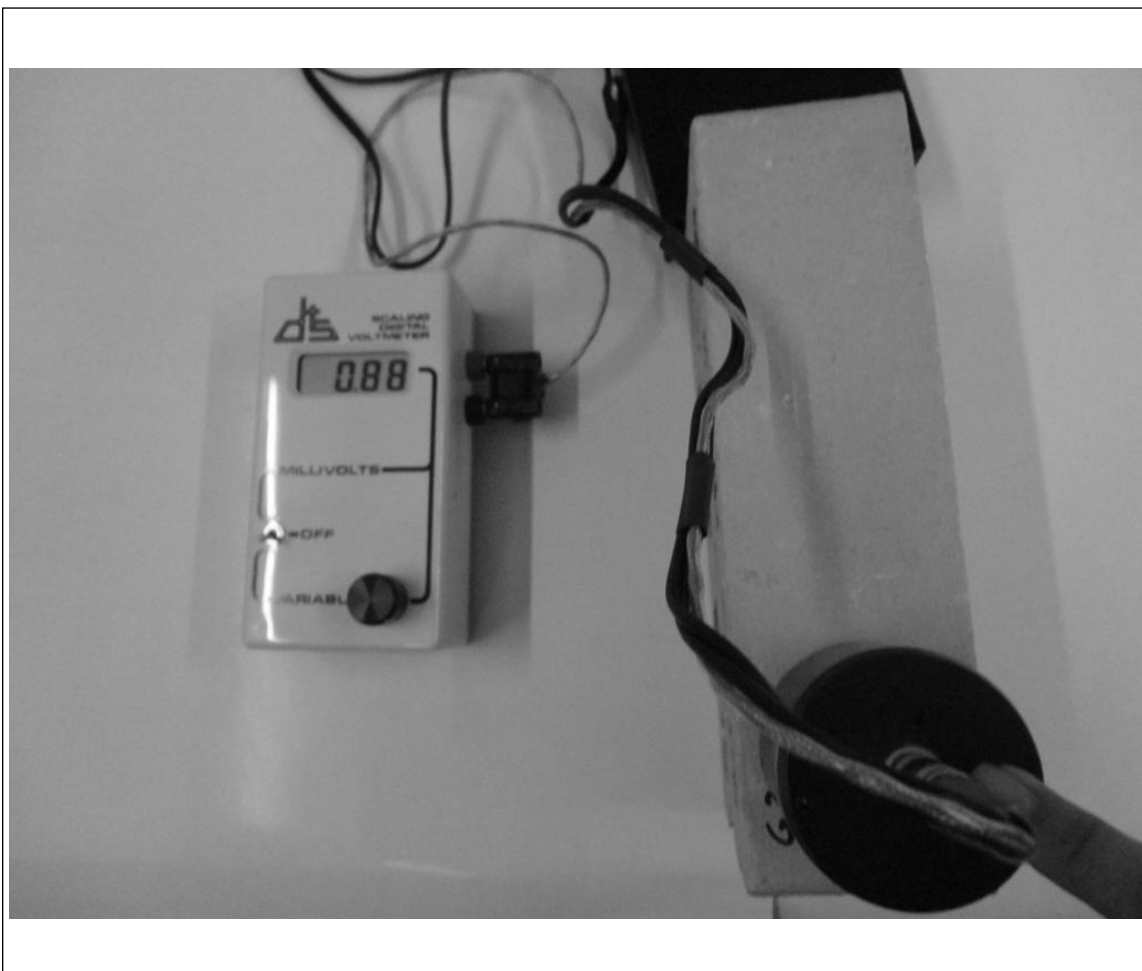
O emissómetro não assenta completamente em cima da amostra devido a irregularidades da amostra.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-G2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,4	47,8	0,88	0,88	0,87	0,88		0,88
2ª	17/04/2015	21,6	53,6	0,86	0,87	0,86	0,87		0,87
3ª	23/04/2015	21,6	51,3	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87
4ª	27/04/2015	22,0	59,7	0,86	0,86	0,86	0,87		0,87

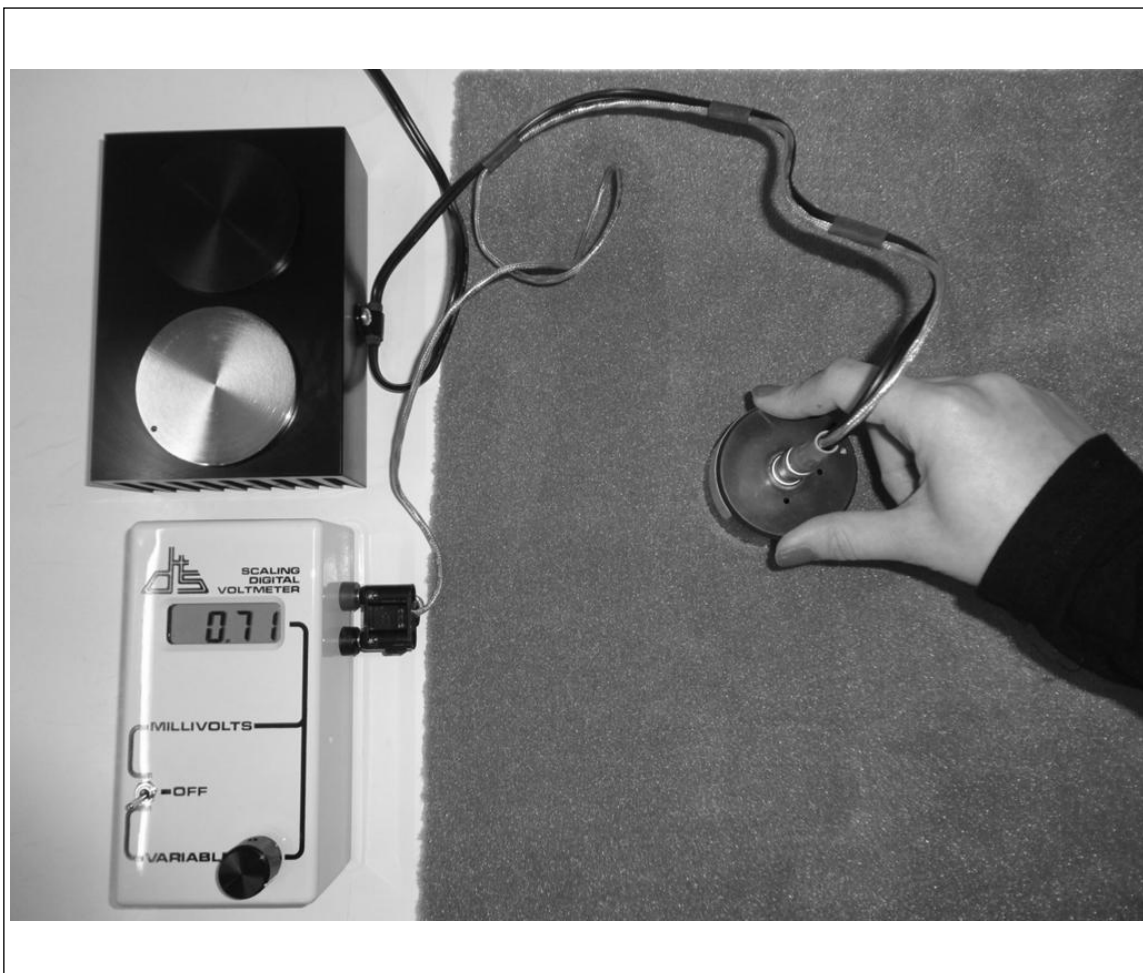
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- H1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	23/04/2015	21,7	52,8	0,68	0,65	0,68	0,70	0,72	0,72
2ª	24/04/2015	22,2	50,1	0,72	0,68	0,69	0,71	0,72	0,72
3ª	27/04/2015	22,0	49,6	0,69	0,64	0,67	0,67	0,69	0,69
4ª	28/04/2015	21,4	55,6	0,62	0,60	0,67	0,67	0,71	0,71

Observações:

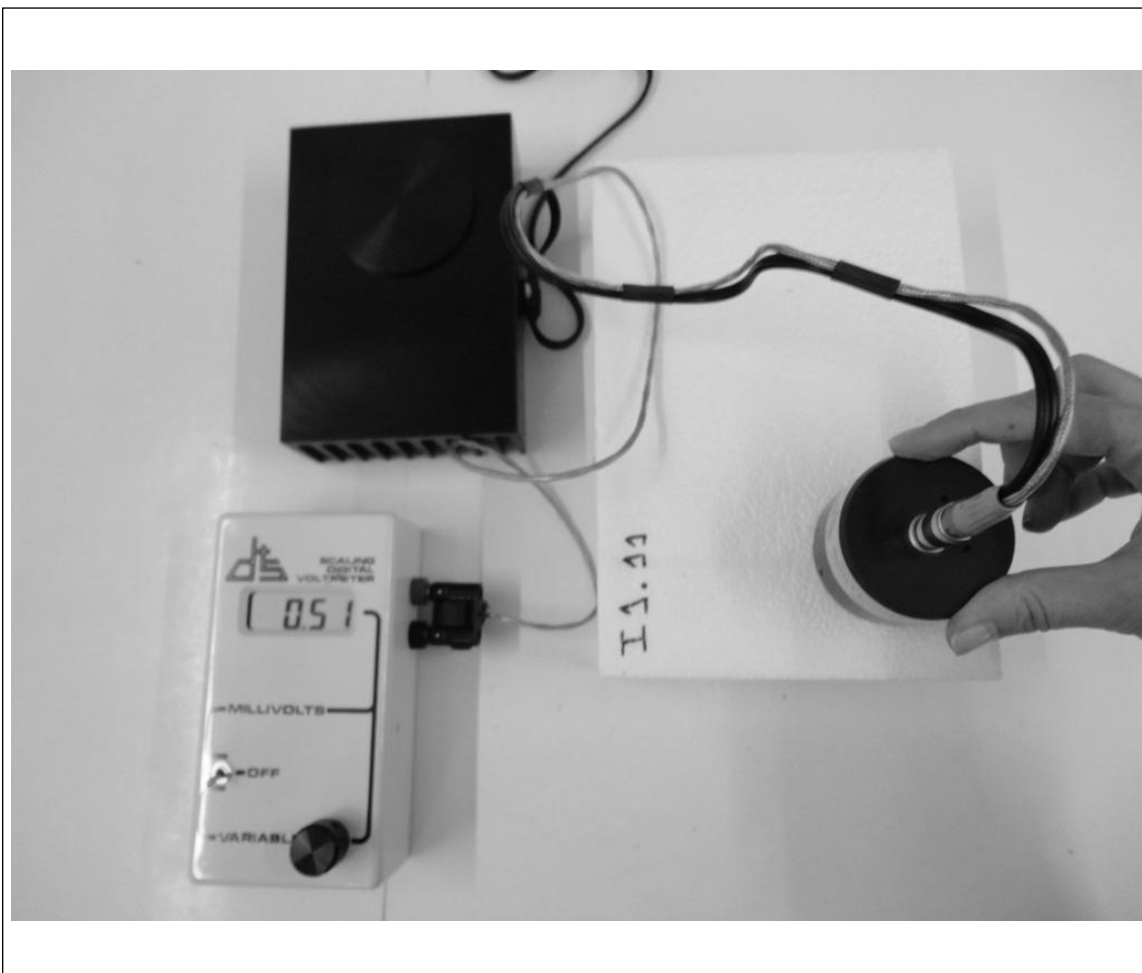
A pressão colocada no detetor sobre a amostra altera o resultado. Se apenas se pousar o detetor sobre a amostra e não se pressionar, o valor da emissividade lida no voltímetro será maior.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-I1.11

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,4	47,5	0,49	0,48	0,48	0,47	0,50	0,50
2ª	17/04/2015	21,6	52,9	0,52	0,47	0,46	0,46	0,50	0,50
3ª	23/04/2015	21,6	51,3	0,50	0,48	0,47	0,47	0,51	0,51
4ª	27/04/2015	22,3	59,5	0,48	0,46	0,46	0,46	0,50	0,50

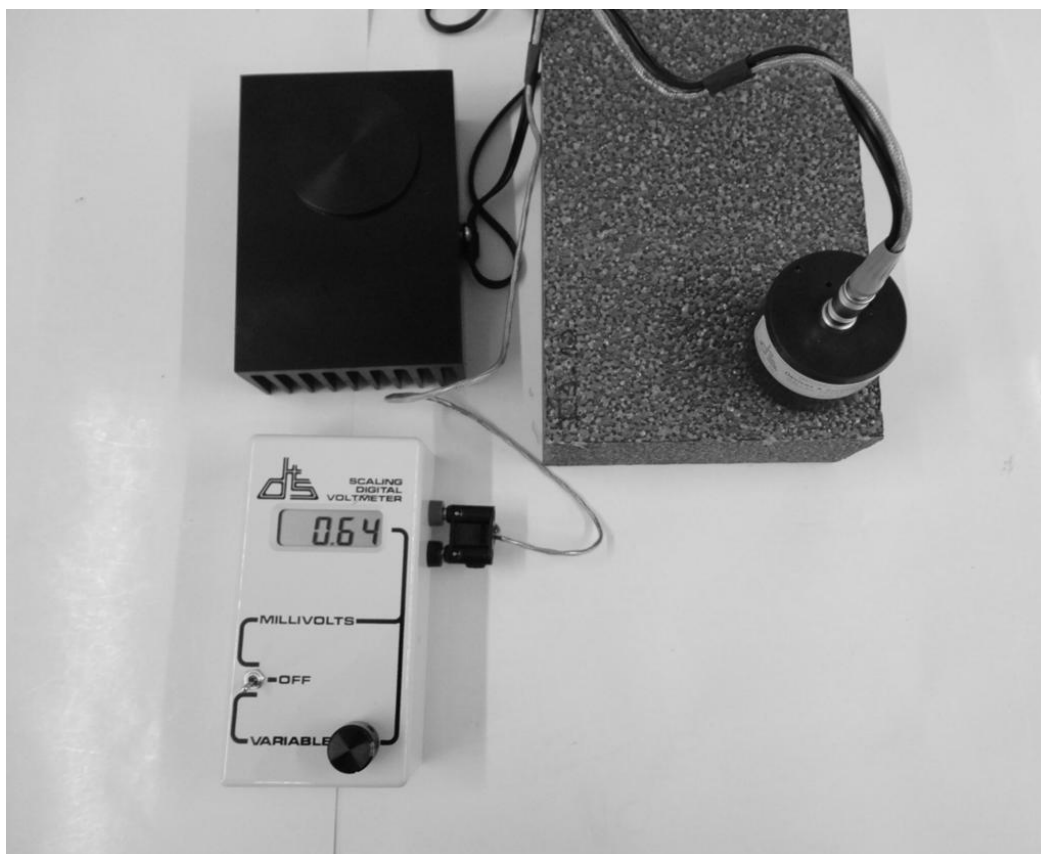
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-I1.12

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,4	47,5	0,53	0,54	0,54	0,54	0,61	0,61
2ª	17/04/2015	21,6	53,6	0,55	0,56	0,56	0,56	0,63	0,63
3ª	23/04/2015	21,7	51,1	0,55	0,56	0,57	0,57	0,64	0,64
4ª	27/04/2015	22,3	58,8	0,54	0,54	0,54	0,55	0,61	0,61

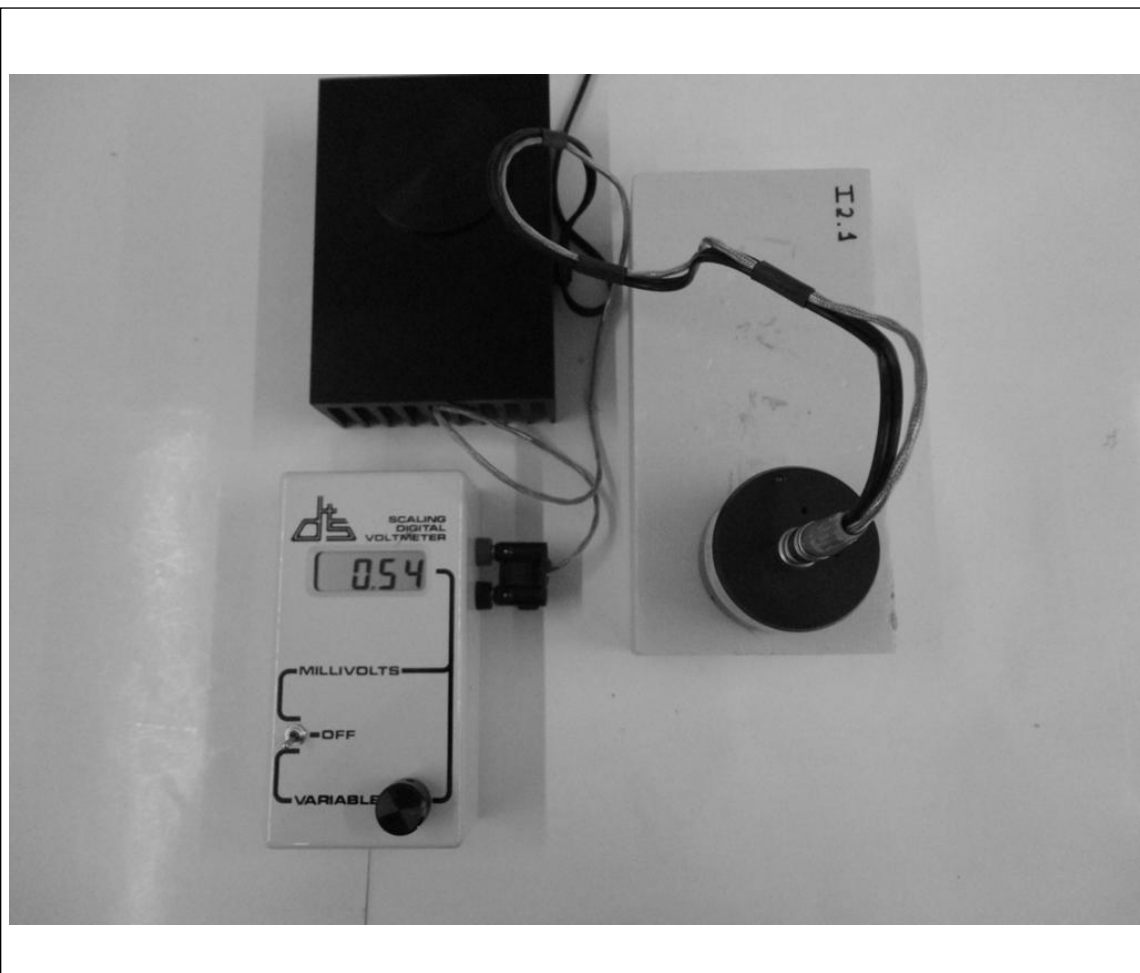
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-I2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,5	48,2	0,51	0,49	0,53			0,53
2ª	17/04/2015	21,6	53,1	0,51	0,49	0,54			0,54
3ª	23/04/2015	21,4	51,2	0,52	0,51	0,54			0,54
4ª	27/04/2015	22,4	58,5	0,53	0,51	0,54			0,54

Observações:

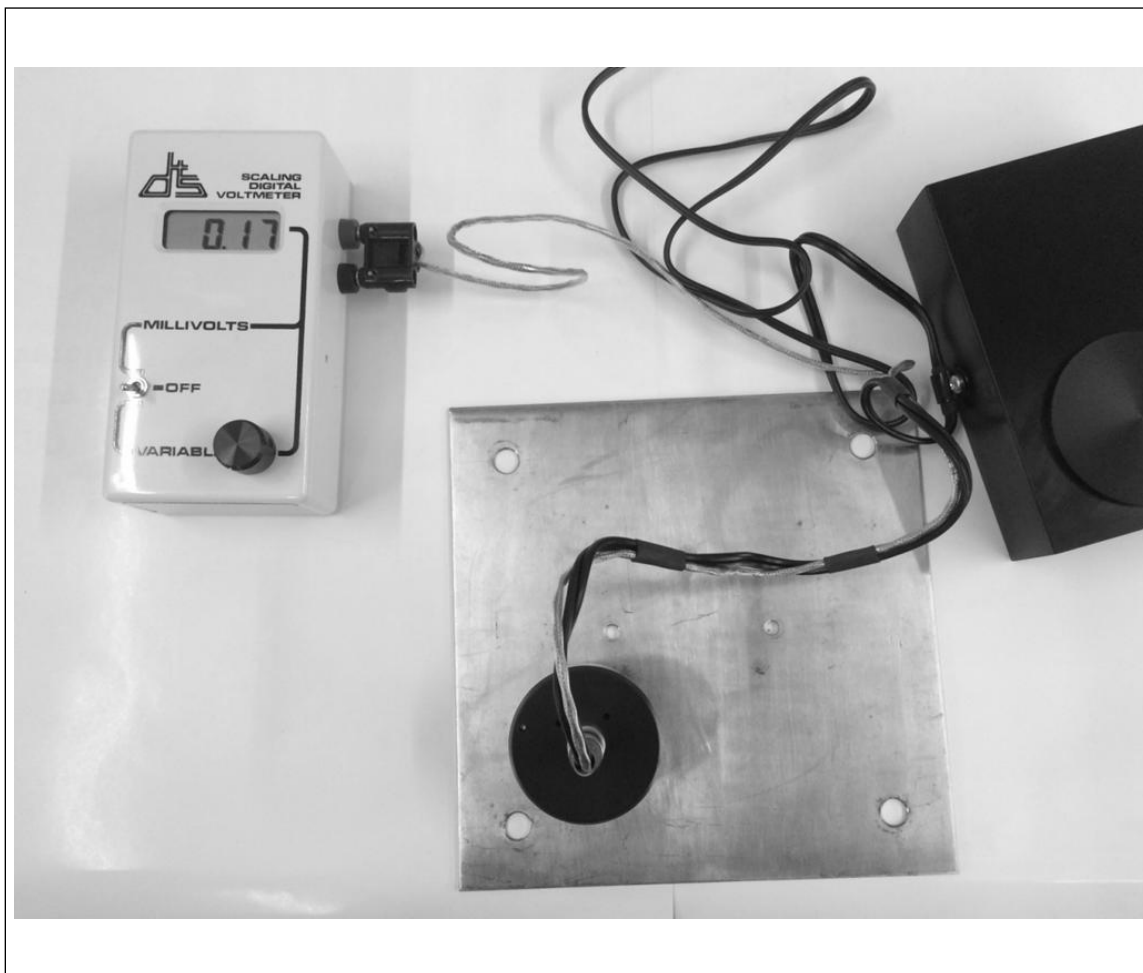
Devido ao tamanho da amostra, apenas se conseguiu fazer o método do deslizamento em 3 pontos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- J1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,5	48,3	0,28	0,18	0,16	0,17		0,17
2ª	17/04/2015	21,6	52,6	0,26	0,18	0,16	0,18		0,18
3ª	23/04/2015	21,8	50,7	0,26	0,19	0,17	0,17		0,17
4ª	27/04/2015	22,4	58,2	0,26	0,19	0,16	0,16		0,16

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- L1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	20,6	51,0	0,86	0,86				0,86
2ª	17/04/2015	21,6	56,2	0,85	0,85				0,85
3ª	23/04/2015	22,0	50,2	0,86	0,86				0,86
4ª	27/04/2015	22,5	60,7	0,86	0,87				0,87

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- M2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,1	52,2	0,74	0,75	0,75	0,76	0,79	0,79
2ª	17/04/2015	21,6	52,5	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,80
3ª	23/04/2015	22,1	50,1	0,73	0,78	0,76	0,77	0,81	0,81
4ª	27/04/2015	22,6	57,6	0,74	0,76	0,77	0,75	0,78	0,78

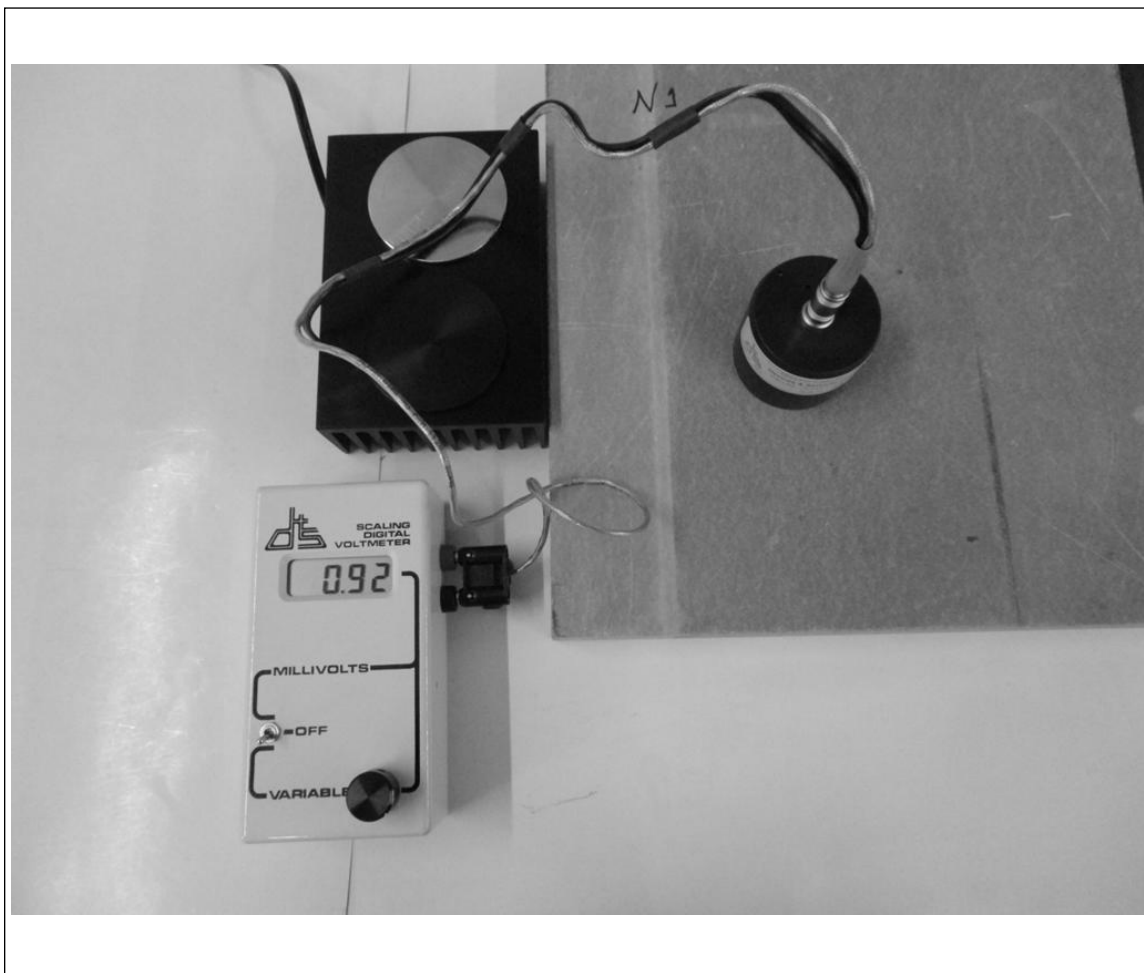
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-N1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	13/04/2015	21,4	47,6	0,89	0,90	0,90	0,90	0,92	0,92
2ª	16/04/2015	22,5	56,0	0,88	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94
3ª	23/04/2015	21,6	51,3	0,88	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93
4ª	27/04/2015	22,1	60,2	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92

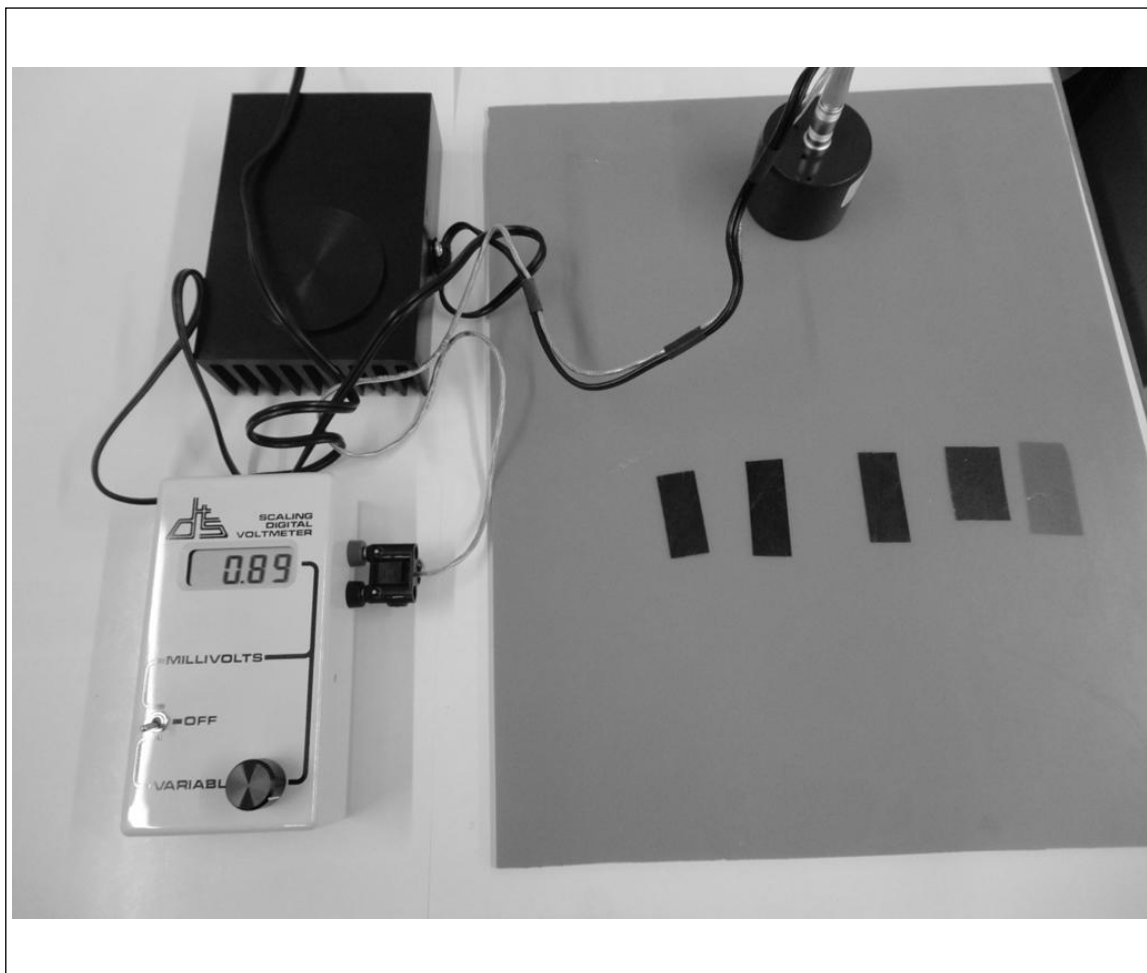
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND- P1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,0	51,4	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
2ª	17/04/2015	21,6	52,5	0,87	0,88	0,88	0,87	0,88	0,89
3ª	23/04/2015	22,1	49,7	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90
4ª	27/04/2015	22,5	58,7	0,86	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90

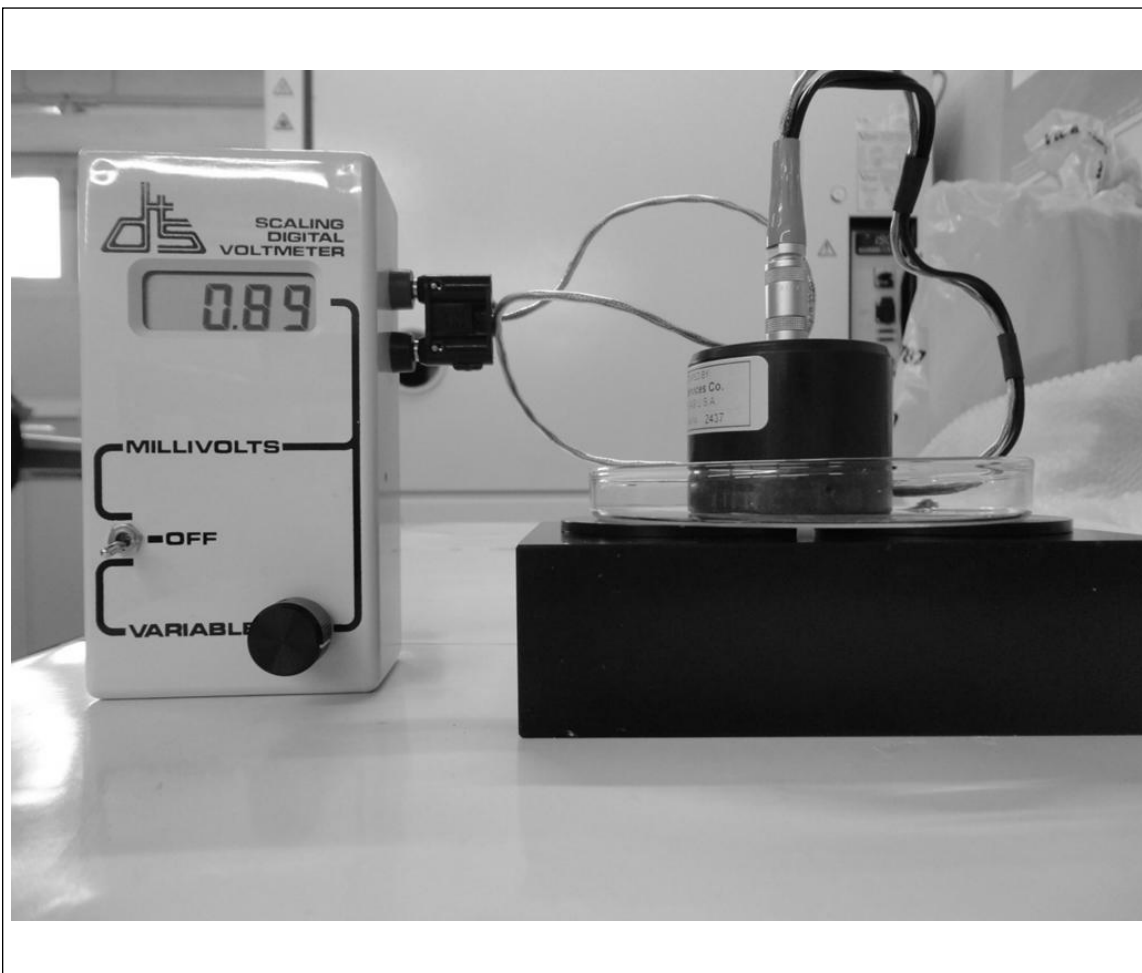
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ST-L1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	20,5	51,2	0,85					0,948
2ª	17/04/2015	21,6	56,0	0,89					0,988
3ª	23/04/2015	22,1	50,6	0,89					0,988
4ª	27/04/2015	21,2	55,7	0,85					0,948

Observações:

Neste caso, a emissividade lida no emissómetro não é a emissividade real da amostra, sendo necessário utilizar a seguinte fórmula para saber a emissividade aparente da amostra:

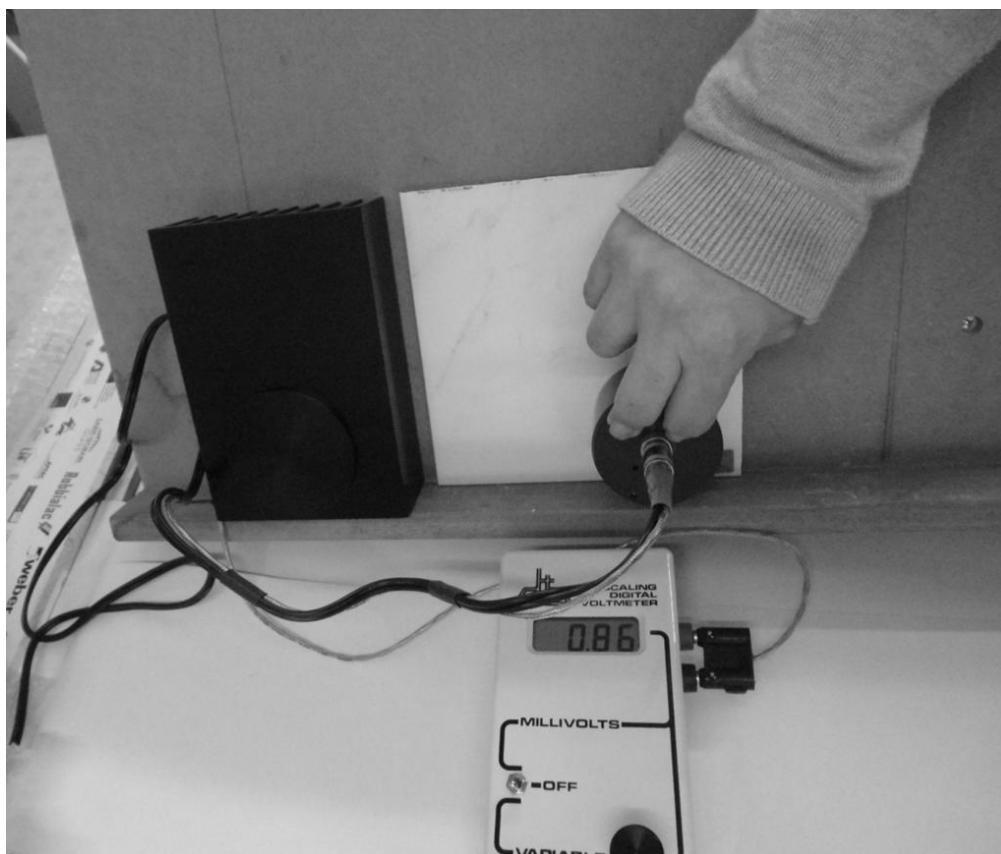
$$\epsilon_{\text{aparente}} = \epsilon_{\text{amostra}} + \tau_{\text{amostra}} \times \frac{(1 - \epsilon_{\text{apoios}})}{(1 - (1 - \epsilon_{\text{amostra}} - \tau_{\text{amostra}}) \times (1 - \epsilon_{\text{apoios}}))}$$

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- 1A

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,5	49,0	0,86	0,85	0,86	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	20,8	51,7	0,86	0,86	0,85	0,86		0,86
3ª	21/04/2015	20,9	54,0	0,86	0,87	0,87	0,88		0,88
4ª	28/04/2015	21,1	56,1	0,86	0,87	0,87	0,87		0,87

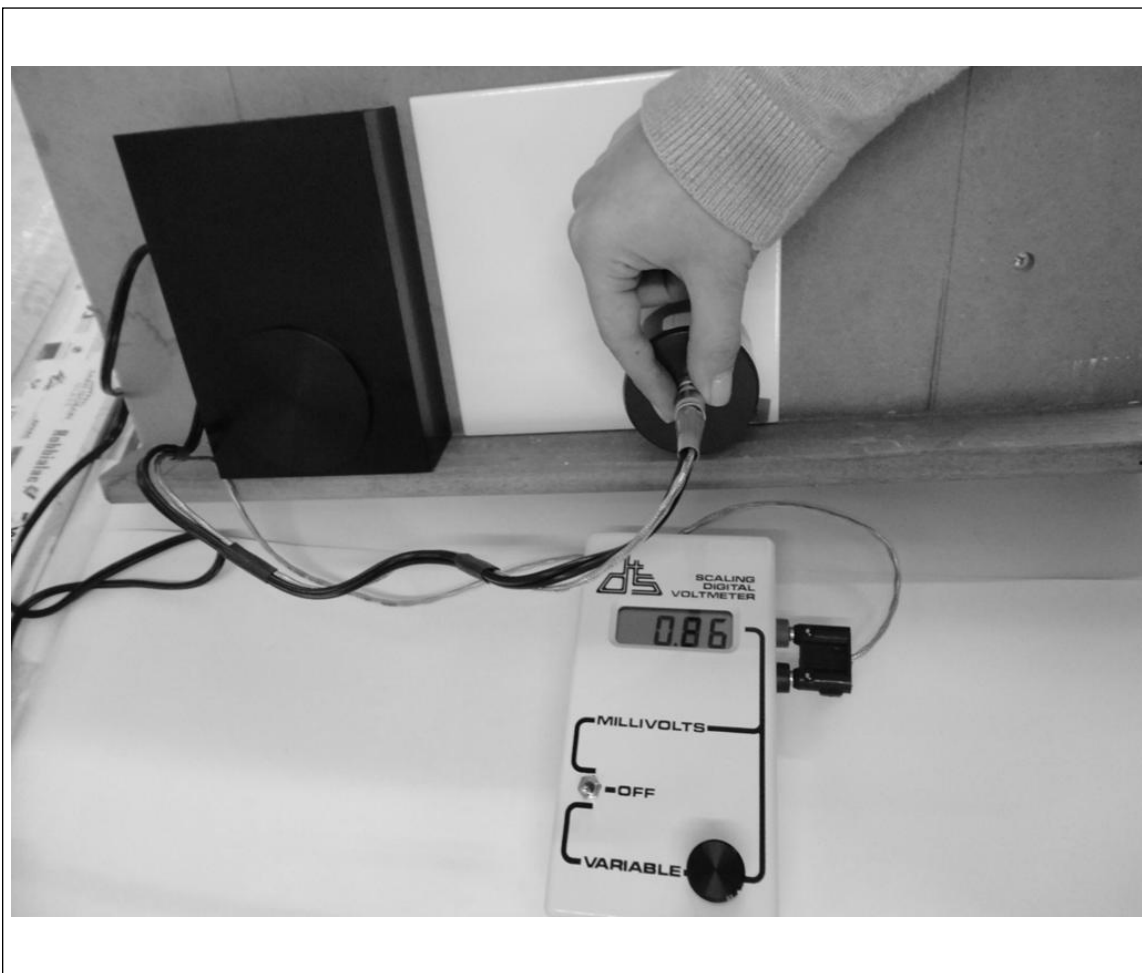
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- 1B

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,5	49,0	0,86	0,85	0,86	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	21,8	51,7	0,86	0,85	0,86	0,86		0,86
3ª	21/04/2015	20,9	55,0	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87
4ª	28/04/2015	21,1	55,8	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86

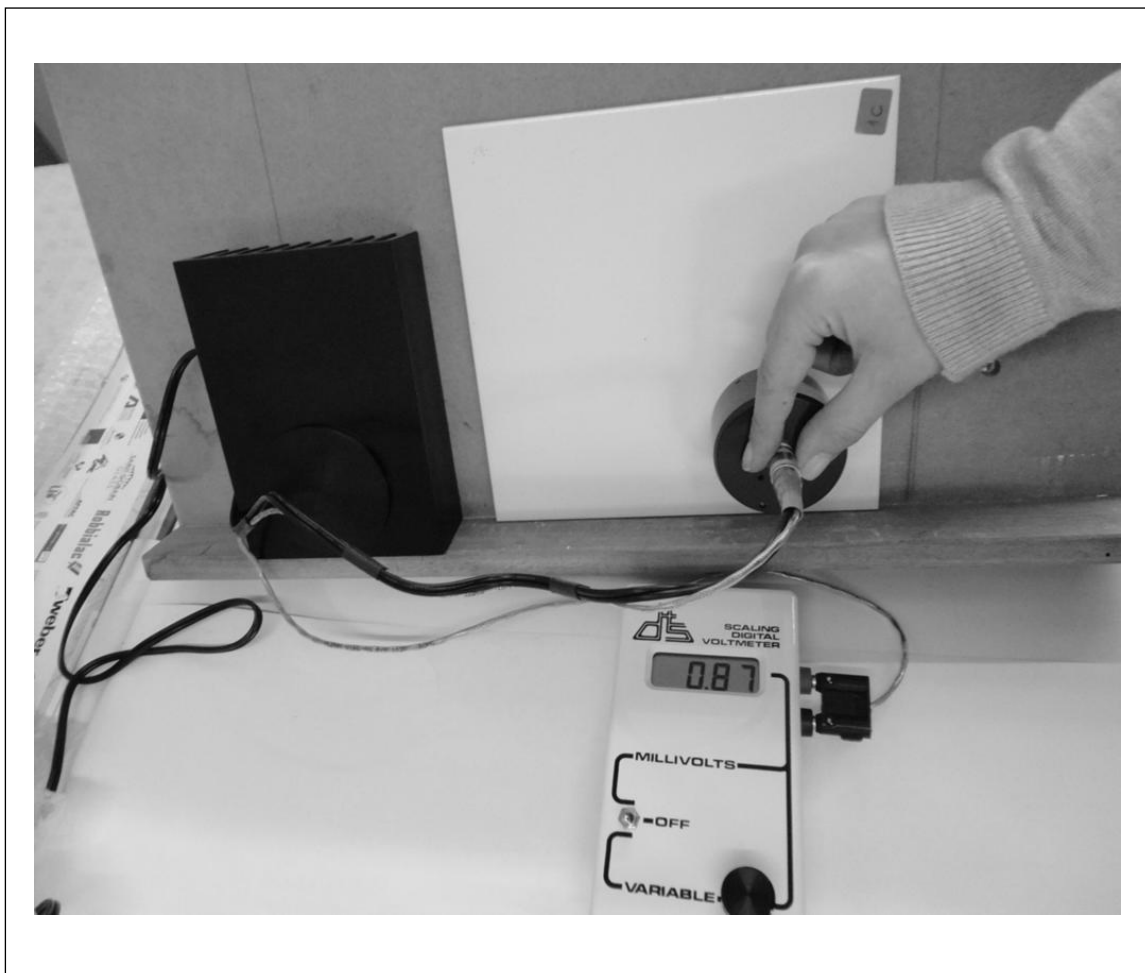
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- 1C

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,5	49,0	0,85	0,85	0,86	0,87		0,87
2ª	20/04/2015	20,7	51,8	0,85	0,85	0,85	0,85		0,85
3ª	21/04/2015	20,8	54,1	0,85	0,85	0,85	0,85		0,85
4ª	28/04/2015	21,0	56,8	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86

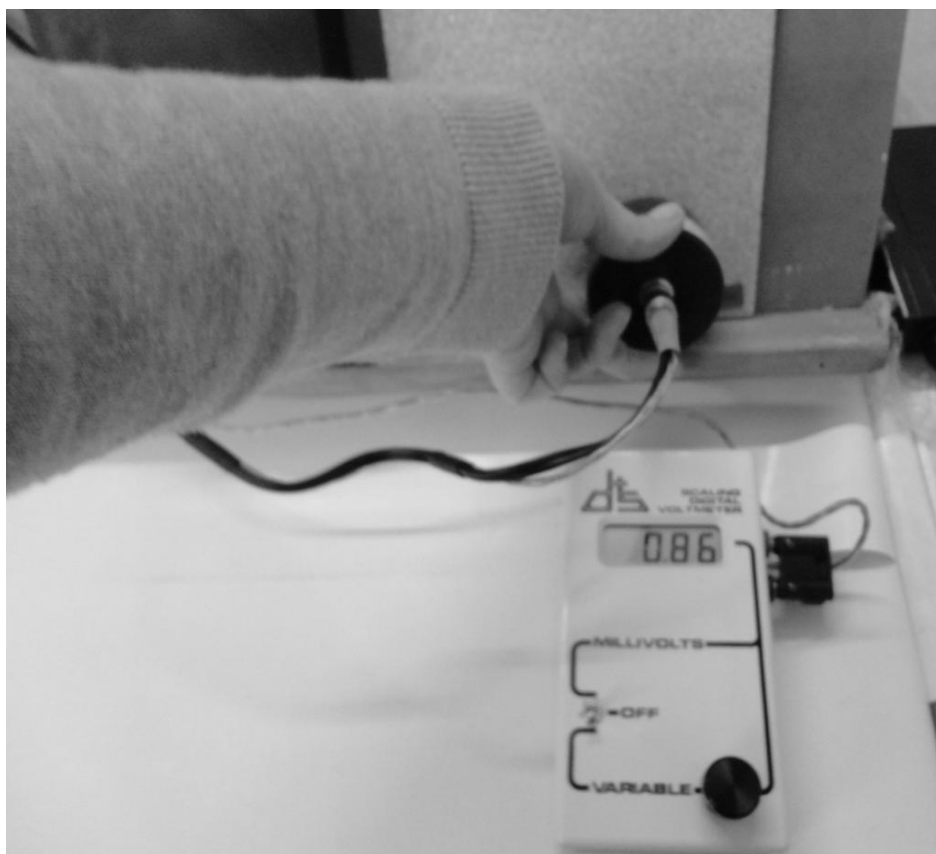
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- 3ABC

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,5	49,0	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	20,8	51,6	0,86	0,85	0,85	0,86		0,86
3ª	21/04/2015	20,9	53,8	0,87	0,88	0,88	0,88		0,88
4ª	28/04/2015	21,1	55,6	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86

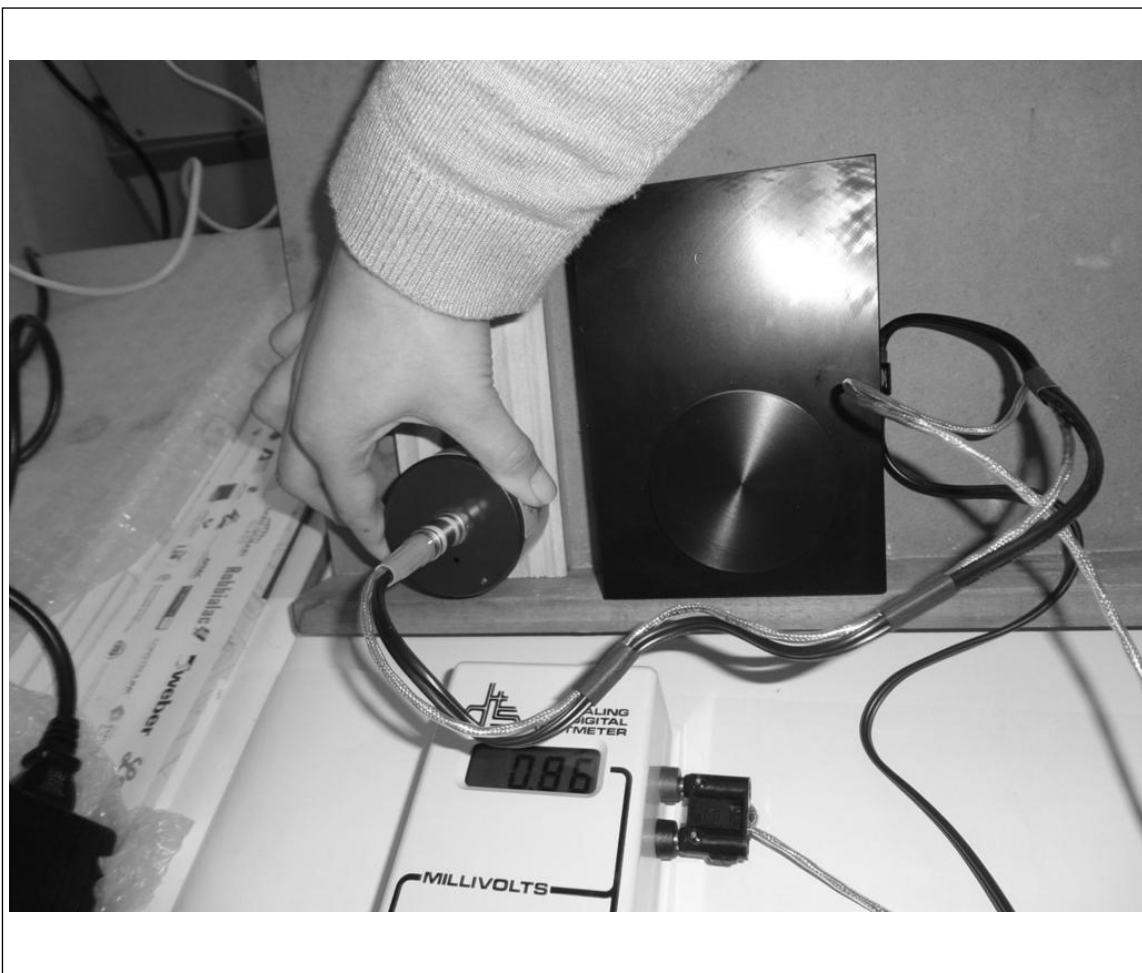
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- A1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	51,5	0,86	0,84	0,86			0,86
2ª	20/04/2015	20,4	51,7	0,86	0,85	0,86			0,86
3ª	21/04/2015	20,4	55,2	0,86	0,86	0,86			0,86
4ª	22/04/2015	21,1	60,1	0,85	0,86	0,87			0,87

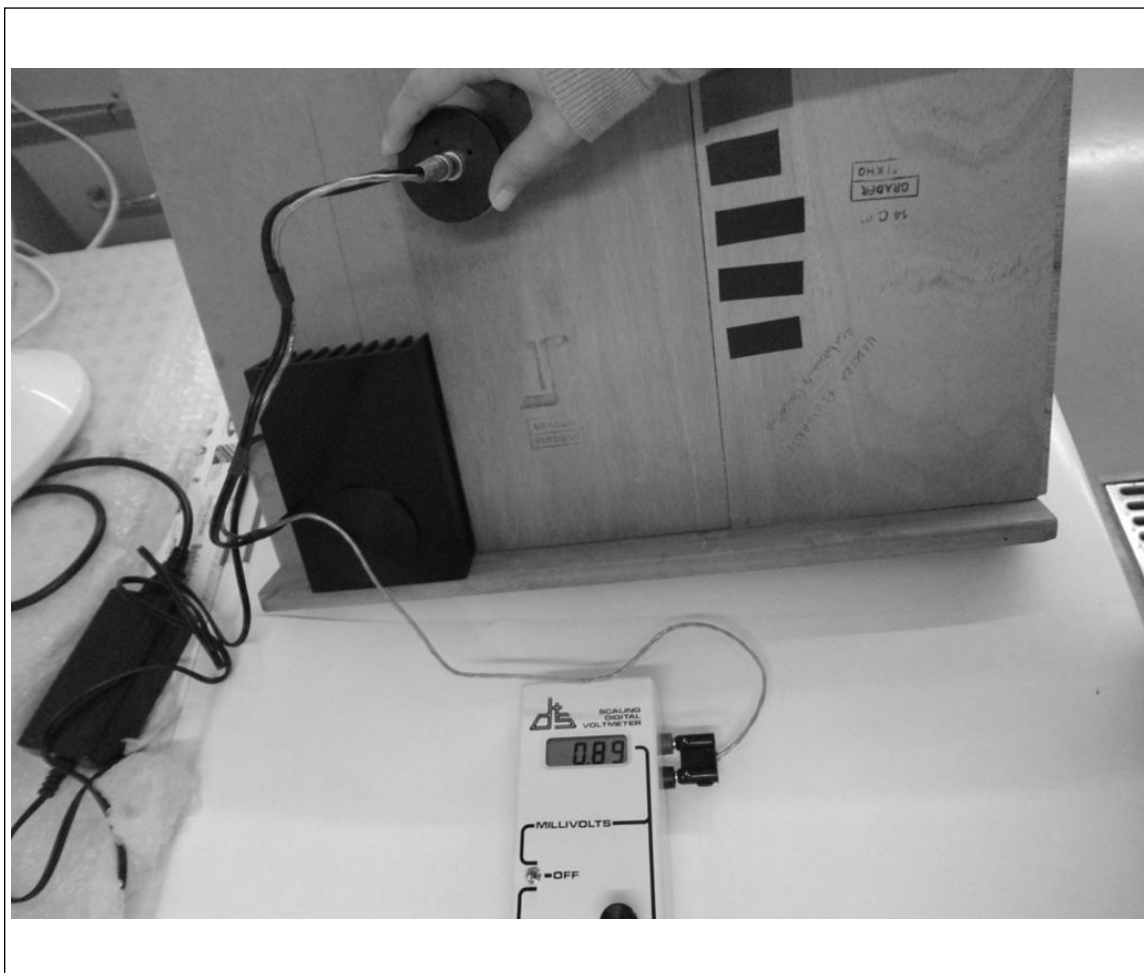
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- A2.1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	51,5	0,87	0,88	0,89	0,89	0,87	0,87
2ª	20/04/2015	20,6	51,9	0,86	0,86	0,86	0,86	0,89	0,89
3ª	21/04/2015	20,5	54,8	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,92
4ª	22/04/2015	21,2	60,0	0,85	0,87	0,88	0,87	0,89	0,89

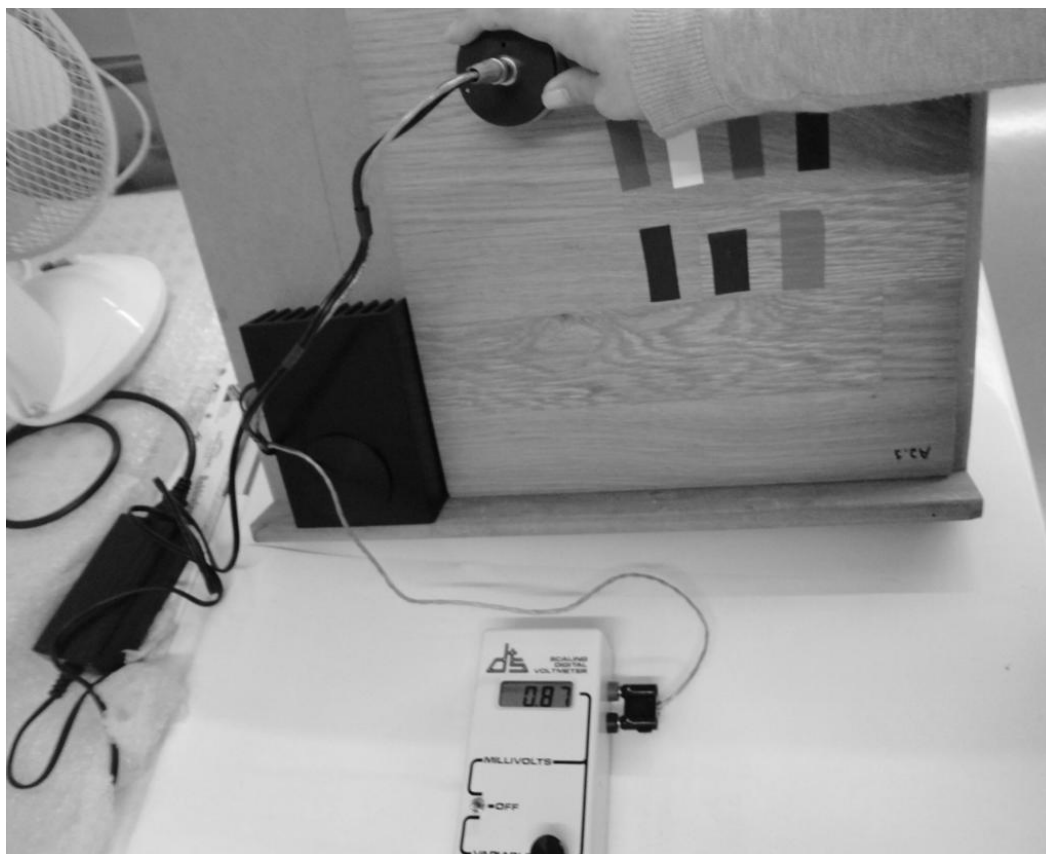
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- A2.2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	51,5	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87
2ª	20/04/2015	20,6	51,9	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
3ª	21/04/2015	20,6	54,7	0,85	0,86	0,87	0,86	0,88	0,88
4ª	22/04/2015	21,2	60,1	0,85	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- B1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	49,7	0,85	0,85	0,85	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	20,6	51,9	0,85	0,86	0,87	0,87		0,87
3ª	21/04/2015	20,7	54,4	0,86	0,86	0,87	0,88		0,88
4ª	28/04/2015	20,5	60,5	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86

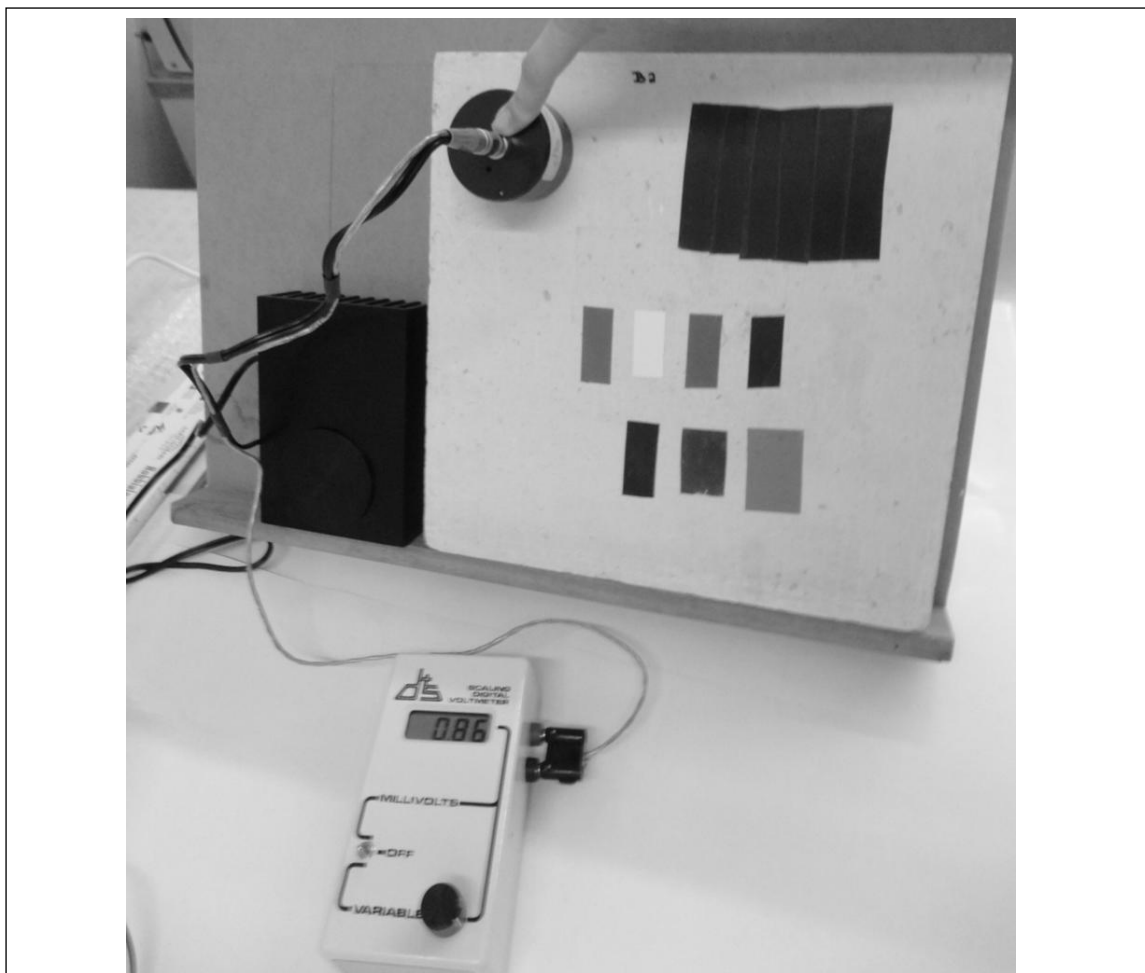
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- B2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	49,7	0,87	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	20,6	51,9	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87
3ª	21/04/2015	20,7	54,5	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	22/04/2015	21,2	60,0	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87

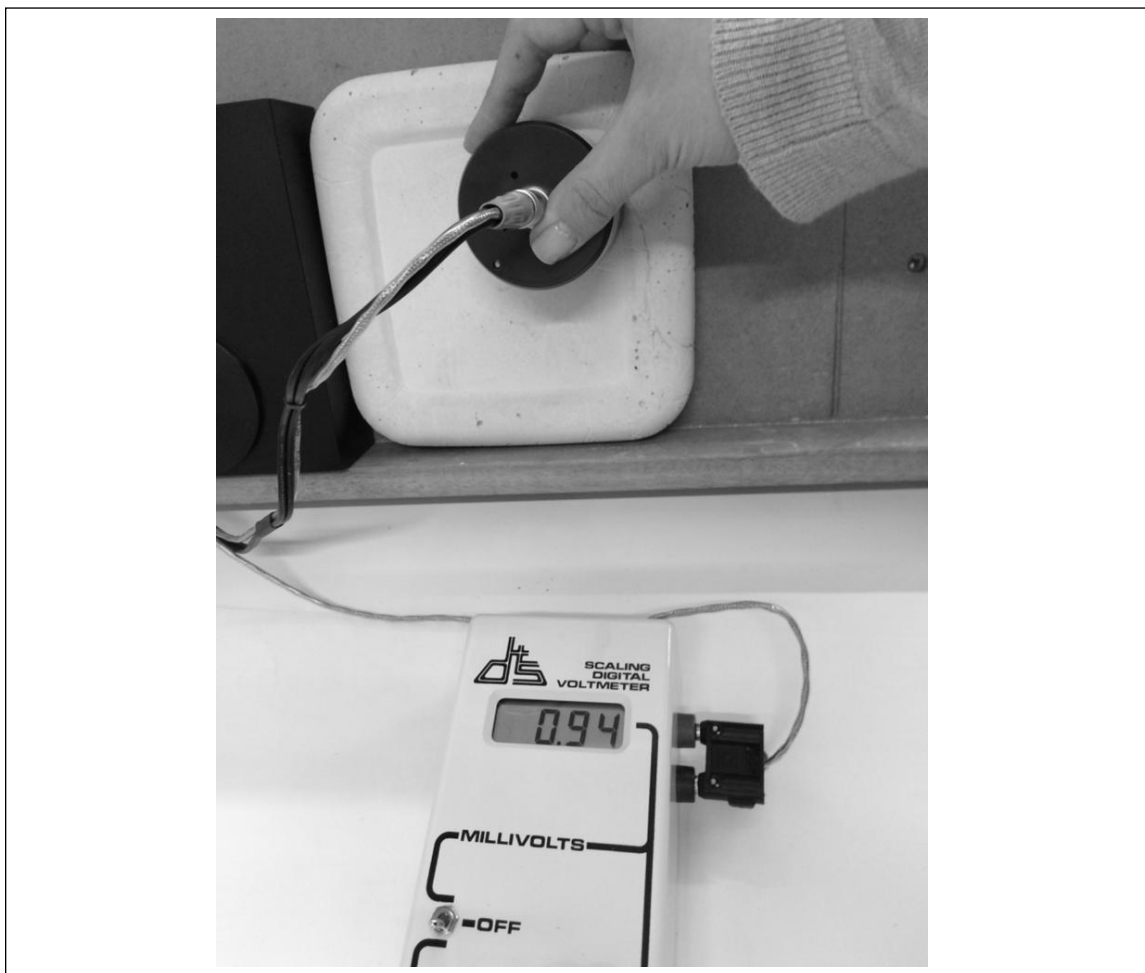
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- C1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	46,5	0,96	0,92	0,93	0,94		0,94
2ª	20/04/2015	21,1	51,5	0,92	0,92	0,90	0,92		0,92
3ª	21/04/2015	21,0	60,0	0,93	0,92	0,93	0,94		0,94
4ª	28/04/2015	21,3	55,2	0,92	0,92	0,92	0,92		0,92

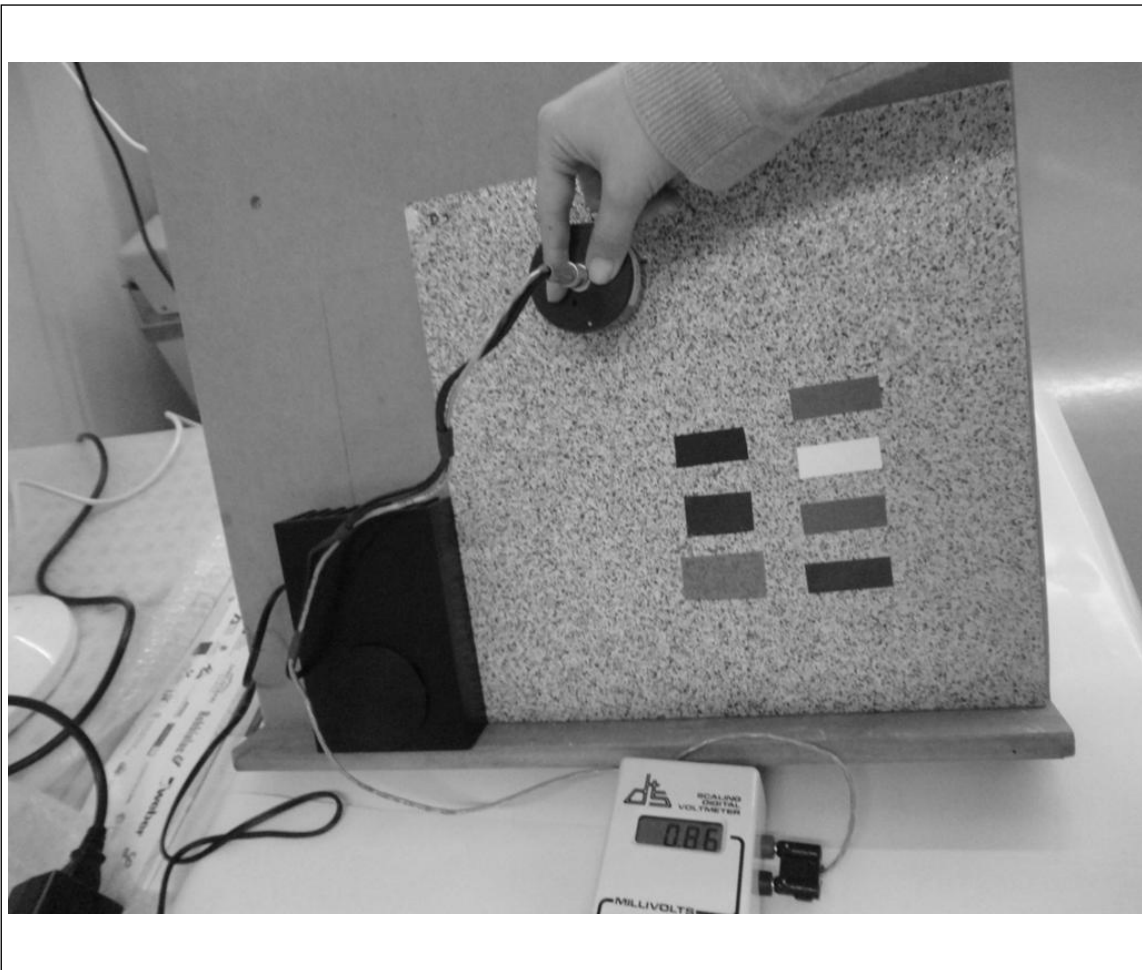
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- D1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,4	49,7	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	20/04/2015	20,7	51,8	0,85	0,86	0,86	0,87		0,87
3ª	21/04/2015	20,8	54,2	0,86	0,88	0,88	0,89		0,89
4ª	28/04/2015	20,7	60,8	0,86	0,87	0,88	0,88		0,88

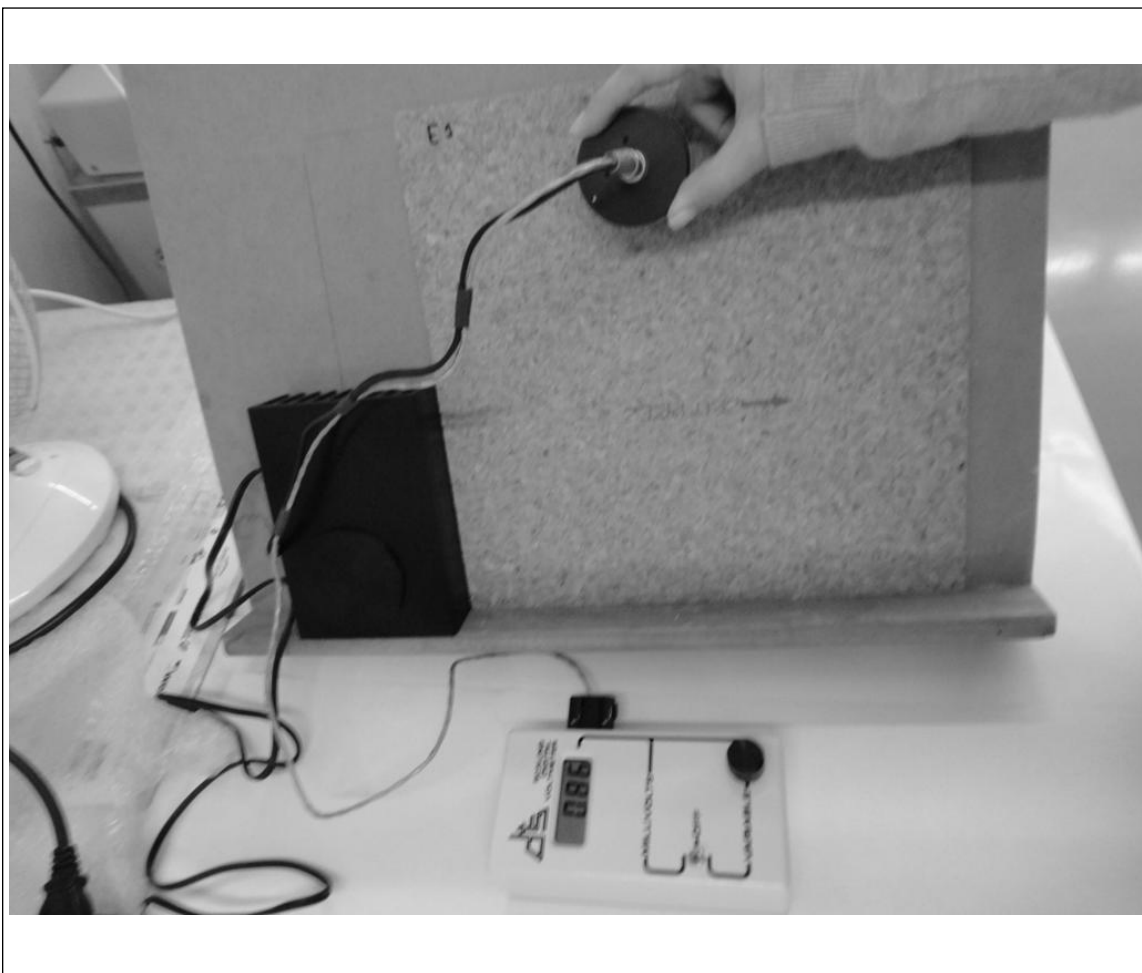
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- E1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,7	47,3	0,80	0,79	0,82	0,83	0,84	0,84
2ª	20/04/2015	20,9	51,7	0,81	0,81	0,81	0,82	0,85	0,85
3ª	21/04/2015	20,9	53,9	0,79	0,82	0,83	0,84	0,86	0,86
4ª	28/04/2015	21,2	55,6	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,84

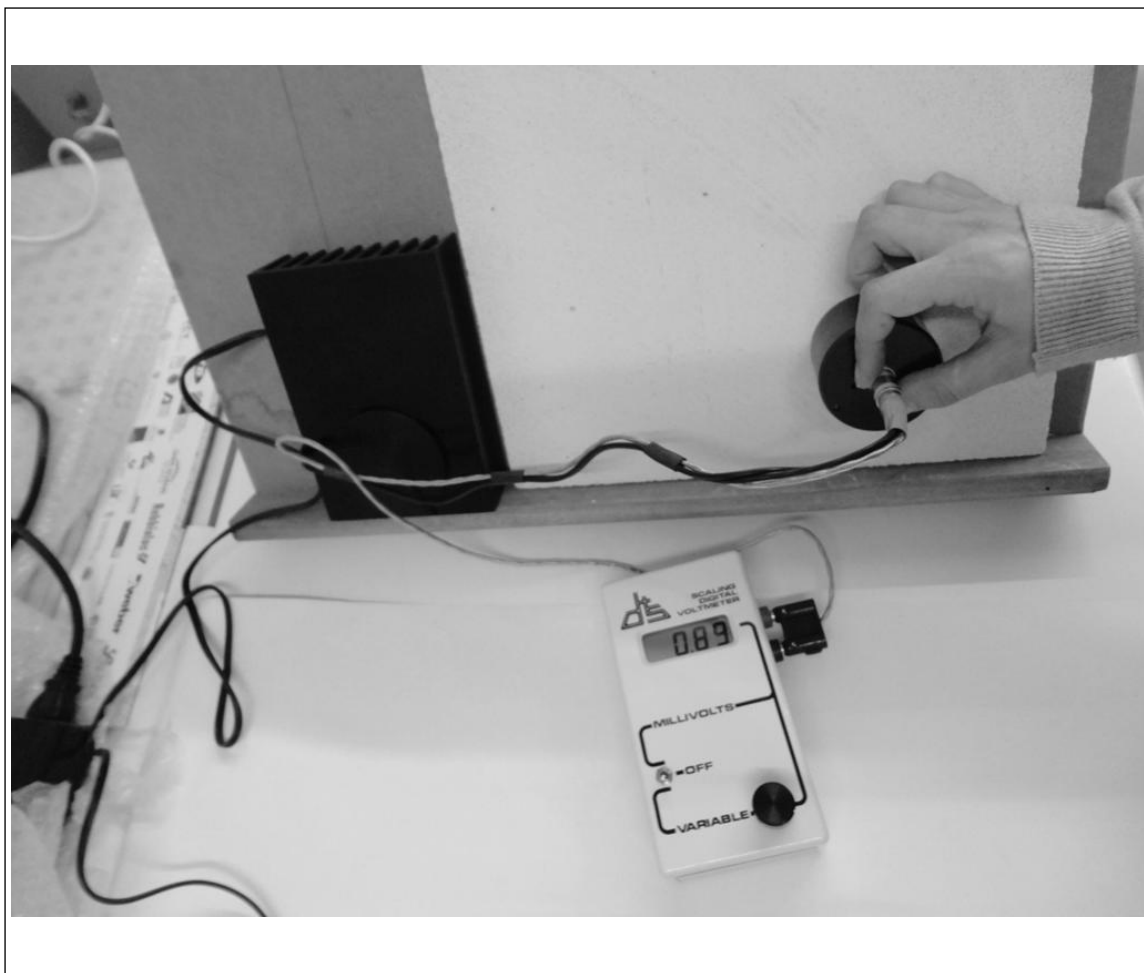
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- F1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,7	47,3	0,86	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89
2ª	20/04/2015	20,9	51,7	0,86	0,87	0,89	0,89	0,89	0,89
3ª	21/04/2015	21,0	53,7	0,85	0,88	0,88	0,89	0,92	0,92
4ª	28/04/2015	21,2	55,5	0,86	0,88	0,88	0,87	0,91	0,91

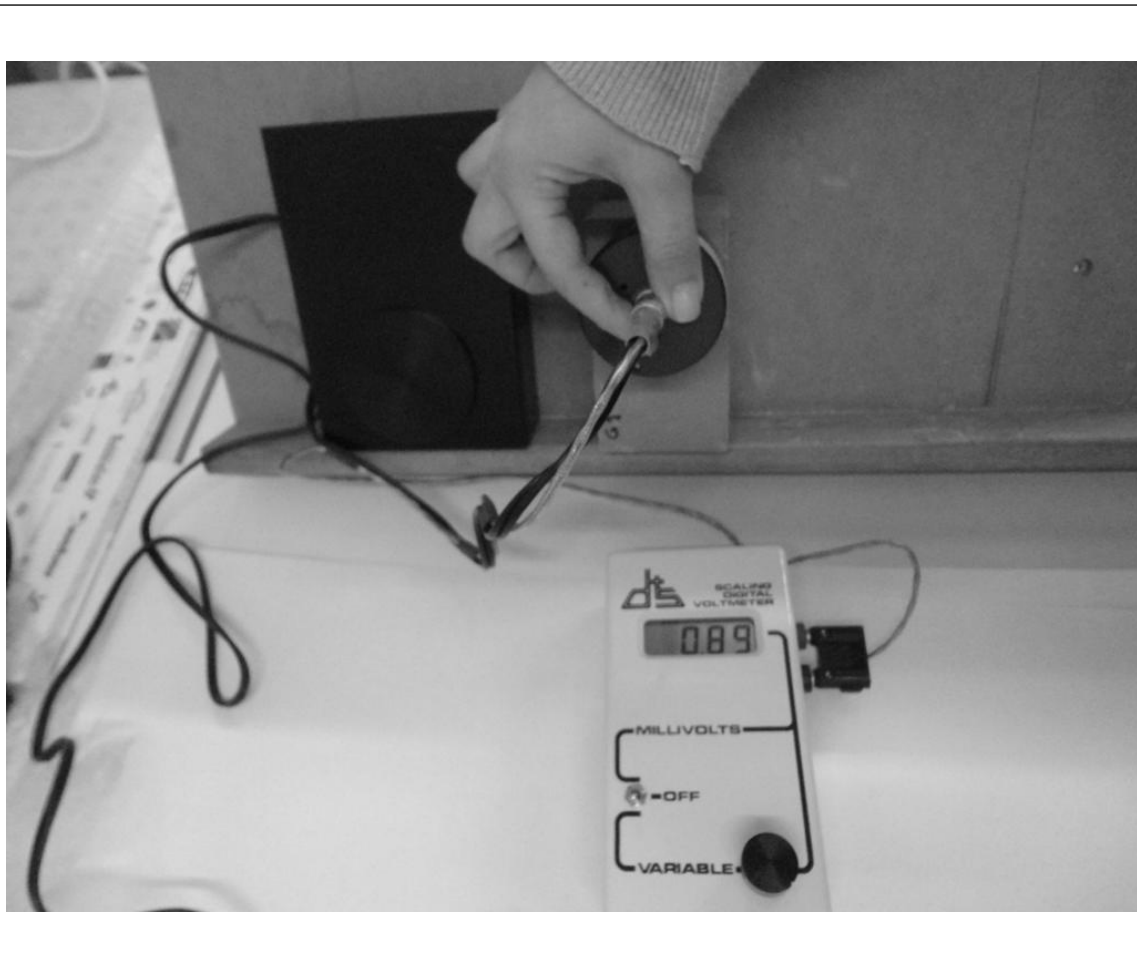
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- G1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,7	47,3	0,89	0,89				0,89
2ª	20/04/2015	20,9	51,7	0,89	0,90				0,90
3ª	21/04/2015	21,0	53,7	0,88	0,89				0,89
4ª	28/04/2015	21,2	55,5	0,89	0,89				0,89

Observações:

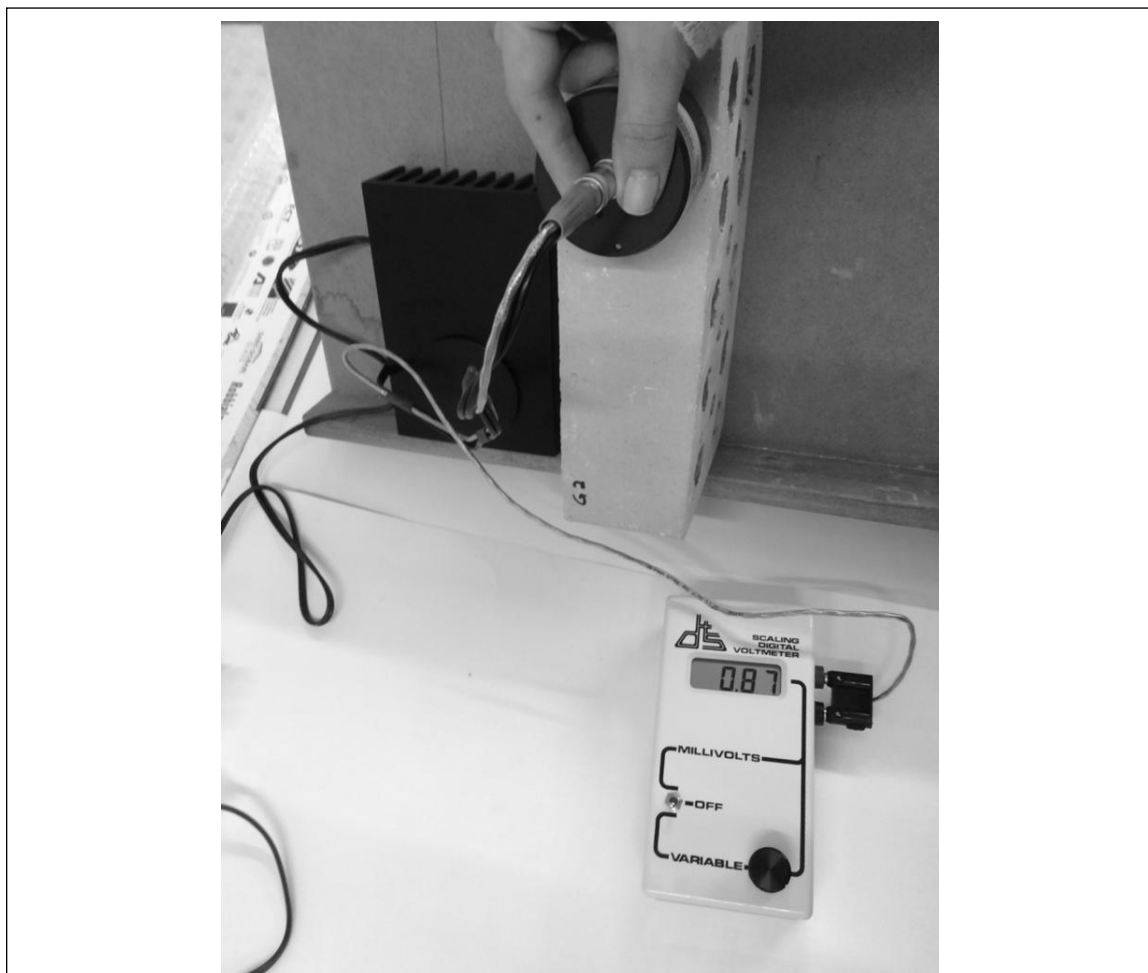
O emissómetro não assenta completamente em cima da amostra devido a irregularidades da amostra.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- G2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,7	47,3	0,86	0,87	0,87	0,87		0,87
2ª	20/04/2015	21,0	51,8	0,87	0,86	0,85	0,86		0,86
3ª	21/04/2015	21,0	53,6	0,88	0,88	0,88	0,89		0,89
4ª	28/04/2015	21,2	55,3	0,86	0,86	0,88	0,89		0,89

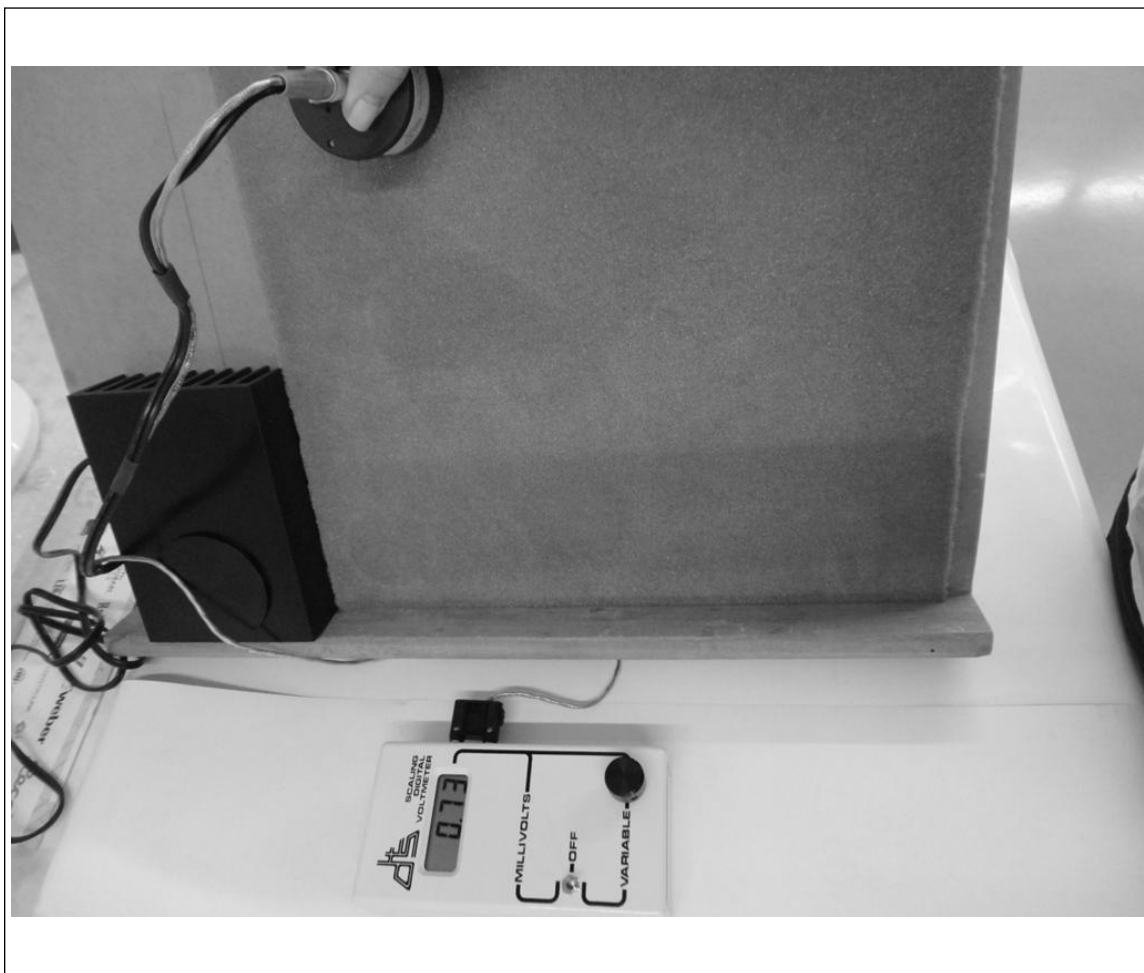
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- H1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,3	51,2	0,67	0,68	0,68	0,70	0,73	0,73
2ª	20/04/2015	21,5	54,2	0,68	0,66	0,65	0,64	0,67	0,67
3ª	21/04/2015	21,1	60,1	0,65	0,60	0,62	0,63	0,69	0,69
4ª	28/04/2015	21,4	55,2	0,68	0,64	0,66	0,67	0,70	0,70

Observações:

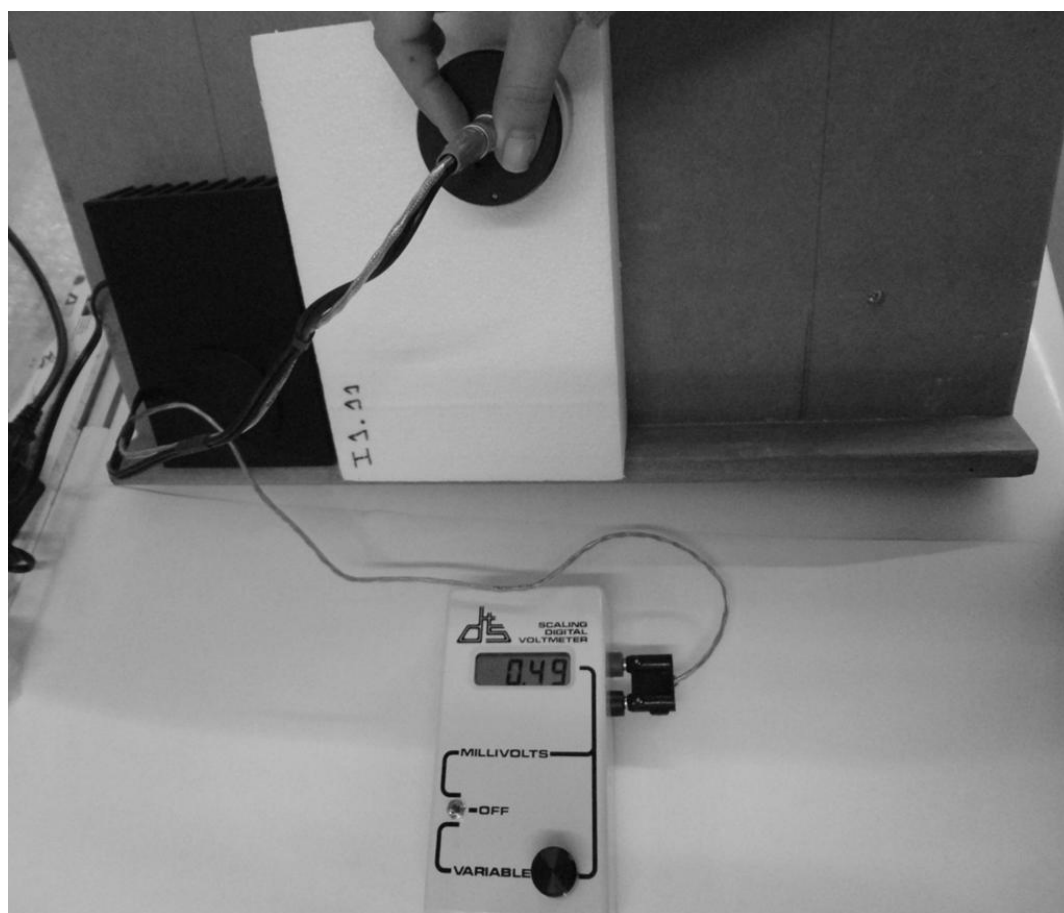
A pressão colocada no detetor sobre a amostra altera o resultado. Se apenas se pousar o detetor sobre a amostra e não se pressionar, o valor da emissividade lida no voltímetro será maior.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- I1.11

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	47,4	0,51	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49
2ª	20/04/2015	21,1	51,6	0,50	0,49	0,48	0,48	0,50	0,50
3ª	21/04/2015	20,7	60,3	0,50	0,47	0,46	0,46	0,49	0,49
4ª	28/04/2015	21,3	55,2	0,47	0,45	0,45	0,45	0,49	0,49

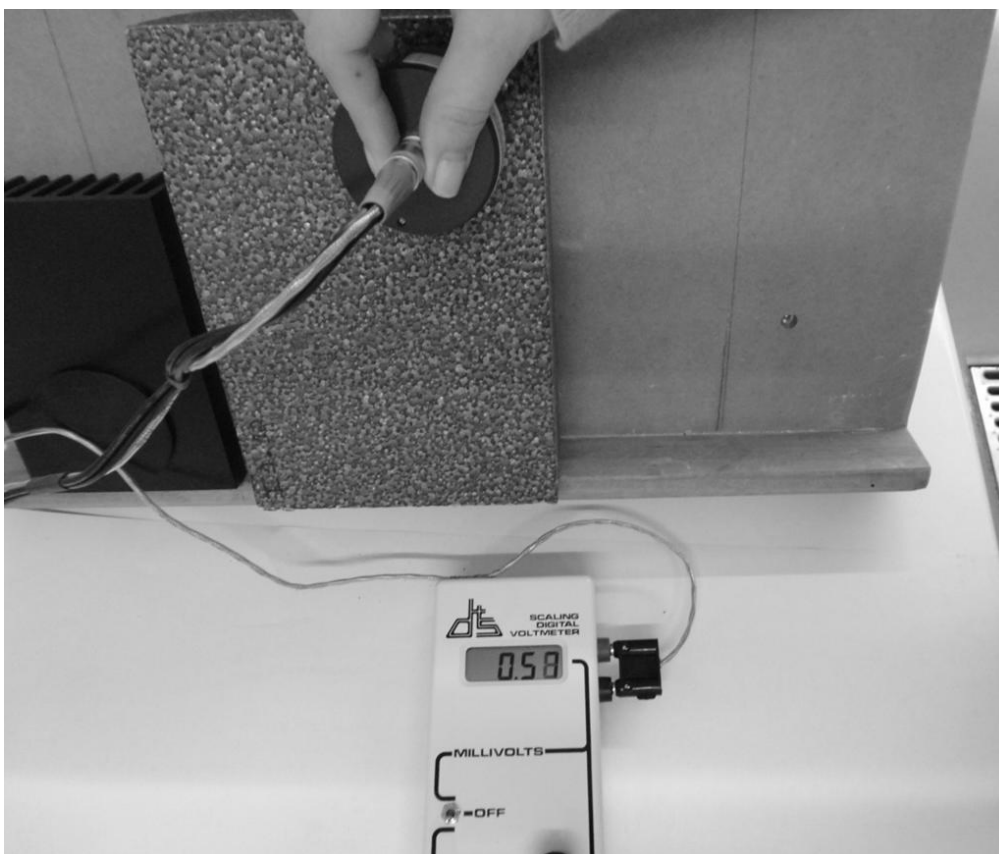
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- I1.12

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	47,4	0,57	0,52	0,52	0,53	0,60	0,60
2ª	20/04/2015	21,2	51,5	0,52	0,54	0,55	0,54	0,60	0,60
3ª	21/04/2015	20,8	60,3	0,58	0,54	0,52	0,55	0,58	0,58
4ª	28/04/2015	21,3	55,2	0,52	0,55	0,55	0,54	0,61	0,61

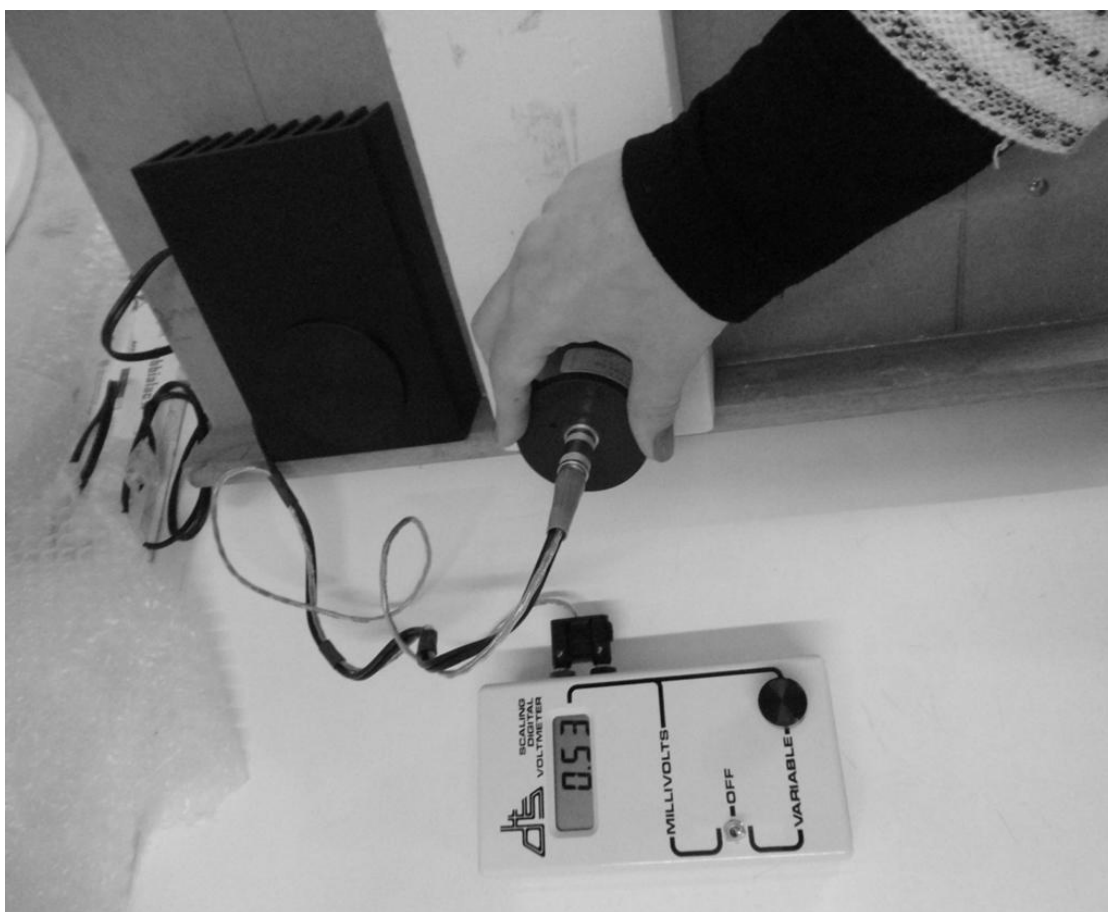
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- I2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	47,4	0,52	0,50	0,53			0,53
2ª	20/04/2015	21,2	51,5	0,51	0,50	0,53			0,53
3ª	21/04/2015	20,9	60,1	0,53	0,50	0,54			0,54
4ª	28/04/2015	21,3	55,1	0,52	0,50	0,54			0,54

Observações:

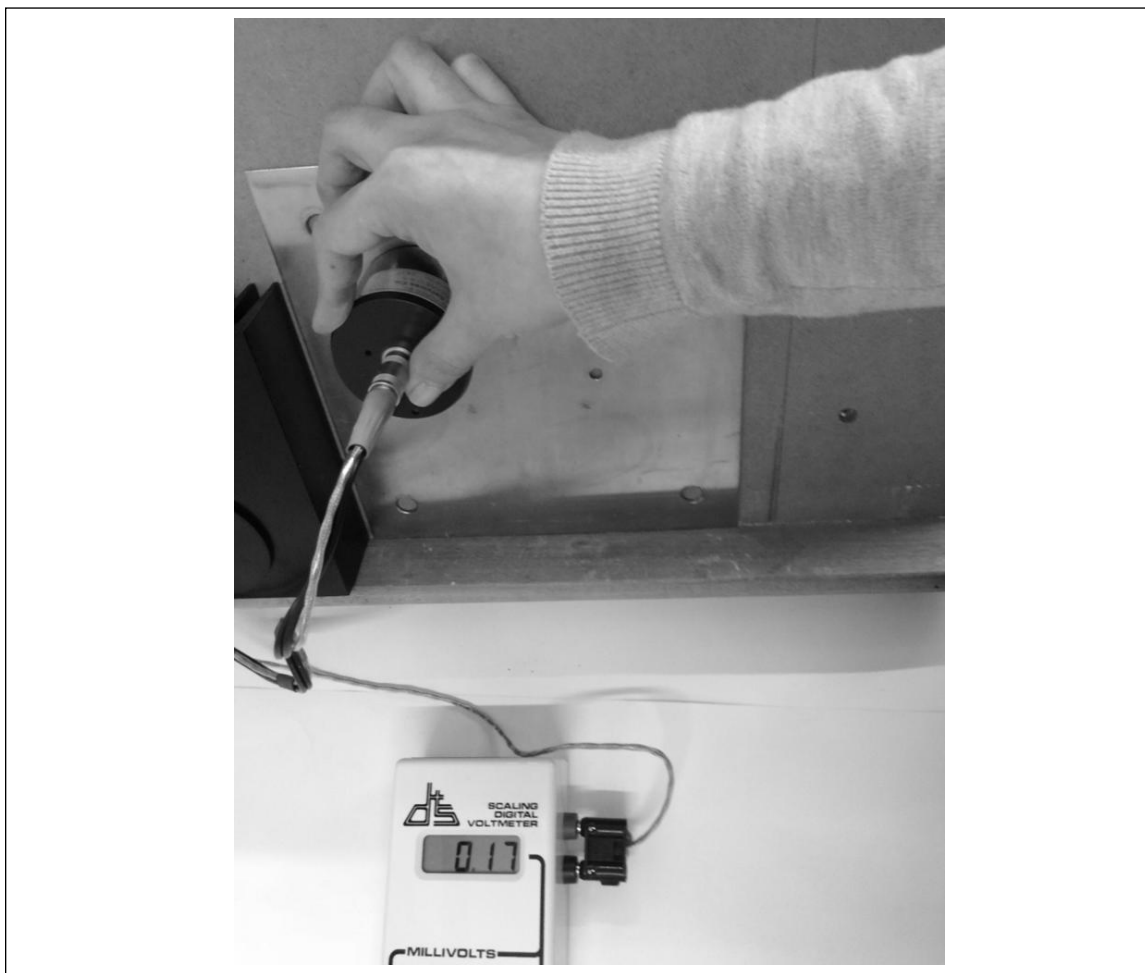
Devido ao tamanho da amostra, apenas se conseguiu fazer o método do deslizamento em 3 pontos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- J1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	46,5	0,26	0,16	0,16	0,17		0,17
2ª	20/04/2015	21,3	51,5	0,26	0,19	0,17	0,17		0,17
3ª	21/04/2015	20,9	60,1	0,26	0,18	0,17	0,17		0,17
4ª	28/04/2015	21,3	55,2	0,26	0,18	0,17	0,16		0,16

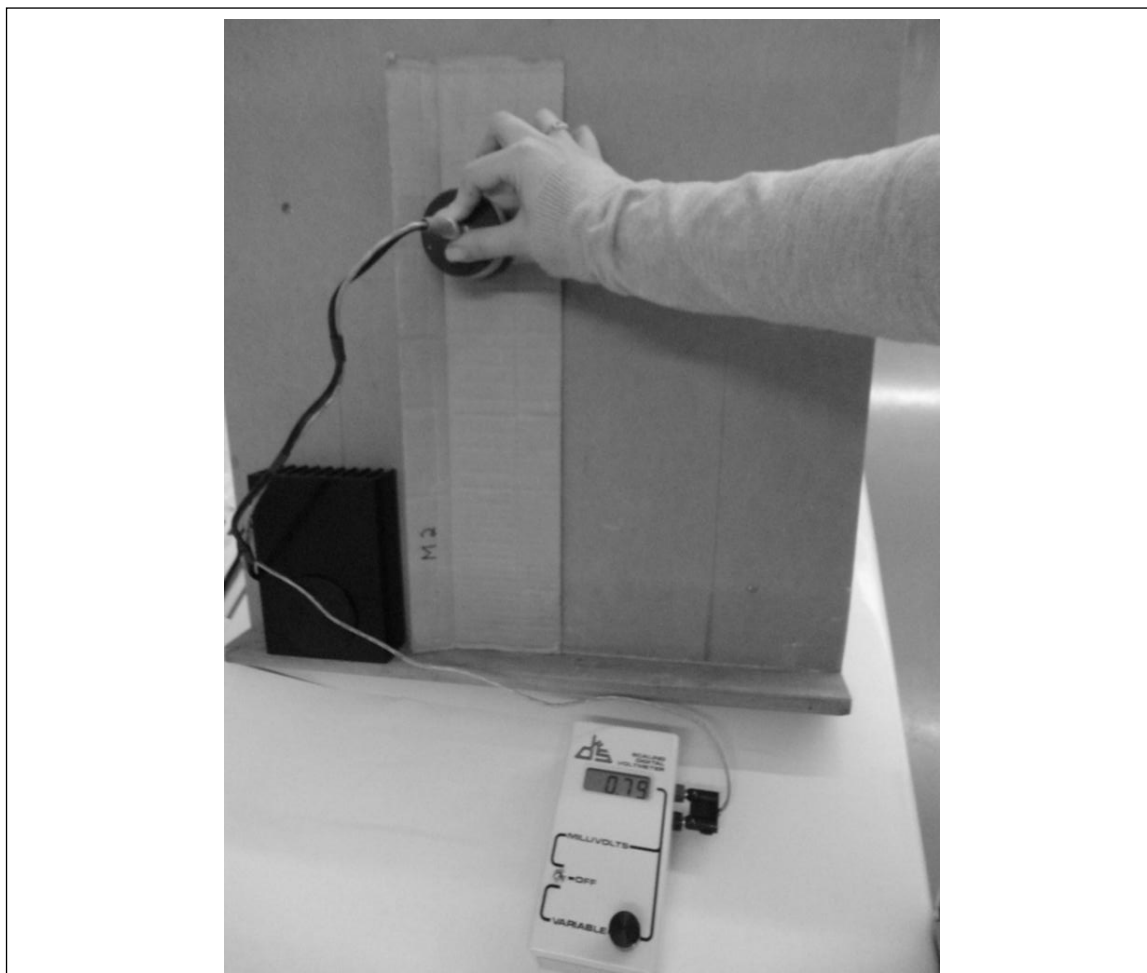
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- M2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	46,8	0,73	0,74	0,75	0,75	0,79	0,79
2ª	20/04/2015	21,3	51,2	0,71	0,72	0,74	0,78	0,80	0,80
3ª	21/04/2015	21,0	59,8	0,73	0,74	0,75	0,76	0,79	0,79
4ª	28/04/2015	21,4	55,1	0,72	0,74	0,72	0,74	0,79	0,79

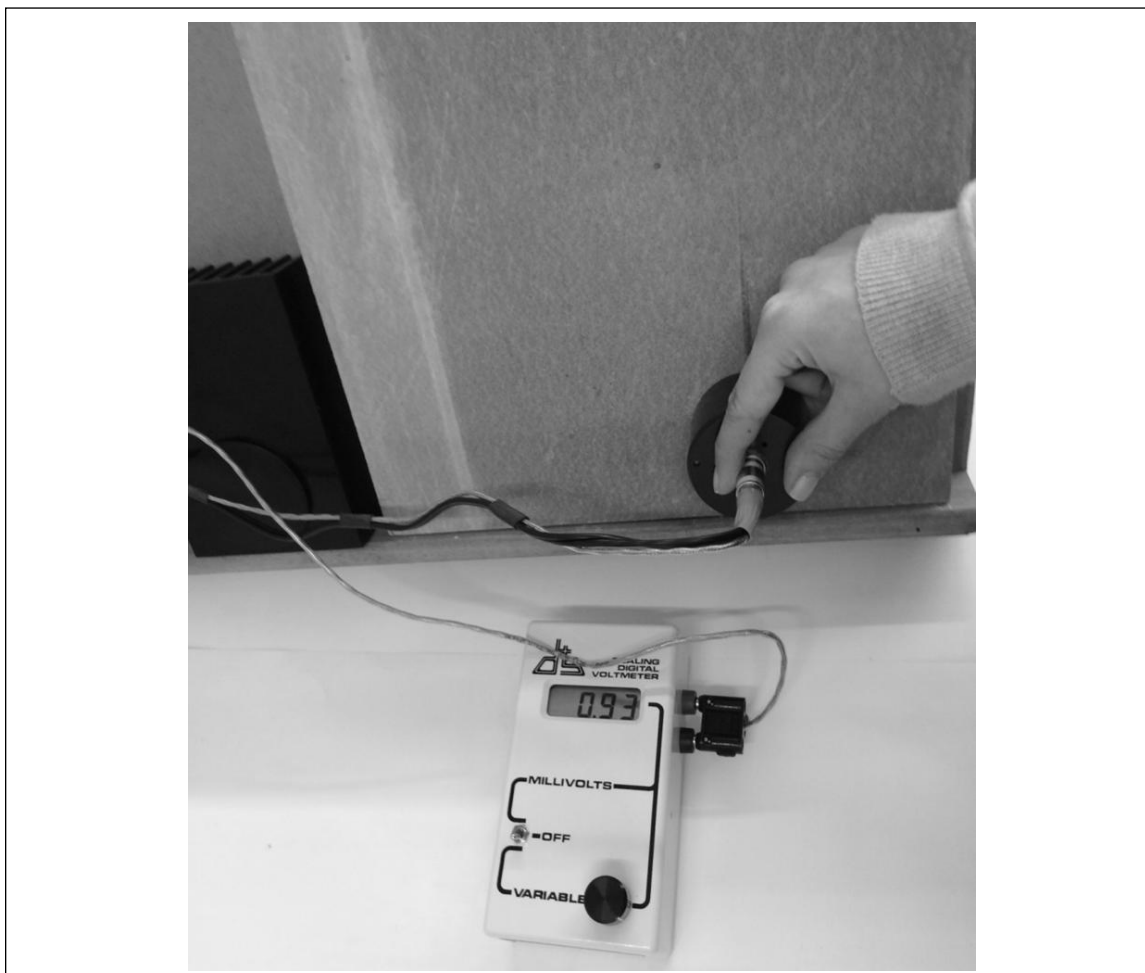
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- N1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	47,4	0,91	0,90	0,91	0,93	0,93	0,93
2ª	20/04/2015	21,0	51,7	0,89	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92
3ª	21/04/2015	20,6	60,6	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93
4ª	28/04/2015	21,2	55,5	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92

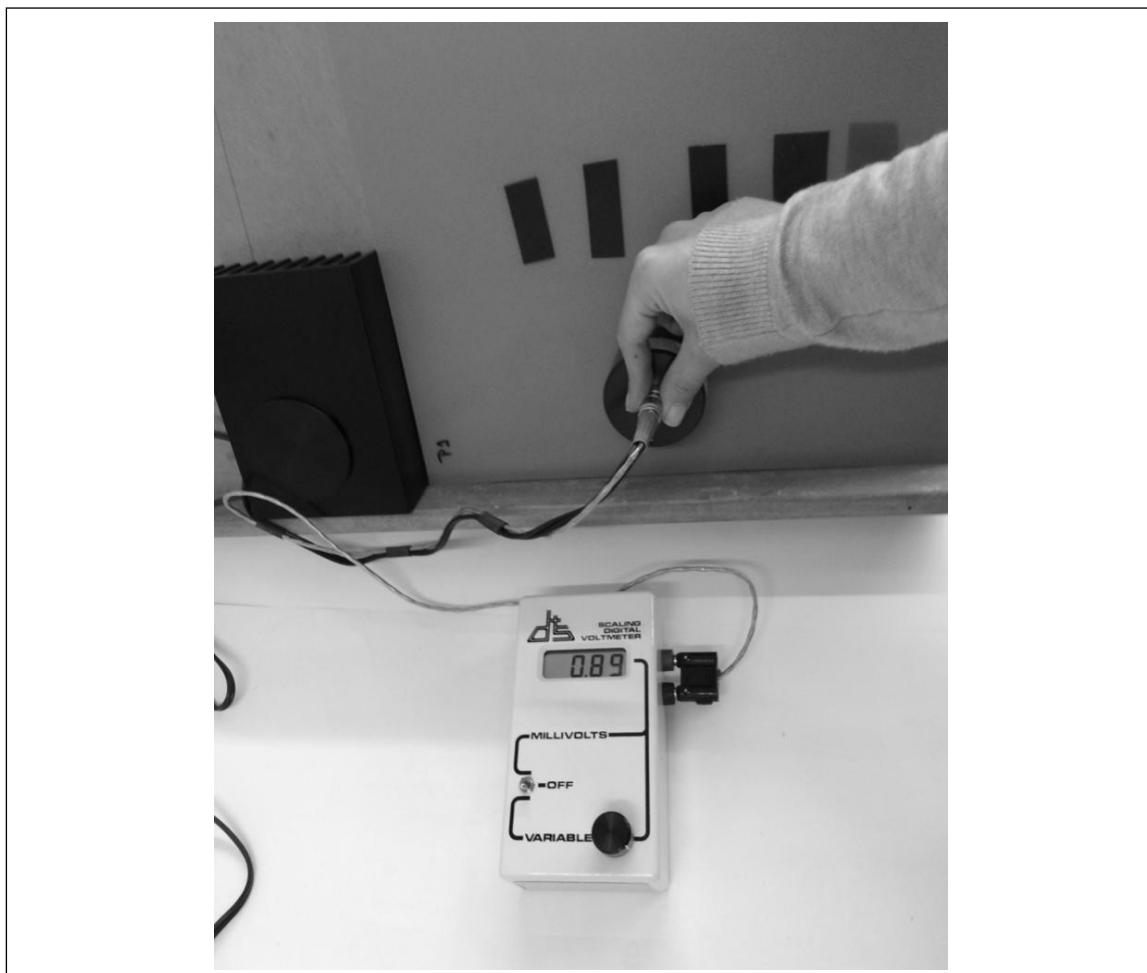
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AI- P1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	14/04/2015	21,6	46,5	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89
2ª	20/04/2015	21,1	51,3	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89
3ª	21/04/2015	21,0	59,9	0,87	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89
4ª	28/04/2015	21,3	55,4	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

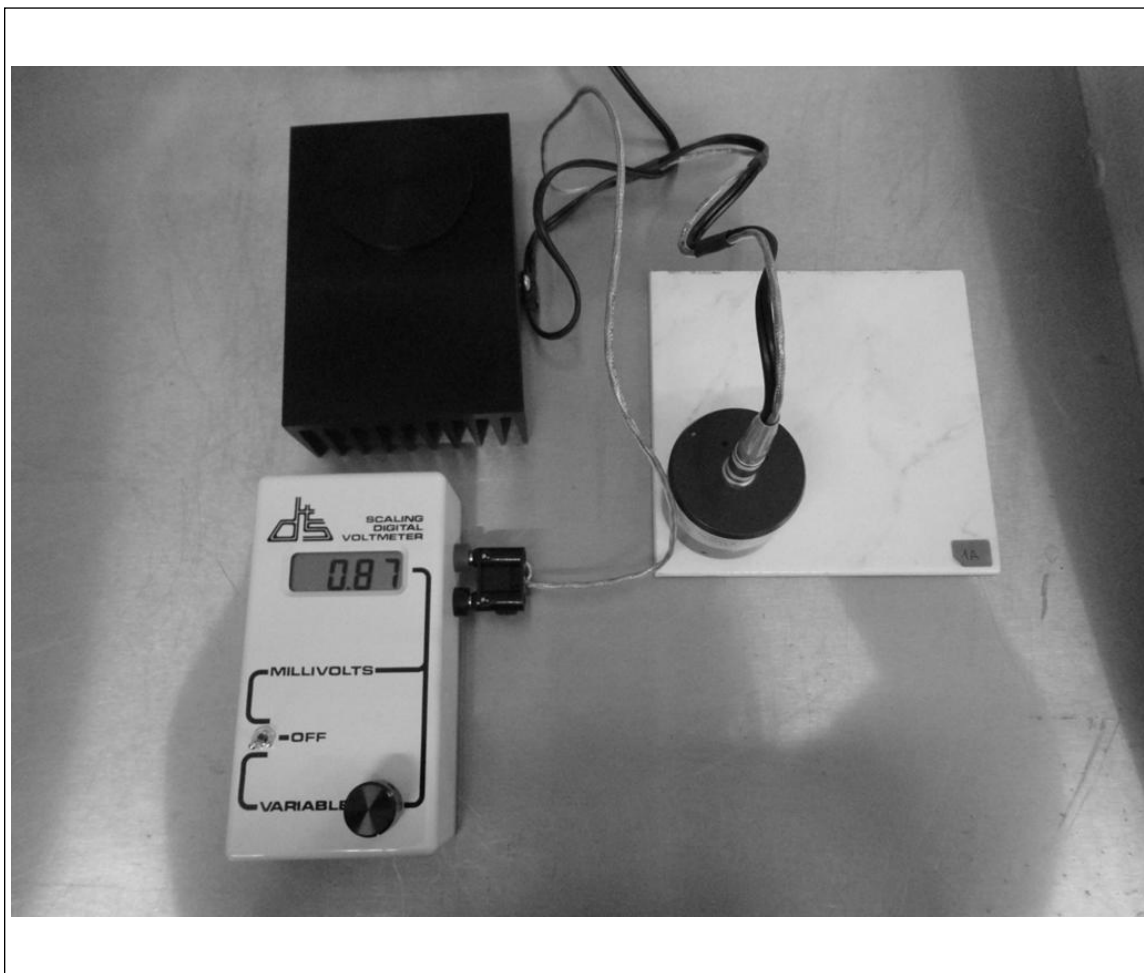
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-1A

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,1	57,6	0,87	0,87	0,87	0,87		0,87
2ª	21/04/2015	20,9	56,9	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	21,0	52,6	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	27/04/2015	21,3	62,4	0,87	0,87	0,87	0,87		0,87

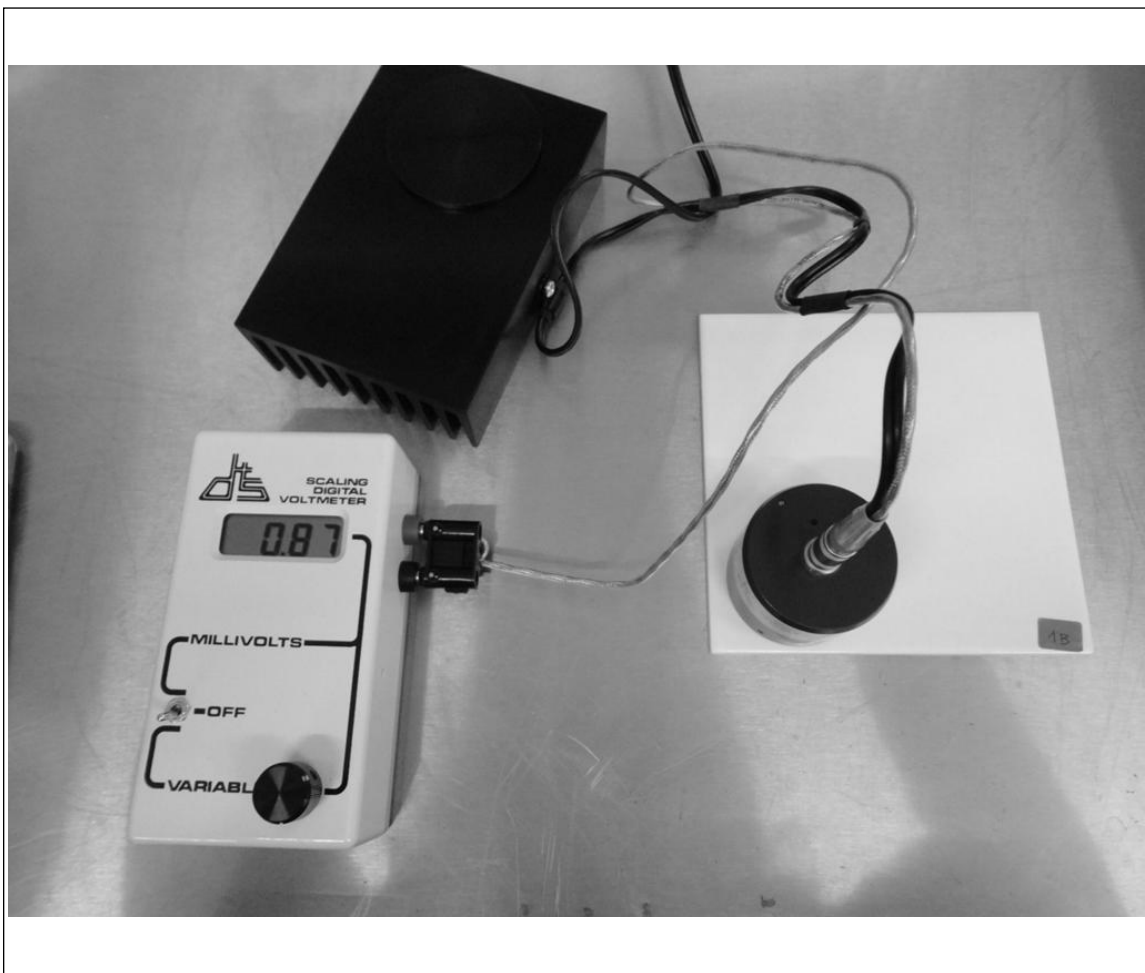
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-1B

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1 ^a	16/04/2015	22,2	57,7	0,85	0,87	0,87	0,87		0,87
2 ^a	21/04/2015	20,9	56,9	0,85	0,86	0,86	0,87		0,87
3 ^a	23/04/2015	21,0	52,7	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
4 ^a	27/04/2015	21,4	62,2	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86

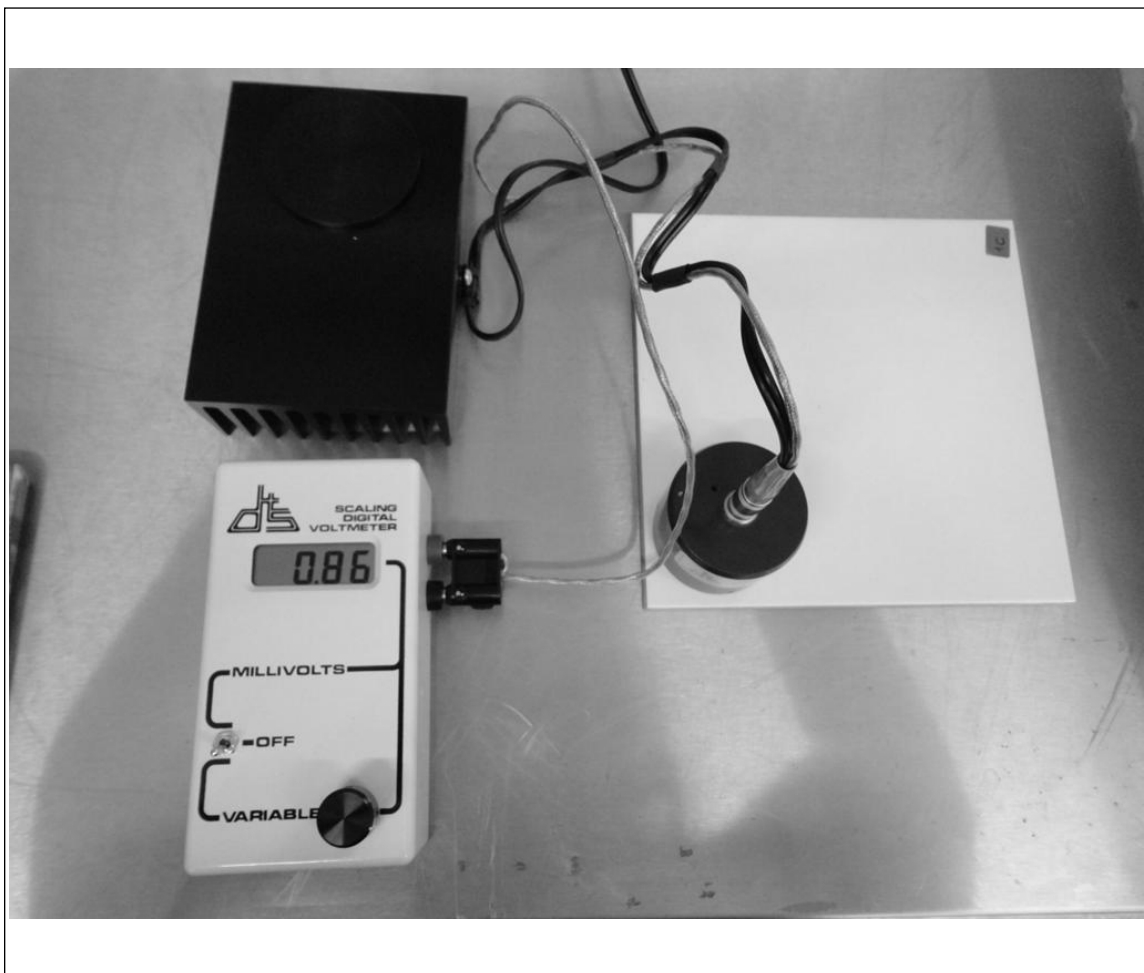
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-1C

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,9	57,9	0,85	0,85	0,85	0,86		0,86
2ª	21/04/2015	20,8	56,6	0,86	0,86	0,87	0,87		0,87
3ª	23/04/2015	20,9	52,8	0,86	0,86	0,86	0,87		0,87
4ª	27/04/2015	21,2	62,5	0,85	0,85	0,86	0,86		0,86

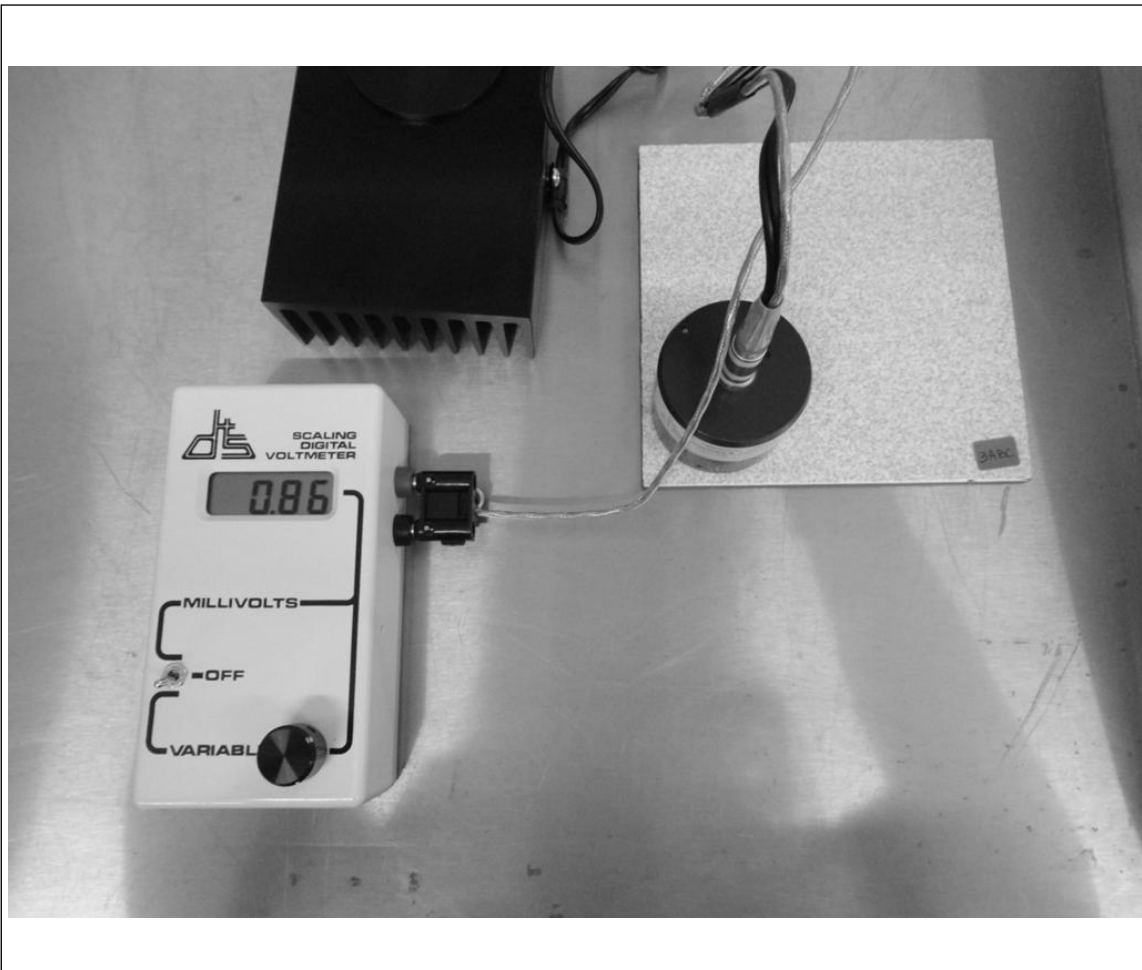
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-3ABC

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,2	57,7	0,86	0,86	0,86	0,86		0,86
2ª	21/04/2015	20,9	56,9	0,84	0,86	0,85	0,86		0,86
3ª	23/04/2015	21,0	52,7	0,85	0,86	0,86	0,86		0,86
4ª	27/04/2015	21,5	63,8	0,85	0,86	0,85	0,86		0,86

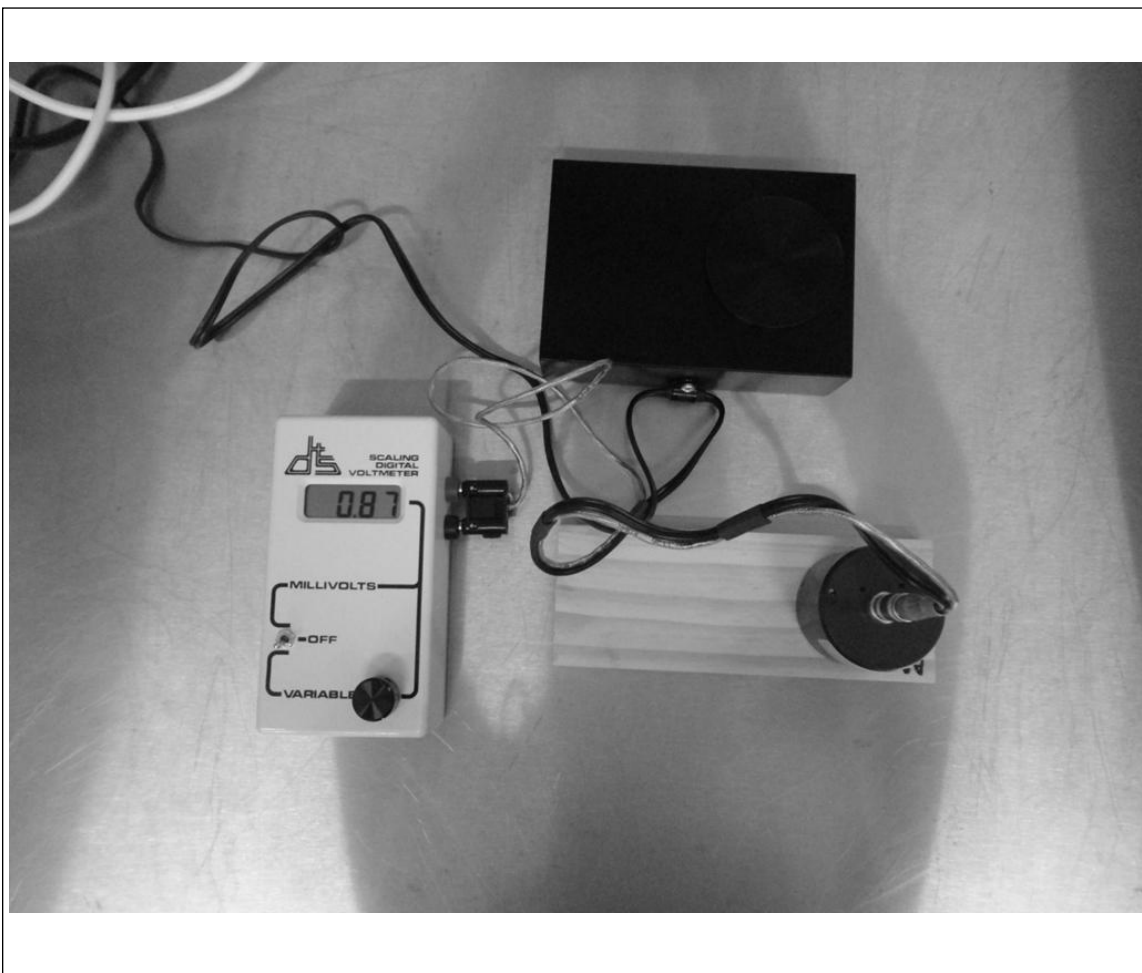
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-A1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,6	58,6	0,84	0,85	0,86			0,86
2ª	21/04/2015	20,8	55,4	0,84	0,84	0,86			0,86
3ª	23/04/2015	20,7	55,1	0,82	0,85	0,87			0,87
4ª	27/04/2015	20,2	67,9	0,84	0,86	0,87			0,87

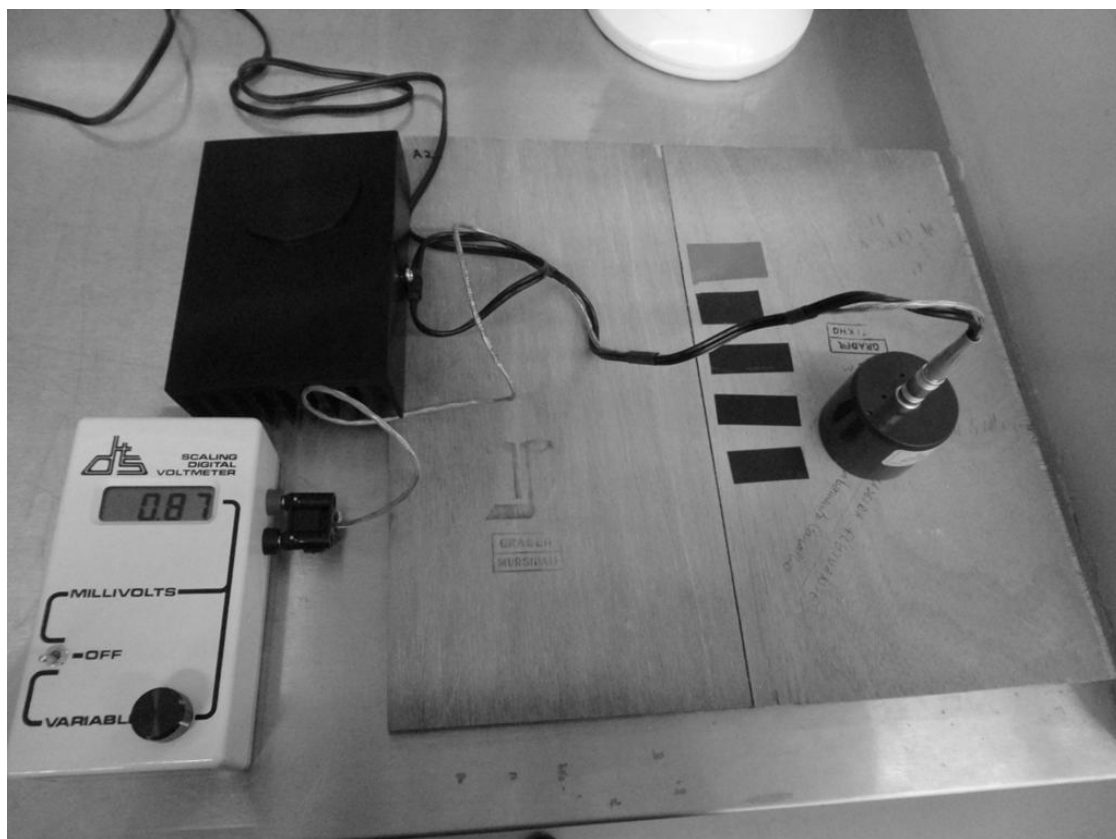
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-A2.1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,6	58,6	0,86	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87
2ª	21/04/2015	20,9	55,6	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
3ª	23/04/2015	20,8	53,0	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88
4ª	27/04/2015	20,4	66,4	0,86	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

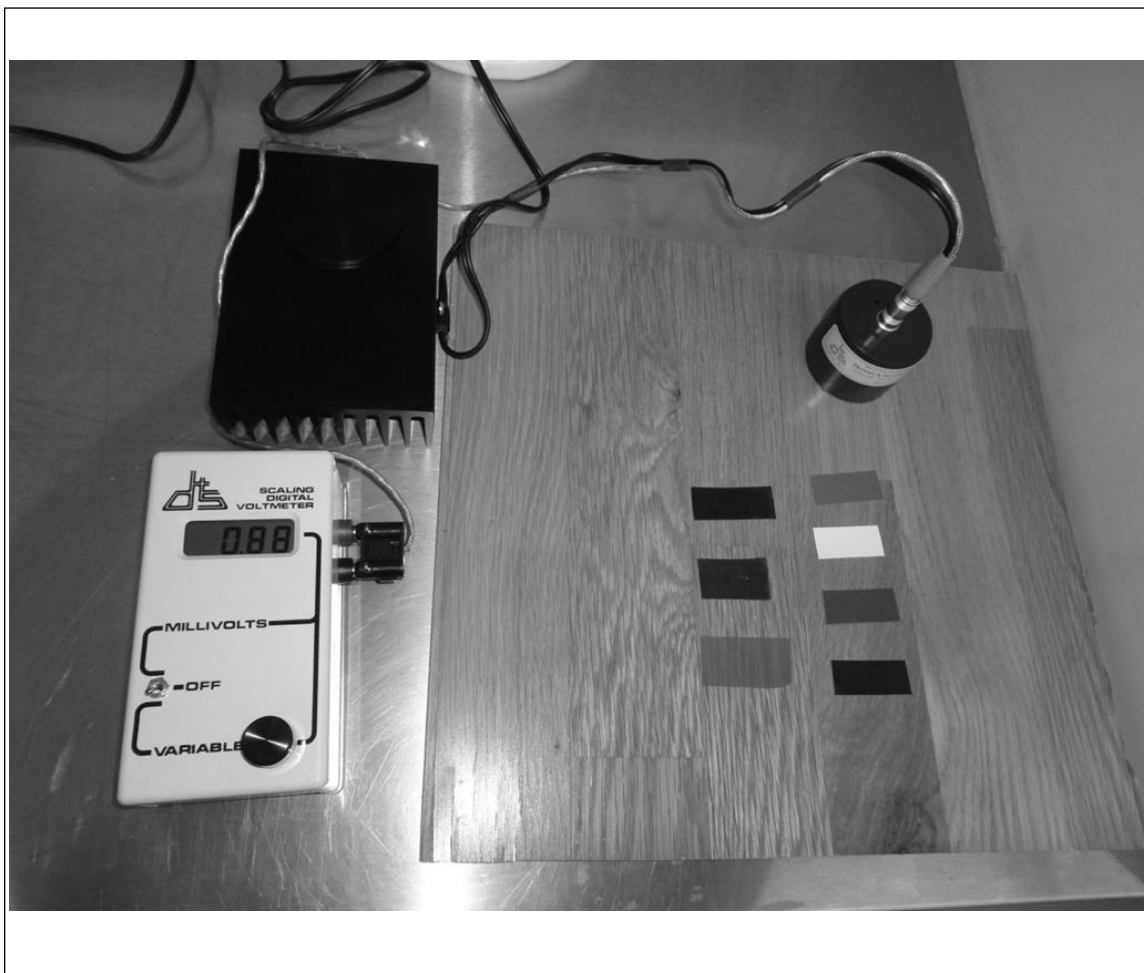
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-A2.2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,6	58,6	0,85	0,86	0,86	0,86	0,88	0,88
2ª	21/04/2015	20,9	56,0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
3ª	23/04/2015	20,8	53,1	0,85	0,86	0,86	0,86	0,88	0,88
4ª	27/04/2015	20,6	65,5	0,85	0,86	0,88	0,86	0,87	0,87

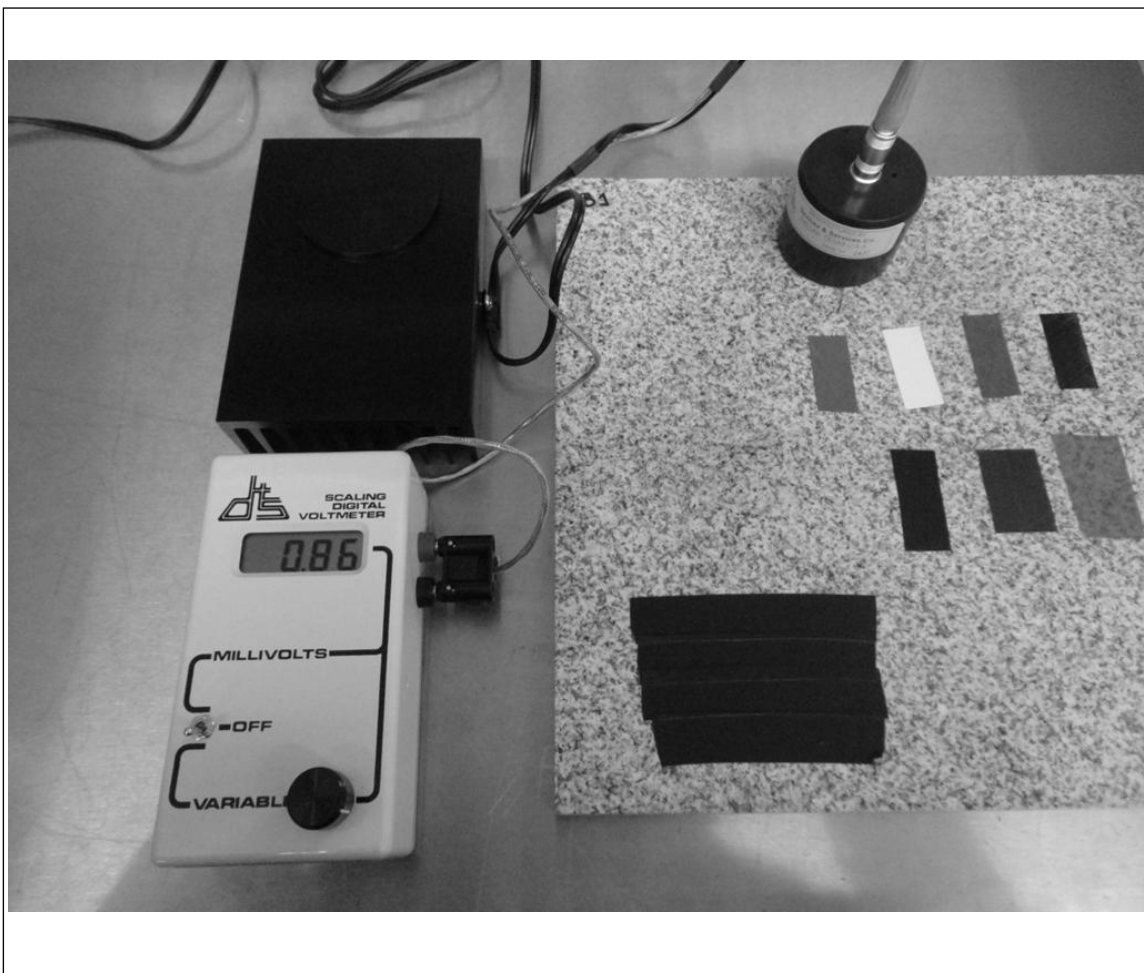
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-B1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1 ^a	16/04/2015	21,8	58,1	0,86	0,86	0,85	0,85	0,86	0,86
2 ^a	21/04/2015	20,9	56,2	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
3 ^a	23/04/2015	20,9	52,9	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
4 ^a	27/04/2015	21,0	66,1	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88

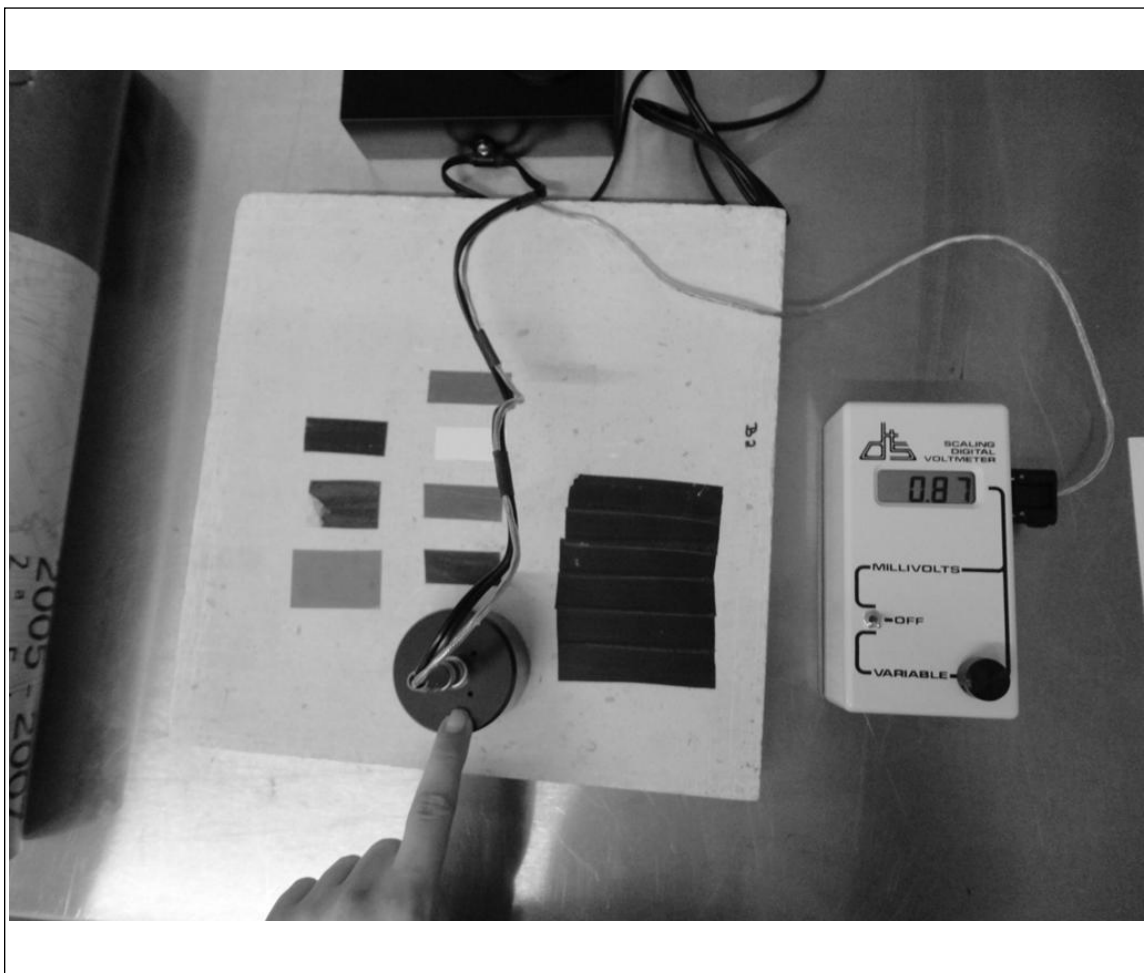
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-B2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1 ^a	16/04/2015	21,8	58,1	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86	0,86
2 ^a	21/04/2015	20,9	56,2	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
3 ^a	23/04/2015	20,9	52,7	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
4 ^a	27/04/2015	20,9	65,2	0,86	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89

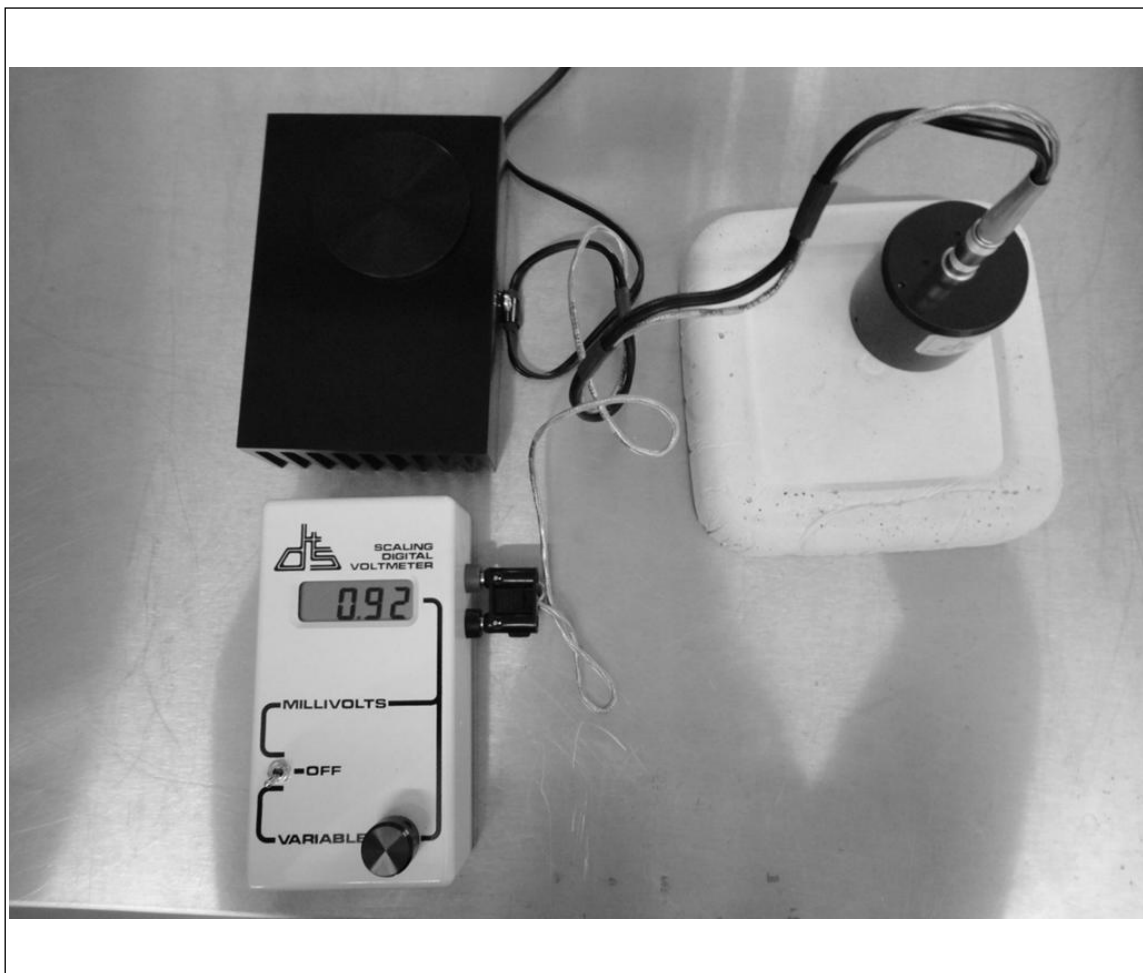
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-C1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,5	56,6	0,90	0,93	0,92	0,92		0,92
2ª	21/04/2015	21,2	56,7	0,93	0,92	0,92	0,93		0,93
3ª	23/04/2015	21,2	52,0	0,92	0,91	0,93	0,93		0,93
4ª	27/04/2015	22,0	60,1	0,92	0,92	0,93	0,94		0,94

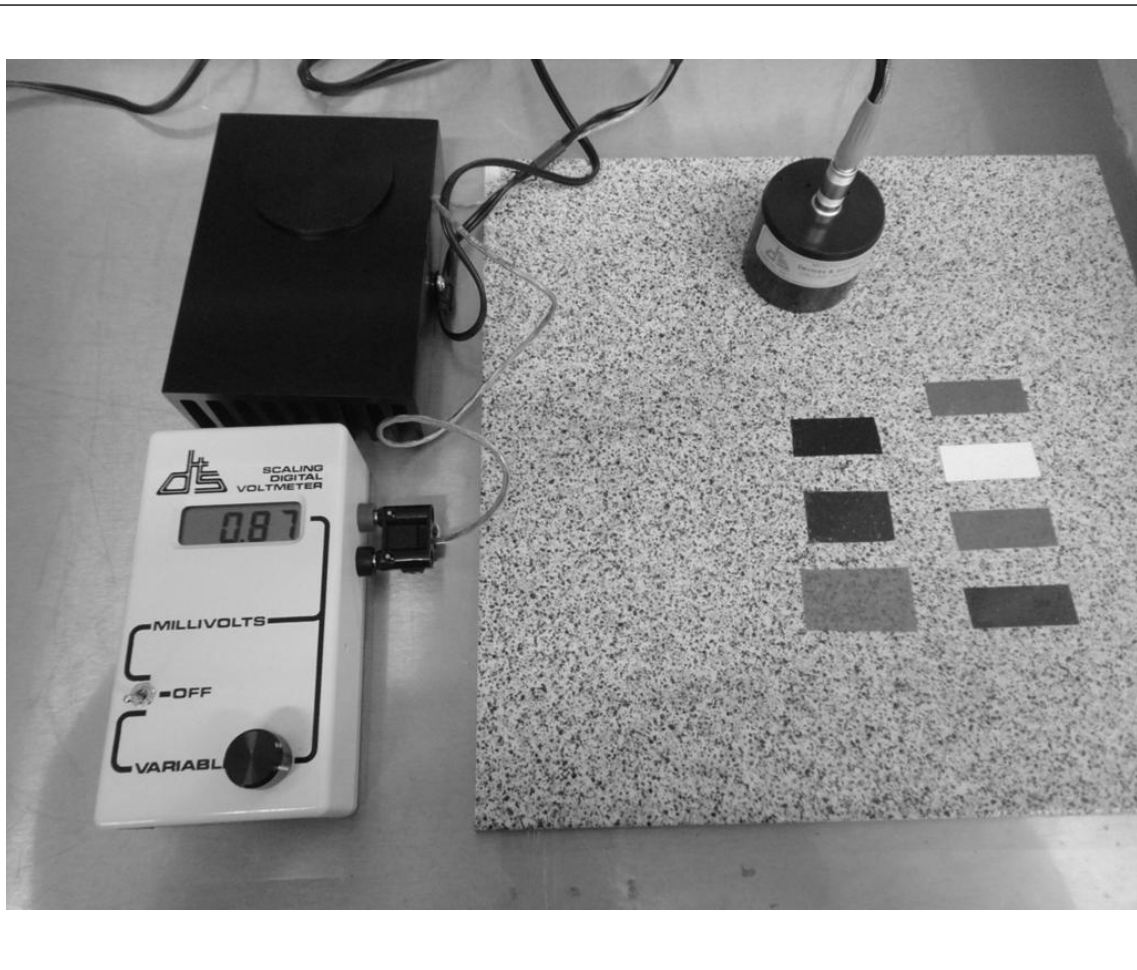
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-D1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,9	57,8	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
2ª	21/04/2015	20,9	56,4	0,86	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87
3ª	23/04/2015	20,9	52,6	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
4ª	27/04/2015	21,2	62,5	0,87	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-E1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	57,6	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84
2ª	21/04/2015	20,9	57,1	0,82	0,83	0,82	0,83	0,84	0,84
3ª	23/04/2015	21,0	52,4	0,82	0,82	0,83	0,83	0,85	0,85
4ª	27/04/2015	21,5	63,7	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84

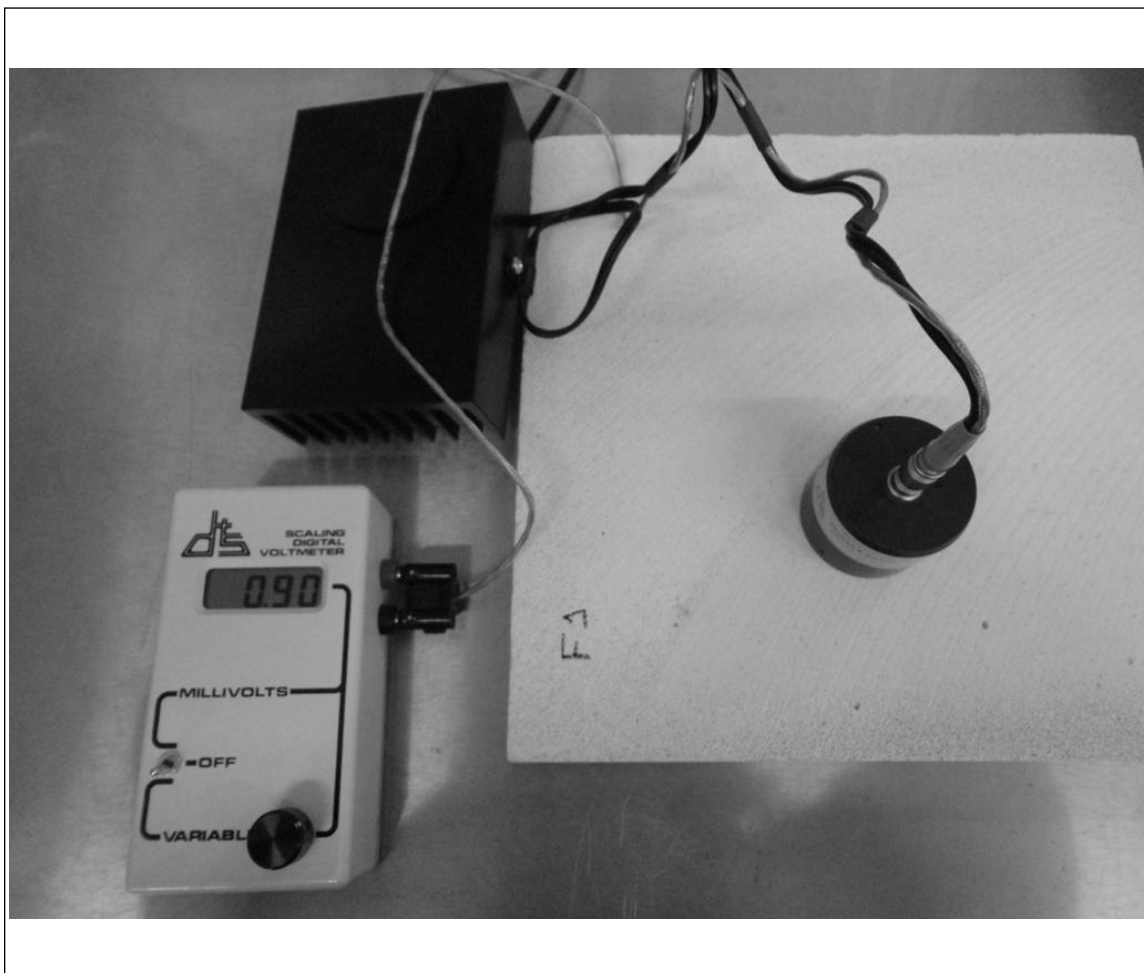
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-F1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	57,5	0,86	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90
2ª	21/04/2015	20,9	57,2	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89
3ª	23/04/2015	21,1	52,2	0,86	0,87	0,89	0,89	0,90	0,90
4ª	27/04/2015	21,6	62,4	0,86	0,87	0,88	0,88	0,90	0,90

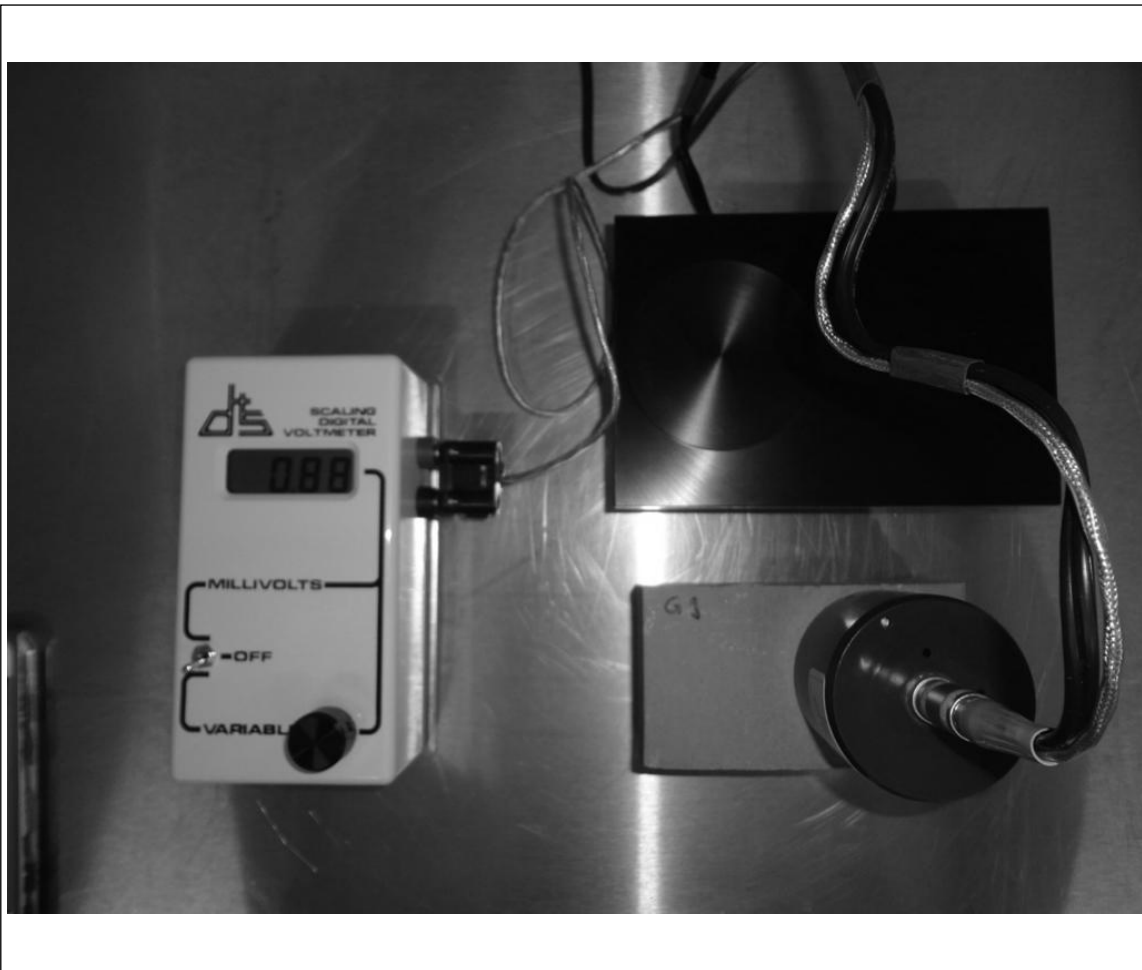
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-G1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	57,6	0,88	0,88				0,88
2ª	21/04/2015	20,9	57,5	0,89	0,89				0,89
3ª	23/04/2015	21,1	52,4	0,88	0,89				0,89
4ª	27/04/2015	21,6	61,0	0,89	0,90				0,90

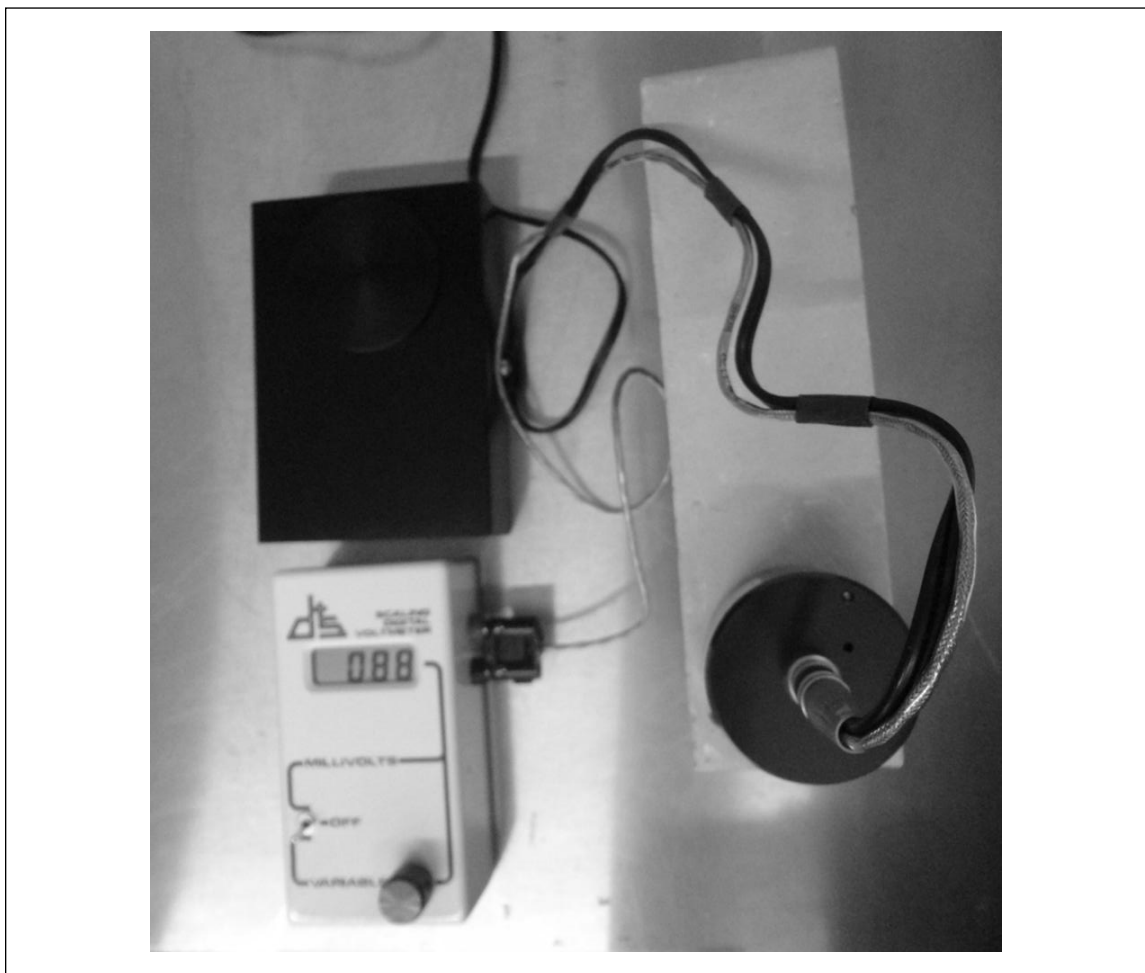
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-G2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	57,4	0,88	0,88	0,88	0,88		0,88
2ª	21/04/2015	20,9	57,5	0,85	0,86	0,87	0,87		0,87
3ª	23/04/2015	21,2	52,1	0,85	0,86	0,87	0,87		0,87
4ª	27/04/2015	21,6	61,4	0,86	0,86	0,87	0,88		0,88

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-H1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	21,3	55,8	0,73	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72
2ª	21/04/2015	21,3	56,0	0,70	0,70	0,71	0,69	0,72	0,72
3ª	23/04/2015	21,7	51,6	0,70	0,61	0,63	0,62	0,69	0,69
4ª	27/04/2015	22,2	59,2	0,66	0,65	0,66	0,62	0,70	0,70

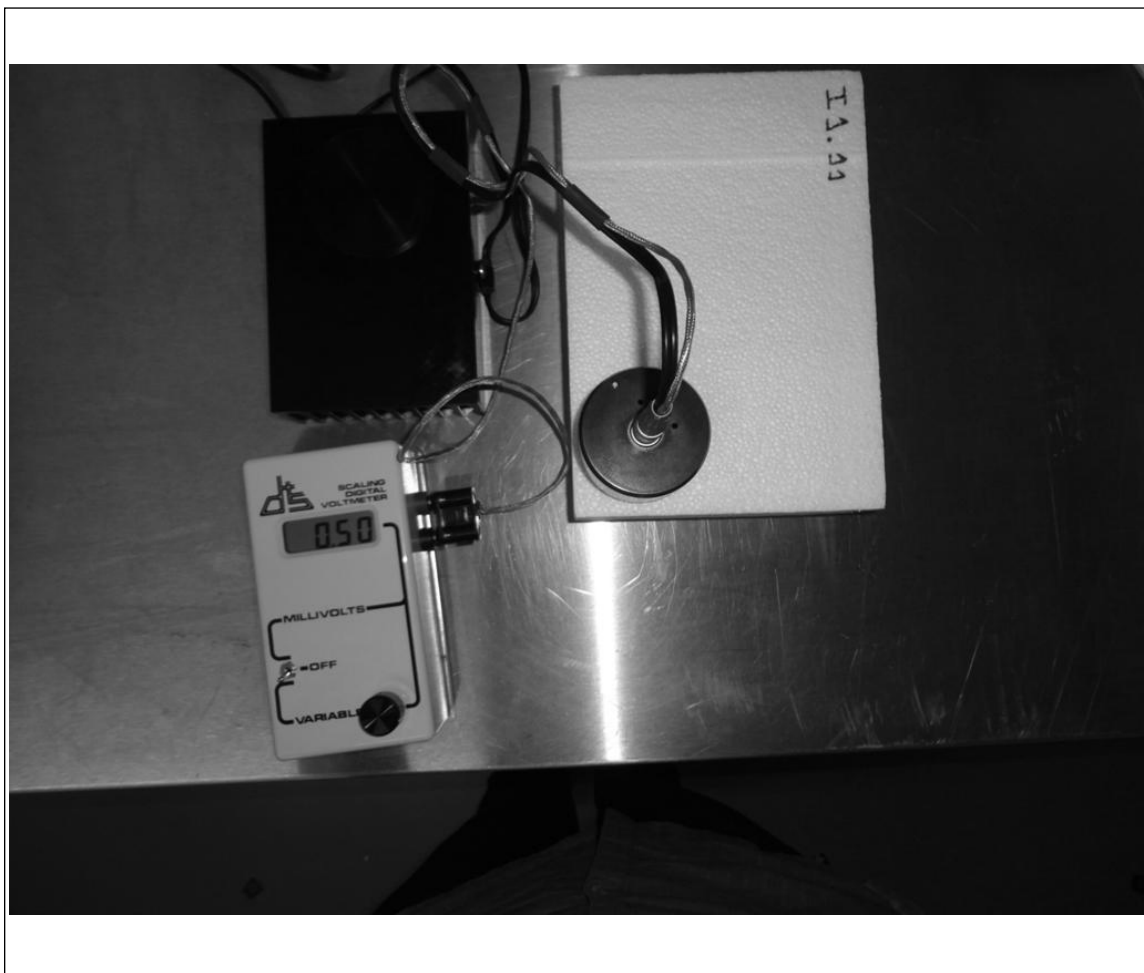
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-I1.11

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	56,5	0,54	0,49	0,48	0,46	0,49	0,49
2ª	21/04/2015	21,0	57,5	0,53	0,49	0,48	0,47	0,49	0,49
3ª	23/04/2015	21,3	52,5	0,48	0,47	0,46	0,46	0,50	0,50
4ª	27/04/2015	21,8	62,1	0,50	0,47	0,46	0,46	0,50	0,50

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-I1.12

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	56,5	0,58	0,56	0,55	0,55	0,60	0,60
2ª	21/04/2015	21,0	57,5	0,59	0,56	0,58	0,56	0,61	0,61
3ª	23/04/2015	21,3	52,5	0,57	0,55	0,55	0,56	0,62	0,62
4ª	27/04/2015	21,8	62,1	0,56	0,53	0,53	0,54	0,61	0,61

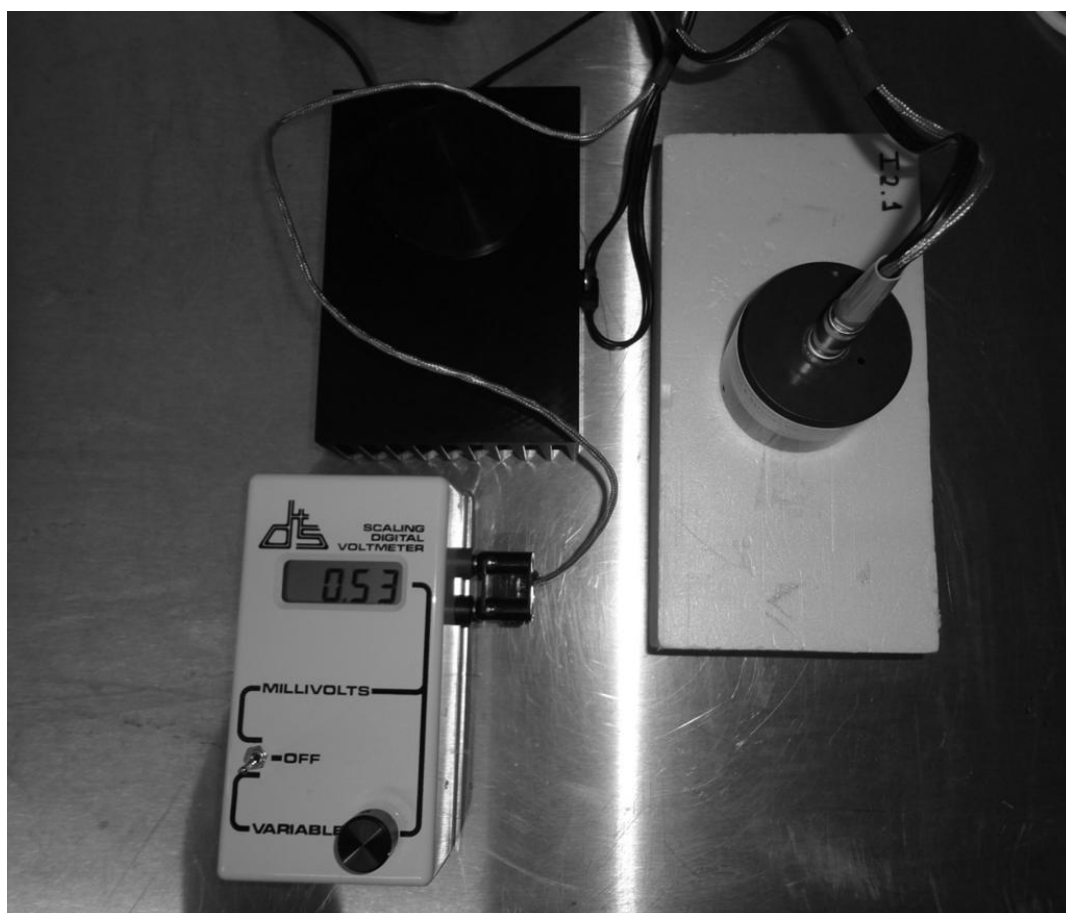
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-I2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	56,4	0,51	0,50	0,54			0,54
2ª	21/04/2015	21,0	56,8	0,50	0,50	0,53			0,53
3ª	23/04/2015	21,2	51,9	0,51	0,50	0,54			0,54
4ª	27/04/2015	21,9	60,0	0,50	0,50	0,53			0,53

Observações:

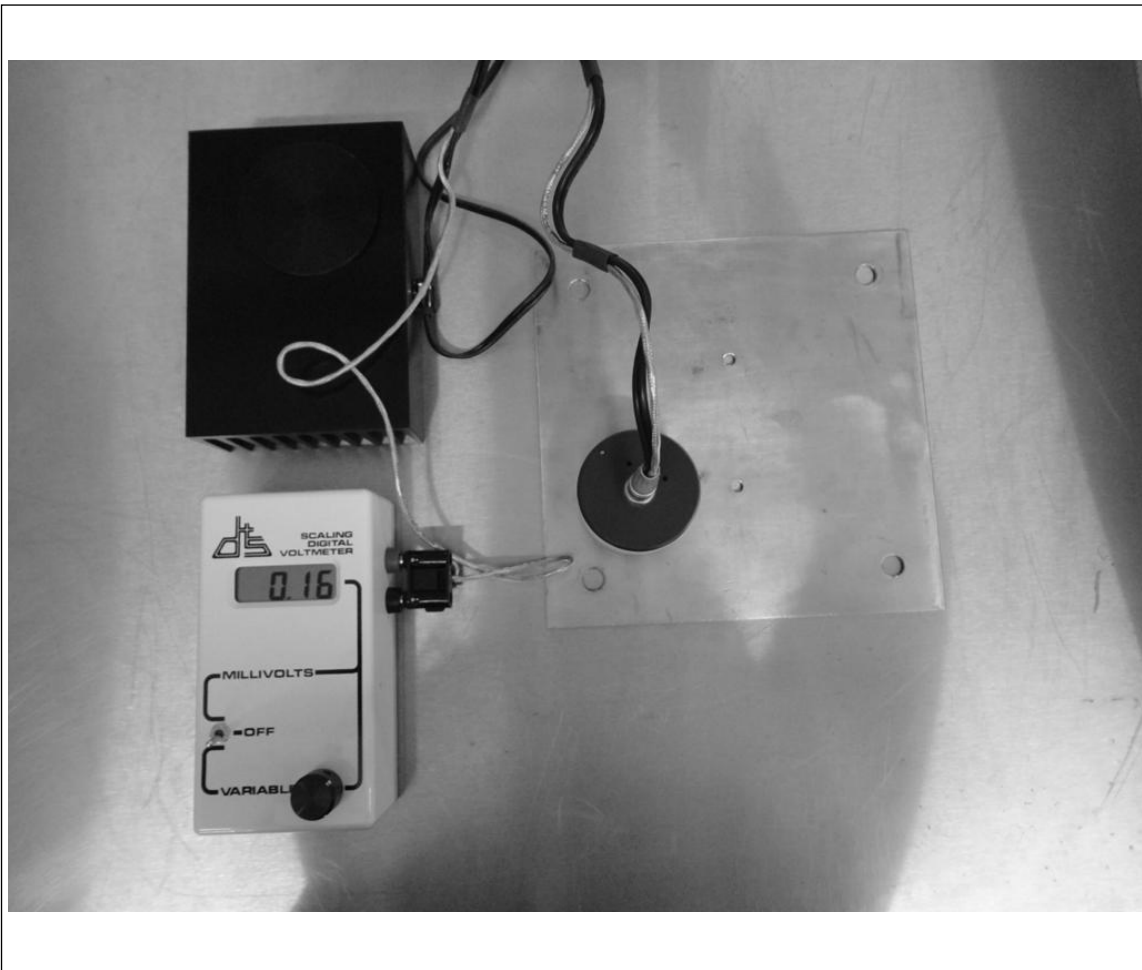
Devido ao tamanho da amostra, apenas se conseguiu fazer o método do deslizamento em 3 pontos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-J1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	56,4	0,26	0,19	0,17	0,16		0,16
2ª	21/04/2015	21,1	56,8	0,22	0,18	0,17	0,17		0,17
3ª	23/04/2015	21,2	51,9	0,26	0,19	0,17	0,16		0,16
4ª	27/04/2015	22,0	59,3	0,27	0,19	0,17	0,16		0,16

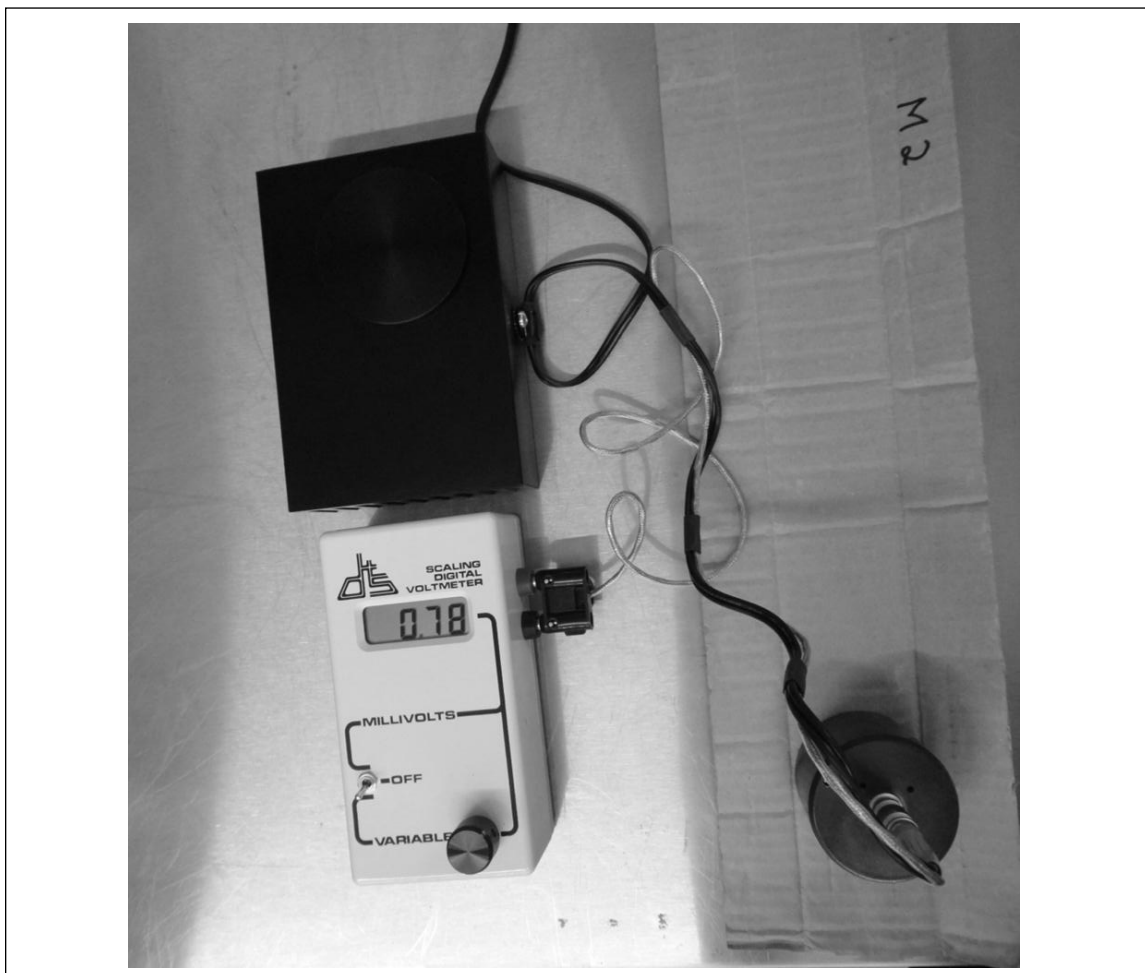
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-M2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,5	56,3	0,75	0,76	0,78	0,76	0,78	0,78
2ª	21/04/2015	21,2	56,3	0,73	0,75	0,75	0,77	0,80	0,80
3ª	23/04/2015	21,3	51,6	0,73	0,74	0,75	0,75	0,78	0,78
4ª	27/04/2015	22,1	59,7	0,73	0,75	0,76	0,76	0,79	0,79

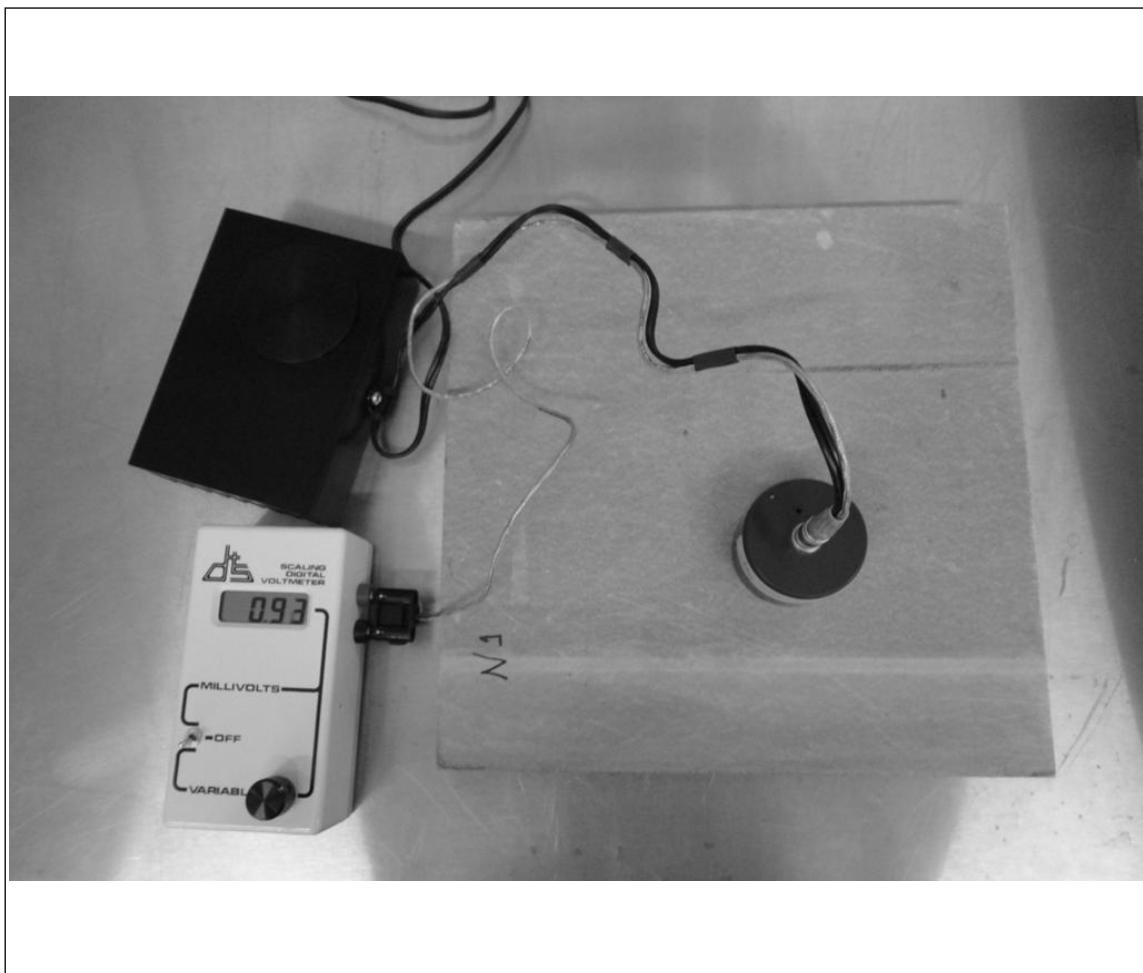
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-N1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,4	57,4	0,90	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93
2ª	21/04/2015	20,9	57,3	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92
3ª	23/04/2015	21,2	52,3	0,90	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92
4ª	27/04/2015	21,7	62,0	0,89	0,90	0,92	0,92	0,93	0,93

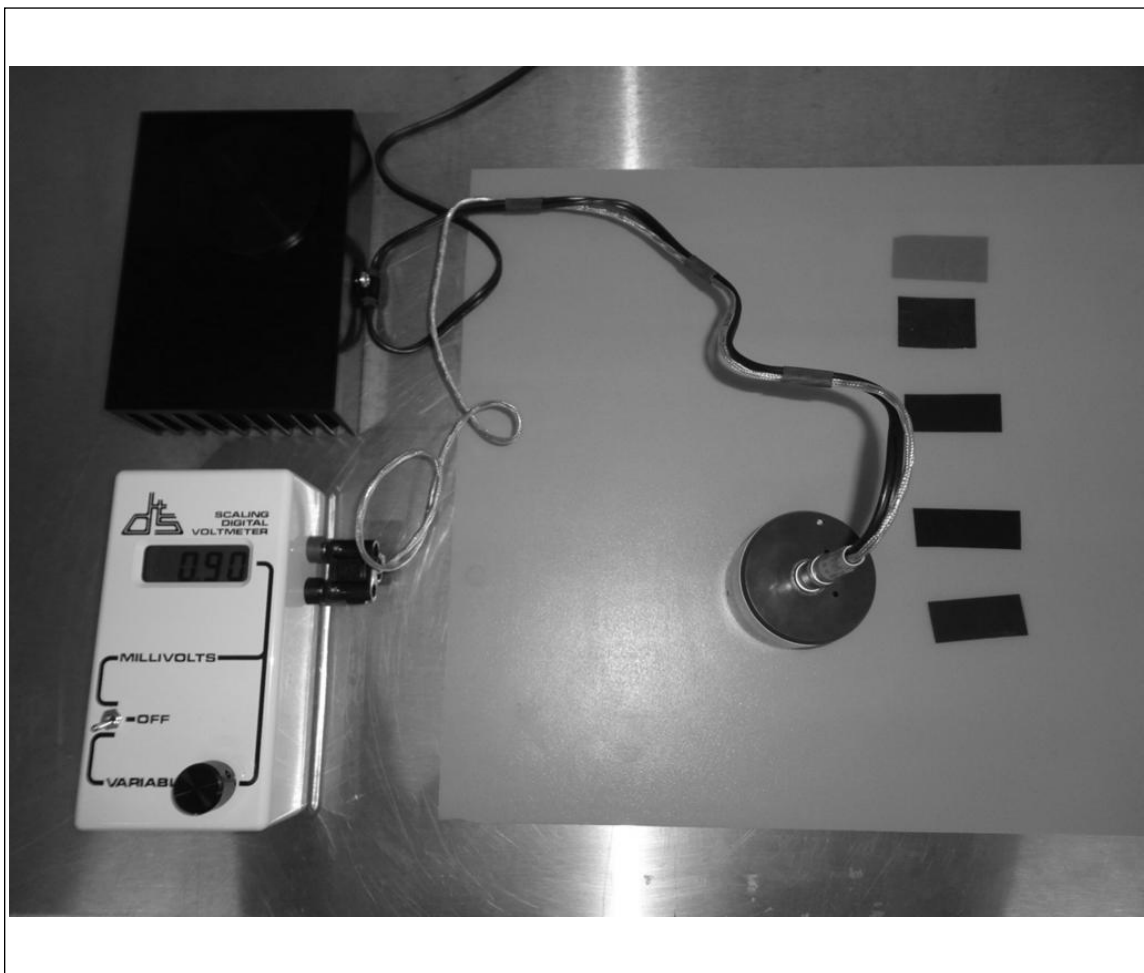
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: AM-P1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	16/04/2015	22,5	56,3	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90
2ª	21/04/2015	21,2	56,5	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90
3ª	23/04/2015	21,2	51,8	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90
4ª	27/04/2015	22,1	59,4	0,87	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

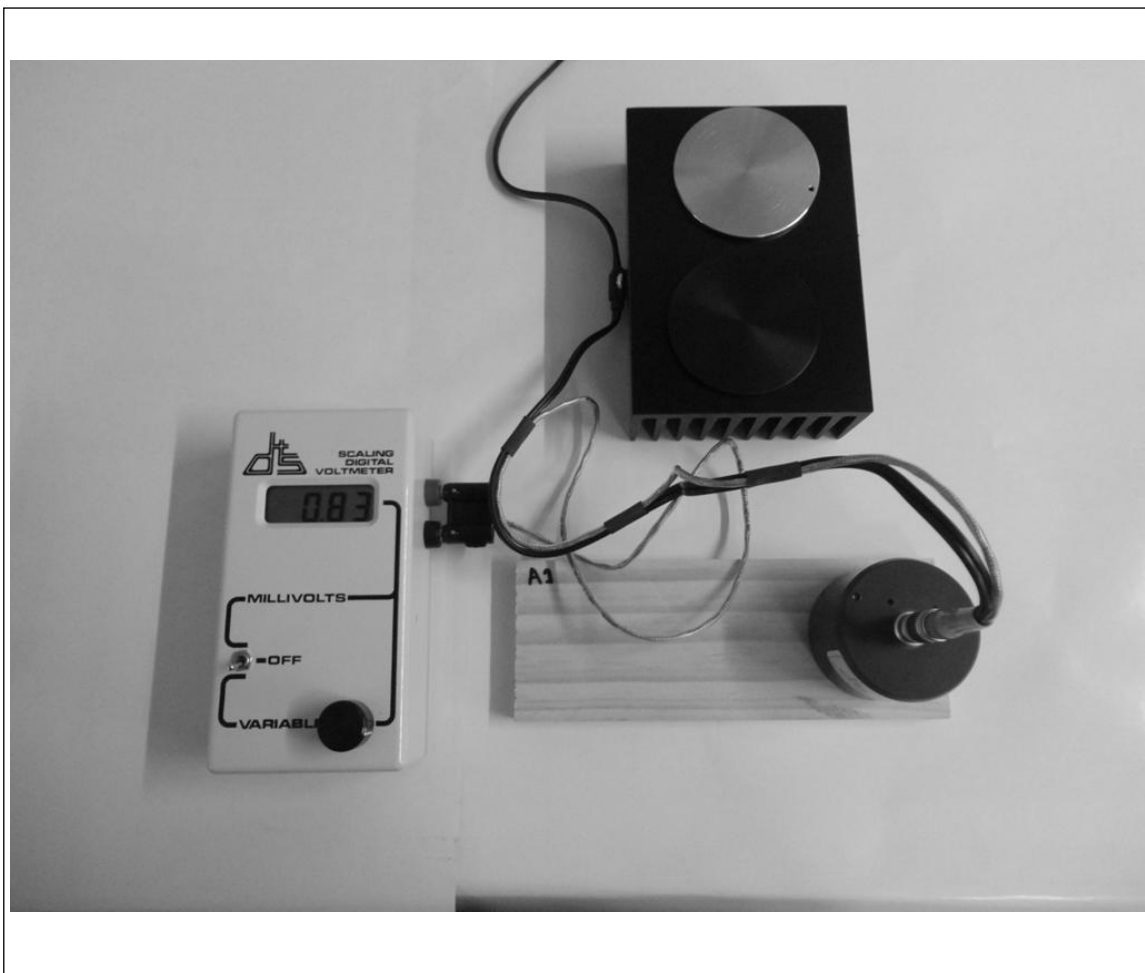
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: PBE-A1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	15/04/2015	20,9	58,9	0,74	0,82	0,84			0,84
2ª	16/04/2015	21,0	59,5	0,76	0,81	0,83			0,83
3ª	20/04/2015	21,3	50,4	0,72	0,81	0,85			0,85
4ª	23/04/2015	22,1	50,2	0,78	0,85	0,87			0,87

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: PBE-I1.11

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	17/04/2015	21,3	58,1	0,43	0,46	0,46	0,46	0,49	0,49
2ª	20/04/2015	21,4	50,6	0,36	0,41	0,44	0,45	0,49	0,49
3ª	23/04/2015	21,6	50,5	0,38	0,44	0,46	0,46	0,51	0,52
4ª	28/04/2015	22,2	50,1	0,38	0,44	0,46	0,47	0,51	0,51

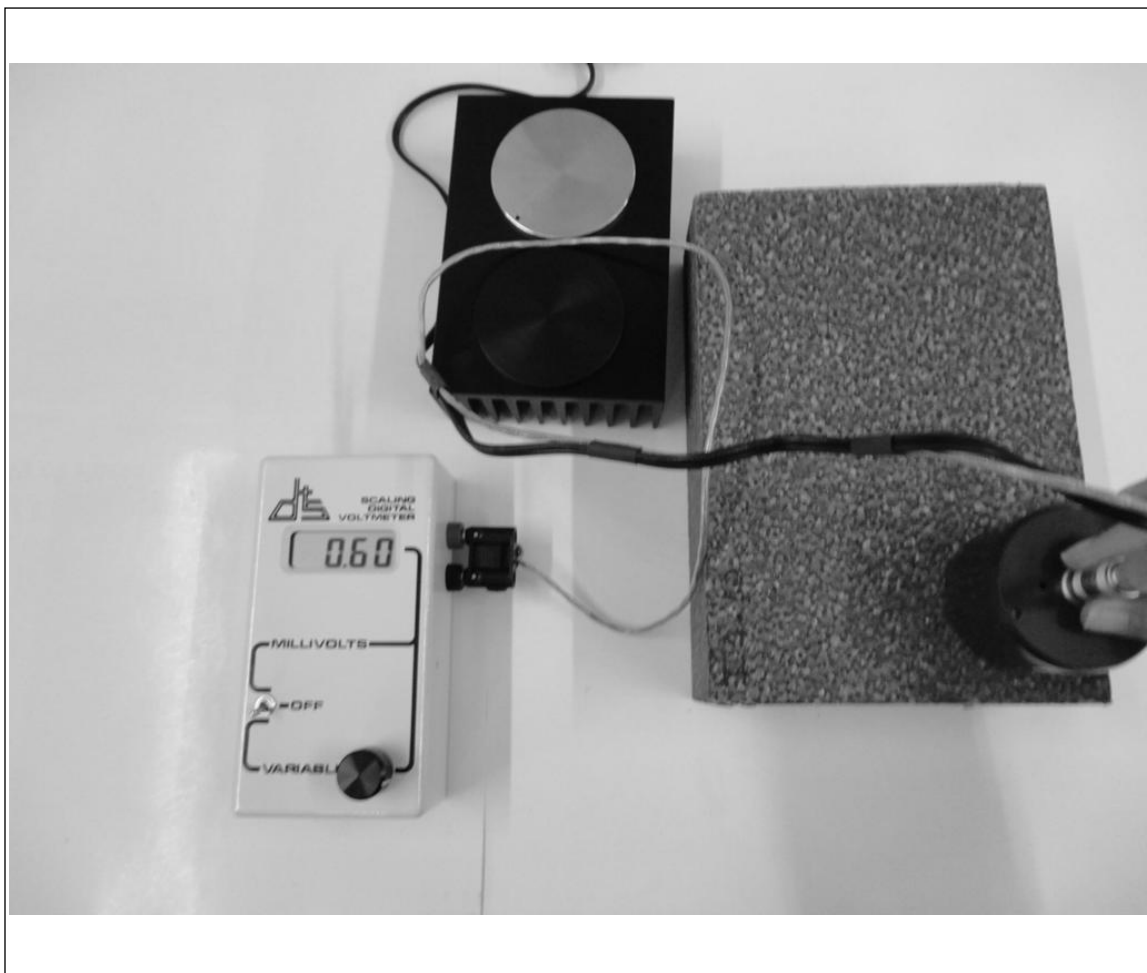
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: PBE-I1.12

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	17/04/2015	21,3	58,0	0,41	0,53	0,55	0,54	0,60	0,60
2ª	20/04/2015	21,4	50,6	0,41	0,50	0,54	0,52	0,60	0,60
3ª	23/04/2015	21,6	50,4	0,39	0,49	0,51	0,51	0,58	0,58
4ª	28/04/2015	22,2	50,2	0,42	0,52	0,54	0,54	0,61	0,61

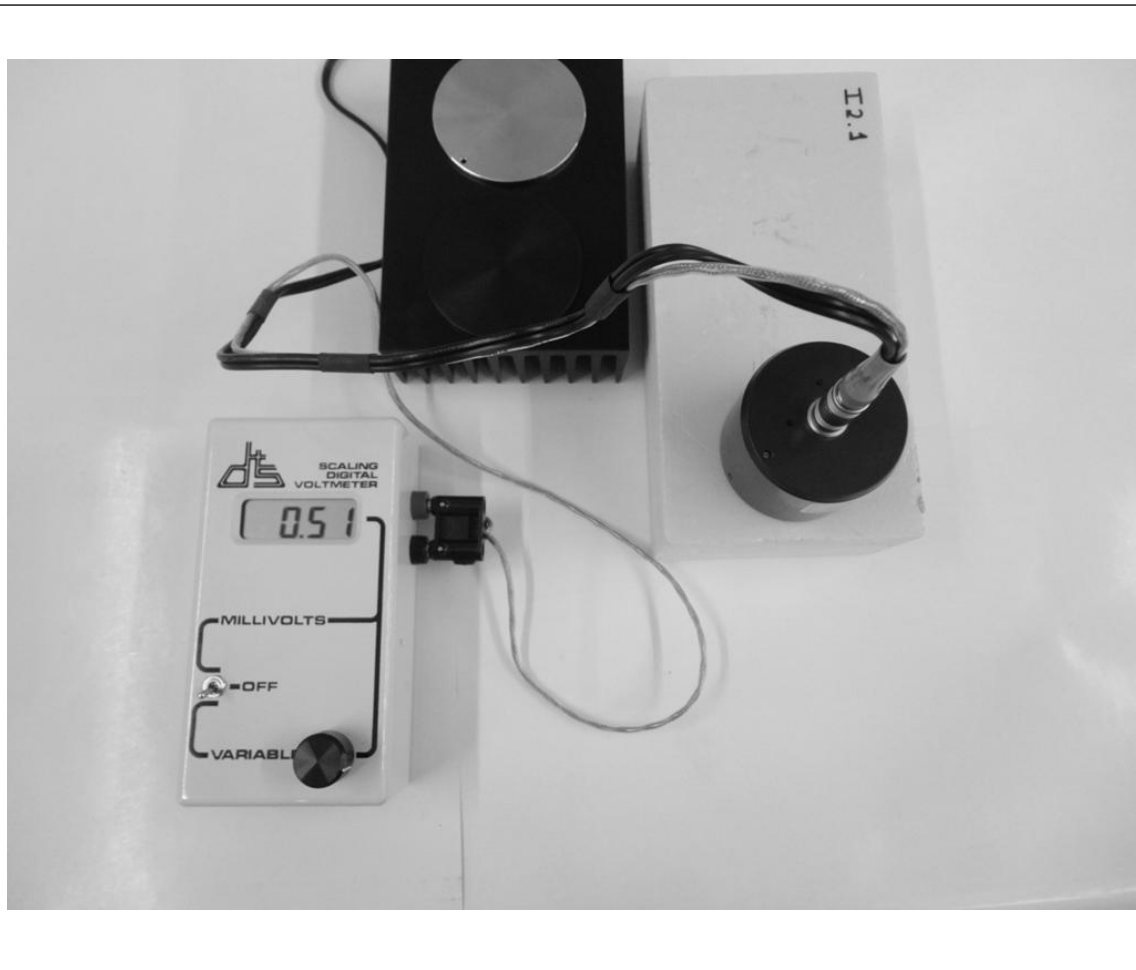
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: PBE-I2

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	17/04/2015	21,3	58,0	0,40	0,50	0,53			0,53
2ª	20/04/2015	21,3	50,7	0,40	0,51	0,54			0,54
3ª	23/04/2015	21,8	50,5	0,41	0,49	0,52			0,52
4ª	28/04/2015	22,1	50,2	0,41	0,51	0,53			0,53

Observações:

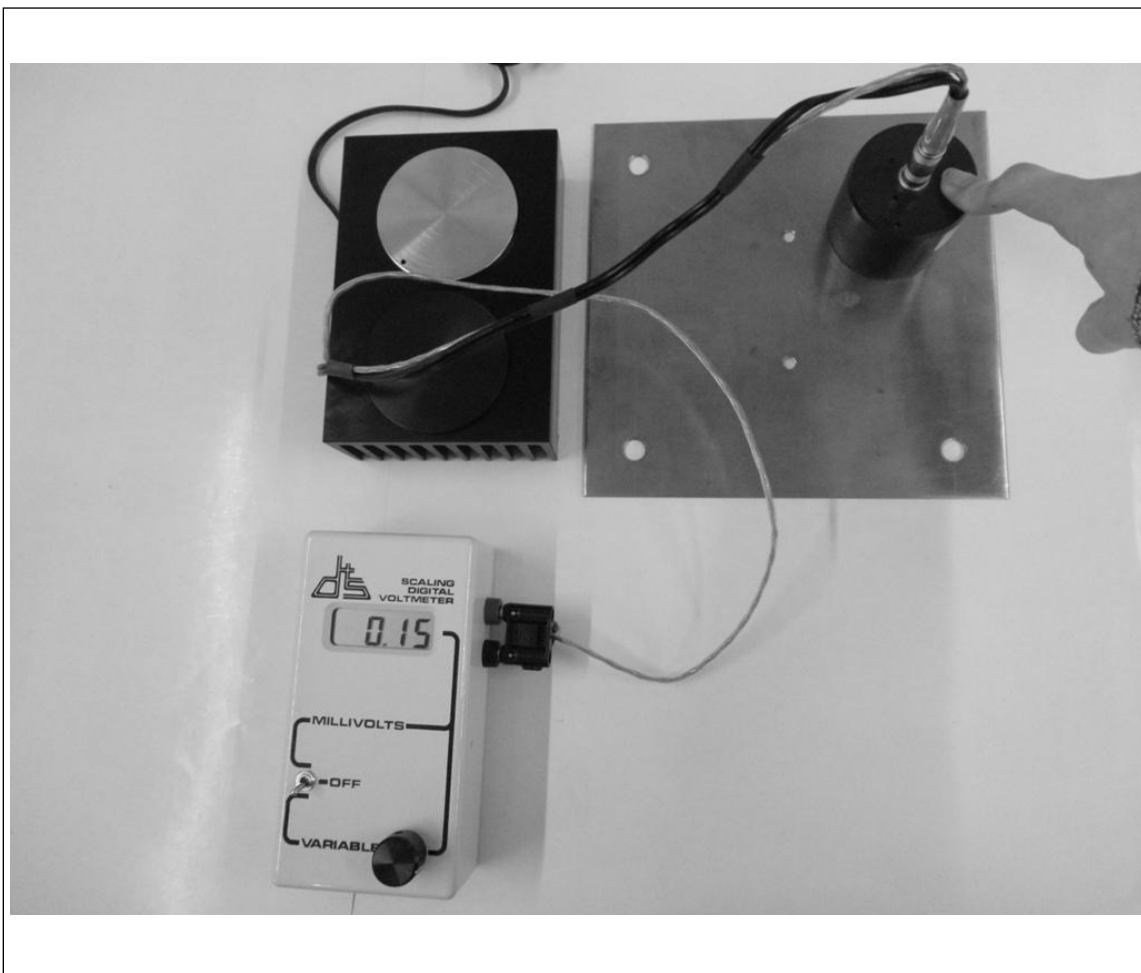
Devido ao tamanho da amostra, apenas se conseguiu fazer o método do deslizamento em 3 pontos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: PBE-J1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	17/04/2015	21,0	58,3	0,14	0,15	0,16	0,17		0,17
2ª	20/04/2015	21,3	50,5	0,15	0,16	0,16	0,16		0,16
3ª	23/04/2015	21,9	50,1	0,15	0,16	0,16	0,16		0,16
4ª	28/04/2015	22,1	50,2	0,15	0,15	0,16	0,16		0,16

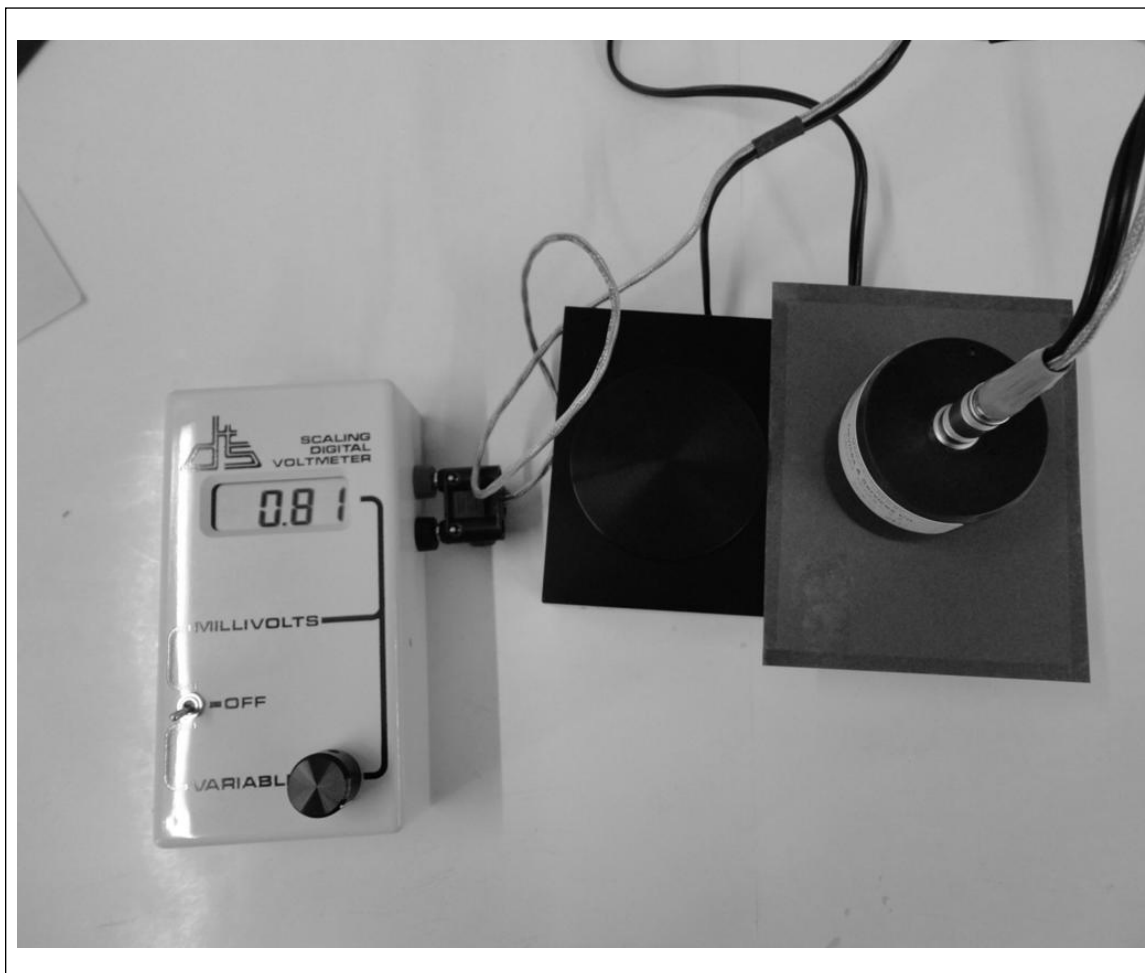
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: P-S1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições			
				Preta	Verde	Amarela	Cinza
1ª	14/04/2015	21,3	51,8	0,86	0,82	0,83	0,82
2ª	20/04/2015	21,4	50,6	0,84	0,81	0,84	0,83
3ª	23/04/2015	21,6	50,7	0,86	0,82	0,83	0,82
4ª	27/04/2015	22,9	54,5	0,85	0,82	0,84	0,82

Observações:

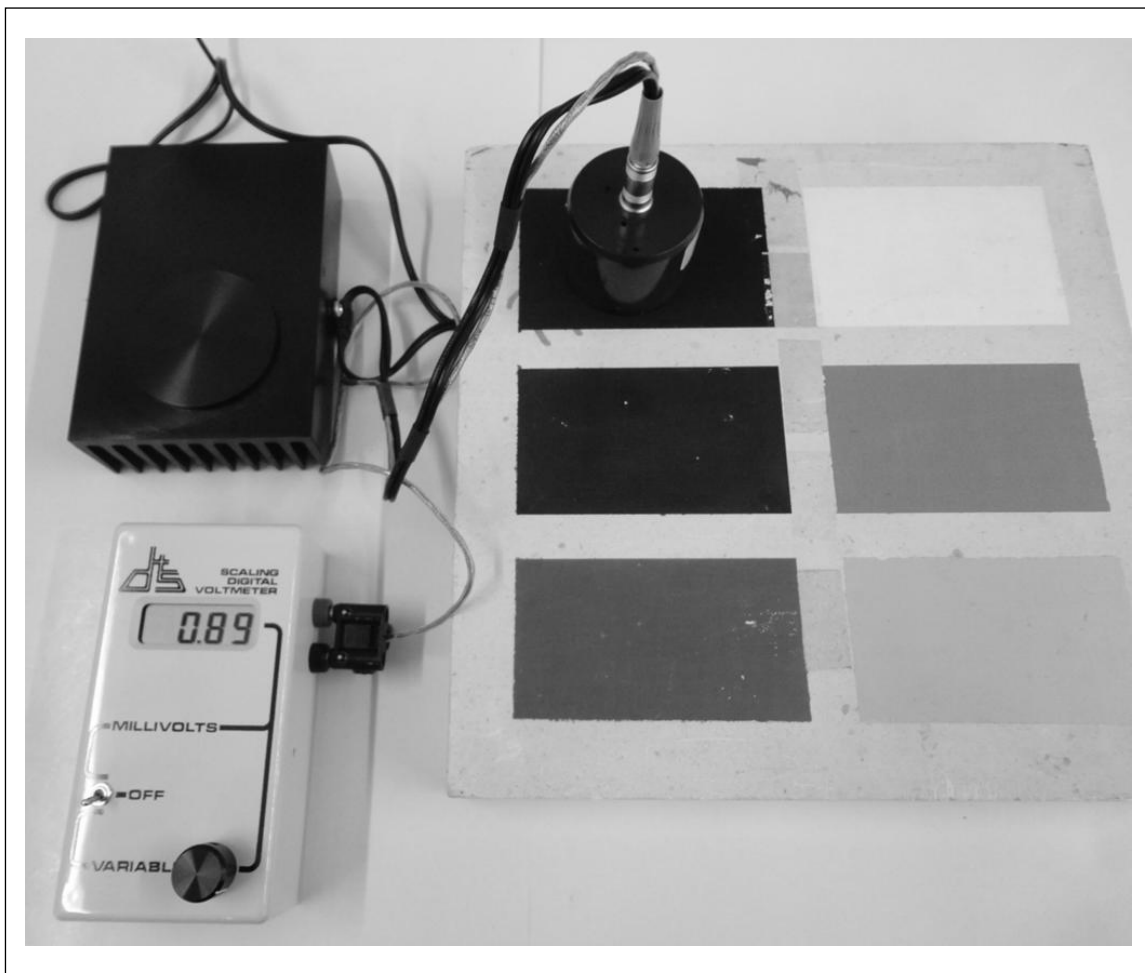
--

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Código do ensaio: ND-R1

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					
				Preta	Azul	Vermelha	Branca	Verde	Amarela
1ª	14/04/2015	21,3	51,8	0,88	0,85	0,89	0,89	0,89	0,90
2ª	15/04/2015	21,1	59,8	0,89	0,92	0,91	0,93	0,93	0,94
3ª	20/04/2015	21,4	50,4	0,87	0,89	0,88	0,89	0,88	0,89
4ª	24/04/2015	20,0	63,7	0,88	0,89	0,90	0,89	0,88	0,89

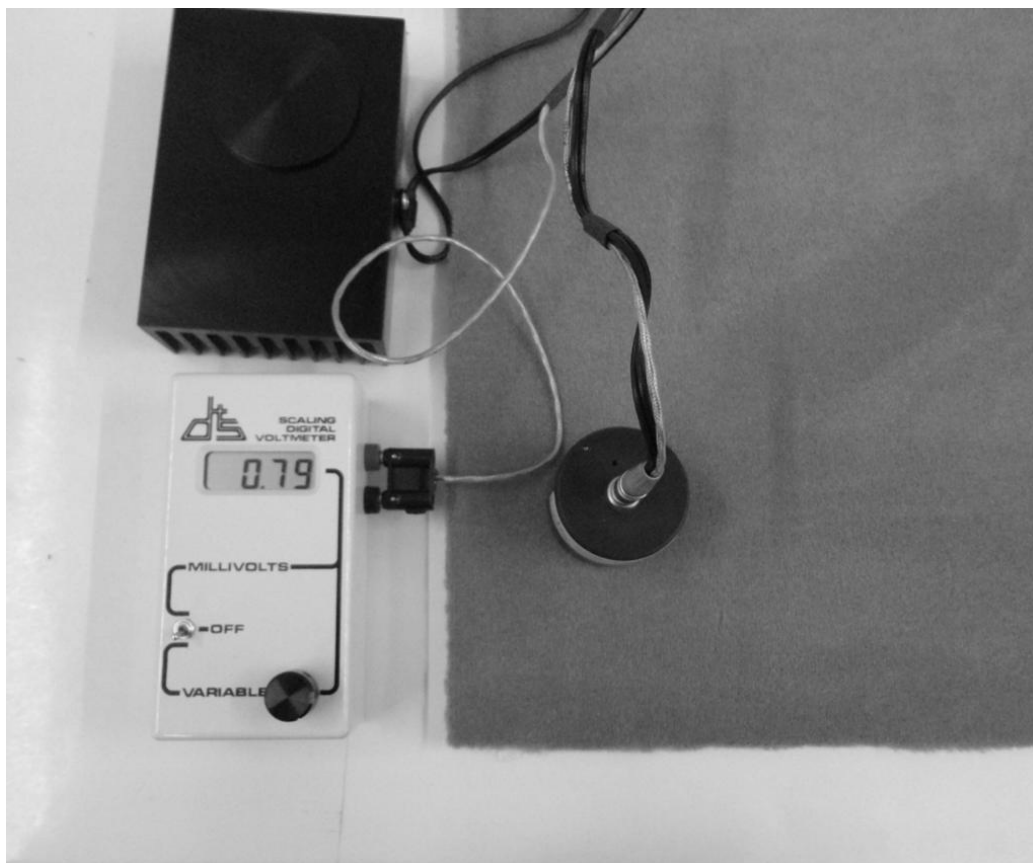
Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação da emissividade usando o emissómetro

Ensaio da alcatifa sem pressão

Fotografia



Medições

Medições	Data	Ta (°C)	HR (%)	Medições					Valor Real
1ª	23/04/2015	21,2	52,8	0,74	0,76	0,74	0,77	0,79	0,79
2ª	24/04/2015	22,0	50,1	0,72	0,74	0,74	0,75	0,79	0,79
3ª	27/04/2015	22,6	49,6	0,74	0,76	0,75	0,76	0,80	0,80
4ª	28/04/2015	21,4	57,9	0,73	0,74	0,74	0,77	0,79	0,79

Observações:

ANEXO II

Descrição dos procedimentos de ensaio

Procedimento da calibração:

1. Ligar o emissômetro ao cabo de alimentação e depois a uma fonte de alimentação e deixar o detetor aquecer durante 30 minutos numa posição lateral, para que a eventual humidade adsorvida no revestimento do detetor seja eliminada.
2. Ao colocar o interruptor na posição “variable”, o dimensionamento apropriado dos valores de entrada é garantido através do “variable gain knob”. O “variable gain knob” não tem qualquer efeito na posição “milivolts”.
3. Rodar totalmente o “variable gain knob” no sentido horário. Colocar o “dual banana plug” nas tomadas laterais, ajustar o voltímetro para o valor de 0.00, utilizando a chave de fendas fornecida.
4. Colocar os dois padrões de alta e baixa emissividade sobre o dissipador de calor. O contato térmico entre os padrões e o dissipador de calor é melhorado se se preencher os espaços de ar com água destilada ou outro material de alta condutância. A quantidade de água não deverá ser excessiva para não interferir com as amostras. Deixar espaço livre à volta do dissipador de calor para permitir a passagem de ar de modo a que a temperatura do dissipador de calor seja o mais próximo possível da temperatura ambiente.
5. Colocar o detetor em cima do padrão de referência de alta emissividade. Fixar durante, pelo menos, 90 segundos para a leitura no voltímetro estabilizar. Utilizar o “variable gain knob” do voltímetro para que a leitura corresponda ao valor correto da emissividade do padrão de referência.
6. Colocar o detetor em cima do padrão de referência de baixa emissividade e esperar novamente 90 segundos para a leitura estabilizar. Usar a chave-de-fendas para ajustar, no “offset trimmer” do detetor, o valor da leitura até ser obtido o valor correto. Contudo, se se estiver a usar um adaptador, então o ajuste da leitura deve ser realizado no “*voltmeter offset*” e não no detetor, uma vez que o ajuste necessário para a combinação detetor mais adaptador é considerável e o ajuste através do detetor não tem alcance suficiente.
7. Rodar o “variable gain knob” do voltímetro quando o detetor está no padrão de referência de alta emissividade e ajustar com o “offset trimmer” do detetor, com a ajuda da chave de fendas, quando este estiver em cima do padrão de referência de baixa emissividade (a não ser que se esteja a utilizar um adaptador, sendo que, nesse caso, ajusta-se sempre no voltímetro). Colocar o detetor no padrão de referência da emissividade alta e repetir os passos 5 e 6 até que o detetor ao ser mudado de um padrão para o outro, não necessite de ajuste na leitura.

Procedimento para materiais planos com condutibilidade térmica elevada:

1. Ligar o emissómetro e deixar aquecer o detetor durante 30 minutos.
2. Calibrar o equipamento.
3. Colocar o interruptor no modo “variable”.
4. Colocar o padrão de referência de alta emissividade e a amostra sobre o dissipador de calor. Para as amostras não-higroscópicas, utilizar algumas gotas de água destilada ou outro material de alta condutibilidade para melhorar o contacto térmico entre a amostra e o dissipador de calor. Não se pode utilizar água com amostras higroscópicas, como papel. Aguardar durante, pelo menos, 90 segundos para que as temperaturas se estabilizem.
5. Colocar o detetor sobre o padrão de referência de alta emissividade e esperar até que a leitura no voltímetro estabilize e utilizar o “variable gain knob” no voltímetro para obter uma leitura igual à emissividade do padrão de referência.
6. Colocar o detetor por cima da amostra e esperar que a leitura estabilize.
7. Repetir os passos 5 e 6 até que a leitura com o detetor sobre o padrão de emissividade alta for a correta. De seguida, colocar o detetor sobre a amostra e o valor da emissividade será o indicado pelo voltímetro.

Procedimento para materiais com condutibilidade térmica baixa:

- Método transiente:
 1. Instalar o adaptador próprio para este tipo de materiais no detetor e ligar o emissómetro.
 2. Esperar cerca de 15 minutos para que a combinação detetor mais o adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante. As medições com adaptador devem ser realizadas com o detetor na orientação vertical de forma a evitar erros causados por transferência de calor por convecção.
 3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência.
 4. Retirar o padrão de referência de baixa emissividade e colocar no seu lugar a amostra, com água suficiente para se obter um bom contato térmico, fazendo com que fique à mesma temperatura dos padrões de referência.
 5. Colocar o detetor sobre a amostra e, durante dois a três minutos, registar as leituras e o tempo a que foram medidas.
 6. Com as leituras do passo anterior, desenhar um gráfico das emissividades lidas em função do tempo, como se pode ver na Figura 2.17.
 7. Fazer uma reta tangencial até ao eixo das ordenadas, como demonstrado na Figura 2.17, sendo o valor “Ro” o valor da emissividade do material.

- Método de deslizamento:
 1. Instalar o adaptador próprio para este tipo de materiais no detetor e ligar o emissómetro.
 2. Esperar cerca de 15 minutos para que a combinação detetor mais o adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante. As medições com adaptador devem ser realizadas com o detetor na orientação vertical de forma a evitar erros causados por transferência de calor por convecção.
 3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência. Para a calibração da combinação detetor mais adaptador, tem de se ajustar no voltímetro e não no detetor para definir o valor do padrão de baixa emissividade, pois não existe intervalo suficiente disponível de ajuste para compensar no detetor, devido à diferença ser elevada por causa do adaptador.
 4. Retirar o padrão de referência de baixa emissividade do dissipador de calor e colocar a amostra no mesmo, com água suficiente para se obter um bom contato térmico, fazendo com que fique à mesma temperatura dos padrões de referência. Aguardar alguns minutos para que a amostra entre em equilíbrio térmico.
 5. Segurar o detetor sobre um canto da amostra durante 20 segundos, até a leitura estabilizar. Durante esse tempo, é de esperar que a superfície aqueça diretamente por baixo do detetor e, portanto, a leitura emissividade será menor do que deveria ser. Portanto, tem de se deslizar o detetor para outro local a alguns centímetros de distância, o que vai permitir ao detetor uma área onde a temperatura é a correta e, portanto, a leitura da emissividade vai aumentar um pouco e estar mais próximo do valor correto pois é preciso menos tempo para a superfície aquecer.
 6. Após 15 segundos, mover para outro. Ter o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies para não ocorrer um transiente indesejável na resposta do detetor. A leitura máxima obtida no canto número quatro é o valor para essa medição única. Para ter uma média de várias leituras, começar e acabar em diferentes pontos da amostra. Retomar ao passo 4, arrefecer a amostra e o dissipador de calor durante alguns minutos e reajustar a leitura sobre o padrão de alta emissividade entre cada medição.

Procedimento para materiais que não podem ser colocados sobre o dissipador de calor:

1. Instalar o adaptador próprio para este tipo de materiais no detetor e ligar o emissómetro.
2. Esperar cerca de 15 minutos para que a combinação detetor mais o adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante. As medições com adaptador devem ser realizadas com o detetor na orientação vertical de forma a evitar erros causados por transferência de calor por convecção.
3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência. Para a calibração da combinação detetor mais adaptador, tem de se ajustar no voltímetro e não no detetor para definir o valor do padrão de baixa emissividade, pois não existe intervalo suficiente disponível de ajuste para compensar no detetor, devido à diferença ser elevada por causa do adaptador.
4. Colocar o detetor a alguma distância do dissipador de calor e da amostra e usar uma pequena ventoinha para igualar as temperaturas da amostra e do dissipador de calor com o padrão de referência de alta emissividade em cima.
5. Desligar a ventoinha e colocar o detetor com o adaptador próprio para estes materiais em cima do padrão de referência de alta emissividade.
6. Deixar o detetor sobre padrão de alta emissividade durante dois a três minutos, até que leitura estabilize completamente e ajustar no voltímetro de modo que o visor mostre a emissividade esperada do padrão referência.
7. Segurar o detetor com o adaptador contra a amostra num canto durante cerca de 20 segundos e, em seguida, desliza-lo para outro ponto. Mover para cada local diferente subsequente após cerca de 15 segundos, ou mais frequentemente, se o tamanho da amostra for suficiente. Ter o cuidado de não quebrar o contato entre as superfícies para não ocorrer um transiente indesejável na resposta do detetor. A leitura máxima obtida no último ponto, após um minuto, é o valor para essa medição única. Para ter uma média de várias leituras, começar e acabar em diferentes pontos da amostra. Retomar ao passo 4, arrefecer a amostra e o dissipador de calor durante alguns minutos e reajustar a leitura sobre o padrão de alta emissividade entre cada medição.

Procedimento para materiais cilíndricos:

1. Instalar o adaptador próprio para este tipo de materiais no detetor e ligar o emissómetro.
2. Esperar cerca de 15 minutos para que a combinação detetor mais o adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante. As medições com adaptador devem ser realizadas com o detetor na orientação vertical de forma a evitar erros causados por transferência de calor por convecção.
3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência. Para a calibração da combinação detetor mais adaptador, tem de se ajustar no voltímetro e não no detetor para definir o valor do padrão de baixa emissividade, pois não existe intervalo suficiente disponível de ajuste para compensar no detetor, devido à diferença ser elevada por causa do adaptador.
4. Uma superfície cilíndrica não pode ser aplicada eficazmente no dissipador de calor, portanto, colocar o detetor a alguma distância do dissipador de calor e da amostra e usar uma pequena ventoinha para igualar as temperaturas da amostra e do dissipador de calor com o padrão de referência de alta emissividade em cima.
5. Desligar a ventoinha após e colocar o detetor, com o adaptador próprio para estes materiais, em cima do padrão de referência de alta emissividade.
6. Deixar o detetor sobre padrão de alta emissividade durante dois a três minutos, até que leitura estabilize completamente e ajustar no voltímetro de modo que o visor mostre a emissividade esperada do padrão referência.
7. Colocar o fole na amostra e segurar o detetor com o adaptador na vertical, quadrado e centrado sobre a superfície cilíndrica. Alinhar um dos parafusos de nylon com o eixo da superfície cilíndrica para se certificar que os elementos do detetor visualizam a amostra simetricamente.
8. Utilizar a técnica de deslizamento se a amostra for suficientemente grande para tal.
9. De seguida, deve-se fazer a correção:

$$\varepsilon = \varepsilon_i - 0.167 \times \frac{(1 - \varepsilon_i^2)}{r^{1.32}}$$

Onde ε é a emissividade da superfície, ε_i é a emissividade lida no voltímetro e r é o raio da curvatura em polegadas.

Procedimento para materiais rugosos:

1. Instalar o adaptador próprio para este tipo de materiais no detetor e ligar o emissómetro.
2. Esperar cerca de 15 minutos para que a combinação detetor mais adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante.
3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência. Nota importante: ajustar no voltímetro e não no detetor para definir o valor do padrão de baixa emissividade pois não há intervalo suficiente disponível de ajuste para compensar no detetor, devido à diferença ser elevado por causa do adaptador.
4. Colocar o padrão de referência de alta emissividade e a amostra sobre o dissipador de calor. Para as amostras não-higroscópicas, será utilizado algumas gotas de água destilada ou outro material de alta condutibilidade para melhorar o contacto térmico entre a amostra e o dissipador de calor. Manter durante, pelo menos, 90 segundos para que as temperaturas se estabilizem.
5. Colocar o detetor do emissómetro sobre o padrão de referência de alta emissividade e esperar até que a leitura no voltímetro estabilize e utilizar o botão de ajustamento no voltímetro para se chegar a uma leitura igual à emissividade do padrão de referência. Colocar o detetor na amostra, esperar que estabilize e voltar a coloca-lo no padrão de alta emissividade. Se o valor da leitura for o esperado, passar para o próximo passo, caso contrário, ajustar o valor novamente e repetir este processo até o valor da emissividade no voltímetro do padrão ser o correto.
6. Colocar o detetor sobre um ponto da amostra e fazer várias medições nesse mesmo ponto para distâncias diferentes e apontar esses valores.
7. Fazer o mesmo para outros pontos e apontar sempre os valores das leituras para cada distância.
8. De seguida, deve-se fazer uma correção dos valores, utilizando a seguinte equação:

$$\varepsilon = (\varepsilon_{alta} - \varepsilon_{baixa}) \times \frac{\varepsilon_{amostra} - \varepsilon_{baixa}}{\varepsilon_{alta} - \varepsilon_{baixa}} + \varepsilon_{baixa}$$

em que,

$$\varepsilon_{baixa} = \varepsilon_{baixa} + (\varepsilon_{bd} - \varepsilon_{baixa}) \times \frac{d}{D}$$

$$\varepsilon_{alta} = \varepsilon_{alta} + (\varepsilon_{ad} - \varepsilon_{alta}) \times \frac{d}{D}$$

Onde ε_{bd} é a leitura da emissividade do padrão de referência de baixa emissividade medida no deslocamento escolhido, ε_{ad} é a leitura da emissividade do padrão de referência de alta emissividade medida no deslocamento escolhido, D a máxima distância escolhida e d o deslocamento média da superfície da amostra.

9. Ao utilizar este método, para corrigir a rugosidade da superfície, é necessária estimar o deslocamento médio da amostra a partir da entrada do adaptador. O adaptador pode ser utilizado para este fim, usando um compasso de calibre para medir a partir do ombro do adaptador de até a superfície. Ter cuidado para não danificar a película refletora aplicada sobre a superfície interior do adaptador. Ao medir pontos aleatórios na superfície e subtraindo a altura do adaptador no ombro, o deslocamento médio da superfície pode ser determinado.

Procedimento para superfícies não planas:

1. Para fixar a o adaptador de manga, deve-se deslizá-lo sobre o corpo do detetor a partir do lado de baixo e colocar a combinação numa das superfícies padrão fornecidas. Prender o adaptador de manga, tanto com o emissómetro como com o adaptador pressionados contra à superfície, com as marcas de índice alinhados. Apertar os parafusos de plástico apenas o suficiente para manter o adaptador no lugar.
2. Ligar o emissómetro e esperar cerca de 30 minutos para que a combinação detetor mais adaptador aqueça até uma temperatura de funcionamento constante.
3. Calibrar o equipamento com os padrões de referência. Para ajustar o valor da leitura quando o detetor está em cima do padrão de referência de baixa emissividade, deve-se ajustar no voltímetro e não no detetor, devido a não haver intervalo suficiente disponível de ajuste para compensar no detetor, devido à diferença ser elevado por causa do adaptador.
4. Colocar o objeto a ser medido no sobre o dissipador de calor ao lado do padrão de calibração, se possível. Se não for possível, deve-se garantir que a superfície esteja tão perto quanto possível à temperatura ambiente., como por exemplo, usando uma pequena ventoinha para igualar as temperaturas da amostra e do dissipador de calor com o padrão de referência de alta emissividade em cima.
5. Desligar a ventoinha, caso se utilize, e colocar o detetor com o adaptador próprio para estes materiais em cima do padrão de referência de alta emissividade.
6. Deixar o detetor sobre padrão de alta emissividade durante dois a três minutos, até que leitura estabilize completamente e ajustar no voltímetro de modo que o visor mostre a emissividade esperada do padrão referência.
7. Colocar o detetor por cima da amostra e esperar que a leitura estabilize.

Procedimento para materiais semitransparentes:

1. Ligar o emissômetro e deixar aquecer o detetor durante 30 minutos, se ainda não se utilizou antes. É importante esperar os 30 minutos para que se tenha a certeza que toda a possível humidade adsorvida pelo revestimento do detetor seja eliminada.
2. Verificar a calibração do emissômetro.
3. Verificar que o interruptor, no voltímetro, está no modo variável. Se não estiver, colocar no modo variável. Este passo é importante porque, se o interruptor não estiver no modo variável, o ajuste com no voltímetro não tem efeito.
4. Colocar a amostra sobre os padrões de referência. Utilizar uma ventoinha para que a amostra e os padrões tenham a mesma temperatura. Pôr o detetor à parte para não estar sob ação da ventoinha. Ter o cuidado de haver um vazio entre os apoios e a película, para que a amostra não aqueça.
5. Após desligar a ventoinha, colocar o detetor do emissômetro sobre a amostra e esperar que a leitura estabilize.
6. Para determinar a emissividade aparente da combinação da película com apoios de diferentes emissividades, dependendo das emissividades dos apoios, existem alguns gráficos para a sua determinação. Para se poder utilizar o gráfico, é necessário calcular a emissividade aparente do apoio de emissividade alta ($\epsilon_{a,alta}$) e a emissividade aparente do apoio de emissividade baixa ($\epsilon_{a,baixa}$).

$$\epsilon_{a,alta} = \epsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times (1 - \tau_{amostra} \times (1 - \epsilon_{apoio}))$$

$$\epsilon_{a,baixa} = \epsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times \frac{\epsilon_{amostra}}{(\epsilon_{amostra} + \tau_{amostra})}$$

Se os apoios tiverem a mesma emissividade, a emissividade aparente da combinação dos apoios de igual emissividade com a amostra é dada por:

$$\epsilon_{aparente} = \epsilon_{amostra} + \tau_{amostra} \times \frac{(1 - \epsilon_{apoios})}{(1 - (1 - \epsilon_{amostra} - \tau_{amostra}) \times (1 - \epsilon_{apoios}))}$$

onde ϵ é a emissividade e τ a transmissividade.