



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/5

Desempenho térmico de edificações

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

Origem: Projeto 02:135.07-001/5:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico nas Edificações

Thermal performance in buildings - Measurement of the thermal resistance and thermal conductivity in steady state by the fluximetric method

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Esta Norma é baseada nas ISO 8301:1991 e NFX10-025:1991

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

7 páginas

Sumário

Prefácio

Introdução

1 Objetivo e campo de aplicação

2 Referências normativas

3 Símbolos e unidades

4 Princípio

5 Dispositivos de medição

6 Calibração

7 Amostragem

8 Procedimento

9 Expressão dos resultados

10 Relatório

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Introdução

Esta Norma descreve um método de medição da condutividade térmica com o auxílio de fluxímetro(s), tendo sido elaborada em conformidade com a ISO 8301, constituindo uma versão condensada.

Em particular, o usuário poderá se reportar à ISO 8301 para explicações mais completas para certos itens desta Norma.

O processo de medição descrito nesta Norma é um método relativo que necessita de uma pré-calibração em relação ao método absoluto da placa quente protegida definido pela NBR 02:135.07-001/4.

1 Objetivo e campo de aplicação

1.1 Objetivo

Esta Norma estabelece o método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica.

O resultado da medição é a resistência térmica individual do(s) corpo(s)-de-prova submetido(s) ao ensaio, sendo possível então calcular sua condutividade térmica, caso os corpos-de-prova sejam constituídos de material homogêneo.

NOTA: Trata-se de um método relativo que necessita de uma pré-calibração periódica da aparelhagem com o auxílio de corpos-de-prova cujas resistências térmicas (ou a condutividade térmica) foram determinadas segundo o método absoluto da placa quente protegida, descrito na NBR 02:135.07-001/4.

1.2 Campo de aplicação

O campo de aplicação desta Norma é definido pelos critérios de 1.2.1 a 1.2.3.

1.2.1 Temperatura

Para materiais isolantes de edificações, a faixa de temperatura está limitada entre -30°C e $+80^{\circ}\text{C}$.

Para aplicações específicas, esta faixa pode ser estendida a outras temperaturas, desde que os materiais constituintes da aparelhagem o permitam e desde que a pré-calibração seja possível.

1.2.2 Corpos-de-prova

Eles devem atender às seguintes exigências:

- a) ter dimensões e espessura como indicado em 7.3 a 7.5;
- b) possuir planeza e paralelismo das faces como indicado em 7.2; e
- c) possuir resistência térmica, estimada maior ou igual a $0,1 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, com a condição de não ultrapassar os limites de espessura e de resistência térmica específica resultante das características do dispositivo, das condições, dos resultados da calibração e das características térmicas dos corpos-de-prova.

1.2.3 Umidade

O método é aplicável somente se, durante toda a duração da medição, as transferências de umidade (redistribuição e absorção) forem desprezíveis.

NOTAS

1 Normalmente essa condição implica em pré-condicionar os corpos-de-prova ao estado seco convencional e eventualmente protegê-los contra toda absorção de umidade posterior (antes e/ou durante a medição).

2 O estado seco convencional é definido como o estado de equilíbrio do material colocado em estufa ventilada a 70°C , sendo a tomada de ar feita a uma atmosfera a 20°C e 65% de umidade relativa ou 23°C e 50% de umidade relativa.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

3 Símbolos e unidades

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas da NBR 02:135.07-001/1 e os símbolos e unidades indicados na tabela 1.

4 Princípio

Medição da resistência térmica em regime permanente, conforme a seguinte seqüência:

a) aplicação de uma densidade de fluxo de calor constante e através da zona central de medição de um (ou dois) fluxímetro(s) e da zona central de um (ou dois) corpo(s)-de-prova em forma de placa(s);

b) determinação da densidade de fluxo de calor atravessando o(s) corpo-de-prova(s) a partir do sinal (f.e.m.) fornecido pelo(s) fluxímetro(s) e da(s) constante(s) de calibração do(s) fluxímetro(s), após validação das condições de regime permanente; e

c) cálculo da resistência térmica do(s) corpo-de-prova(s) pelo quociente da diferença de temperatura entre as faces do(s) corpo-de-prova(s) e da densidade de fluxo de calor.

Tabela 1 – Símbolos e unidades

Símbolo	Termo	Unidade
A	Área da zona ativa	m ²
C	Calor específico	J/(kg.K)
E	Espessura do corpo-de-prova, medida perpendicularmente às superfícies isotérmicas	M
f.e.m.	Sinal fornecido pelo fluxímetro	V
F	Constante de calibração do fluxímetro	W/(m ² .K.V)
L	Dimensão lateral	m
M	Massa	kg
ΔM	Perda de massa	kg
q	Densidade de fluxo de calor	W/m ²
R	Resistência térmica	(m ² .K)/W
T	Temperatura ambiente	K
ΔT	Diferença de temperatura	K
Q	Fluxo de calor	W
λ	Condutividade térmica	W/(m.K)
ρ	Densidade de massa aparente	kg/m ³
μ	Massa por unidade de superfície	kg/m ²

5 Dispositivos de medição

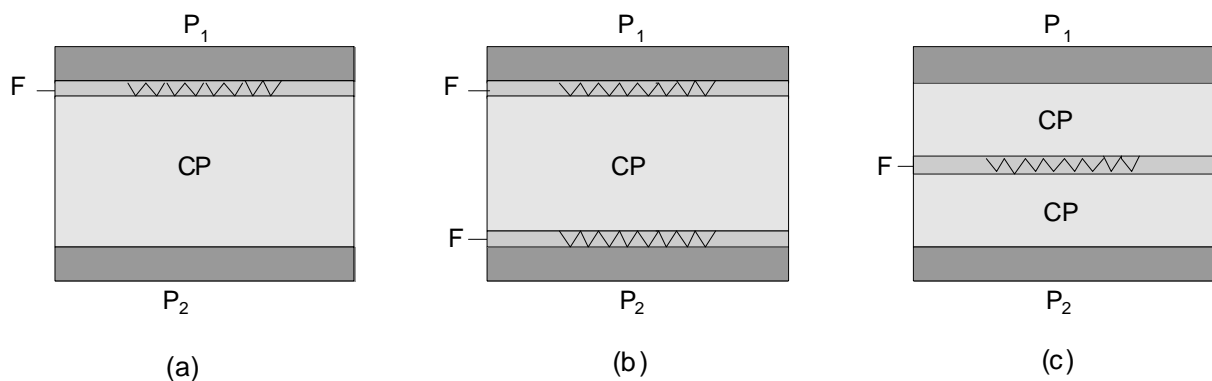
5.1 Generalidades

O dispositivo fluximétrico compreende geralmente uma placa aquecedora, um ou dois fluxímetros, um ou dois corpos-de-prova e uma placa de resfriamento.

NOTAS

1 Na seqüência desta Norma, para simplificar a notação, são mencionados somente dispositivos com forma geométrica quadrada, entretanto o conjunto de exigências e explicações é diretamente transportável às outras geometrias (por exemplo, placas de forma circular).

2 Segundo o número de fluxímetros (um ou dois), número de corpos-de-prova (um ou dois) e seus posicionamentos respectivos, pode-se distinguir três configurações esquematizadas conforme indicado na figura 1.



Legenda:

P₁ e P₂ = placas quente e fria;

F = fluxímetro;

CP = corpo-de-prova.

NOTAS

1 A configuração (a) é dita "assimétrica com um fluxímetro e um corpo-de-prova", sendo que o fluxímetro pode ser posicionado contra uma ou outra placa.

2 A configuração (b) é dita "simétrica com dois fluxímetros e um corpo-de-prova".

3 A configuração (c) é dita "simétrica com um fluxímetro e dois corpos-de-prova".

Figura 1 - Três possíveis configurações de ensaio

5.2 Disposição de empilhamento

Duas orientações são possíveis:

- empilhamento com placas posicionadas verticalmente e com fluxo de calor horizontal; ou
- empilhamento com placas posicionadas horizontalmente e com o fluxo de calor vertical ascendente ou descendente, segundo as posições das placas quente e fria.

5.3 Placa quente e placa fria

As duas placas podem ser construídas de maneira idêntica, utilizando-se diversas soluções tecnológicas, como, por exemplo:

- um circuito elétrico com densidade de potência uniforme entre duas placas de uniformização com condutividade térmica elevada; ou
- um circuito de líquido com temperatura controlada circulando em uma placa com condutividade térmica elevada; ou
- uma combinação dessas duas soluções ou outra técnica apropriada que forneça resultados análogos.

A construção das placas quente e fria deve satisfazer as exigências funcionais seguintes:

- dimensões laterais pelo menos iguais ao dobro daquelas da zona de medição do(s) fluxímetro(s);
- dimensões laterais da superfície isotérmica da placa fria pelo menos iguais àquelas da superfície da placa quente; e
- desvio de planeza das superfícies das placas quente e fria em contato com o fluxímetro e/ou com o corpo-de-prova inferior a 0,025% da menor das dimensões laterais ou 0,1 mm, prevalecendo o maior dos dois valores.

5.4 Fluxímetro

Compreende uma zona ativa, ou zona de medição, cercada de uma zona periférica servindo de suporte, com características térmicas similares.

A parte ativa do fluxímetro é constituída de um sensor que produz um sinal (em geral f.e.m) proporcional à densidade de fluxo de calor que o atravessa.

Para um fluxímetro dado, a lei de proporcionalidade, chamada curva de calibração, é normalmente função da temperatura do fluxímetro.

NOTA

A geometria do fluxímetro deve estar de acordo com as condições a seguir:

- as dimensões laterais do fluxímetro devem ser ao menos iguais ao dobro daquela da zona ativa e ao menos igual à dimensão lateral da menor das placas (quente ou fria);
- o desvio de planeza das faces do fluxímetro deve ser inferior a 0,025% da menor das suas dimensões laterais ou 0,1 mm, prevalecendo o maior dos dois valores;
- a precisão de medição do sinal elétrico fornecido pelo fluxímetro deve ser menor do que 1% em toda a faixa de utilização do equipamento.

5.5 Emissividade das superfícies em contato com os corpos-de-prova

Deve ser pelo menos igual a 0,9.

5.6 Uniformidade das temperaturas

A distribuição de temperatura das superfícies das placas fria e quente em contato com os fluxímetros e/ou corpo(s)-de-prova deve respeitar os critérios a seguir:

- o desvio de uniformidade sobre cada uma das superfícies deve ser inferior, em amplitude, a 1% da diferença de temperatura entre as faces quente e fria do(s) corpo(s)-de-prova;
- se o fluxímetro em contato com as superfícies das placas quente e fria for sensível às variações locais de temperatura sobre essas superfícies, essas variações não devem gerar um erro de medição do fluxo de calor superior a 0,5%.

5.7 Estabilidade das medidas

Ao longo da medição, a estabilidade das medidas deve respeitar os critérios abaixo:

- as flutuações de temperatura das placas quente e fria devem ser inferiores a 0,5% da diferença de temperatura entre as faces quente e fria do(s) corpo(s)-de-prova; e
- a amplitude do(s) sinal(ais) produzido(s) pelo(s) fluxímetro(s) deve(m) ser inferior(es) a 2%.

5.8 Medição das temperaturas

5.8.1 Temperatura dos fluxímetros

Caso haja dependência da(s) constante(s) de calibração do(s) fluxímetro(s) com a temperatura, o dispositivo adotado para medição da(s) temperatura(s) deste(s) sensor(es) deve permitir a dedução de sua(s) constante(s) de calibração com precisão de pelo menos 1%.

5.8.2 Temperaturas das superfícies do(s) corpo(s)-de-prova

A(s) diferença(s) de temperatura entre as faces do(s) corpo(s)-de-prova deve(m) ser determinada(s) com precisão de

$\pm 0,5\%$ ou $\pm 0,1$ K, prevalecendo o maior desses dois valores.

O número de pontos de medição sobre cada uma das faces do corpo-de-prova não deve ser inferior a $10.A^{1/2}$, onde A é a superfície em metros quadrados da zona de medição, desde que se adote um mínimo de dois.

5.9 Medição dos fluxos de calor

O dispositivo adotado deve permitir a medição do(s) sinal(ais) produzido(s) pelo(s) fluxímetro(s) com precisão de $\pm 0,5\%$ do valor medido.

5.10 Proteção contra as perturbações devido ao ambiente

As fugas térmicas periféricas do dispositivo de ensaio devem ser reduzidas por um dos seguintes métodos:

- isolamento térmico lateral;
- controle da temperatura do ar ambiente; ou
- combinação dos dois anteriores.

6 Calibração

6.1 Temperaturas

Recomenda-se calibrar todos os sensores de medição de temperaturas na faixa de funcionamento prevista, com um número de pontos de calibração suficiente para respeitar as condições indicadas em 5.8.1 e 5.8.2.

6.2 Fluxo de calor

A calibração do(s) fluxímetro(s) deve ser efetuada no próprio dispositivo, com o auxílio de corpos-de-prova de referência que atendam a uma das seguintes condições:

- as suas condutividades térmicas tenham sido medidas pelo método da placa quente protegida conforme projeto 02:135.07-001/4
- sejam provenientes de um lote de corpos-de-prova padrão com condutividade térmica conhecida.

A calibração deve ser efetuada num domínio no mínimo igual à faixa de temperaturas de funcionamento e à faixa de fluxo de calor previsto.

Esta calibração fornece a lei de proporcionalidade entre o sinal elétrico produzido (f.e.m.) e a densidade de fluxo de calor (q).

6.3 Verificações complementares

O procedimento de calibração indicado em 6.1 e 6.2 pode ser complementado por uma análise experimental que permita definir os limites de funcionamento do equipamento em relação à temperatura, espessura e fluxo de calor, de maneira a avaliar a precisão global da medição.

6.4 Verificação posterior após calibração

A verificação rápida do funcionamento do equipamento deve ser efetuada através da medição da condutividade térmica de corpos-de-prova de referência, nas seguintes condições:

- sistemática e periodicamente;
- após toda parada prolongada;
- após toda intervenção importante; ou
- em caso de resultado de medição suspeito.

6.5 Calibração simplificada

Em função das necessidades do usuário, o procedimento de calibração indicado em 6.1 e 6.2 pode ser simplificado, mas a utilização posterior do equipamento deve estar, então, estritamente limitada às condições de calibração.

7 Amostragem

7.1 Preparação dos corpos-de-prova

Nos ensaios com mais de um corpo-de-prova, conforme indicado na figura 1 – configuração (c), apresentada anteriormente, os corpos-de-prova devem atender aos seguintes critérios:

- para materiais nos quais as características térmicas variam em função da sua densidade, as suas densidades devem ser próximas tanto quanto possível; e
- as espessuras dos corpos-de-prova não devem diferir mais de 2% ou de 1 mm, prevalecendo o maior desses dois valores.

7.2 Estado da superfície dos corpos-de-prova

O desvio de planeza de cada uma das faces dos corpos-de-prova não deve exceder 0,5 mm ou 1% da largura, prevalecendo o maior desses dois valores.

O desvio de paralelismo das faces dos corpos-de-prova não deve exceder 0,5 mm ou 1%, prevalecendo o maior desses dois valores.

7.3 Dimensões laterais

Devem ser pelo menos iguais àquelas da menor das superfícies quente e fria do equipamento.

No caso onde esta condição não é satisfeita, pode-se utilizar os corpos-de-prova com dimensões inferiores, desde que:

- a) os corpos-de-prova sejam centrados em relação à zona de medição;
- b) a menor dimensão lateral seja ao menos igual a 1,2 vez a dimensão lateral da zona de medição; e
- c) a superfície restante seja completada por um material de mesma espessura e com características térmicas próximas às do corpo-de-prova.

7.4 Espessura mínima

A espessura mínima corresponde a uma resistência térmica mínima de $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Na prática pode-se admitir que, se a espessura dos corpos-de-prova for insuficiente, vários corpos-de-prova podem ser empilhados, a fim de se obter a espessura mínima indicada; todavia, nesse caso, faz-se necessária uma avaliação de eventuais erros.

7.5 Espessura máxima

É definida pelos seguintes critérios:

- a) a espessura do corpo-de-prova (ou soma das espessuras $d_1 + d_2$ dos dois corpos-de-prova) deve ser inferior a $0,15 \cdot L$, onde L é a menor dimensão lateral do corpo-de-prova;
- b) o sinal produzido pelo fluxímetro deve ser pelo menos igual a 20 vezes a sua resolução de medição; e
- c) a diferença de temperatura deve ser conforme as disposições detalhadas em 8.3.

7.6 Condicionamento dos corpos-de-prova

Previamente à medição, deve-se condicionar os corpos-de-prova em estado seco convencional (definido em 1.2.3) ou em estado seco definido pela especificação particular aplicável ao produto a medir, até obtenção de massa constante.

8 Procedimento

8.1 Medição de identificação

8.1.1 Antes do condicionamento, medir a massa M_0 dos corpos-de-prova com precisão de $\pm 0,2\%$ ou $\pm 0,1 \text{ g}$, prevalecendo o maior desses dois valores.

8.1.2 Antes do ensaio, efetuar para cada corpo-de-prova as seguintes operações:

- a) medir a massa no estado seco convencional M_1 com precisão de $\pm 0,2\%$ ou $\pm 0,1 \text{ g}$, prevalecendo o maior desses dois valores;
- b) medir a espessura média d e as dimensões laterais L_1 e L_2 ;
- c) calcular a perda de massa ao longo do condicionamento $\Delta M = M_0 - M_1$ e a perda de massa relativa $\Delta M / M_1$ expressa em percentagem;
- d) calcular a massa por unidade de superfície $\mu = M_1 / (L_1 - L_2)$; e
- e) se o corpo-de-prova for constituído de um material homogêneo, calcular a densidade de massa aparente $\rho = \mu / e$.

8.1.3 No caso em que as características acima puderem sofrer modificações ao longo do ensaio, deve-se repetir as medidas após o ensaio e avaliar a influência das modificações observadas sobre o resultado das medidas de resistência térmica.

8.2 Instalação dos corpos-de-prova

Instalar os corpos-de-prova no equipamento, centrando-os em relação à zona ativa de medição.

8.3 Regulagem das temperaturas de medição

Regular a temperatura da placa quente T_q e da placa fria T_f de maneira que:

- a) a temperatura média de medição $T_m = (T_f + T_q)/2$ seja igual à temperatura média desejada com precisão de $\pm 0,5 \text{ K}$;
- b) o gradiente de temperatura nos corpos-de-prova esteja compreendido entre 100 K/m e 300 K/m (salvo especificação contrária).

8.4 Medições

8.4.1 A cada seqüência de medidas, anotar as seguintes grandezas:

- a) as temperaturas individuais T_i , permitindo definir a constante de calibração dos fluxímetros;
- b) a tensão f.e.m._i fornecida por cada fluxímetro i ; e
- c) as temperaturas individuais T_{qi} e T_{fi} das faces quente e fria de cada corpo-de-prova.

8.4.2 Calcular os seguintes parâmetros:

- a) a constante de calibração f_i de cada fluxímetro i e a densidade de fluxo médio q''_m ;
- b) a temperatura média das superfícies quente e fria de cada corpo-de-prova, respectivamente T_{qm} e T_{fm} ;
- c) a temperatura média $T_m = (T_{qm} + T_{fm})/2$ de cada corpo-de-prova; e
- d) a diferença de temperatura $\Delta T_m = (T_{qm} - T_{fm})/2$ entre as faces quente e fria de cada corpo-de-prova.

8.5 Estabelecimento do regime permanente

Para os corpos-de-prova em ensaio, calcular o tempo característico $\tau = \rho \cdot c \cdot e \cdot R'$, onde R' é a resistência térmica estimada em $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Em intervalos de tempo no mínimo iguais a $\tau/5$, medir as temperaturas das faces quente e fria dos corpos-de-prova e o fluxo de calor.

O regime será considerado como permanente se ao menos por cinco medições sucessivas as condições seguintes forem

satisfeitas:

- a) não é notada variação contínua crescente ou decrescente no valor da resistência térmica calculada; e
- b) nenhuma medição individual do fluxo de calor difere mais que $\pm 2\%$ da média do conjunto de medições consecutivas.

9 Expressão dos resultados

9.1 A partir de pelo menos cinco seqüências sucessivas de medições, obtidas conforme 8.4 e 8.5, calcular para cada corpo-de-prova:

- a) a densidade de fluxo de calor médio q ;
- b) as temperaturas médias T_q e T_f das placas quente e fria;
- c) a temperatura média T ; e
- d) a diferença média de temperatura ΔT_m entre as faces do(s) corpo(s)-de-prova.

9.2 Calcular a resistência térmica $R = \Delta T/q$.

9.3 No caso de uma montagem em configuração do tipo c (simétrica com dois corpos-de-prova e um só fluxímetro), e quando as temperaturas das faces em contato com o fluxímetro não são medidas, a resistência térmica R é a resistência térmica total dos corpos-de-prova e do fluxímetro. Neste caso a resistência térmica R_f do fluxímetro deve ser deduzida da resistência térmica R medida.

9.4 No caso de um corpo-de-prova de espessura "e" ser constituído de um material homogêneo, pode ser calculada diretamente a sua condutividade térmica $\lambda = e/R$.

10 Relatório

As seguintes informações devem constar no relatório de ensaio:

- a) identificação do produto (marca comercial, se for o caso) e breve descrição das suas características;
 - b) identificação e modo de obtenção dos corpos-de-prova representativos do lote;
 - c) características dos corpos-de-prova (espessura, dimensões laterais, massa antes e após condicionamento, massa por unidade de superfície e/ou densidade de massa aparente);
 - d) procedimento de condicionamento dos corpos-de-prova antes e após o ensaio;
 - e) breve descrição do equipamento (configuração, modo de calibração, características particulares);
 - f) resultado das medições do fluxo de calor e das temperaturas das faces quente e fria de cada corpo-de-prova;
 - g) temperatura média e resistência térmica de cada corpo-de-prova, bem como, eventualmente, a condutividade térmica;
 - h) descrição de todo elemento suscetível de ter influenciado os resultados da medição;
 - i) data do ensaio e data da elaboração do relatório;
 - j) identificação do responsável pelo ensaio (eventualmente da pessoa diretamente encarregada do ensaio); e
 - k) referência a esta Norma.
-