



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/08.18.17.15-MAN

GUIA PARA CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS TÉRMICAS E CLIMÁTICAS

Alberto de Paula Silva
Ricardo Suterio
Rodrigo dos Santos Nascimento

Laboratório de Integração e Testes
2020.

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/434GC52>>

INPE
São José dos Campos
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/08.18.17.15-MAN

GUIA PARA CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS TÉRMICAS E CLIMÁTICAS

Alberto de Paula Silva
Ricardo Suterio
Rodrigo dos Santos Nascimento

Laboratório de Integração e Testes
2020.

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/434GC52>>

INPE
São José dos Campos
2020



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

GUIA PARA A CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS TÉRMICAS E CLIMÁTICAS

Alberto de Paula Silva

Ricardo Suterio

Rodrigo dos Santos Nascimento

LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES
2020

RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DESTE GUIA

A pesquisa, a parte experimental e a elaboração deste Guia foram realizadas com recursos e facilidades disponibilizados pelo Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

São autores¹ deste Guia:

Alberto de Paula Silva

Ricardo Suterio

Rodrigo dos Santos Nascimento

¹ Contato: metrologia@lit.inpe.br

APRESENTAÇÃO

Este Guia é resultado da busca pela equipe do Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/LIT) por estruturar um método para a calibração de câmaras térmicas e climáticas, que são largamente utilizadas na qualificação de materiais, componentes e equipamentos, sejam para aplicação espacial ou industrial.

As orientações apresentadas neste documento são aplicáveis a câmaras térmicas e climáticas sem carga² e baseiam-se em diretrizes de organizações internacionais de reconhecida competência e em requisitos de acreditação de Laboratórios de acordo com a norma NBR ABNT ISO/IEC 17025 e com a Coordenação Geral de Acreditação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

² Para calibração de câmaras climáticas e/ou térmicas com carga consulte as normas referenciadas no Guia EURAMET cg-20 / ver. 4 (02/2015)

SUMÁRIO

1. Escopo	5
2. Introdução	6
3. Siglas	7
4. Termos e Definições	8
5. Considerações Gerais	11
6. Calibração	14
7. Incerteza de Medição	19
8. Apresentação de Resultados	20

1. ESCOPO

Este guia aplica-se à calibração de câmaras térmicas e climáticas sem carga, nas seguintes faixas:

- temperatura: $-100\text{ °C} < T < +600\text{ °C}$
- umidade relativa do ar: $0\text{ \%ur} < U < 100\text{ \%ur}$ para uma temperatura de $0\text{ °C} < T < 100\text{ °C}$.

2. INTRODUÇÃO

O método de calibração de câmara térmicas e/ou climáticas é definido como: “*Calibração do Desvio de Controle por comparação com Padrões de Referência e Determinação dos Parâmetros de Estabilidade e Uniformidade em função de um Volume de Trabalho Interno Pré-Definido*”. Os resultados são apresentados na unidade da grandeza medida, ou seja, em graus Celsius (°C) ou porcentagem de umidade relativa (%ur).

3. SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	Association Française de Normalisation
Dicla	Divisão de Acreditação de Laboratórios
Euramet	European Association of National Metrology Institutes
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
IEC	International Electrotechnical Commission
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia

4. TERMOS E DEFINIÇÕES

4.1. Câmara térmica

Ambiente fechado dentro do qual a temperatura do ar pode ser controlada dentro de faixas de temperatura especificadas.

4.2. Câmara climática

Ambiente fechado dentro do qual a temperatura e umidade do ar podem ser controladas dentro de faixas de umidade a uma dada temperatura especificada.

4.3. Temperatura/umidade de controle ou nominal

Valor de temperatura/umidade ajustado no sistema de controle da câmara climática e/ou térmica com a finalidade de se obter a temperatura/umidade desejada.

4.4. Volume interno

Espaço interno da câmara, delimitado por suas paredes internas, no qual parâmetros ambientais podem ser controlados dentro de limites especificados pelo fabricante da câmara.

4.5. Espaço de trabalho

Região específica do volume interno da câmara delimitado pelo posicionamento dos sensores da calibração.

4.6. Temperatura/umidade de referência

Média aritmética da temperatura/umidade obtida pelos sensores posicionados no espaço de trabalho da câmara térmica/climática, em um período especificado ou a temperatura/umidade medida por um sensor denominado sensor de referência

4.7. Regime estável

Condição em que todos os sensores posicionados no espaço de trabalho da câmara atingiram a temperatura/umidade de acordo com a temperatura/umidade de controle, dentro de limites de erro especificados, e não apresentam variação sistemática.

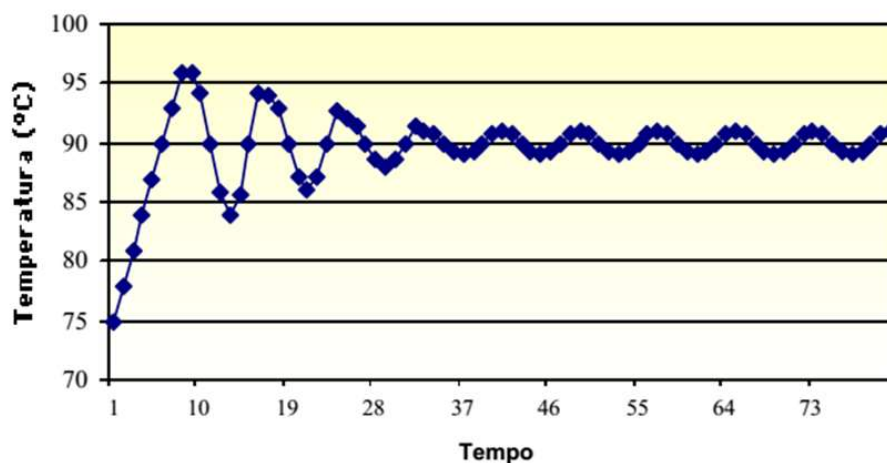


Fig. 7.1 Comportamento típico de uma câmara térmica à temperatura de 90 °C. Câmara em regime estável aproximadamente após 30 min.

4.8. Controlador

Dispositivo associado à câmara que controla e indica a temperatura/umidade conforme medida por um sensor instalado em um ponto da câmara, idealmente informado no Manual do Usuário.

4.9. Desvio da temperatura/umidade de controle

Diferença entre a temperatura/umidade de controle (nominal) da câmara e a temperatura/umidade medida no interior da câmara.

4.10. Uniformidade

A uniformidade térmica é a capacidade de uma câmara de manter a mesma temperatura nas suas diferentes coordenadas espaciais. Pode ser definida da seguinte forma:

A máxima diferença da temperatura/umidade obtida entre a temperatura de referência e os demais sensores posicionados no espaço de trabalho em um determinado momento, após a câmara atingir regime estável.

4.11. Estabilidade

Estabilidade térmica é a capacidade de uma câmara de manter a mesma temperatura, ao longo do tempo após atingir o valor programado. Pode ser definida da seguinte forma:

Maior variação de temperatura/umidade obtida por um mesmo sensor, em qualquer local do espaço de trabalho, por um período de tempo especificado, após a câmara atingir o regime estável.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1. PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO

A calibração de uma câmara térmica/climática consiste na determinação dos seguintes parâmetros mínimos: uniformidade, estabilidade e desvio da temperatura de controle para as variáveis temperatura e/ou umidade.

5.1.1 Sugere-se um tempo de aquisição mínimo de 30 minutos após atingido o regime estável. Entretanto, laboratório e cliente devem concordar com o escopo da calibração solicitada, a duração do teste, o tempo de estabilização prévia, o tempo de aquisição de dados, e os parâmetros a serem determinados, tais como calibração da temperatura de controle, estudo da distribuição espacial de temperatura/umidade, estudo da estabilidade de temporal. Essas condições de calibração fazem parte da análise crítica do serviço a ser executado e devem ser registradas adequadamente.

5.2. PONTOS DE CALIBRAÇÃO

5.2.1 Recomenda-se que uma câmara térmica seja calibrada em pelo menos um ponto em cada extremo de sua faixa nominal ou da faixa determinada pelo cliente e um ponto intermediário, ou seja, em três temperaturas, exceto quando o cliente especificar de forma diferente. Por exemplo, para a calibração de uma câmara térmica na faixa de 0 °C a 200 °C, têm-se os pontos de calibração apresentados na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 Exemplo de pontos de calibração para uma câmara térmica

Ponto	t_{90}
1	0 °C
2	100 °C
3	200 °C

8.2.2 No caso de uma câmara climática, recomenda-se a calibração em pelo menos três pontos de umidade relativa, associados a três temperaturas distintas, aplicando-se a mesma distribuição de pontos nos extremos e um ponto intermediário na faixa, ou seja,

nove pontos, exceto quando o cliente especificar de forma diferente. Por exemplo, para a calibração de uma câmara climática na faixa de 30 % a 90 % de umidade relativa e 20 °C a 60 °C, tem-se os pontos de calibração apresentados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 Exemplo de pontos de calibração para uma câmara climática

Ponto	t_{90}	ur
1	20 °C	30 %ur
2		60 %ur
3		90 %ur
4	40 °C	30 %ur
5		60 %ur
6		90 %ur
7	60 °C	30 %ur
8		60 %ur
9		90 %ur

8.2.3 A calibração da câmara pode ser realizada em um único ponto de temperatura ou umidade relativa, porém seu resultado ficará restrito a este ponto. Este resultado não poderá ser extrapolado para o restante da faixa de trabalho ou espaço interno da câmara.

5.3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Recomenda-se que:

- a temperatura ambiente esteja entre 15 °C e 35 °C;
- a umidade relativa do ar esteja entre 25 %ur e 75 %ur; e
- a pressão atmosférica esteja entre 860 hPa a 1060 hPa.

A câmara dever estar nivelada, em local livre de vibrações, de radiações solares e de interferência eletromagnética. Condições anormais devem ser registradas.

5.4. CONFIGURAÇÃO DA CÂMARA

Os parâmetros de configuração do sistema de controle da câmara devem ser registrados antes do início da calibração.

6. CALIBRAÇÃO

6.1. INSTRUMENTAÇÃO

O laboratório deverá selecionar instrumentação apropriada, uma vez que esta influenciará sua capacidade de medição e calibração. A instrumentação deve ter rastreabilidade comprovada dentro da faixa de calibração desejada.

6.2. SENSORES

O tipo de sensor/transdutor dependerá da faixa de calibração da câmara e da incerteza de medição especificada ou desejada.

Para a realização de medições de temperatura podem ser usados termômetros de resistência de platina, sendo mais recomendados os do tipo PT100 (100 Ω a 0 °C) com medição a quatro fios, ou termopares, sendo mais recomendados os do tipo T ou tipo N.

As medições de umidade podem ser realizadas utilizando higrômetros de ponto de orvalho, psicômetros ou higrômetros elétricos.

6.3. POSICIONAMENTO DOS SENSORES DE TEMPERATURA

O resultado da calibração é válido apenas para o volume definido pelos pontos de medição, ou seja, pelo número e posicionamento dos sensores usados na calibração da câmara.

Interpolações são válidas dentro do volume compreendido entre os sensores utilizados.

Extrapolações para além do volume compreendido entre os sensores utilizados não são permitidas.

As dimensões do volume total da câmara, do volume de calibração e o posicionamento dos sensores devem ser apresentados no certificado de calibração preferencialmente por meio de figura e/ou foto.

VOLUME MENOR OU IGUAL A 2 m³

Devem ser utilizados no mínimo 9 sensores para a calibração, sendo:

- 8 sensores posicionados em cada um dos cantos do espaço de trabalho;
- 1 sensor posicionado no centro do espaço de trabalho.

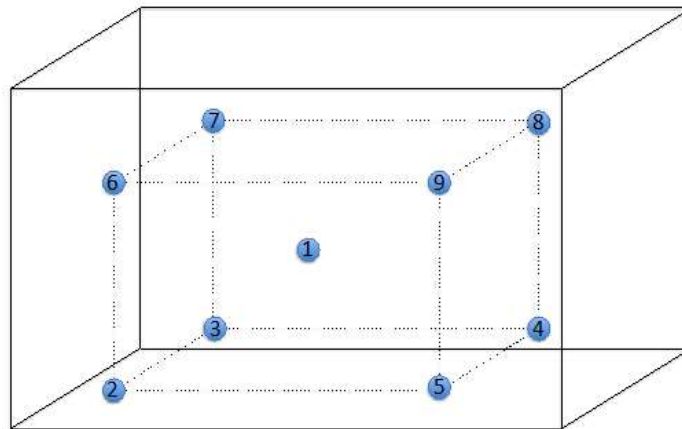


Fig. 9.1 Exemplo de posicionamento com 9 sensores.

VOLUME MAIOR QUE 2 m³ E MENOR OU IGUAL A 20 m³

Devem ser utilizados no mínimo 15 sensores para a calibração, sendo:

- 8 sensores posicionados em cada um dos cantos do espaço de trabalho;
- 1 sensor posicionado no centro do espaço de trabalho;
- 6 sensores posicionados nas faces do espaço de trabalho.

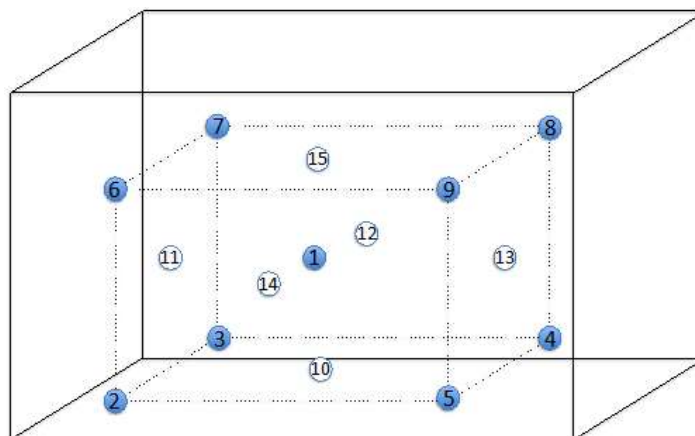


Fig. 9.2 Exemplo de posicionamento com 15 sensores.

PONTOS ESPECÍFICOS

A calibração em uma localização específica na câmara pode ser realizada por solicitação do cliente ou quando se tratar de câmara com espaço de trabalho muito pequeno. Neste caso, a calibração é válida apenas nesse ponto e isso deve ser declarado no certificado de calibração.

Devem ser utilizados 2 sensores para a calibração, sendo:

- 1 sensor posicionado na localização de interesse;
- 1 sensor posicionado de 20 mm a 50 mm da localização de interesse, a fim de se medir a uniformidade local para determinar sua contribuição de incerteza de medição

OUTROS FORMATOS E VOLUMES

Para outros formatos e volumes, o número e o posicionamento dos sensores devem ser acordados entre o cliente e o laboratório.

Deve-se garantir que o volume para medição contemple todo o espaço de trabalho a ser efetivamente usado.

Deve-se garantir que a distância máxima entre sensores vizinhos não ultrapasse 1 m.

6.4. MÉTODO DE MEDIÇÃO DE UMIDADE RELATIVA

Para medição de umidade relativa os sensores de temperatura devem ser mantidos conforme descrito no item 9.2 e o(s) sensor(es) de umidade relativa devem ser selecionados de acordo com os métodos descritos abaixo, sendo que a escolha do método influenciará na incerteza de medição. É possível realizar a medição de umidade utilizando apenas um sensor, considerando que a temperatura de ponto de orvalho é uniforme no interior da Câmara Climática num espaço de trabalho menor ou igual a 20 m³.

HIGRÔMETRO DE PONTO DE ORVALHO

Nesse método, deve-se posicionar o higrômetro de ponto de orvalho em um ponto no espaço de trabalho, ler a temperatura medida pelos sensores posicionados no espaço de trabalho e calcular a umidade relativa de cada ponto.

PSICRÔMETRO

Por este método é possível posicionar o psicrômetro em um ponto no espaço de trabalho, calcular a temperatura de ponto de orvalho em função das medidas de temperatura de bulbo seco e úmido realizadas no psicrômetro e calcular a umidade relativa para cada leitura de temperatura realizada pelos sensores posicionados no espaço de trabalho.

HIGRÔMETRO ELÉTRICO

Por este método é possível posicionar um sensor de umidade relativa próximo de cada sensor de temperatura ou apenas um sensor no centro do espaço de trabalho. Quando utilizado apenas um sensor de umidade relativa é necessário calcular a temperatura de ponto de orvalho em função das medidas realizadas no higrômetro e o sensor de temperatura próximo a ele, calcular a umidade relativa para cada leitura de temperatura realizada pelos sensores posicionados no espaço de trabalho.

Quando forem utilizados diversos higrômetros deve-se ter cuidado do efeito na incerteza da calibração devido a carga térmica adicionada na câmara

6.5. EFEITO DE RADIAÇÃO

Para calibração na faixa de 0 °C a 50 °C, o efeito da radiação não necessita ser metrologicamente determinado e, neste caso, uma contribuição de incerteza de 0,3 °C pode ser assumida. Caso a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura no interior da câmara exceda 30 °C, o efeito de radiação pode ser determinado de acordo com os procedimentos descritos abaixo.

SENSORES COM EMISSIVIDADE DIFERENTE

O efeito de radiação pode ser determinado através da medição de temperatura no centro do volume de trabalho utilizando dois sensores com emissividade conhecida. Utilizando um sensor com emissividade elevada ($\epsilon > 0,6$) e um sensor com emissividade baixa ($\epsilon < 0,15$), como por exemplo um sensor com superfície polida de níquel (baixa emissividade) e um sensor com superfície de Teflon (alta emissividade). A diferença verificada entre os dois sensores corresponde ao efeito de radiação.

SENSOR COM PROTEÇÃO DE RADIAÇÃO

Uma proteção de radiação pode ser utilizado para determinação do efeito de radiação, neste caso deve-se garantir que a proteção seja ventilada ou que o sensor esteja exposto a circulação do ar. Deve-se realizar uma série de medições com a proteção e outra série sem a proteção, sendo que a diferença entre as duas séries corresponde ao efeito de radiação.

SENSORES COM EMISSIVIDADE BAIXA

Realizando uma série de medições da temperatura da parede da câmara e uma série de medições da temperatura no centro do volume de trabalho utilizando termômetros de baixa emissividade (ver 9.4.1) ou um termômetro com proteção de radiação (ver 9.4.2) permite determinar o efeito de radiação a partir da diferença das duas séries.

7. INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Para a determinação da incerteza de medição, quando aplicável, no mínimo devem-se considerar as seguintes influências:

- Incertezas dos certificados de calibração dos sensores e instrumentos padrões;
- Derivas associadas aos padrões;
- Resolução dos padrões;
- Compensação da junção de referência (quando forem usados termopares);
- Incerteza do tipo A referente as leituras realizadas na câmara térmica/climática;
- Resolução da câmara térmica/climática;
- Estabilidade térmica da câmara;
- Uniformidade térmica da câmara;
- Efeito de radiação.

8. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Todo certificado de câmara térmica ou climática deve apresentar além dos itens especificados pela ABNT NBR ISO IEC 17025, as seguintes informações:

- a) Identificação da câmara (ex.: fabricante, modelo, número de série e código do cliente), faixa nominal, resolução, tamanho e volume da câmara e espaço de trabalho;
- b) Identificação do cliente;
- c) Referência ao procedimento de calibração, e os pontos de medição realizados;
- d) Condições ambientais;
- e) Configuração dos parâmetros de controle do controlador no momento da calibração (PID, offset etc.).
- f) Instrumentos e equipamentos utilizados,
 - a. O tipo de sensor utilizado como padrão de temperatura (termopar, termorresistência ou outros) e equipamento de leitura / coleta dos dados; rastreabilidade;
 - b. A opção adotada para a medição de umidade; higrômetro de ponto de orvalho, psicrômetro, higrômetro(s) elétricos - quando se utilizado mais de um higrômetro elétrico deve-se considerar sua influência na carga da câmara;
- g) O volume calibrado, identificação numérica e localização dos sensores padrão no interior da câmara e sua distribuição (idealmente apresentar em diagrama ou foto);
- h) Evidência de a câmara se encontrar em regime de controle (gráfico incluindo todos os sensores usados). Tempo para atingir a estabilização do ambiente, momento em que a câmara foi considerada em regime estável, quantidade e intervalo entre as medições, o local onde foi realizada a calibração;
- i) Evidência da coleta de dados por, pelo menos 30 minutos (gráfico incluindo todos os sensores usados);
- j) O intervalo de tempo a que se referem os resultados relatados (por exemplo, de 13h 15min até 13h 45m);
- k) A incerteza da medição, junto a cada resultado apresentado.

Anexo A

Exemplo Numérico de Calibração de uma Câmara Climática

O objetivo do Anexo A é exemplificar algumas maneiras para medição de umidade relativa do ar, nos exemplos abaixo foi considerado a calibração de uma câmara climática configurada para estabilizar em 25 °C e 50 % ur, nas seguintes condições ambientais:

Temperatura: 23 °C ± 2 °C

Umidade: 50 %ur ± 10 %ur

Pressão Atmosférica 94,5 hPa ± 1 hPa

A1 - A tabela abaixo apresenta exemplo de valores medidos na calibração de uma câmara climática utilizando 9 termopares para determinar estabilidade e uniformidade, 1 higrômetro de ponto de orvalho e 1 Pt100 para determinar a temperatura e umidade de referência.

Tabela A1 - Exemplo numérico de coleta de dados utilizando 9 termopares, 1 higrômetro de ponto de orvalho e 1 Pt100

Dados Experimentais												
Indicador da Câmara		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_o	t_{pt100}
°C	%ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
25,0	50,7	24,95	25,13	24,99	24,94	25,12	25,13	24,98	24,79	24,86	13,94	24,99
25,0	50,7	24,95	25,16	25,04	24,95	25,13	25,15	25,01	24,84	24,89	13,96	25,01
25,1	51,1	25,03	25,28	25,11	25,03	25,22	25,23	25,08	24,93	24,97	14,05	25,10
25,1	51,0	25,17	25,39	25,22	25,15	25,30	25,33	25,22	25,03	25,07	14,16	25,21
25,1	51,0	25,25	25,49	25,32	25,26	25,39	25,41	25,32	25,15	25,16	14,26	25,31
25,1	51,0	25,34	25,54	25,41	25,33	25,46	25,52	25,39	25,24	25,24	14,34	25,39
25,1	51,0	25,35	25,63	25,44	25,35	25,50	25,53	25,41	25,25	25,27	14,36	25,41
25,1	51,0	25,38	25,59	25,45	25,37	25,51	25,54	25,42	25,24	25,25	14,37	25,42
25,1	50,8	25,36	25,63	25,47	25,39	25,52	25,53	25,40	25,24	25,28	14,37	25,42
25,1	51,0	25,42	25,67	25,48	25,42	25,55	25,58	25,47	25,30	25,32	14,42	25,47
25,3	51,0	25,46	25,68	25,53	25,48	25,60	25,63	25,51	25,35	25,38	14,46	25,51

Dados Experimentais												
Indicador da Câmara		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{p100}
°C	%ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
25,4	51,0	25,48	25,70	25,54	25,48	25,62	25,64	25,52	25,36	25,35	14,47	25,52
25,5	50,9	25,45	25,62	25,49	25,43	25,57	25,58	25,48	25,26	25,31	14,42	25,47
25,5	50,9	25,34	25,58	25,42	25,32	25,49	25,50	25,37	25,16	25,22	14,33	25,38
25,5	51,1	25,27	25,45	25,31	25,24	25,41	25,41	25,25	25,05	25,13	14,23	25,28
25,5	50,9	25,18	25,42	25,26	25,16	25,33	25,33	25,18	24,98	25,06	14,16	25,21
25,3	51,1	25,17	25,42	25,24	25,15	25,31	25,32	25,18	24,99	25,04	14,15	25,20
25,2	51,0	25,16	25,41	25,25	25,18	25,31	25,34	25,19	25,02	25,08	14,17	25,22
25,1	51,0	25,21	25,46	25,29	25,20	25,35	25,37	25,24	25,07	25,09	14,20	25,25
25,1	51,1	25,23	25,46	25,31	25,22	25,39	25,41	25,28	25,13	25,13	14,23	25,28
25,0	50,8	25,23	25,47	25,30	25,23	25,36	25,41	25,28	25,12	25,14	14,23	25,28
25,0	50,7	25,25	25,47	25,30	25,25	25,39	25,41	25,29	25,13	25,16	14,24	25,29
25,1	51,1	25,19	25,43	25,28	25,22	25,36	25,40	25,28	25,13	25,18	14,22	25,27
25,1	51,0	25,19	25,45	25,28	25,21	25,39	25,41	25,29	25,12	25,15	14,23	25,28
25,1	51,0	25,22	25,44	25,30	25,24	25,37	25,42	25,31	25,14	25,18	14,24	25,29
25,1	51,0	25,27	25,54	25,36	25,31	25,45	25,50	25,38	25,24	25,23	14,31	25,36
25,1	51,0	25,30	25,58	25,40	25,37	25,48	25,54	25,45	25,29	25,29	14,36	25,41
25,1	51,0	25,33	25,55	25,42	25,36	25,48	25,54	25,43	25,26	25,31	14,36	25,41

Dados Experimentais												
Indicador da Câmara		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_o	t_{pt100}
°C	%ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
25,1	50,9	25,28	25,50	25,36	25,30	25,45	25,48	25,36	25,19	25,23	14,30	25,35
25,1	51,0	25,21	25,46	25,28	25,24	25,38	25,40	25,29	25,10	25,18	14,23	25,28

A partir dos dados coletados na tabela A1 é possível calcular a pressão de saturação de vapor, conforme equação (1)

$$P_w(T) = \exp\left(\frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} * T + C_{11} * T^2 + C_{12} * \ln(T)\right) \quad (1)$$

Em que

$$C_8 = -6096,9385$$

$$C_9 = 21,2409642$$

$$C_{10} = -0,027111193$$

$$C_{11} = 0,00001673952$$

$$C_{12} = 2,433502$$

T = Temperatura em Kelvin

Tabela A2 - Pressão de saturação de vapor calculada em função das temperaturas medidas

$P_w(T_1)$	$P_w(T_2)$	$P_w(T_3)$	$P_w(T_4)$	$P_w(T_5)$	$P_w(T_6)$	$P_w(T_7)$	$P_w(T_8)$	$P_w(T_9)$	$P_w(T_o)$	$P_w(T_{pt100})$
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
3,160	3,195	3,168	3,159	3,193	3,195	3,166	3,130	3,144	1,592	3,168
3,160	3,200	3,177	3,160	3,195	3,198	3,172	3,140	3,149	1,595	3,172
3,176	3,223	3,191	3,176	3,212	3,214	3,185	3,157	3,164	1,604	3,189

$P_w(T_1)$	$P_w(T_2)$	$P_w(T_3)$	$P_w(T_4)$	$P_w(T_5)$	$P_w(T_6)$	$P_w(T_7)$	$P_w(T_8)$	$P_w(T_9)$	$P_w(T_o)$	$P_w(T_{pt100})$
<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>
3,202	3,244	3,212	3,198	3,227	3,233	3,212	3,176	3,183	1,615	3,210
3,217	3,264	3,231	3,219	3,244	3,248	3,231	3,198	3,200	1,626	3,229
3,235	3,273	3,248	3,233	3,258	3,270	3,244	3,216	3,216	1,634	3,244
3,237	3,291	3,254	3,237	3,266	3,271	3,248	3,217	3,221	1,637	3,248
3,242	3,283	3,256	3,241	3,268	3,273	3,250	3,216	3,217	1,637	3,250
3,239	3,291	3,260	3,244	3,270	3,271	3,246	3,216	3,223	1,638	3,250
3,250	3,299	3,262	3,250	3,275	3,281	3,260	3,227	3,231	1,643	3,260
3,258	3,301	3,271	3,262	3,285	3,291	3,268	3,237	3,242	1,648	3,268
3,262	3,305	3,273	3,262	3,289	3,293	3,270	3,239	3,237	1,648	3,270
3,256	3,289	3,264	3,252	3,279	3,281	3,262	3,219	3,229	1,643	3,260
3,235	3,281	3,250	3,231	3,264	3,266	3,241	3,200	3,212	1,633	3,242
3,221	3,256	3,229	3,216	3,248	3,248	3,217	3,179	3,195	1,623	3,223
3,204	3,250	3,219	3,200	3,233	3,233	3,204	3,166	3,181	1,616	3,210
3,202	3,250	3,216	3,198	3,229	3,231	3,204	3,168	3,177	1,615	3,208
3,200	3,248	3,217	3,204	3,229	3,235	3,206	3,174	3,185	1,616	3,212
3,210	3,258	3,225	3,208	3,237	3,241	3,216	3,183	3,187	1,620	3,217
3,214	3,258	3,229	3,212	3,244	3,248	3,223	3,195	3,195	1,623	3,223
3,214	3,260	3,227	3,214	3,239	3,248	3,223	3,193	3,196	1,623	3,223
3,217	3,260	3,227	3,217	3,244	3,248	3,225	3,195	3,200	1,624	3,225

$P_w(T_1)$	$P_w(T_2)$	$P_w(T_3)$	$P_w(T_4)$	$P_w(T_5)$	$P_w(T_6)$	$P_w(T_7)$	$P_w(T_8)$	$P_w(T_9)$	$P_w(T_o)$	$P_w(T_{pt100})$
<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>
3,206	3,252	3,223	3,212	3,239	3,246	3,223	3,195	3,204	1,622	3,221
3,206	3,256	3,223	3,210	3,244	3,248	3,225	3,193	3,198	1,623	3,223
3,212	3,254	3,227	3,216	3,241	3,250	3,229	3,196	3,204	1,624	3,225
3,221	3,273	3,239	3,229	3,256	3,266	3,242	3,216	3,214	1,632	3,239
3,227	3,281	3,246	3,241	3,262	3,273	3,256	3,225	3,225	1,637	3,248
3,233	3,275	3,250	3,239	3,262	3,273	3,252	3,219	3,229	1,637	3,248
3,223	3,266	3,239	3,227	3,256	3,262	3,239	3,206	3,214	1,630	3,237
3,210	3,258	3,223	3,216	3,242	3,246	3,225	3,189	3,204	1,623	3,223

A umidade relativa pode ser calculada utilizando a equação 2

$$UR_n = \frac{P_w(T_o)}{P_w(T_n)} * 100 \quad (2)$$

Tabela A3 - Umidade relativa calculada

UR_1	UR_2	UR_3	UR_4	UR_5	UR_6	UR_7	UR_8	UR_9	UR_{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,4	49,8	50,3	50,4	49,9	49,8	50,3	50,9	50,7	50,3
50,5	49,8	50,2	50,5	49,9	49,9	50,3	50,8	50,7	50,3
50,5	49,8	50,3	50,5	49,9	49,9	50,4	50,8	50,7	50,3
50,4	49,8	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,9	50,8	50,3

50,5	49,8	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,8	50,8	50,3
50,5	49,9	50,3	50,5	50,2	50,0	50,4	50,8	50,8	50,4
50,6	49,7	50,3	50,6	50,1	50,0	50,4	50,9	50,8	50,4
50,5	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,4	50,9	50,9	50,4
50,6	49,8	50,3	50,5	50,1	50,1	50,5	50,9	50,8	50,4
50,5	49,8	50,4	50,5	50,2	50,1	50,4	50,9	50,8	50,4
50,6	49,9	50,4	50,5	50,2	50,1	50,4	50,9	50,8	50,4
50,5	49,9	50,4	50,5	50,1	50,1	50,4	50,9	50,9	50,4
50,4	49,9	50,3	50,5	50,1	50,1	50,4	51,0	50,9	50,4
50,5	49,8	50,3	50,6	50,0	50,0	50,4	51,0	50,9	50,4
50,4	49,8	50,3	50,5	50,0	50,0	50,4	51,0	50,8	50,4
50,4	49,7	50,2	50,5	50,0	50,0	50,4	51,0	50,8	50,3
50,4	49,7	50,2	50,5	50,0	50,0	50,4	51,0	50,8	50,3
50,5	49,8	50,2	50,4	50,1	50,0	50,4	50,9	50,7	50,3

UR_1	UR_2	UR_3	UR_4	UR_5	UR_6	UR_7	UR_8	UR_9	UR_{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,5	49,7	50,2	50,5	50,1	50,0	50,4	50,9	50,8	50,4
50,5	49,8	50,3	50,5	50,0	50,0	50,4	50,8	50,8	50,4
50,5	49,8	50,3	50,5	50,1	50,0	50,4	50,8	50,8	50,4
50,5	49,8	50,3	50,5	50,1	50,0	50,4	50,9	50,8	50,4

50,6	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,8	50,6	50,4
50,6	49,8	50,3	50,6	50,0	50,0	50,3	50,8	50,7	50,3
50,6	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,8	50,7	50,4
50,7	49,9	50,4	50,5	50,1	50,0	50,3	50,7	50,8	50,4
50,7	49,9	50,4	50,5	50,2	50,0	50,3	50,8	50,8	50,4
50,6	50,0	50,4	50,5	50,2	50,0	50,3	50,8	50,7	50,4
50,6	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,9	50,7	50,4
50,6	49,8	50,4	50,5	50,1	50,0	50,3	50,9	50,7	50,4

A2 - A tabela abaixo apresenta exemplo de valores medidos na calibração de uma câmara climática utilizando 9 termopares para determinar estabilidade e uniformidade, 1 psicrômetro para determinar a temperatura e umidade de referência.

Tabela A4 - Exemplo numérico de coleta de dados utilizando 9 termopares e 1 psicrômetro

Dados Medidos												
Indicador da Câmara		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t _s	t _u
°C	% ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
25,0	50,7	24,95	25,13	24,99	24,94	25,12	25,13	24,98	24,79	24,86	24,99	17,74
25,0	50,7	24,95	25,16	25,04	24,95	25,13	25,15	25,01	24,84	24,89	25,01	17,76

25,1	51,1	25,03	25,28	25,11	25,03	25,22	25,23	25,08	24,93	24,97	25,10	17,85
25,1	51,0	25,17	25,39	25,22	25,15	25,30	25,33	25,22	25,03	25,07	25,21	17,96
25,1	51,0	25,25	25,49	25,32	25,26	25,39	25,41	25,32	25,15	25,16	25,31	18,06
25,1	51,0	25,34	25,54	25,41	25,33	25,46	25,52	25,39	25,24	25,24	25,39	18,14
25,1	51,0	25,35	25,63	25,44	25,35	25,50	25,53	25,41	25,25	25,27	25,41	18,16
25,1	51,0	25,38	25,59	25,45	25,37	25,51	25,54	25,42	25,24	25,25	25,42	18,17
25,1	50,8	25,36	25,63	25,47	25,39	25,52	25,53	25,40	25,24	25,28	25,42	18,17
25,1	51,0	25,42	25,67	25,48	25,42	25,55	25,58	25,47	25,30	25,32	25,47	18,22
25,3	51,0	25,46	25,68	25,53	25,48	25,60	25,63	25,51	25,35	25,38	25,51	18,26
25,4	51,0	25,48	25,70	25,54	25,48	25,62	25,64	25,52	25,36	25,35	25,52	18,27
25,5	50,9	25,45	25,62	25,49	25,43	25,57	25,58	25,48	25,26	25,31	25,47	18,22
25,5	50,9	25,34	25,58	25,42	25,32	25,49	25,50	25,37	25,16	25,22	25,38	18,13
25,5	51,1	25,27	25,45	25,31	25,24	25,41	25,41	25,25	25,05	25,13	25,28	18,03

Dados Medidos												
Indicador da Câmara		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t _s	t _u
°C	% ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
25,5	50,9	25,18	25,42	25,26	25,16	25,33	25,33	25,18	24,98	25,06	25,21	17,96
25,3	51,1	25,17	25,42	25,24	25,15	25,31	25,32	25,18	24,99	25,04	25,20	17,95
25,2	51,0	25,16	25,41	25,25	25,18	25,31	25,34	25,19	25,02	25,08	25,22	17,97
25,1	51,0	25,21	25,46	25,29	25,20	25,35	25,37	25,24	25,07	25,09	25,25	18,00
25,1	51,1	25,23	25,46	25,31	25,22	25,39	25,41	25,28	25,13	25,13	25,28	18,03
25,0	50,8	25,23	25,47	25,30	25,23	25,36	25,41	25,28	25,12	25,14	25,28	18,03
25,0	50,7	25,25	25,47	25,30	25,25	25,39	25,41	25,29	25,13	25,16	25,29	18,04
25,1	51,1	25,19	25,43	25,28	25,22	25,36	25,40	25,28	25,13	25,18	25,27	18,02
25,1	51,0	25,19	25,45	25,28	25,21	25,39	25,41	25,29	25,12	25,15	25,28	18,03
25,1	51,0	25,22	25,44	25,30	25,24	25,37	25,42	25,31	25,14	25,18	25,29	18,04
25,1	51,0	25,27	25,54	25,36	25,31	25,45	25,50	25,38	25,24	25,23	25,36	18,11
25,1	51,0	25,30	25,58	25,40	25,37	25,48	25,54	25,45	25,29	25,29	25,41	18,16
25,1	51,0	25,33	25,55	25,42	25,36	25,48	25,54	25,43	25,26	25,31	25,41	18,16
25,1	50,9	25,28	25,50	25,36	25,30	25,45	25,48	25,36	25,19	25,23	25,35	18,10
25,1	51,0	25,21	25,46	25,28	25,24	25,38	25,40	25,29	25,10	25,18	25,28	18,03

A partir dos dados coletados na tabela A4 é possível calcular a pressão de saturação de vapor para cada uma das temperaturas utilizando a equação (1) e para temperatura de orvalho utilizando a equação (3)

$$PW(T_o) = PW(T_u) - A * P_{atm} * (T_s - T_u) \quad (3)$$

Onde

A = Constante psicrométrica = 0,00066 °C⁻¹

P_{atm} = Pressão atmosférica = 94,5 hPa

T = Temperatura em Kelvin

Tabela A5 - Pressão de saturação de vapor calculada em função das temperaturas medidas

PW(T ₁)	PW(T ₂)	PW(T ₃)	PW(T ₄)	PW(T ₅)	PW(T ₆)	PW(T ₇)	PW(T ₈)	PW(T ₉)	PW(T _u)	PW(T _o)
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
3,160	3,195	3,168	3,159	3,193	3,195	3,166	3,130	3,144	2,031	1,579
3,160	3,200	3,177	3,160	3,195	3,198	3,172	3,140	3,149	2,034	1,582
3,176	3,223	3,191	3,176	3,212	3,214	3,185	3,157	3,164	2,045	1,593
3,202	3,244	3,212	3,198	3,227	3,233	3,212	3,176	3,183	2,059	1,607
3,217	3,264	3,231	3,219	3,244	3,248	3,231	3,198	3,200	2,072	1,620
3,235	3,273	3,248	3,233	3,258	3,270	3,244	3,216	3,216	2,083	1,631
3,237	3,291	3,254	3,237	3,266	3,271	3,248	3,217	3,221	2,086	1,633
3,242	3,283	3,256	3,241	3,268	3,273	3,250	3,216	3,217	2,087	1,635
3,239	3,291	3,260	3,244	3,270	3,271	3,246	3,216	3,223	2,087	1,635
3,250	3,299	3,262	3,250	3,275	3,281	3,260	3,227	3,231	2,093	1,641
3,258	3,301	3,271	3,262	3,285	3,291	3,268	3,237	3,242	2,099	1,646
3,262	3,305	3,273	3,262	3,289	3,293	3,270	3,239	3,237	2,100	1,648
3,256	3,289	3,264	3,252	3,279	3,281	3,262	3,219	3,229	2,093	1,641

PW(T ₁)	PW(T ₂)	PW(T ₃)	PW(T ₄)	PW(T ₅)	PW(T ₆)	PW(T ₇)	PW(T ₈)	PW(T ₉)	PW(T _u)	PW(T _o)
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
3,235	3,281	3,250	3,231	3,264	3,266	3,241	3,200	3,212	2,082	1,629
3,221	3,256	3,229	3,216	3,248	3,248	3,217	3,179	3,195	2,069	1,616
3,204	3,250	3,219	3,200	3,233	3,233	3,204	3,166	3,181	2,059	1,607
3,202	3,250	3,216	3,198	3,229	3,231	3,204	3,168	3,177	2,058	1,606
3,200	3,248	3,217	3,204	3,229	3,235	3,206	3,174	3,185	2,061	1,609
3,210	3,258	3,225	3,208	3,237	3,241	3,216	3,183	3,187	2,065	1,612
3,214	3,258	3,229	3,212	3,244	3,248	3,223	3,195	3,195	2,069	1,616
3,214	3,260	3,227	3,214	3,239	3,248	3,223	3,193	3,196	2,069	1,616
3,217	3,260	3,227	3,217	3,244	3,248	3,225	3,195	3,200	2,070	1,618
3,206	3,252	3,223	3,212	3,239	3,246	3,223	3,195	3,204	2,067	1,615
3,206	3,256	3,223	3,210	3,244	3,248	3,225	3,193	3,198	2,069	1,616
3,212	3,254	3,227	3,216	3,241	3,250	3,229	3,196	3,204	2,070	1,618
3,221	3,273	3,239	3,229	3,256	3,266	3,242	3,216	3,214	2,079	1,627
3,227	3,281	3,246	3,241	3,262	3,273	3,256	3,225	3,225	2,086	1,633
3,233	3,275	3,250	3,239	3,262	3,273	3,252	3,219	3,229	2,086	1,633
3,223	3,266	3,239	3,227	3,256	3,262	3,239	3,206	3,214	2,078	1,626
3,210	3,258	3,223	3,216	3,242	3,246	3,225	3,189	3,204	2,069	1,616

Com os valores obtidos na tabela A5 podemos calcular a umidade relativa do ar conforme equação (2).

Tabela A6 - Umidade relativa calculada

UR ₁	UR ₂	UR ₃	UR ₄	UR ₅	UR ₆	UR ₇	UR ₈	UR ₉	UR _{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,0	49,4	49,8	50,0	49,5	49,4	49,9	50,4	50,2	49,8
50,0	49,4	49,8	50,0	49,5	49,4	49,9	50,4	50,2	49,9
50,2	49,4	49,9	50,2	49,6	49,6	50,0	50,5	50,3	50,0
50,2	49,5	50,0	50,3	49,8	49,7	50,0	50,6	50,5	50,1
50,4	49,6	50,1	50,3	49,9	49,9	50,1	50,7	50,6	50,2
50,4	49,8	50,2	50,4	50,1	49,9	50,3	50,7	50,7	50,3
50,5	49,6	50,2	50,5	50,0	49,9	50,3	50,8	50,7	50,3
50,4	49,8	50,2	50,4	50,0	49,9	50,3	50,8	50,8	50,3
50,5	49,7	50,1	50,4	50,0	50,0	50,4	50,8	50,7	50,3
50,5	49,8	50,3	50,5	50,1	50,0	50,3	50,9	50,8	50,3
50,5	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,4	50,9	50,8	50,4
50,5	49,9	50,3	50,5	50,1	50,0	50,4	50,9	50,9	50,4
50,4	49,9	50,3	50,5	50,0	50,0	50,3	51,0	50,8	50,3
50,4	49,7	50,1	50,4	49,9	49,9	50,3	50,9	50,7	50,3
50,2	49,6	50,1	50,3	49,8	49,8	50,2	50,8	50,6	50,1
50,2	49,5	49,9	50,2	49,7	49,7	50,2	50,8	50,5	50,1
50,2	49,4	49,9	50,2	49,7	49,7	50,1	50,7	50,5	50,1

UR ₁	UR ₂	UR ₃	UR ₄	UR ₅	UR ₆	UR ₇	UR ₈	UR ₉	UR _{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,3	49,5	50,0	50,2	49,8	49,7	50,2	50,7	50,5	50,1
50,2	49,5	50,0	50,3	49,8	49,8	50,1	50,7	50,6	50,1
50,3	49,6	50,1	50,3	49,8	49,8	50,1	50,6	50,6	50,1
50,3	49,6	50,1	50,3	49,9	49,8	50,1	50,6	50,6	50,1
50,3	49,6	50,1	50,3	49,9	49,8	50,2	50,6	50,5	50,2
50,4	49,7	50,1	50,3	49,9	49,8	50,1	50,6	50,4	50,1
50,4	49,6	50,1	50,4	49,8	49,8	50,1	50,6	50,5	50,1
50,4	49,7	50,1	50,3	49,9	49,8	50,1	50,6	50,5	50,2
50,5	49,7	50,2	50,4	50,0	49,8	50,2	50,6	50,6	50,2
50,6	49,8	50,3	50,4	50,1	49,9	50,2	50,6	50,6	50,3
50,5	49,9	50,3	50,4	50,1	49,9	50,2	50,7	50,6	50,3
50,4	49,8	50,2	50,4	49,9	49,8	50,2	50,7	50,6	50,2
50,4	49,6	50,1	50,3	49,9	49,8	50,1	50,7	50,4	50,1

A3 - A tabela abaixo apresenta exemplo de valores medidos na calibração de uma câmara climática utilizando 9 termopares para determinar estabilidade e uniformidade, 1 higrômetros elétricos (impedância) e 1 Pt100 para determinar a temperatura e umidade de referência.

Tabela A7 - Exemplo numérico de coleta de dados utilizando 9 termopares e 1 higrômetros elétricos (impedância)

Dados Medidos												
Indicador da Câmara		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t _{pt100}	UR
°C	% ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%ur
25,0	50,7	24,95	25,13	24,99	24,94	25,12	25,13	24,98	24,79	24,86	24,99	50,1
25,0	50,7	24,95	25,16	25,04	24,95	25,13	25,15	25,01	24,84	24,89	25,01	50,0
25,1	51,1	25,03	25,28	25,11	25,03	25,22	25,23	25,08	24,93	24,97	25,10	50,1
25,1	51,0	25,17	25,39	25,22	25,15	25,30	25,33	25,22	25,03	25,07	25,21	50,0
25,1	51,0	25,25	25,49	25,32	25,26	25,39	25,41	25,32	25,15	25,16	25,31	50,1
25,1	51,0	25,34	25,54	25,41	25,33	25,46	25,52	25,39	25,24	25,24	25,39	50,2
25,1	51,0	25,35	25,63	25,44	25,35	25,50	25,53	25,41	25,25	25,27	25,41	50,1
25,1	51,0	25,38	25,59	25,45	25,37	25,51	25,54	25,42	25,24	25,25	25,42	50,1
25,1	50,8	25,36	25,63	25,47	25,39	25,52	25,53	25,40	25,24	25,28	25,42	50,1
25,1	51,0	25,42	25,67	25,48	25,42	25,55	25,58	25,47	25,30	25,32	25,47	50,3
25,3	51,0	25,46	25,68	25,53	25,48	25,60	25,63	25,51	25,35	25,38	25,51	49,9
25,4	51,0	25,48	25,70	25,54	25,48	25,62	25,64	25,52	25,36	25,35	25,52	49,9
25,5	50,9	25,45	25,62	25,49	25,43	25,57	25,58	25,48	25,26	25,31	25,47	49,8
25,5	50,9	25,34	25,58	25,42	25,32	25,49	25,50	25,37	25,16	25,22	25,38	49,8

Dados Medidos												
Indicador da Câmara		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t _{pt100}	UR
°C	% ur	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%ur
25,5	51,1	25,27	25,45	25,31	25,24	25,41	25,41	25,25	25,05	25,13	25,28	49,8
25,5	50,9	25,18	25,42	25,26	25,16	25,33	25,33	25,18	24,98	25,06	25,21	49,8
25,3	51,1	25,17	25,42	25,24	25,15	25,31	25,32	25,18	24,99	25,04	25,20	50,0
25,2	51,0	25,16	25,41	25,25	25,18	25,31	25,34	25,19	25,02	25,08	25,22	50,0
25,1	51,0	25,21	25,46	25,29	25,20	25,35	25,37	25,24	25,07	25,09	25,25	50,2
25,1	51,1	25,23	25,46	25,31	25,22	25,39	25,41	25,28	25,13	25,13	25,28	50,3
25,0	50,8	25,23	25,47	25,30	25,23	25,36	25,41	25,28	25,12	25,14	25,28	50,0
25,0	50,7	25,25	25,47	25,30	25,25	25,39	25,41	25,29	25,13	25,16	25,29	50,1
25,1	51,1	25,19	25,43	25,28	25,22	25,36	25,40	25,28	25,13	25,18	25,27	50,2
25,1	51,0	25,19	25,45	25,28	25,21	25,39	25,41	25,29	25,12	25,15	25,28	50,1
25,1	51,0	25,22	25,44	25,30	25,24	25,37	25,42	25,31	25,14	25,18	25,29	50,2
25,1	51,0	25,27	25,54	25,36	25,31	25,45	25,50	25,38	25,24	25,23	25,36	50,1
25,1	51,0	25,30	25,58	25,40	25,37	25,48	25,54	25,45	25,29	25,29	25,41	50,1
25,1	51,0	25,33	25,55	25,42	25,36	25,48	25,54	25,43	25,26	25,31	25,41	50,1
25,1	50,9	25,28	25,50	25,36	25,30	25,45	25,48	25,36	25,19	25,23	25,35	50,2
25,1	51,0	25,21	25,46	25,28	25,24	25,38	25,40	25,29	25,10	25,18	25,28	50,3

A partir dos dados coletados na tabela A7 é possível calcular a pressão de saturação de vapor para cada uma das temperaturas utilizando a equação (1) e para temperatura de orvalho utilizando a equação (4)

$$PW(T_o) = \frac{UR}{100} * PW(T_{pt100}) \quad (4)$$

Onde

T_{pt100} = Temperatura em Kelvin

Tabela A8 - Pressão de saturação de vapor calculada em função dos valores de temperatura e umidade

PW(T ₁)	PW(T ₂)	PW(T ₃)	PW(T ₄)	PW(T ₅)	PW(T ₆)	PW(T ₇)	PW(T ₈)	PW(T ₉)	PW(T _{pt100})	PW(T _o)
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
3,160	3,195	3,168	3,159	3,193	3,195	3,166	3,130	3,144	3,168	1,587
3,160	3,200	3,177	3,160	3,195	3,198	3,172	3,140	3,149	3,172	1,586
3,176	3,223	3,191	3,176	3,212	3,214	3,185	3,157	3,164	3,189	1,598
3,202	3,244	3,212	3,198	3,227	3,233	3,212	3,176	3,183	3,210	1,605
3,217	3,264	3,231	3,219	3,244	3,248	3,231	3,198	3,200	3,229	1,618
3,235	3,273	3,248	3,233	3,258	3,270	3,244	3,216	3,216	3,244	1,629
3,237	3,291	3,254	3,237	3,266	3,271	3,248	3,217	3,221	3,248	1,627
3,242	3,283	3,256	3,241	3,268	3,273	3,250	3,216	3,217	3,250	1,628
3,239	3,291	3,260	3,244	3,270	3,271	3,246	3,216	3,223	3,250	1,628
3,250	3,299	3,262	3,250	3,275	3,281	3,260	3,227	3,231	3,260	1,640
3,258	3,301	3,271	3,262	3,285	3,291	3,268	3,237	3,242	3,268	1,631
3,262	3,305	3,273	3,262	3,289	3,293	3,270	3,239	3,237	3,270	1,631
3,256	3,289	3,264	3,252	3,279	3,281	3,262	3,219	3,229	3,260	1,623
3,235	3,281	3,250	3,231	3,264	3,266	3,241	3,200	3,212	3,242	1,615

PW(T ₁)	PW(T ₂)	PW(T ₃)	PW(T ₄)	PW(T ₅)	PW(T ₆)	PW(T ₇)	PW(T ₈)	PW(T ₉)	PW(T _{pt100})	PW(T _o)
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
3,221	3,256	3,229	3,216	3,248	3,248	3,217	3,179	3,195	3,223	1,605
3,204	3,250	3,219	3,200	3,233	3,233	3,204	3,166	3,181	3,210	1,598
3,202	3,250	3,216	3,198	3,229	3,231	3,204	3,168	3,177	3,208	1,604
3,200	3,248	3,217	3,204	3,229	3,235	3,206	3,174	3,185	3,212	1,606
3,210	3,258	3,225	3,208	3,237	3,241	3,216	3,183	3,187	3,217	1,615
3,214	3,258	3,229	3,212	3,244	3,248	3,223	3,195	3,195	3,223	1,621
3,214	3,260	3,227	3,214	3,239	3,248	3,223	3,193	3,196	3,223	1,612
3,217	3,260	3,227	3,217	3,244	3,248	3,225	3,195	3,200	3,225	1,616
3,206	3,252	3,223	3,212	3,239	3,246	3,223	3,195	3,204	3,221	1,617
3,206	3,256	3,223	3,210	3,244	3,248	3,225	3,193	3,198	3,223	1,615
3,212	3,254	3,227	3,216	3,241	3,250	3,229	3,196	3,204	3,225	1,619
3,221	3,273	3,239	3,229	3,256	3,266	3,242	3,216	3,214	3,239	1,623
3,227	3,281	3,246	3,241	3,262	3,273	3,256	3,225	3,225	3,248	1,627
3,233	3,275	3,250	3,239	3,262	3,273	3,252	3,219	3,229	3,248	1,627
3,223	3,266	3,239	3,227	3,256	3,262	3,239	3,206	3,214	3,237	1,625
3,210	3,258	3,223	3,216	3,242	3,246	3,225	3,189	3,204	3,223	1,621

Com os valores obtidos na tabela A8 podemos calcular a umidade relativa do ar conforme equação (2).

Tabela A9 - Umidade relativa calculada

UR ₁	UR ₂	UR ₃	UR ₄	UR ₅	UR ₆	UR ₇	UR ₈	UR ₉	UR _{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,2	49,7	50,1	50,2	49,7	49,7	50,1	50,7	50,5	50,1
50,2	49,6	49,9	50,2	49,6	49,6	50,0	50,5	50,4	50,0
50,3	49,6	50,1	50,3	49,7	49,7	50,2	50,6	50,5	50,1
50,1	49,5	50,0	50,2	49,7	49,6	50,0	50,5	50,4	50,0
50,3	49,6	50,1	50,2	49,9	49,8	50,1	50,6	50,5	50,1
50,3	49,8	50,1	50,4	50,0	49,8	50,2	50,6	50,6	50,2
50,3	49,4	50,0	50,3	49,8	49,7	50,1	50,6	50,5	50,1
50,2	49,6	50,0	50,2	49,8	49,7	50,1	50,6	50,6	50,1
50,3	49,5	50,0	50,2	49,8	49,8	50,2	50,6	50,5	50,1
50,4	49,7	50,3	50,4	50,1	50,0	50,3	50,8	50,8	50,3
50,0	49,4	49,8	50,0	49,6	49,5	49,9	50,4	50,3	49,9
50,0	49,4	49,8	50,0	49,6	49,5	49,9	50,4	50,4	49,9
49,9	49,4	49,7	49,9	49,5	49,5	49,8	50,4	50,3	49,8
49,9	49,2	49,7	50,0	49,5	49,4	49,8	50,5	50,3	49,8
49,8	49,3	49,7	49,9	49,4	49,4	49,9	50,5	50,2	49,8
49,9	49,2	49,7	49,9	49,4	49,4	49,9	50,5	50,2	49,8
50,1	49,3	49,9	50,1	49,7	49,6	50,1	50,6	50,5	50,0

UR ₁	UR ₂	UR ₃	UR ₄	UR ₅	UR ₆	UR ₇	UR ₈	UR ₉	UR _{ref}
%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur	%ur
50,2	49,4	49,9	50,1	49,7	49,6	50,1	50,6	50,4	50,0
50,3	49,6	50,1	50,3	49,9	49,8	50,2	50,7	50,7	50,2
50,4	49,8	50,2	50,5	50,0	49,9	50,3	50,8	50,8	50,3
50,1	49,4	49,9	50,1	49,8	49,6	50,0	50,5	50,4	50,0
50,2	49,6	50,1	50,2	49,8	49,7	50,1	50,6	50,5	50,1
50,4	49,7	50,2	50,3	49,9	49,8	50,2	50,6	50,5	50,2
50,4	49,6	50,1	50,3	49,8	49,7	50,1	50,6	50,5	50,1
50,4	49,8	50,2	50,3	50,0	49,8	50,1	50,7	50,5	50,2
50,4	49,6	50,1	50,2	49,8	49,7	50,0	50,5	50,5	50,1
50,4	49,6	50,1	50,2	49,9	49,7	50,0	50,5	50,5	50,1
50,3	49,7	50,1	50,2	49,9	49,7	50,0	50,5	50,4	50,1
50,4	49,8	50,2	50,3	49,9	49,8	50,2	50,7	50,6	50,2
50,5	49,8	50,3	50,4	50,0	49,9	50,3	50,8	50,6	50,3

Nota: Os cálculos da Uniformidade e Estabilidade foram feitos com os valores destacados em verde e amarelo respectivamente.

Anexo B

Exemplo Numérico de Cálculo de Incerteza na Calibração de uma
Câmara Climática

Os exemplos de cálculo de incerteza apresentados no anexo B estão relacionados aos dados coletados no anexo A

Tabela B1 - Cálculo de Incerteza das medidas de temperatura realizada

item	Componentes de Influência	Valor de Influência	Componente de Incerteza	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição de Incerteza	Graus de Liberdade	
x1	Incerteza do Padrão de Temperatura	25,31 °C	0,13 °C	2,00	1	0,07 °C	infinito	
x2	Deriva do Padrão de Temperatura		0,10 °C	1,73	1	0,06 °C	infinito	
x3	Resolução do Padrão de Temperatura		0,01 °C	3,46	1	0,00 °C	infinito	
x4	Compensação da Junção de Referência do Termopar		0,13 °C	1,73	1	0,08 °C	infinito	
x5	Efeito de radiação		0,30 °C	1,73	1	0,17 °C	infinito	
x6	Estabilidade Térmica		0,57 °C	1,73	1	0,33 °C	infinito	
x7	Uniformidade Térmica		0,23 °C	1,73	1	0,13 °C	infinito	
x8	Resolução da Câmara		0,10 °C	3,46	1	0,03 °C	infinito	
x9	Desvio padrão das leituras realizadas na Câmara	25,17 °C	0,16 °C	5,48	1	0,03 °C	29	
	Temperatura Programada	25,00 °C				Incerteza combinada	0,41 °C	infinito
	Temperatura Medida	25,17 °C				Fator de abrangência - k	2,00	
	Valor de Referência	25,31 °C				Incerteza expandida	0,83 °C	

Tabela B2 - Cálculo de Incerteza das medidas de umidade realizada pelo higrômetro de ponto de orvalho

item	Componentes de Influência	Valor de Influência	Fonte de Incerteza	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição da Incerteza	Graus de Liberdade	
x1	Incerteza do Padrão de Orvalho	14,26 °C	0,20 °C	2,00	3,26 %ur/°C	0,33 %ur	infinito	
x2	Deriva do Padrão de orvalho		0,10 °C	1,73	3,26 %ur/°C	0,19 %ur	infinito	
x3	Resolução do Padrão de Orvalho		0,01 °C	3,46	3,26 %ur/°C	0,01 %ur	infinito	
x4	Compensação da Junção de Referência do Termopar		0,13 °C	1,73	3,00 %ur/°C	0,22 %ur	infinito	
x5	Efeito de radiação		0,30 °C	1,73	3,00 %ur/°C	0,52 %ur	infinito	
x6	Estabilidade		0,34 %ur	1,73	1,00	0,20 %ur	infinito	
x7	Uniformidade		0,69 %ur	1,73	1,00	0,40 %ur	infinito	
x8	Resolução da Câmara		0,10 %ur	3,46	1,00	0,03 %ur	infinito	
x9	Desvio padrão das leituras realizadas na Câmara	50,96 %ur	0,12 %ur	5,48	1,00	0,02 %ur	29	
	Umidade Programada	50,0 %ur				Incerteza combinada	0,81 %ur	infinito
	Umidade Medida	51,0 %ur				Fator de abrangência - k	2,00	
	Valor de Referência	50,5 %ur				Incerteza expandida	1,63 %ur	

Tabela B3 - Cálculo de Incerteza das medidas de umidade realizada pelo psicrômetro

item	Componentes de Influência	Valor de Influência	Fonte de Incerteza	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição da Incerteza	Graus de Liberdade	
x1	Incerteza do Psicrômetro de Referência	50,18 %ur	1,30 %ur	2,00	1	0,65 %ur	infinito	
x2	Deriva do Psicrômetro de Referência		0,30 %ur	1,73	1	0,17 %ur	infinito	
x3	Compensação da Junção de Referência do Termopar		0,13 °C	1,73	4,966 %ur/°C	0,37 %ur	infinito	
x4	Efeito de radiação		0,30 °C	1,73	4,966 %ur/°C	0,86 %ur	infinito	
x5	Estabilidade		0,69 %ur	1,73	1	0,40 %ur	infinito	
x6	Uniformidade		0,69 %ur	1,73	1	0,40 %ur	infinito	
x7	Resolução da Câmara		0,10 %ur	3,46	1	0,03 %ur	infinito	
x8	Desvio padrão das leituras realizadas na Câmara	51,0 %ur	0,12 %ur	5,48	1	0,02 %ur	29	
	Umidade Programada	50,0 %ur				Incerteza combinada	1,29 %ur	infinito
	Umidade Medida	51,0 %ur				Fator de abrangência - k	2,00	
	Valor de Referência	50,2 %ur				Incerteza expandida	2,57 %ur	

Tabela B4 - Cálculo de Incerteza das medidas de umidade realizada pelo higrômetro elétrico (impedância)

item	Componente de influência	Valor de Influência	Fonte de Incerteza	Divisor	Coefficiente de Sensibilidade	Contribuição de Incerteza	Graus de Liberdade
x1	Incerteza do Padrão de umidade	50,07 %ur	1,30 % ur	2	1,00	0,65 % ur	Infinito
x2	Deriva do Padrão de umidade		1,70 % ur	1,73	1,00	0,98 % ur	Infinito
x3	Resolução do Padrão de umidade		0,10 % ur	3,46	1,00	0,03 % ur	Infinito
x4	Compensação da Junção de Referência do Termopar		0,13 °C	1,73	3,00 %ur/°C	0,22 % ur	Infinito
x5	Efeito de radiação		0,30 °C	1,73	3,00 %ur/°C	0,52 % ur	Infinito
x6	Estabilidade		0,68 % ur	1,73	1,00	0,39 % ur	Infinito
x7	Uniformidade		0,69 % ur	1,73	1,00	0,40 % ur	Infinito
x8	Resolução da Câmara		0,10 % ur	3,46	1,00	0,03 % ur	Infinito
x9	Desvio padrão das leituras realizadas na Câmara	51,0 % ur	0,12 % ur	5,48	1,00	0,02 % ur	29
	Umidade Programada	50,0 % ur			Incerteza combinada	1,42 % ur	infinito
	Umidade Medida	51,0 % ur			Fator de abrangência - k	2,00	
	Valor de Referência	50,1 % ur			Incerteza expandida	2,84 % ur	

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 12550: 1998 Termometria – Terminologia

ABNT NBR ISO IEC 17025: 2017 Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.

DOQ-Cgcre-009, rev. 06: Orientações para acreditação de laboratórios para o grupo de serviços de calibração em temperatura e umidade.

DOQ-CGCRE-028, rev. 01: Orientação para a calibração de câmaras térmicas sem carga.

ISO GUM: 2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement

EURAMET cg-20: 2015 Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, version 4.0 (02/2015).

AFNOR NFX15-140:2002 Measurement of Air Humidity Climatic and Thermostatic Chambers – Characterisation and Verification

DKD-R 5-7: 2009 Guideline Calibration of Climatic Chambers (English Translation)

IEC 60068-3-5: 2001 Environmental testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature chambers

IEC 60068-3-11: 2007 Environmental testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers