



Laboratório
Nacional
de Astrofísica



Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica

Visão Geral da Norma IEC 60068-2-38: Aplicações e Considerações Técnicas

Rodrigo Machado de Paiva Vilaça

LNA-NT-29

Out / 2025

Visão Geral da IEC 60068-2-38: Aplicações e Considerações Técnicas

Rodrigo Machado de Paiva Vilaça

Laboratório Nacional de Astrofísica, rvilaca@lna.br

Resumo: A norma IEC 60068-2-38 define um ensaio cíclico de temperatura e umidade para avaliar de forma acelerada a resistência de dispositivos eletrônicos encapsulados. O objetivo é simular e revelar falhas induzidas por variações de pressão interna (*breathing effect*), condensação e congelamento do ar úmido dentro do invólucro, e não apenas testar o desempenho em temperaturas extremas. O teste é ideal para amostras que contêm volume de ar interno, como unidades de controle eletrônico (ECUs), e não se aplica a peças maciças, a equipamentos de grandes dimensões ou a dispositivos que precisam permanecer continuamente energizados.

Abstract: *IEC 60068-2-38 specifies a cyclic temperature/humidity test to assess the resistance of electronic components to combined environmental stresses. This accelerated test is designed to expose defects caused by internal breathing (pressure changes), condensation, and freezing inside the specimen's enclosure. It is not intended for evaluating performance at extreme temperatures alone. The standard is best suited for specimens with an internal air volume, such as electronic control units, and is not applicable to large solid pieces, massive devices, or equipment that must remain continuously energized.*

Palavras-chaves/keywords: IEC 60068-2-38, Ciclo de temperatura e umidade, Câmara climática, Ensaios ambientais, Procedimento de ensaio

Submetido em: Outubro / 2025.

Revisado por:

Revisor: Flávio Felipe Ribeiro

Revisor: Orlando Verducci Junior

Revisor: Rogério Ottoboni

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. Objetivo da IEC 60068-2-38.....	4
1.2. Campo de Aplicação.....	4
2. SELEÇÃO DAS AMOSTRAS, MECANISMOS DE FALHA INDUZIDOS PELO ENSAIO E ATIVAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	5
2.1. Seleção de Amostras Adequadas.....	5
2.1.1. Dispositivos Eletrônicos.....	5
2.1.2. Invólucro Fechado.....	6
2.1.3. Volume de Ar Interno Significativo.....	6
2.1.4. Restrições.....	6
2.2. Mecanismos de Falha Induzidos pelo Ensaio.....	6
2.2.1. Efeito de Respiração (Breathing effect).....	7
2.2.2. Condensação.....	7
2.2.3. Congelamento.....	7
2.3. Ativação das Amostras.....	7
3. VISÃO GERAL DO PROCEDIMENTO.....	8
3.1. Pré-condicionamento.....	8
3.1.1. Inspeção Inicial.....	9
3.2. Primeiros Cinco Ciclos: Teste com Fase de Frio.....	9
3.3. Próximos Quatro Ciclos: Teste sem Fase de Frio.....	10
3.4. Ciclo Final (10º Ciclo).....	11
4. TESTES FUNCIONAIS.....	11
4.1. Avaliações e inspeções.....	12
4.1.1. Antes do teste.....	12
4.1.2. Durante o teste.....	12
4.1.3. Após o teste.....	12
4.2. Procedimentos específicos de testes funcionais.....	13

4.2.1. Teste funcional em alta umidade.....	13
4.2.2. Teste funcional imediatamente após a remoção.....	13
4.2.3. Teste funcional após secagem.....	13
5. ESPECIFICAÇÕES DO EQUIPAMENTO DE ENSAIO.....	14
5.1. Circulação de Ar.....	14
5.2. Proteção contra Gotejamento e Drenagem de Água.....	14
5.3. Ausência de Calor Radiante.....	14
5.4. Sensores e Calibração.....	14
5.5. Câmara Climática Vötsch VC ³ 4100.....	15
6. QUALIDADE DA ÁGUA DE UMIDIFICAÇÃO.....	16
7. RELATÓRIOS DE TESTE E RASTREABILIDADE.....	18
8. ALTERAÇÕES NAS VERSÕES 2021/2022 DA NORMA.....	19
9. CONCLUSÃO.....	20
10. REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma visão geral da aplicação da norma IEC 60068-2-38 e não se destina a estabelecer um procedimento operacional, que deve ser detalhado em um documento específico. Tem como referência os cursos online *The IEC 60068-2-38 - Details on the test* e *Testing acc. to IEC 60068-2-38*, oferecidos pela *Weiss Technik Academy*. O conteúdo aborda a relevância desse ensaio para dispositivos eletrônicos, especialmente os de menor porte com maior volume de ar interno. O texto mostra como o teste avalia a resistência dos equipamentos a condições combinadas de altas e baixas temperaturas e umidade, além de descrever os possíveis efeitos adversos, como danos ao invólucro, falhas decorrentes do chamado efeito de respiração, fissuras e formação de condensação.

1.1. Objetivo da IEC 60068-2-38

A norma IEC 60068-2-38 foi criada com o objetivo principal de fornecer um método de teste cíclico de temperatura e umidade. Sua função é avaliar, de forma acelerada, a resistência de dispositivos eletrônicos aos efeitos prejudiciais de condições que combinam alta temperatura, umidade e frio. Assim como os outros testes da série IEC 60068, este não serve para verificar o funcionamento ou a resistência do produto em temperaturas extremas. Seu propósito é determinar como as variações de temperatura influenciam e podem comprometer o material testado.

1.2. Campo de Aplicação

A norma IEC 60068-2-38 é aplicável a dispositivos eletrônicos completos que são montados em invólucros fechados e que possuam volume de ar interno significativo. Este tipo de dispositivo é o foco do teste porque a variação cíclica de temperatura e pressão interna provoca o que a norma chama de 'efeito de respiração', um mecanismo de falha central no ensaio. As amostras devem ser preparadas para uso e mantidas desligadas durante o teste, exceto em determinadas fases do procedimento de teste.

2. SELEÇÃO DAS AMOSTRAS, MECANISMOS DE FALHA INDUZIDOS PELO ENSAIO E ATIVAÇÃO DAS AMOSTRAS

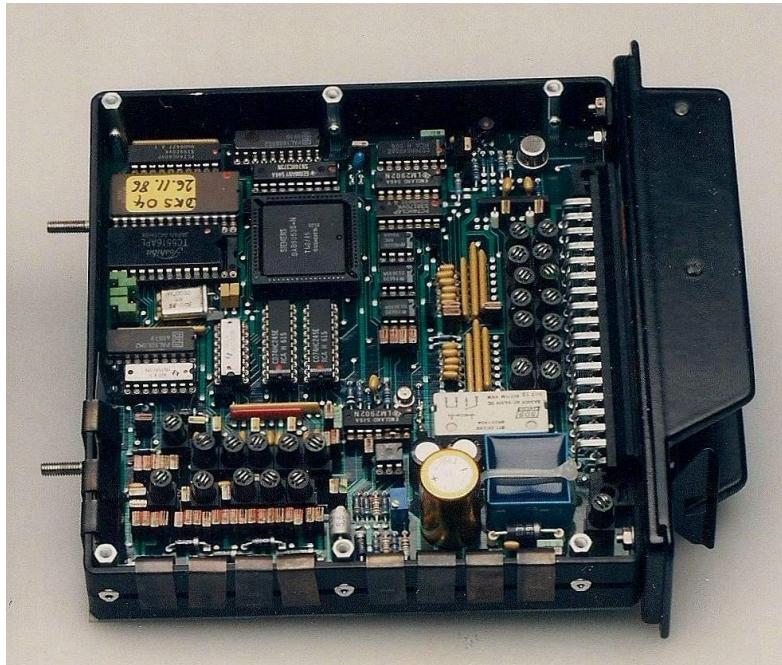
2.1. Seleção de Amostras Adequadas

Para que o ensaio seja eficaz, as amostras devem atender aos seguintes critérios:

2.1.1. Dispositivos Eletrônicos

As amostras devem ser dispositivos eletrônicos, como unidades de controle eletrônico (ECUs) usadas em automóveis, aviões ou outros sistemas. Embora projetado para avaliar desempenho sob estresse ambiental, o teste exige que as amostras permaneçam desligadas na maior parte do ensaio, exceto em fases de ativação controlada para simular uso real.

Figura 1: Exemplo de componente para teste sem tampa



Fonte: SchmiAlf, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82080736>

2.1.2. Invólucro Fechado

As amostras devem ser dispositivos completos encapsulados em um invólucro fechado, que permita trocas limitadas de ar com o ambiente externo. O invólucro protege os circuitos, mas é suscetível a variações de pressão e temperatura.

2.1.3. Volume de Ar Interno Significativo

O invólucro deve conter um volume de ar interno que possibilite o efeito de respiração, no qual a expansão e contração do ar devido a mudanças de temperatura causam trocas com o ambiente externo através de juntas ou vedações. Quanto maior o volume de ar, mais pronunciado serão os efeitos.

2.1.4. Restrições

- **Peças maciças:** Componentes sólidos, sem cavidades de ar, não são adequados, pois não apresentam o efeito de respiração.
- **Equipamentos grandes:** Nos cursos realizados, não há uma determinação específica quanto ao tamanho dos dispositivos a serem ensaiados. No entanto, dispositivos de grandes dimensões tendem a dificultar a uniformidade térmica e de umidade durante o ciclo de teste, sendo nesses casos mais apropriada a aplicação da norma IEC 60068-2-30 (Db).
- **Dispositivos continuamente energizados:** O teste exige que as amostras estejam desligadas na maior parte do tempo para induzir a condensação.

O posicionamento das amostras dentro da câmara é essencial. Elas devem ser dispostas com espaçamento suficiente para permitir uma circulação de ar uniforme e não devem estar sobre superfícies que bloqueiem a ventilação.

2.2. Mecanismos de Falha Induzidos pelo Ensaio

A IEC 60068-2-38 explora a combinação de três efeitos principais para estressar

o produto:

2.2.1. Efeito de Respiração (*Breathing effect*)

O fenômeno ocorre em um ciclo: durante o aquecimento, o ar interno se expande, criando uma leve sobrepressão que força o ar a escapar por pequenas frestas e aberturas do invólucro do componente. No resfriamento, o ar se contrai, gerando uma pressão negativa que suga o ar úmido do ambiente para dentro do componente. A repetição contínua desse ciclo cria um efeito de bombeamento, que estressa juntas e possíveis vedações existentes, podendo causar rachaduras e danos ao material ao longo do tempo.

2.2.2. Condensação

Durante as fases quentes do teste, com alta umidade relativa (~93% UR), o ar se aquece mais rapidamente do que a superfície do invólucro. Isso faz com que o vapor de água atinja o ponto de orvalho e se condense. A água resultante pode penetrar em fissuras, acumulando-se nas cavidades. Esse acúmulo de água pode levar a curtos-circuitos ou corrosão em contato com os dispositivos eletrônicos.

2.2.3. Congelamento

Na fase de frio subsequente, a água que se infiltrou no invólucro congela e se expande. A expansão do gelo alarga rachaduras e danifica vedações, podendo separar partes ou romper o isolamento em conexões sensíveis.

Esses três efeitos atuam de forma conjunta e cumulativa. A cada ciclo, as falhas existentes (como microfissuras) se aprofundam, as vedações se deterioram e a probabilidade de novas falhas aumenta.

2.3. Ativação das Amostras

A norma permite que as amostras sejam energizadas durante as fases de aquecimento e alta umidade do teste (indicadas em verde no diagrama da figura 2).

Essa ativação controlada simula as condições reais de uso e permite realizar testes funcionais durante o ensaio. Ao fazer isso, é possível determinar em que ponto e em qual fase a falha ocorre (por exemplo, se é durante o aquecimento ou o congelamento), fornecendo informações valiosas para a análise.

Entretanto, a operação com tensão gera calor interno, um fenômeno conhecido como auto-aquecimento. Esse calor adicional pode ser prejudicial ao teste, pois eleva a temperatura de certas partes da amostra. Se a temperatura da superfície da amostra estiver acima do ponto de orvalho do ar úmido da câmara, a condensação interna, que é o principal objetivo do teste, será significativamente reduzida ou eliminada.

A carga térmica gerada pelas amostras ativas deve ser completamente compensada pelo sistema de climatização da câmara. Se a potência dissipada pelas amostras for alta, a câmara precisa ter capacidade suficiente para remover esse calor sem que a temperatura do ambiente de teste seja alterada. A norma exige que o sistema de climatização tenha capacidade para compensar essa potência para garantir a estabilidade e a reproduzibilidade das condições de ensaio. A capacidade de compensação térmica de um equipamento de teste climático é essencial para garantir que as propriedades térmicas da amostra não afetem as condições na câmara, um requisito fundamental da norma.

3. VISÃO GERAL DO PROCEDIMENTO

O ensaio é composto por 10 ciclos de 24 horas organizados em três fases distintas: (1) ciclos com fase de congelamento, (2) ciclos sem congelamento e (3) ciclo final de encerramento e verificação em alta umidade. Antes de iniciar o teste, as amostras devem passar por um pré-condicionamento.

3.1. Pré-condicionamento

Este processo garante que todas as amostras comecem o ensaio em um estado inicial padronizado, eliminando variações causadas por condições ambientais

anteriores. As amostras devem estar desligadas, desembaladas e prontas para uso. O pré-condicionamento consiste em duas fases:

- **Secagem:** As amostras são submetidas a uma temperatura de 55 ± 2 °C com umidade relativa inferior a 20% por 24 horas. Este passo remove a umidade residual que poderia ter se acumulado no invólucro ou no material do componente.
- **Estabilização:** Após a secagem na câmara, as condições ambientais são alteradas para uma atmosfera padrão, com temperatura de 25 ± 10 °C e umidade relativa de $60 \pm 15\%$. As amostras permanecem nessas novas condições até atingirem o equilíbrio térmico. O tempo desta fase não é fixo, pois a estabilização é considerada concluída somente quando a temperatura da amostra não apresenta mais variações significativas. A redução da temperatura de 55 °C para 25 °C deve ocorrer a uma taxa não superior a 1 K/min.

3.1.1. Inspeção Inicial

Após o pré-condicionamento, cada amostra passa por uma inspeção visual e por testes elétricos e mecânicos iniciais. Esse passo visa a garantir que não existam danos pré-existentes, permitindo que qualquer falha detectada durante ou após o ensaio seja atribuída diretamente ao estresse imposto pelo teste.

3.2. Primeiros Cinco Ciclos: Teste com Fase de Frio

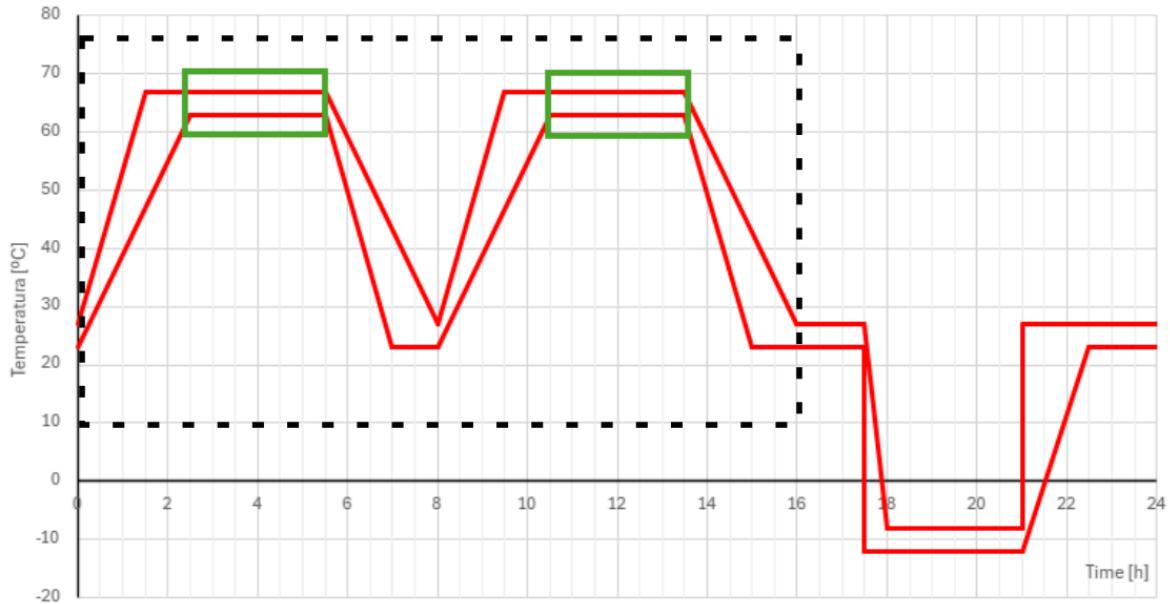
A Figura 2 mostra a faixa de temperatura — definida por um limite inferior e superior — na qual a temperatura deve permanecer em um ciclo de 24 horas com exposição ao frio. O ciclo é composto pelo fase de temperatura/umidade (região tracejada), seguido pela fase de exposição ao frio. Este ciclo de 24 horas é repetido 5 vezes. A câmara inicia em $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, subindo para $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, com uma taxa de mudança de temperatura entre 1,5 a 2,5 horas¹. A temperatura permanece² em $65^{\circ}\text{C} \pm$

¹ Taxa de mudança de temperatura na subida e na descida na fase de temperatura/umidade

² Os cursos realizados não deixam explícito o tempo de permanência em cada patamar.

2 °C com umidade relativa do ar de $93 \pm 3\%$. Em seguida, a temperatura é reduzida para $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ com umidade relativa mínima de 80% e máxima de 96% durante o resfriamento. Após um período de estabilização, é baixada para $-10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ em no máximo 30 minutos. O ciclo se completa com a temperatura retornando a $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Figura 2: Ciclo de 24 horas com exposição ao frio



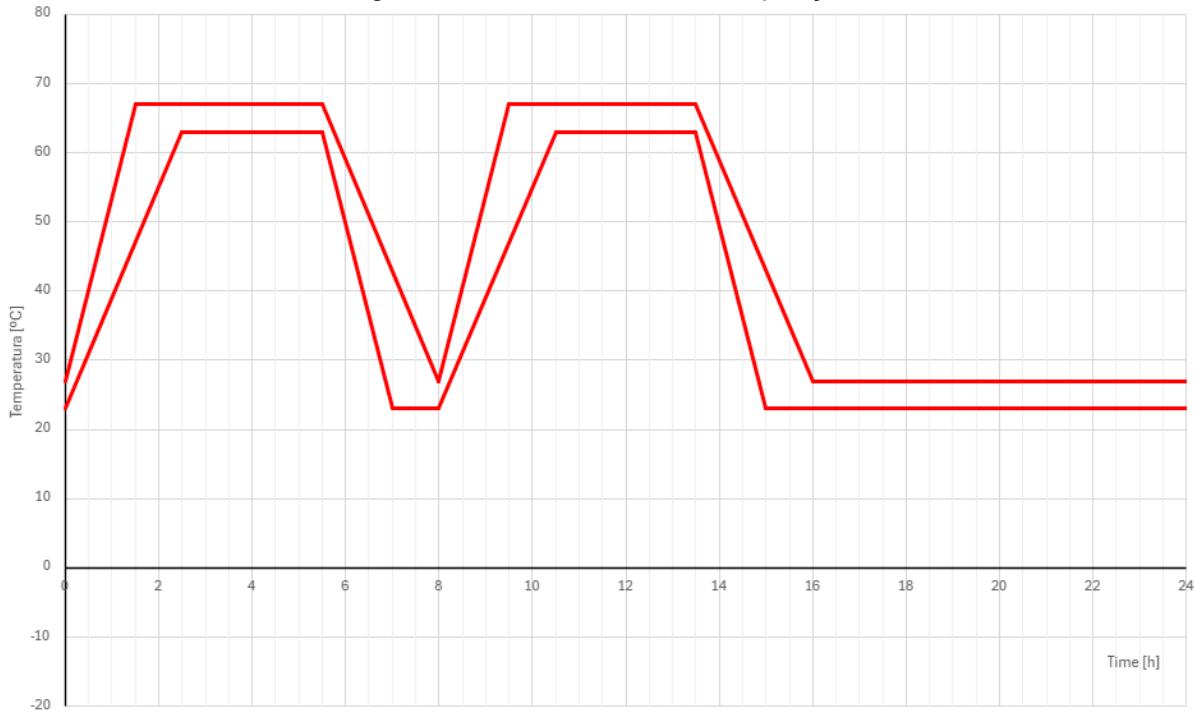
Fonte: Figura do Autor

3.3. Próximos Quatro Ciclos: Teste sem Fase de Frio

No ciclo de 24 horas sem exposição ao frio (figura 3), que é repetido 4 vezes, a fase de frio é substituída por uma fase constante com a temperatura mantida³ a $25^\circ\text{C} \pm 2$ e $93\% \pm 3\%$ de umidade relativa. As taxas de mudança de temperatura seguem as mesmas especificações dos 5 ciclos iniciais.

³ Os cursos realizados não deixam explícito o tempo de permanência.

Figura 3: Ciclo de 24 horas sem exposição ao frio



Fonte: Figura do Autor

3.4. Ciclo Final (10º Ciclo)

O décimo e último ciclo é semelhante ao ciclo de 24 horas sem exposição ao frio (figura 3), mas inclui uma etapa final prolongada para testes funcionais. Após a conclusão da fase de temperatura e umidade, a câmara de teste é mantida a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $93 \pm 3\%$ de umidade relativa por 3,5 horas. Essa condição final, mais branda e constante, tem a função de proporcionar um ambiente controlado para a realização dos ensaios funcionais finais, nos quais se verificam as eventuais falhas induzidas ao longo do procedimento de ensaio.

4. TESTES FUNCIONAIS

Antes do ensaio, é necessário definir claramente quais parâmetros da amostra serão considerados relevantes para a avaliação de conformidade — por exemplo, características ópticas, mecânicas, elétricas, entre outras. Esses parâmetros constituem os critérios de aceitação e devem ser verificados e registrados durante os testes

funcionais. A definição prévia com o cliente sobre em que condições o teste será considerado conforme ou não-conforme é fundamental: essa decisão deve constar de forma explícita no relatório de ensaio para garantir rastreabilidade e alinhamento entre as partes.

4.1. Avaliações e inspeções

A avaliação funcional da amostra ocorre em três etapas — antes, durante e após o ensaio — e cada etapa tem finalidade distinta dentro do processo de verificação e rastreabilidade de falhas.

4.1.1. Antes do teste

Antes de iniciar o ensaio, a amostra deve ser inspecionada visualmente e submetida a ensaios elétricos e mecânicos. Essa verificação inicial tem dois propósitos principais: (a) confirmar que não existem danos pré-existentes que possam comprometer a interpretação dos resultados e (b) estabelecer um estado funcional de referência. Assim, se uma falha ocorrer depois, ela pode ser atribuída com maior confiança ao estresse imposto pelo ensaio e não a um defeito anterior.

4.1.2. Durante o teste

Durante o ensaio, o monitoramento funcional concentra-se principalmente em testes elétricos. Esses testes permitem detectar o instante ou a fase em que a amostra deixa de cumprir a sua função

4.1.3. Após o teste

Ao término do ensaio, a condição física e funcional da amostra é avaliada para decidir se ele passou ou falhou. Esta fase pode envolver diferentes testes, descritos a seguir em procedimentos específicos.

4.2. Procedimentos específicos de testes funcionais

4.2.1. Teste funcional em alta umidade

No ciclo final do ensaio, a câmara mantém a temperatura em 25 °C e a umidade relativa (UR) em 93 % por 3,5 horas. Nas últimas duas horas desse ciclo, devem ser executados testes elétricos e mecânicos. Essa sequência permite observar o comportamento da amostra sob condições de elevada umidade durante um período significativo e verificar eventuais efeitos imediatos sobre a funcionalidade. Deve ficar definido com o cliente, antecipadamente, como será tratada a condensação (por exemplo, se será removida ou não) antes da remoção da amostra da câmara.

4.2.2. Teste funcional imediatamente após a remoção

Logo após a retirada da câmara, deve ser repetido o mesmo teste funcional realizado antes do ensaio. Esse teste imediato deve ocorrer dentro de 1–2 horas após a remoção. A finalidade é verificar se a exposição ambiental alterou a função da amostra em um intervalo curto e sob as mesmas condições laboratoriais do teste inicial, de modo a permitir comparação direta. Caso o teste seja realizado muito próximo no tempo, ele pode ser repetido dentro desse intervalo; o segundo teste funcional é o critério utilizado para a decisão de conforme/não-conforme.

4.2.3. Teste funcional após secagem

Depois dos testes funcionais iniciais, a amostra deve ser submetida a secagem por 24 horas em condições padrão (conforme pré-condicionamento: aprox. 25 °C ± 10 °C e 60 % UR ± 15 %). Se o teste funcional inicial não foi conduzido sob essas condições padrão, o teste realizado após a secagem deve empregar as mesmas condições que foram usadas no teste inicial, garantindo comparabilidade. Durante as 24 horas de secagem é possível realizar medições adicionais, porém apenas o teste funcional executado após esse período de 24 horas é considerado relevante para a decisão final de aprovação ou reprovacão. O escopo e eventuais tempos adicionais

para esses testes podem ser ajustados em acordo com o cliente.

5. ESPECIFICAÇÕES DO EQUIPAMENTO DE ENSAIO

A norma IEC 60068-3-5 exige uniformidade interna. A temperatura entre quaisquer dois pontos do espaço de ensaio não deve variar mais que 1 K. A umidade relativa também deve ser estável em todo o volume da câmara.

5.1. Circulação de Ar

Para garantir a uniformidade térmica e de umidade, a agitação contínua do ar no espaço de teste é obrigatória. O equipamento deve ter ventoinhas que distribuem o ar de forma homogênea, sem criar jatos diretos sobre as amostras, que poderiam causar diferenças de temperatura localizadas.

5.2. Proteção contra Gotejamento e Drenagem de Água

O design da câmara deve impedir que a água condensada pingue sobre as amostras durante o teste. Para isso, câmaras adequadas possuem forro secundário e calhas de retenção de condensado. A água coletada deve ser drenada continuamente e não pode ser reutilizada sem purificação.

5.3. Ausência de Calor Radiante

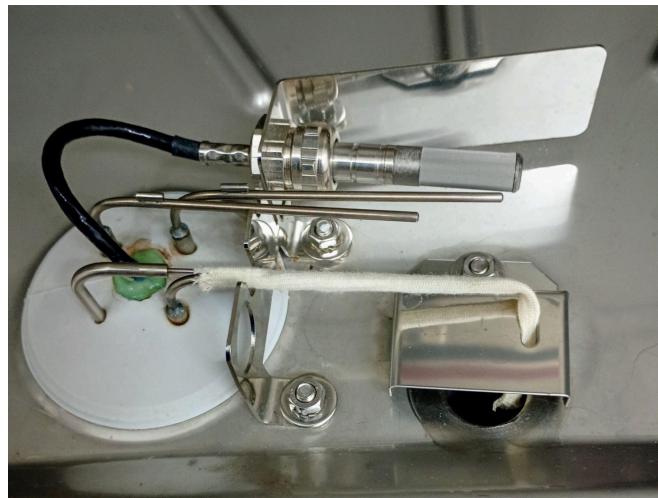
O projeto do equipamento deve assegurar que fontes de calor (como geradores ou radiadores) não causem radiação direta sobre as amostras durante o ensaio úmido. O aquecimento deve ser feito pelo ar interno da câmara para não alterar as condições do teste e garantir que o estresse térmico seja uniforme.

5.4. Sensores e Calibração

A câmara climática deve ser equipada com sensores de alta precisão para monitorar temperatura e umidade (ver figura 4). A versão 2021 da norma exige que esses sensores primários sejam posicionados no ar de alimentação (*supply air*) para

garantir medições precisas e consistentes. A calibração periódica, conforme padrões como a ISO/IEC 17025, é obrigatória para assegurar a precisão. Além disso, a instalação de sensores suplementares em diferentes regiões da câmara é uma prática recomendada para verificar a uniformidade e aumentar a rastreabilidade dos resultados, embora não seja obrigatória.

Figura 4: Sensores de Temperatura e Umidade



Fonte: Figura do Autor

5.5. Câmara Climática Vötsch VC³ 4100

A câmara climática Vötsch VC³ 4100 é adequada para realizar o teste conforme a norma IEC 60068-2-38, atendendo aos requisitos de controle de temperatura (± 2 K), umidade relativa ($\pm 3\%$ UR em fases estáveis e 80-96% UR em transições) e taxa de mudança de temperatura (até 1,6 K/min). Equipada com sensores posicionados no ar de alimentação (supply air), conforme exigido pela versão 2021 da norma, é dotada de um sistema de circulação de ar que garante uniformidade térmica (variação máxima de 1 K), a câmara assegura condições homogêneas no espaço de ensaio. Seu design inclui um forro secundário para evitar gotejamento de condensação sobre as amostras e suporta compensação térmica de até 500 W em modo climático, permitindo testes com amostras ativas sem comprometer a estabilidade ambiental. A capacidade de

automação via canais digitais permite sincronizar a ativação das amostras com as fases permitidas, enquanto a qualidade da água de umidificação (pH 6-7, condutividade 5-20 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é mantida conforme IEC 60068-2-67. A Vötsch VC³ 4100 é uma solução confiável para estes ensaios em setores exigentes como automotivo, aeronáutico e instrumentação astronômica.

Tabela 1: Dados para testes da Vötsch VC³ 4100

Parâmetro	Valor (4100)
Faixa de temperatura	-45 a +180 °C
Homogeneidade de temperatura no espaço	$\pm 0,5 \text{ K}$ a $\pm 1,5 \text{ K}$
Taxa de variação de temperatura — Aquecimento	4 K/min
Taxa de variação de temperatura — Resfriamento	3 K/min
Compensação máxima de calor	4500 W
Qualidade da água (umidificação)	desmineralizada
Valor de pH (umidificação)	6 a 7
Condutividade (umidificação)	5 a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Faixa de temperatura (ensaios climáticos)	+10 a +95 °C
Faixa do ponto de orvalho	-3 a +94 °C
Faixa de umidade	10 a 98 % UR
Desvio de temperatura no tempo	$\pm 0,1 \text{ K}$ a $\pm 0,3 \text{ K}$
Homogeneidade de temperatura no espaço	$\pm 0,5 \text{ K}$ a $\pm 1 \text{ K}$
Desvio de umidade no tempo	$\pm 1 \%$ a $\pm 3 \%$ UR
Compensação de calor (ensaios climáticos, na faixa de +25 °C a +95 °C, até 90 % UR)	500 W

Fonte: Vötsch Industrietechnik, *Installation and Operation Manual*, 2010, p.19-20

6. QUALIDADE DA ÁGUA DE UMIDIFICAÇÃO

A qualidade da água utilizada no sistema de umidificação da câmara climática é um fator determinante para a validade do ensaio. A norma estabelece requisitos para

garantir que a água não contamine as amostras ou danifique o equipamento. O não cumprimento dessas especificações pode invalidar os resultados do teste e até mesmo causar falhas secundárias que não estão relacionadas aos mecanismos de estresse pretendidos.

A água deve atender aos critérios de pureza definidos na norma IEC 60068-2-67. As especificações essenciais são:

- **Desmineralização:** A água deve ser desmineralizada, o que significa que foi purificada para remover sais e minerais. Esse processo é realizado pela unidade de desmineralização (figura 5).
- **Condutividade elétrica:** A condutividade da água deve estar entre 5 e 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Uma condutividade fora dessa faixa indica a presença de impurezas que podem, por exemplo, causar depósitos nos bicos nebulizadores da câmara ou corroer os componentes metálicos das amostras.
- **pH:** O pH da água deve estar entre 6 e 7. Essa faixa, próxima do neutro, evita que a água reaja de forma corrosiva com as superfícies e materiais das amostras.

Figura 5 : Unidade de Desmineralização



Fonte: Figura do Autor

Além disso, a norma é clara sobre o manejo da água durante o ensaio:

- **Drenagem Contínua:** A água condensada no interior da câmara deve ser drenada continuamente. É proibido que essa água caia sobre as amostras.
- **Reutilização:** A água coletada não deve ser reutilizada diretamente. Se a reciclagem for necessária, ela deve passar por um tratamento adicional para restaurar as condições de pureza originais. Na prática, a forma mais segura de evitar a contaminação é utilizar água limpa e fresca para cada ensaio.

7. RELATÓRIOS DE TESTE E RASTREABILIDADE

A elaboração de um relatório de ensaio detalhado é fundamental para garantir a rastreabilidade e a reproduzibilidade do teste. O relatório não é apenas um registro de dados, mas um documento que valida o processo, assegura a credibilidade dos resultados e permite que auditorias ou futuras análises sejam feitas com total clareza.

Para ser completo, o relatório deve conter:

- **Identificação das amostras:** Informações sobre o modelo, a versão e o método de preparo de cada amostra.
- **Detalhes do equipamento e da montagem:** Descrição da câmara climática utilizada, incluindo seu modelo e capacidade. O relatório deve especificar como as amostras foram montadas e o espaçamento entre elas.
- **Programa de ensaio:** A versão do software/controlador e a tabela com as sequências de temperatura e umidade.
- **Procedimentos e dados:** Um registro das temperaturas e umidades reais atingidas em cada fase, os tempos de exposição e as taxas de rampa. É recomendável incluir gráficos que mostrem a curva do processo em relação às faixas de tolerância da norma.
- **Critérios de aceitação e falha:** A definição clara dos parâmetros elétricos,

mecânicos ou ópticos monitorados. O relatório deve indicar se as amostras foram aprovadas ou reprovadas com base nesses critérios.

Em caso de falha, a rastreabilidade se torna importante. O relatório deve registrar com precisão:

- **Momento da falha:** Em qual ciclo e em qual fase (aquecimento, frio, condensação) o defeito se manifestou.
- **Análise da causa:** A análise deve indicar se o defeito foi resultado do estresse pretendido pelo teste ou de um evento inesperado. Por exemplo, uma falha pode ser descrita como "o componente falhou no 3º ciclo, durante a fase de condensação a 65°C, devido à entrada de água por uma junta danificada".

Um relatório bem estruturado evita ambiguidades e permite a engenheiros e técnicos entender a causa-raiz da falha, apoiando ações corretivas e o aprimoramento do projeto.

8. ALTERAÇÕES NAS VERSÕES 2021/2022 DA NORMA

A versão mais recente da norma, IEC 60068-2-38:2021 (terceira edição), substituiu a edição anterior de 2009, introduzindo mudanças técnicas e editoriais para aumentar a sua clareza, precisão e padronização. As principais atualizações incluem:

- **Definição do ponto de medição:** A versão 2021 especifica que todas as medições de temperatura e umidade devem ser realizadas no ar de alimentação (supply air), eliminando ambiguidades presentes na versão anterior, que deixava o ponto de medição a critério do testador ou cliente. Isso garante maior consistência e reproduzibilidade dos resultados.
- **Ajuste nas tolerâncias de umidade:** As tolerâncias de umidade relativa foram ampliadas nas fases de transições de temperatura para 80-96% UR, permitindo maior flexibilidade ao sistema de controle da câmara para ajustar a umidade

após mudanças significativas de temperatura, mantendo a precisão em fases estáveis ($\pm 3\%$ UR).

- **Limitação da taxa de mudança após secagem:** A transição de 55 °C para a condição padrão (25 °C \pm 10 °C, 60% UR \pm 15%) no pré-condicionamento agora é limitada a uma taxa máxima de 1 °C/min, evitando choques térmicos que poderiam comprometer a integridade das amostras.
- **Qualidade da água de umidificação:** A norma reforça a exigência de conformidade com a IEC 60068-2-67, especificando água desmineralizada com pH entre 6 e 7 e condutividade de 5 a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com proibição explícita de reutilização de água condensada sem tratamento.
- **Clareza editorial:** Diagramas, fluxogramas e redação foram revisados para maior clareza visual e textual, reduzindo ambiguidades na interpretação das especificações do teste.

Embora a base do procedimento de teste da IEC 60068-2-38 — incluindo a sequência de 10 ciclos, os parâmetros de temperatura e umidade e os objetivos principais — tenha permanecido inalterada, essas mudanças técnicas garantem maior rigor e padronização. Para assegurar a conformidade, é essencial que os ensaios sejam realizados com referência à edição 2021, utilizando equipamentos configurados para medição no ar de alimentação e respeitando as novas tolerâncias e limitações.

9. CONCLUSÃO

O ensaio estabelecido pela IEC 60068-2-38 constitui uma metodologia para a avaliação da confiabilidade de dispositivos eletrônicos encapsulados em condições ambientais críticas. Ao combinar de forma sistemática fases de aquecimento sob alta umidade, resfriamento e congelamento, o protocolo reproduz, de maneira acelerada e controlada, os principais mecanismos de degradação a que esses produtos estão sujeitos em campo. A alternância entre ciclos completos, incluindo congelamento, e

ciclos restritos apenas à condensação permite distinguir com maior clareza os efeitos decorrentes de cada fenômeno físico, possibilitando análises mais precisas sobre a origem das falhas.

Além de proporcionar dados relevantes para o diagnóstico de modos de falha, o ensaio oferece subsídios valiosos para o aprimoramento de processos de projeto, seleção de materiais e estratégias de proteção contra umidade. A etapa final, em que se realizam testes funcionais sob alta umidade estável, assegura a identificação de falhas que possam comprometer o desempenho em uso real. Assim, o método se mostra não apenas como um procedimento de ensaio ambiental, mas também como uma ferramenta estratégica para aumentar a robustez, a durabilidade e a segurança de dispositivos destinados a aplicações em condições adversas.

10. REFERÊNCIAS

Weiss Technik Academy. **The IEC60068-2-38 - Details on the test** [Online]. 2025. Disponível em: <https://digital-learning.weiss-technik-academy.com/course/the-iec60068-2-38-details-on-the-test> Acesso em: 19 ago. 2025.

Weiss Technik Academy. **Testing acc. to IEC 60068-2-38** [Online]. 2025. disponível em: <https://digital-learning.weiss-technik-academy.com/course/iec60068-2-38-en> Acesso em 27 ago. 2025

SchmiAlf. **Steuergerät DKS** Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82080736> Acesso em: 19 ago. 2025.

VÖTSCH INDUSTRIECHNIK. **Installation and Operation Manual: Temperature and Climatic Test Systems**. Alemanha, 2010.