Efeito da temperatura do banho de gelo na calibração de sondas USDA

Nota técnica · 2 de outubro de 2026
Javier Casal

1. Importância da referência de 0,00 °C

A exatidão da temperatura de referência do banho de gelo é crítica para avaliar e calibrar sondas de temperatura USDA.

Durante a calibração em banho de gelo, o controlador parte do pressuposto de que as sondas estão expostas a uma referência válida de **0,00 °C**. O controlador não tem como saber de forma independente se o banho está realmente a 0,00 °C; ele depende de que a condição de referência esteja corretamente estabelecida.

Se a temperatura real do banho for diferente de 0,00 °C e esse desvio não for identificado de forma independente, o erro do banho passa a fazer parte da leitura observada da sonda.

Isso pode ter duas consequências distintas:

1. Uma sonda que na verdade está dentro da janela de aceitação do controlador pode ser rejeitada, ou uma sonda fora da janela pode parecer aceitável.

2. Uma sonda calibrada com sucesso pode receber um offset incorreto, porque o erro do banho de referência pode ser incorporado à calibração.

> **A aceitação da sonda e a exatidão da calibração são questões distintas.**

2. Fontes de desvio do banho de gelo

Um banho de ponto de gelo corretamente preparado e mantido fornece uma referência de temperatura altamente reprodutível, próxima de **0,00 °C**.

No entanto, um banho mal preparado ou mal mantido pode apresentar gradientes de temperatura ou desvios locais em relação ao ponto de gelo.

- Excesso de água líquida, especialmente ao redor ou abaixo das pontas das sondas.
- Pouco gelo em relação à quantidade de água.
- Estabilização insuficiente antes das medições.
- Posicionamento inadequado das sondas ou do termômetro de referência.
- Contato com as paredes ou o fundo do recipiente.
- Equilíbrio térmico insuficiente ou mistura inadequada.
- Contaminação do gelo ou da água com substâncias dissolvidas, que podem baixar o ponto de congelamento.

O gelo retirado diretamente do congelador pode estar inicialmente bem abaixo de 0 °C. Isso não significa que um equilíbrio gelo-água bem estabelecido continuará abaixo de 0 °C, mas é preciso tempo suficiente e preparo correto para obter uma referência de ponto de gelo estável antes da calibração.

Os exemplos a seguir usam, por simplicidade, uma temperatura real do banho de **+0,15 °C**. O mesmo princípio se aplica, com o sinal correspondente, quando a referência está abaixo de 0,00 °C.

3. Rejeição ou aceitação de sondas por uma referência incorreta

Um banho de referência incorreto ou não verificado pode levar o controlador a rejeitar uma sonda que, a 0,00 °C reais, estaria dentro da faixa de calibração permitida.

Apenas como ilustração, suponha uma janela de aceitação de calibração do controlador de **±0,30 °C**. O critério real depende do controlador, do software e do procedimento, e deve ser verificado na documentação do fabricante e nos requisitos regulatórios aplicáveis.

Considere uma sonda com offset real de +0,20 °C a 0,00 °C reais. Essa sonda estaria dentro da janela hipotética de ±0,30 °C.

Mas, se a temperatura real do banho fosse +0,15 °C, o controlador poderia observar aproximadamente:

> +0,20 °C offset da sonda + 0,15 °C desvio do banho = +0,35 °C indicado

O controlador poderia então rejeitar a sonda, embora seu offset real, em uma referência verdadeira de 0,00 °C, seja de apenas +0,20 °C.

O efeito contrário também é possível

Considere uma sonda com offset real de +0,40 °C, fora da janela hipotética de ±0,30 °C.

Se a temperatura real do banho fosse −0,15 °C, o controlador poderia observar aproximadamente:

> +0,40 °C offset da sonda − 0,15 °C desvio do banho = +0,25 °C indicado

O controlador poderia então aceitar uma sonda que teria sido rejeitada em uma referência verdadeira de 0,00 °C.

Portanto, uma indicação de +0,30 °C ou +0,40 °C em banho de gelo não pode, por si só, ser interpretada como um erro da sonda de +0,30 °C ou +0,40 °C, **a menos que a temperatura real de referência no momento da medição seja conhecida e documentada**.

4. Efeito no offset de calibração das sondas aceitas

Nas sondas que permanecem dentro da janela de aceitação do controlador, o erro do banho de referência pode ser incorporado ao offset de calibração gravado.

Essa é potencialmente a consequência mais importante, pois o offset resultante pode afetar depois as leituras de temperatura durante o tratamento a frio.

O controlador determina a correção individual de cada sonda supondo que a referência está a 0,00 °C.

O controlador pode fazer o cálculo corretamente. Mas, se a própria referência estiver incorreta, a correção resultante não representa necessariamente apenas o offset real da sonda: ela pode conter também o erro do banho de referência.

Exemplo

Considere uma sonda cujo erro real a 0,00 °C é 0,00 °C. A sonda, portanto, indica a temperatura corretamente.

Agora coloque essa sonda em um banho que na verdade está a +0,15 °C.

Se o controlador supõe que o banho está a 0,00 °C, pode interpretar os +0,15 °C observados como erro da sonda e aplicar a correção correspondente.

Porém, o desvio de +0,15 °C veio do banho de referência, e não da sonda.

Como resultado, uma correção desnecessária pode ser incorporada ao offset de calibração gravado.

Esse princípio vale quer o offset inicial real da sonda seja positivo, negativo ou nulo. Cada sonda pode receber um offset individual diferente, mas um erro no banho de referência comum pode afetar todas as calibrações feitas com essa referência.

5. Efeito nas medições posteriores do tratamento a frio

Uma vez definido o offset de calibração, o controlador aplica a correção correspondente às leituras posteriores da sonda durante o tratamento a frio. Assim, um erro introduzido na calibração pode gerar uma temperatura indicada diferente da temperatura real da polpa da fruta.

Parâmetro	Valor
Banho real durante a calibração	+0,15 °C
Pressuposto do controlador	0,00 °C
Erro real da sonda	0,00 °C
Possível correção desnecessária	aproximadamente −0,15 °C

Se a temperatura real da polpa chegar depois a **+1,00 °C**, o sistema poderia indicar aproximadamente **+0,85 °C**, conforme o algoritmo real de calibração do controlador, sua resolução interna, a quantização do offset e as regras de arredondamento.

Uma calibração aceita e concluída com sucesso pelo controlador não é necessariamente uma calibração exata se a referência de temperatura utilizada estava incorreta.

O controlador pode calcular corretamente uma correção com as informações de que dispõe, mas não pode determinar sozinho se **a referência suposta de 0,00 °C está correta**.

6. Resolução e arredondamento do controlador

Não se deve supor que a resolução exibida e a resolução interna de medição sejam iguais.

Por exemplo, se um controlador mede internamente com maior resolução, mas exibe o resultado arredondado para o **0,1 °C** mais próximo, apenas o arredondamento da tela pode gerar uma diferença de até aproximadamente **±0,05 °C** entre o valor interno e o exibido.

Esse valor de ±0,05 °C só se aplica quando o controlador realmente arredonda para o 0,1 °C mais próximo. Outros controladores podem usar outras resoluções internas, passos de quantização, métodos de truncamento ou algoritmos de exibição.

Por isso, um valor exibido próximo de um limite de aceitação deve ser interpretado com cuidado.

Quando um resultado de calibração é contestado, o ideal é obter o seguinte na documentação do fabricante do controlador:

- Resolução interna de medição.
- Resolução da tela.
- Resolução ou quantização do offset.
- Método de arredondamento ou truncamento.
- Critério exato de aceitação da calibração.

7. Termômetro de referência e procedimento do banho de gelo

A condição real de referência deve ser verificada com um termômetro calibrado adequado, cuja incerteza de medição seja pequena em relação aos limites de aceitação avaliados.

Para uma verificação técnica de alta qualidade da calibração de sondas USDA, a capacidade de medição recomendada inclui:

- **Resolução:** 0,01 °C ou melhor.
- **Incerteza expandida a 0 °C:** aproximadamente ±0,05 °C ou melhor.
- **Calibração:** válida e rastreável a um padrão metrológico nacional ou internacionalmente reconhecido.

Esses valores são capacidades de medição recomendadas e **não** devem ser interpretados como requisitos regulatórios universais do USDA.

Prática recomendada para o banho de gelo

Uma referência de ponto de gelo de alta qualidade deve ser preparada e mantida segundo práticas metrológicas reconhecidas, como as descritas na **ASTM E563-22**, *Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature*.

1. Use gelo limpo e finamente picado, feito com água destilada ou deionizada.
2. Use água limpa da mesma qualidade para preencher os espaços entre as partículas de gelo, sem formar uma camada significativa de água livre.
3. Aguarde o tempo necessário para o equilíbrio térmico antes de medir.
4. Mantenha uma mistura densa de gelo e água ao redor da zona de medição.
5. Posicione as sondas USDA e o termômetro de referência com profundidade de imersão adequada.
6. Posicione o termômetro de referência perto das pontas das sondas USDA, para que meçam praticamente o mesmo ambiente térmico.
7. Evite o contato dos elementos sensores com as paredes ou o fundo do recipiente.
8. Verifique se a temperatura de referência está estável antes de registrar leituras ou iniciar a calibração.
9. Em ensaios prolongados, mantenha a mistura de gelo e água e retire o excesso de água, se necessário.

O objetivo não é apenas colocar as sondas em um recipiente com gelo e água.

> **O objetivo é estabelecer e manter uma condição de referência válida e conhecida de 0,00 °C no local dos elementos sensores das sondas.**

8. Registro mínimo de calibração

Cada calibração deve ser documentada o suficiente para permitir distinguir depois se um desvio veio da sonda, do banho de referência ou do controlador. Recomenda-se registrar:

Campo	O que registrar
Data e hora	Início e término da calibração
Local e operador	Local do ensaio, identificação do contêiner e pessoa que realiza a calibração
Controlador	Fabricante, modelo, número de série e versão de software/firmware
Termômetro de referência	Fabricante, modelo, número de série, identificação do certificado de calibração e data de vencimento
Temperatura de referência	Leitura real do termômetro de referência durante as medições
Identificação e leituras	Identificação e temperatura indicada de cada sonda USDA antes da calibração
Resultado da calibração	Aceita ou rejeitada para cada sonda e, se disponível, o offset determinado ou gravado pelo controlador
Preparo do banho	Tipo de água e gelo, método de preparo e tempo de estabilização

Essas informações permitem determinar depois se uma discrepância observada veio da sonda, do controlador ou da referência de temperatura.

Conclusão

A aceitação da sonda e a exatidão da calibração são questões distintas.

A janela de aceitação do controlador determina se o procedimento de calibração pode prosseguir.

A exatidão da referência de 0,00 °C determina se a calibração resultante é válida.

Portanto, uma referência de banho de gelo incorreta ou não verificada pode produzir dois efeitos distintos:

1. **Erro de aceitação/rejeição:** pode fazer com que uma sonda que está dentro da faixa permitida seja rejeitada ou, conforme o sentido do erro do banho, mascarar o erro de uma sonda que estaria fora dessa faixa.

2. **Erro de calibração:** nas sondas calibradas com sucesso, o erro do banho de referência pode ser incorporado ao offset gravado e afetar depois a temperatura de polpa indicada durante o tratamento a frio.

Por isso, antes de atribuir inteiramente a uma sonda USDA um desvio de temperatura observado, a temperatura real de referência no momento do ensaio deve ser medida de forma independente, com um termômetro de referência calibrado adequado, e documentada.

Princípio-chave

O controlador pode corrigir o offset de uma sonda, mas não pode corrigir um erro desconhecido da referência de temperatura usada para determinar esse offset.

Nota técnica destinada à orientação geral de engenharia e metrologia. Os critérios de calibração específicos de cada controlador devem sempre ser verificados na documentação do fabricante e nos requisitos regulatórios vigentes.