

Nº 180072

Proposta de método para garantia de rastreabilidade

Fabricio Gonçalves Torres
Regis Renato Dias
Tiago Lopes Santos
Mauricio Giller

*Palestra apresentada
CONGRESSO
INTERNACIONAL DE
METROLOGIA ELÉTRICA,
SEMETRO, 2025, Maceió. 12
slides.*

A Série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.
PROIBIDO REPRODUÇÃO



METROLOGIA

*150 anos de confiabilidade
para um futuro sustentável*

2025

Data: 1 a 4 de dezembro de 2025

Local: Centro Cultural e de Exposições
Ruth Cardoso
Maceió - AL

Proposta de Método para Garantia de Rastreabilidade Metrológica de Padrões de Frequência Disciplinados por GPS

Fabício Gonçalves Torres (IPT); Regis Renato Dias (IPT); Tiago Lopes Santos (IPT) e Maurício Giller (TECPAR)

www.metrologia2025.org.br



Objetivo

- Propor sistemática para calibração de PFGPS (limitado ao uso em medidas de frequência e intervalo de tempo);
- Inclusão de rotinas de checagens operacionais e intermediárias;
- Oferecer subsídios para uma padronização na calibração desses equipamentos em território brasileiro.

Introdução

- Característica de um padrão de frequência:
 - Estabilidade de curto prazo, ou *short-term*;
 - Estabilidade de longo prazo, ou *long-term*.
- *Short-term* é obtido com osciladores de alta performance (OCXO, rubídio, césio).
- *Long-term* é obtido por meio de ajustes regulares (receptores de GNSS).

Diferentes incertezas de <i>aging</i> para alguns tipos de oscilador	
OCXO	$< 3 \times 10^{-9} / \text{mês}$
Rubídio	$< 5 \times 10^{-11} / \text{mês}$
Césio	$\pm 3 \times 10^{-12} / 3 \text{ anos}$

Como garantir rastreabilidade metrológica

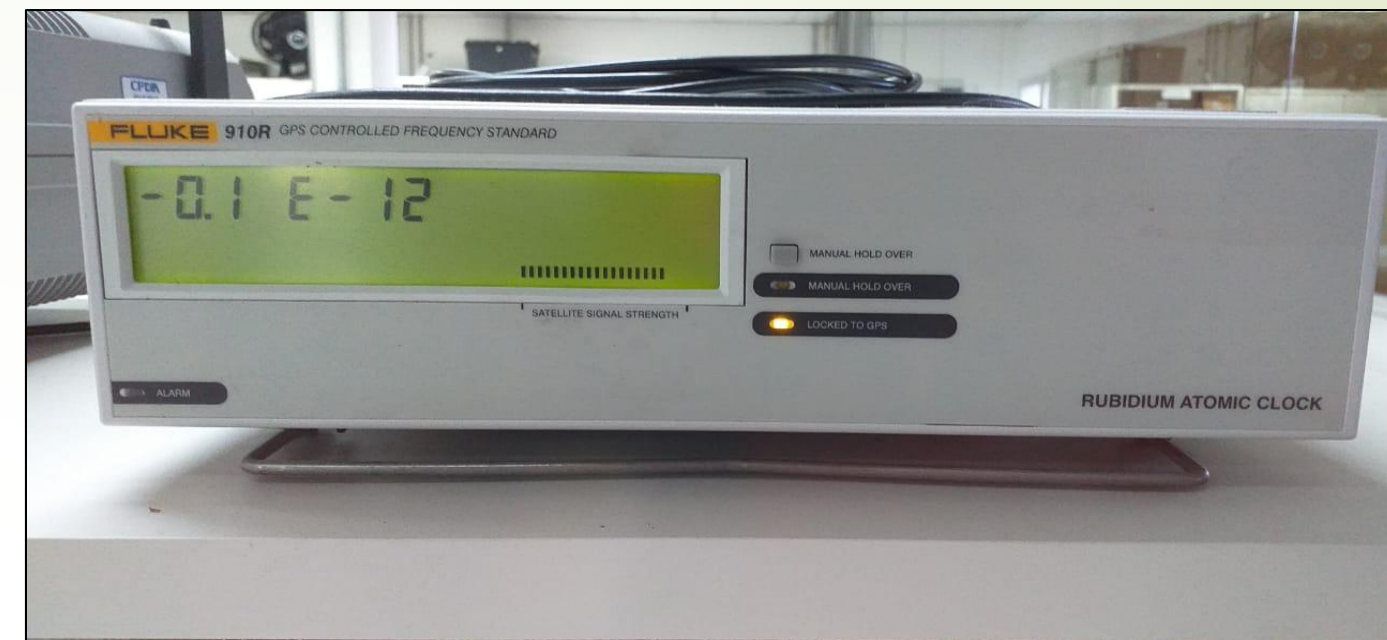
- Calibração usual: Envio de padrão para calibração em LNM ou designado.
 - Vantagens: procedimento usual para laboratórios de calibração; conhecimento do *short-term*.
 - Desvantagens: não é possível obter resultado de *long-term*;
- Calibração remota: método de observação comum (*GPS Common-View*)
 - Vantagens: dispensa do transporte físico dos padrões; pronta disponibilidade dos resultados da calibração.
 - Desvantagens: Necessidade de dispositivos adicionais; contratação de serviço não disponível no Brasil.

Método Proposto para Garantia da Confiabilidade Metrológica dos PFGPS

- Avaliação das Condições Ambientais e Checagens Operacionais.
- Checagem intermediária por meio da saída de 1 PPS.
- Calibração externa do PFGPS no modo Hold-over

Avaliação das Condições Ambientais e Checagens Operacionais

- Condições ambientais;
- Rede de alimentação elétrica;
- Rotinas de self-test;
- Verificação da integridade dos sinais;
- Indicadores visuais do equipamento;
- Registros de desvio de frequência obtidos via softwares do fabricante ou pelo display do equipamento

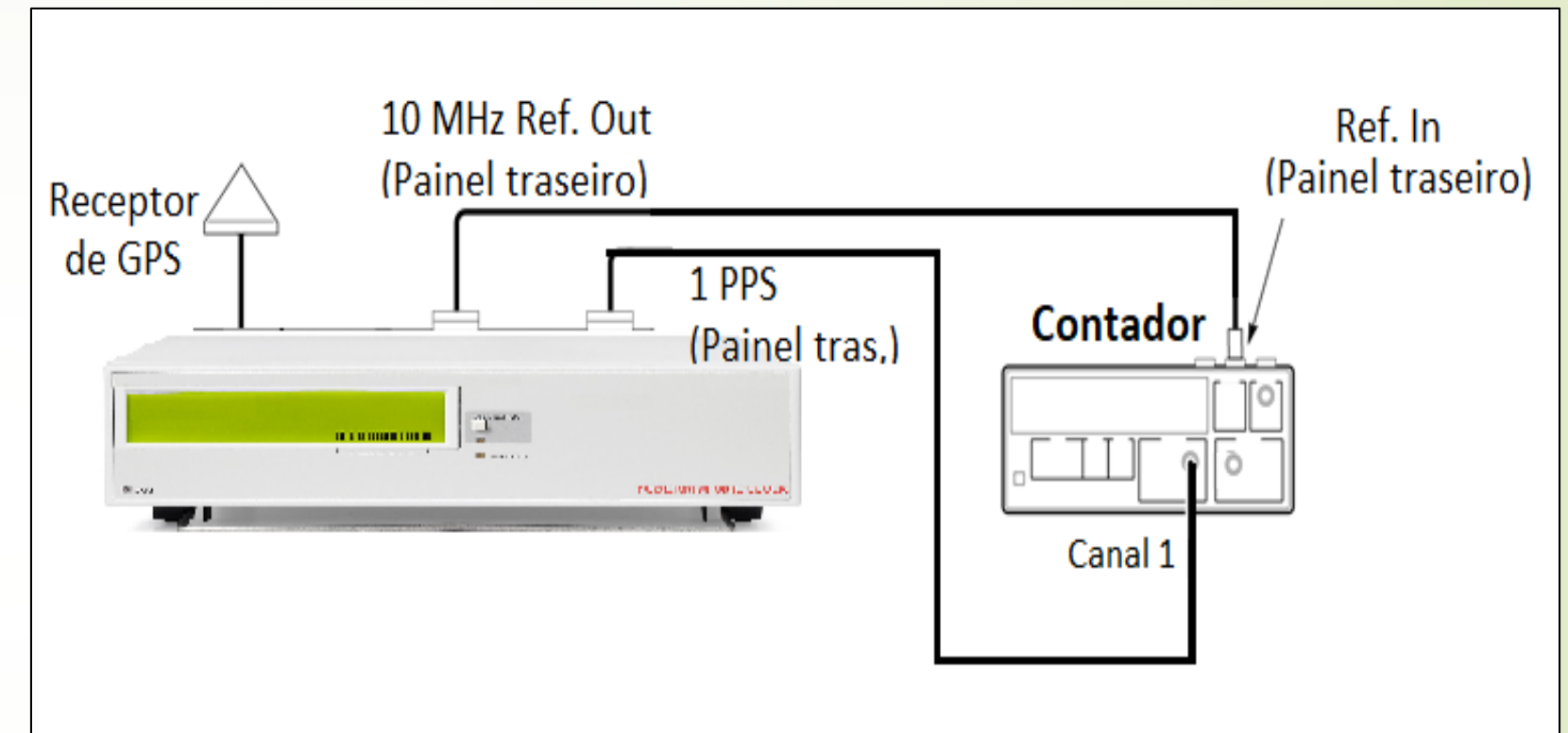


Especificações de um PFGPS	
Temperatura ambiente	23 °C ± 3 °C
Rede elétrica	100 V a 240 V (47 Hz a 63 Hz)
Warm-up	> 24 h (recomendável)
Desvio de frequência no modo disciplinado	< 1 x 10 ⁻¹²

Checagem intermediária por meio da saída de 1 PPS

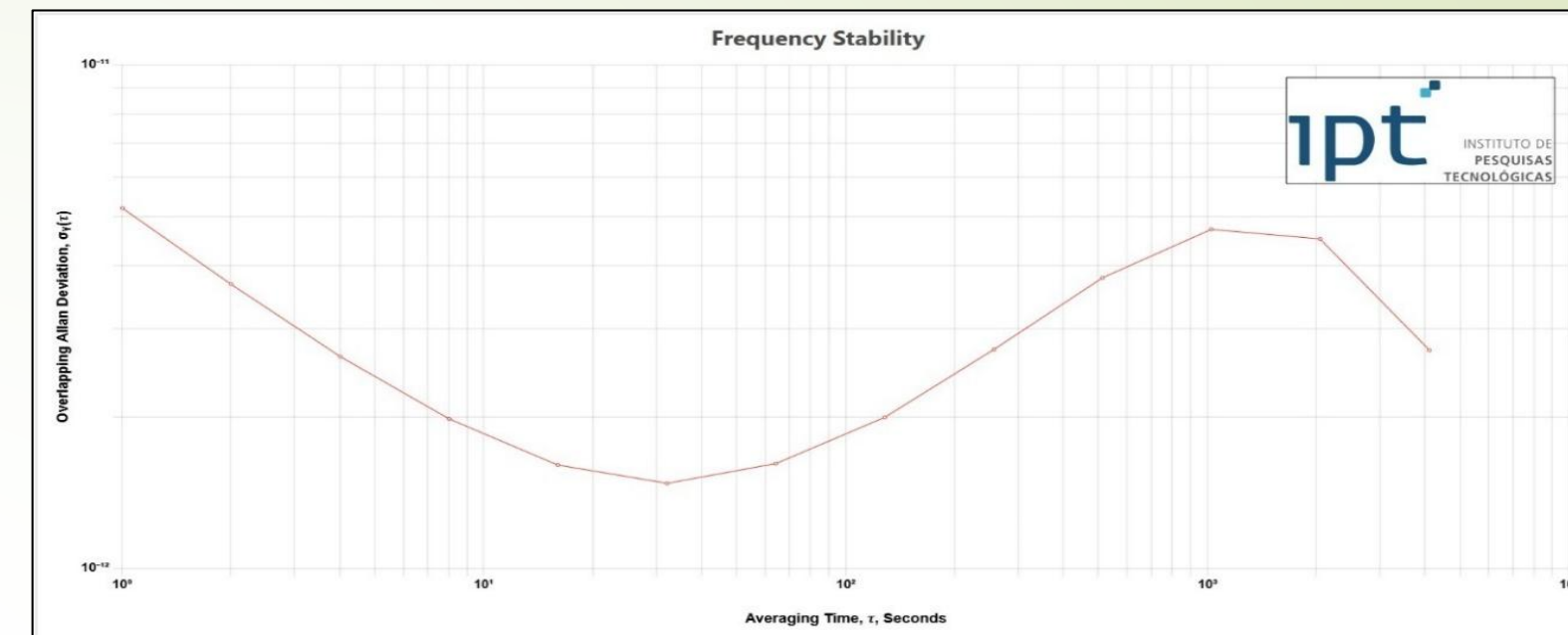
$$Variação\ relativa = \frac{t1 - t2}{\Delta t}$$

- Período da saída de 1 PPS no instante inicial (t1).
- Repete-se a medição após 24 h (t2).
- Taxa de aquisição: 100 s.
- $\Delta t = 86\ 400$ s.
- **Resultado obtido:** $2,0 \times 10^{-15}$ Hz/Hz/dia



Calibração externa do PFGPS no modo *Hold-over*

- Calibração em LNM ou designado;
- Usualmente, utiliza-se padrão de césio;
- PFGPS em modo *Hold-over*, ou seja, com sinal de satélite desativado.
- Definir tempo de aquisição (τ) baseado na aplicação do PFGPS. Recomendação: pior caso.
- Considera-se o desvio de Allan como componente de *short-term* do PFGPS.



Desvio de Allan para a faixa de tempo (τ) crítica para o LME

$\tau = 1 \text{ s}$	$3,90 \times 10^{-12}$
$\tau = 2 \text{ s}$	$3,15 \times 10^{-12}$
$\tau = 4 \text{ s}$	$2,32 \times 10^{-12}$
$\tau = 10 \text{ s}$	$1,54 \times 10^{-12}$
$\tau = 20 \text{ s}$	$1,23 \times 10^{-12}$
$\tau = 40 \text{ s}$	$1,30 \times 10^{-12}$
$\tau = 100 \text{ s}$	$1,95 \times 10^{-12}$
$\tau = 200 \text{ s}$	$2,26 \times 10^{-12}$
$\tau = 400 \text{ s}$	$9,97 \times 10^{-13}$
$\tau = 1\,000 \text{ s}$	$5,59 \times 10^{-13}$

Estimativa da Incerteza de Medição

Contribuição das componentes de incerteza para utilização do padrão de frequência pelo LME.

<i>Descrição das componentes de incerteza e seus respectivos valores relativos</i>	<i>Modo disciplinado</i>	<i>Modo hold-over</i>
Especificação do fabricante para o <i>short term</i> , para $\tau = 1$ s (pior caso) e $t = (23 \pm 3)$ °C	$3,0 \times 10^{-11}$	$3,0 \times 10^{-11}$
Especificação do fabricante para o <i>aging</i> (24 h*), após 14 dias de operação contínua	-	$2,0 \times 10^{-12}$
Desvio de Allan para $\tau = 1$ s (pior caso), obtido do Certificado de Calibração do DISHO	$3,9 \times 10^{-12}$	$3,9 \times 10^{-12}$
Incerteza total	$3,4 \times 10^{-11}$	$3,6 \times 10^{-11}$

* O aging pode ser significativamente maior decorrente do tempo maior de utilização do padrão no modo *hold-over*.

Conclusão

- Método proposto foi aplicado em Laboratório de Metrologia Elétrica, obtendo-se resultados satisfatórios.
- Incerteza de Medição pode ser melhorada a partir do conhecimento de *short-term* do PFGPS.
- Entende-se que este trabalho possa iniciar uma discussão mais ampla sobre a criação de um documento de referência para laboratórios de metrologia brasileiros que utilizam PFGPS como padrões de tempo & frequência



AGRADECEMOS SUA PRESENÇA !