

**Nº 179695**

**Transformação digital em metrologia: uma solução desenvolvida na casa**

**Arthur Augusto Martins**

*Palestra apresentada na TECPAR,  
Curitiba. 19 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**



INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS



# TRANSFORMAÇÃO DIGITAL EM METROLOGIA: UMA SOLUÇÃO DESENVOLVIDA NA CASA

TRM

04.07.25



# OPORTUNIDADE



## Demanda Real e Oportunidade

- Clientes relatam a falta de soluções completas e acessíveis
- Softwares existentes não atendem às especificidades metrológicas
- A solução proposta é uma oportunidade de liderança e diferenciação



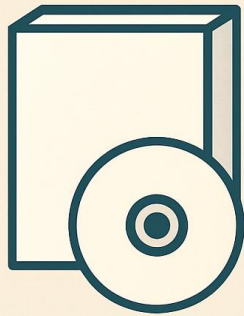
# COMPRAR OU PRODUZIR

**Software  
Interno**



VS

**Software  
de Prateleira**



## Por que Desenvolver Internamente?

- Alinhamento total com os fluxos e requisitos do laboratório
- Resposta rápida a novas demandas e normas
- Redução de dependência de fornecedores externos
- Customização profunda da interface e dos algoritmos



# ATUALIZAR LEGADO

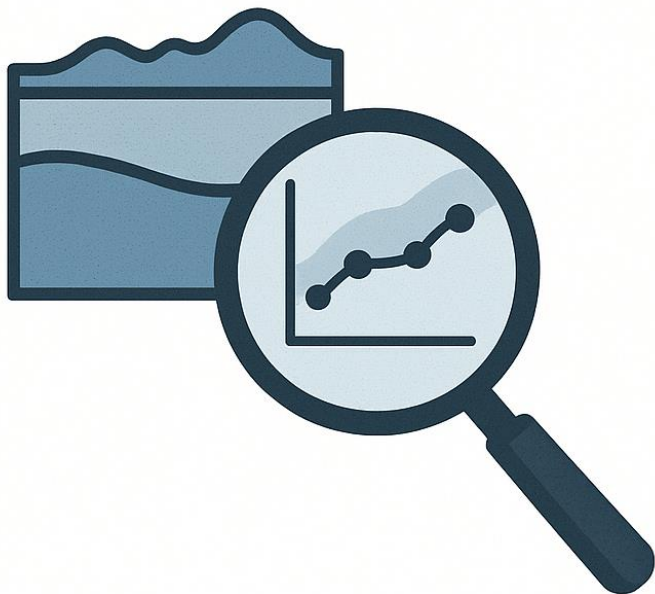


## Atualização Tecnológica Necessária

- Sistemas atuais utilizam bancos de dados legados (ex: MS Access, Firebird, MS-SQL server 2008)
- Dificuldades de manutenção, suporte e escalabilidade
- Novo sistema baseado em tecnologias modernas e sustentáveis



# PROFUNDIDADE TÉCNICA

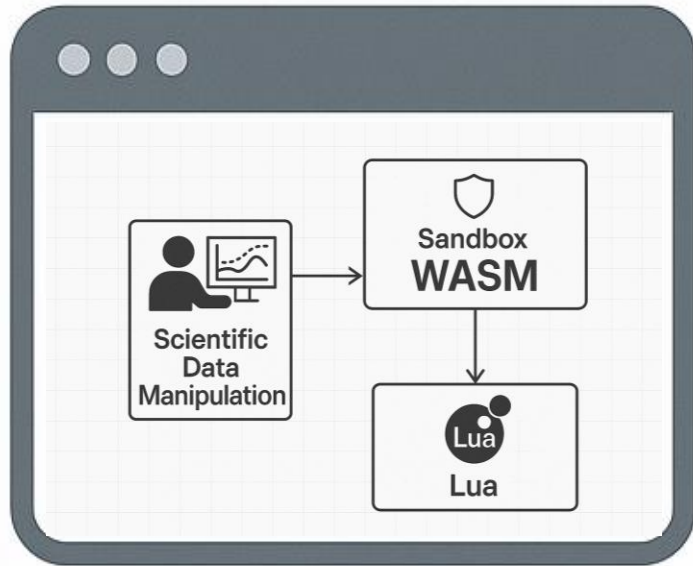


## Profundidade Técnica e Cálculos de Incerteza

- Implementação nativa de modelos complexos de incerteza (GUM, Monte Carlo, modelos híbridos)
- Análise estatística avançada com visualização temporal de tendências
- Suporte a rastreabilidade e modelagem de dependências



# WEB E SEGURO



## Web App

### Arquitetura Web Segura e Flexível

- Acesso remoto com interface leve e responsiva
- Segurança garantida com execução dos cálculos em sandbox via WebAssembly
- Execução de scripts em linguagem embutida controlada



# INTEROPERABILIDADE E IA



## 🧩 Interoperabilidade e UX

- Importação/exportação direta com Excel
- Manipulação intuitiva de tabelas e dados numéricos
- Facilidade de uso mesmo para técnicos sem experiência em TI

## 🤖 Integração com Inteligência Artificial

- Preenchimento automático de campos a partir de descrições livres
- Geração de estruturas de dados com auxílio do ChatGPT
- Redução de retrabalho e ganho de produtividade




















# BENCHMARK

 Funcionalidades de Laboratório

 Funcionalidades de Gestão

 Funcionalidades de Sistema

Funcionalidade	AUTOLAB	ACOMPLAB	Software da Casa 
 Estimativa de incertezas	✓	✗	✓
 Gestão de instrumentos	✓	✗	✓
 Análise de tendências	✓	✗	✓
 Construção de procedimentos	✓	✗	✓
 Modelamento numérico	✓	✗	✓
 Automação de instrumentos	✓ (Incompleto)	✗	
  Geração de relatórios	✓	?	✓
 Orçamentos	✓	✓	✗ (devemos fazer?)
 Recepção de materiais	✓	✓	✗ (devemos fazer?)
 Ordem de serviço	✓	✓	✗ (devemos fazer?)
 Autenticação e Permissão	✓	✓	
 Integração com IA	✗	✗	✓
 Integração com Sistemas IPT	✗	✓ ✓ ✓	





ProCal<sub>v2</sub> beta

Ordem de Serviço   Procedimentos   Instrumentos   Amostras   Modelo   Empresas   Outros ▾

Instrumentos

+ Add Row   AI

FIND INSTRUMENTOS

TAG   like(\*)   P\*   -

+ Find

Descrição	TAG	Nº de Série	Nº de Patrimônio	Modelo	Localização
Multímetro de precisão	P-M007	987654		8508A ▾	P55 2SS
Multímetro digital	P-M005	111	0015	87V ▾	P55 2SS
Calibrador de precisão	P-C002	222	0009	5700A ▾	P55 2SS
Resistor padrão	P-R003	333	0005	1R ▾	P55 2SS
Multímetro de precisão	P-M002	89465	0003	3458A ▾	P55 2SS
Multímetro 6 ½ dígitos	PMUL-001	US36035002	-	34401A HP ▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	PE-MEL01	3146A32256	000103570	▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	PE-010	3146A70887	-	34401A HP ▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	PLTEC-067			34401A Agilent ▾	Agilent
Multímetro 6 ½ dígitos	Padrão 14	3146A44110	-	34401A HP ▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	P342	US36043082	017842	34401A Agilent ▾	Agilent
Multímetro 6 ½ dígitos	PADRAO 4K	3146A56390	-	34401A HP ▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	PREC-129	US36041332	355225672	34401A HP ▾	Hewlett Packard
Multímetro 6 ½ dígitos	P298	MY45002942	83630 / 003680	34401A Agilent ▾	Agilent





# TELAS

+ Add Row

AI Scaffold

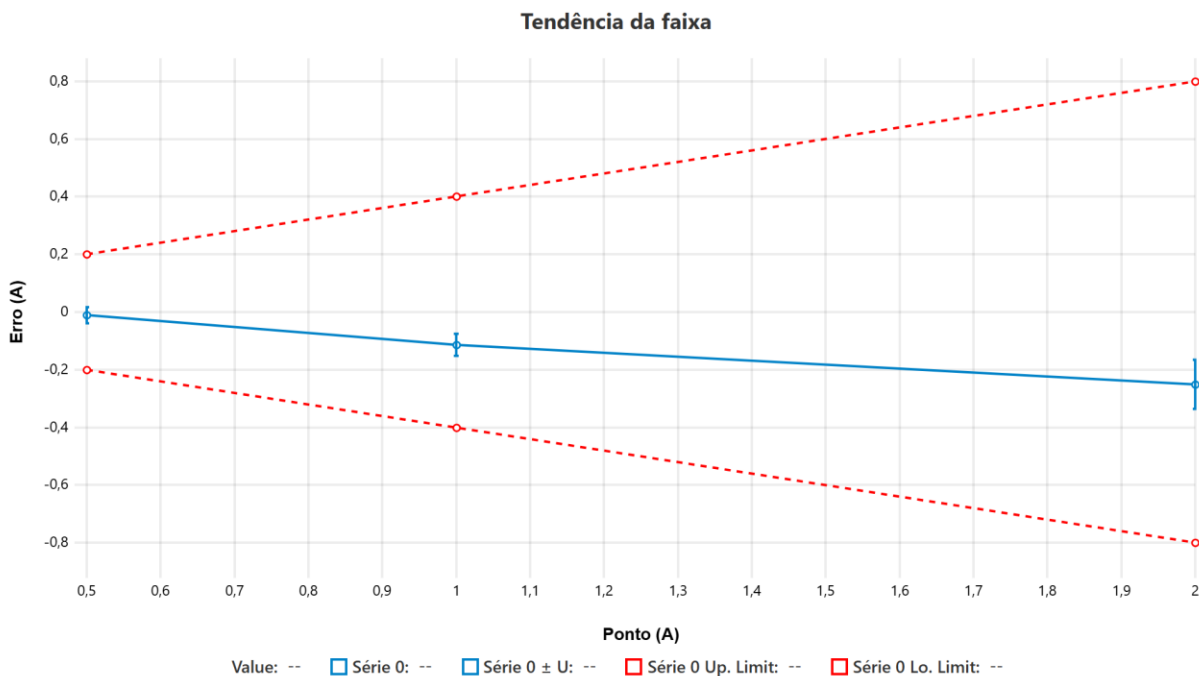
FILTERS

Faixa

0 to 1.09999 A

Faixa	Ponto	Procedimento	Método	Padrões
0 to 1.09999 A	0,4	Queda tensão	(Até 1 A) 3458A 1 V DC (VRp)	P-M002 (VRp)    P-R003 (Rp)
0 to 1.09999 A	0,9	Queda tensão	(Até 1 A) 3458A 1 V DC (VRp)	P-M002 (VRp)    P-R003 (Rp)
0 to 1.09999 A	1	Queda tensão	(Até 1 A) 3458A 1 V DC (VRp)	P-M002 (VRp)    P-R003 (Rp)

Plano de calibração +  
análise gráfica



- Present**
- 0 to 329.999  $\mu$ A
- 0 to 329.999 mA
- 0 to 1.09999 A
- Not Found**
- 0 to 3.29999 mA
- 0 to 32.9999 mA
- 1.1 to 2.99999 A
- 0 to 10.9999 A (20 A Range)
- 11 to 20.5 A
- 0 to 10.999  $\Omega$
- 11 to 32.999  $\Omega$
- 33 to 109.999  $\Omega$
- 110 to 329.999  $\Omega$
- 330 to 1.09999 k $\Omega$
- 1.1 to 3.29999 k $\Omega$
- 3.3 to 10.9999 k $\Omega$
- 11 to 32.9999 k $\Omega$
- 33 to 109.999 k $\Omega$
- 110 to 329.999 k $\Omega$





# TELAS

127.0.0.1:8000/#

ProCal<sub>v2</sub>beta

Ordem de Serviço    Procedimentos    Instrumentos    Amostras    Modelo    Empresas    Outros

Instrumentos / Calibração / Pontos da Calibração / Leituras

Descrição: Calibrador multif...    Certificado: 111111-101    Ponto: 300

+ Add Row    Remove Rows    AI

VI (mA)    VRp (V)

5520A 0 to 329.999 mA    3458A 1 V DC

300	0,303
300	0,302
300	0,302
300	0,302

**Entrada de dados**

		Budget						
Variável	Componente	Expectativa	Inc. Padrão	Divisor	Coef.	Contribuição		
VRp	Fabricante	0 V	0.003 V	1.96	-1	0.0015 A		
Rp	Drift	0 Ω	5.0000e-4 Ω	1.732	0.302 A/Ω	9.5591e-4 A		
VI	Resolução	0 A	5.0000e-4 A	1.732	1	2.8868e-4 A		
VRp	read	0.3023 V	5.0000e-4 V	2	-1	2.5000e-4 A		
Rp	Calibração	1 Ω	9.0000e-5 Ω	1.483	0.302 A/Ω	2.0095e-4 A		
VI	read	0.3 A	0 A	2	1	0 A		
VRp	Resolução	0 V	5.0000e-8 V	1.732	-1	2.8868e-8 A		
VRp	IPT/LME 955426-101 (interp. entre 0.24999798 e 0.49999696)		4.3643e-7 V	1.5717e-7 V	1.96	-1	8.0189e-8 A	

Result						
Unidade	VI	VR	Erro	U	k	veff
mA	300.0	302.2	-2.2	3.7	2.00	∞

**Resultados**

**Tendência do ponto**

**Análise das componentes**

**Tendência e conformidade**

Balço de incertezas

Resultados

Análise das componentes

Tendência e conformidade



## TELAS

Instrumentos

Descrição: Calibrador Multif...

Calibração

Certificado: 111111-101

Relatório

+ Add Row

AI Scaffold

No data

Geração do certificado

0 to 329.999 mA

Unidade	VI	VR	Erro	U	k	veff
mA	0.128	0.125	0.002	0.089	2.28	9
mA	0.300	0.301	-0.001	0.015	2.00	∞
mA	0.300	0.313	-0.013	0.015	2.00	557

0 to 1.09999 A

Unidade	VI	VR	Erro	U	k	veff
A	0.50	0.511	-0.011	0.028	2.52	5
A	1.00	1.114	-0.114	0.038	2.87	4
A	2.00	2.251	-0.251	0.085	2.87	3

0 to 329.999 μA

Unidade	VI	VR	Erro	U	k	veff
μA	3.000000	3.018	-0.018	0.034	2.87	3
μA	0.300000	0.300	0.000	0.0010	2.00	∞

# VALIDAÇÃO

VI (V)	VC (V)
5520A → 3,3 V	8508A → 20 V
3,000000	2,9999989
3,000000	2,9999992
3,000000	2,9999992
3,000000	2,9999993

Captura e Esboço

**Certificado**

Faixa de 0 a 3,3 V DC  
 Erro Máximo Admissível (EMA): ± (0,005 % do valor indicado + 5 µV)

VI (V)	VR (V)	Erro (V)	EMA (V)	U (V)	k	v <sub>eff</sub>
0,330000	0,3299962	0,0000038	0,000022	0,0000017	2,00	∞
1,550000	1,5499882	0,0000118	0,000082	0,0000059	2,00	∞
3,000000	2,999999	0,000001	0,00016	0,000015	2,00	∞

**Autolab (software já validado)**

incertezas de medição

DC - Ponto: 3 V

Entrada	Valor	Incerteza	Divisor	Graus L.	Coef. sens.	Contrib. incert. pad.	Tipo	Gráfico
	0,000000000	1,3E-5 V	1,7321	(infinito)	1	7,506E-6	E	
	0,000000000	5E-7 V	1,7321	(infinito)	-1	2,887E-7	B	
	2,99999915 V	1,732E-7 V	2	3	-1	8,66E-8	A	
	0,000000000	5E-8 V	1,7321	(infinito)	1	2,887E-8	B	
	3,0000000 V	0 V	2	3	1	0	A	

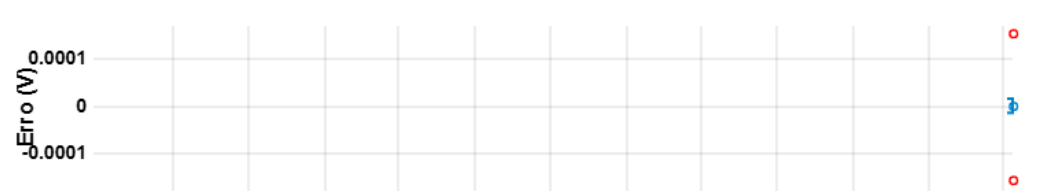
## Budget

Variável	Componente	Expectativa	Inc. Padrão	Divisor	Coef.	Contribuição	
VC	Manual	0	1.3000e-5	1.732	-1	7.5058e-6	
VI	Resolução	0	5.0000e-7	1.732	1	2.8868e-7	
VC	read	3	1.7321e-7	2	-1	8.6603e-8	
VI	read	3	0	2	1	0	
VC	Resolução	0	5.0000e-8	1.732	-1	2.8868e-8	

## Result

Unidade	VI	VR	Erro	U	k	v <sub>eff</sub>
V	3,000000	2,999999	0,000001	0,000015	2,00	∞

## Tendência do ponto





Uso de IA para automatizar a inserção de dados não estruturados no sistema

### AI Automation

✕

4/19

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS  
Laboratório de Metrologia Elétrica / Tecnologias Regulatórias e Metrologicas  
Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0047

Certificado de Calibração Nº 206514-101

**RESULTADOS**

Faixa de 100 mV DC  
Erro Máximo Admissível (EMA): ± (5 ppm do valor indicado + 3 ppm da faixa)

VI (mV)	VR (mV)	Erro (mV)	EMA (mV)	U (mV)	k	V <sub>er</sub>
0.03194	0.032000	-0.000060	0.00030	0.000064	2.02	150
0.04996	0.050030	-0.000070	0.00030	0.000066	2.02	117
0.10002	0.100033	-0.000013	0.00030	0.000078	2.09	28
0.20006	0.199943	0.000117	0.00030	0.000063	2.01	209
0.50000	0.499998	0.000002	0.00030	0.000070	2.03	82
1.00002	0.999978	0.000042	0.00031	0.000073	2.05	53
2.00008	1.999979	0.000101	0.00031	0.000062	2.00	890
5.00004	5.000033	0.000007	0.00033	0.000064	2.00	904
10.00000	10.000029	-0.000029	0.00035	0.000071	2.01	221
25.00014	25.000086	0.000054	0.00043	0.000063	2.00	746
50.00036	50.00015	0.00021	0.00055	0.00011	2.01	265
75.00048	75.00023	0.00025	0.00068	0.00015	2.02	133
100.00067	100.00036	0.00031	0.00080	0.00018	2.02	115
-100.00042	-100.00010	-0.00032	0.00080	0.00018	2.02	117

Faixa de 1 V DC  
Erro Máximo Admissível (EMA): ± (4 ppm do valor indicado + 0.3 ppm da faixa)

VI (V)	VR (V)	Erro (V)	EMA (V)	U (V)	k	V <sub>er</sub>
0.24999941	0.24999896	0.00000045	0.0000013	0.00000015	2.03	90
0.49999949	0.49999851	0.00000098	0.0000023	0.00000028	2.02	123

Scaffold Dados da Calibração
Close

ProCal<sub>v2</sub>
Procedimentos
Instrumentos
Modelo
Unidades
10<sup>0</sup> Prefixos
Distrib

Modelo
Padrões
Reclassificações
Análise do Certificado

Nome: 3458A
Observações: Vamos testar c...
Certificado: 955426-101, Ori...

+ Add Row
✕ Remove Rows
AI Scaffold

FILTERS

Faixa

1 V DC

Faixa	Ponto	Erro	Incerteza	k	Limite
1 V DC	0.24999798	0.00000038	0.00000013	2.00	point*3e-6+5e-6
1 V DC	0.49999696	0.00000065	0.00000026	2.01	point*3e-6+5e-6
1 V DC	0.74999610	0.00000093	0.00000038	2.00	point*3e-6+5e-6
1 V DC	0.99999507	0.00000105	0.00000051	2.00	point*3e-6+5e-6
1 V DC	-0.99999498	-0.00000120	0.00000050	2.00	point*3e-6+5e-6

### Análise do Certificado

Value: --
■ Série 0: --
■ Série 0 ± U: --
■ Série 0 Up. Limit: --
■ Série 0 Lo. Limit: --

SÃO PAULO  
GOVERNO DO ESTADO



# Uso de IA para automatizar a inserção de dados não estruturados no sistema

## AI Automation

Captura e Esboço

Novo

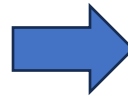
### Dc voltage

Range	Full scale	Maximum resolution	Input impedance	Temperature coefficient (ppm of reading + ppm of range) / °C	
				Without ACAL <sup>1</sup>	With ACAL <sup>2</sup>
100 mV	120.000000	10 nV	> 10 GΩ	1.2 + 1	0.15 + 1
1 V	1.20000000	10 nV	> 10 GΩ	1.2 + 0.1	0.15 + 0.1
10 V	12.00000000	100 nV	> 10 GΩ	0.5 + 0.01	0.15 + 0.01
100 V	120.0000000	1 μV	10 MΩ ± 1%	2 + 0.4	0.15 + 0.1
1000 V	1050.000000	10 μV	10 MΩ ± 1%	2 + 0.04	0.15 + 0.01

### Accuracy<sup>3</sup> [ppm of reading (ppm of reading for Option 002) + ppm of range]

Range	24 hour <sup>4</sup>	90 day <sup>5</sup>	1 year <sup>5</sup>	2 year <sup>5</sup>
100 mV	2.5 + 3	5.0 (3.5) + 3	9 (5) + 3	14 (10) + 3
1 V	1.5 + 0.3	4.6 (3.1) + 0.3	8 (4) + 0.3	14 (10) + 0.3
10 V	0.5 + 0.05	4.1 (2.6) + 0.05	8 (4) + 0.05	14 (10) + 0.05
100 V	2.5 + 0.3	6.0 (4.5) + 0.3	10 (6) + 0.3	14 (10) + 0.3
1000 V <sup>6</sup>	2.5 + 0.1	6.0 (4.5) + 0.1	10 (6) + 0.1	1 (10) + 0.1

Scaffold Dados da Calibração Close



## ProCal<sub>v2</sub>

Procedimentos Instrumentos Modelo Unidades Prefixos Distribuições Templates

Modelo / Faixas

Nome: 3458A

+ Add Row AI Scaffold

100 V - 500 kHz to 1 MHz	100	500000	1000000	M	V	0,011
100 V - 1 MHz to 2 MHz	100	1000000	2000000	M	V	0,011
1000 V - 1 Hz to 40 Hz	1000	1	40	M	V	0,011
1000 V - 40 Hz to 1 kHz	1000	40	1000	M	V	0,022
1000 V - 1 kHz to 20 kHz	1000	1000	20000	M	V	0,011
1000 V - 20 kHz to 50 kHz	1000	20000	50000	M	V	0,011
1000 V - 50 kHz to 100 kHz	1000	50000	100000	M	V	0,033
1000 V - 100 kHz to 300 kHz	1000	100000	300000	M	V	0,011
1000 V - 300 kHz to 1 MHz	1000	300000	1000000	M	V	0,011
100 mV DC	100	0	100	m	V	1e-8
1 V DC	1	0	1		V	1e-8
10 V DC	10	0	10		V	1e-7
100 V DC	100	0	100		V	0,000001
1000 V DC	1000	0	1000		V	0,00001







Uso de IA para automatizar a inserção de dados não estruturados no sistema

### AI Automation

VI	VRp
0,300	0,310
	0,310
	0,318
	0,315
	0,314
	0,312
	0,317
	0,315
	0,319
	0,314

**Scaffold Dados da Calibração** Close



ProCal<sub>v2</sub> | Procedimentos | Instrumentos | Modelo | Unidades | Prefixos

Instrumentos / Calibração / Pontos da Calibração / Leituras

Descrição: Calibrador Multif... | Certificado: 111111-101 | Ponto: 0.3

**+ Add Row** **AI Scaffold**

VI	VRp
0,300	0,310
0,300	0,310
0,300	0,318
0,300	0,315
0,300	0,314
0,300	0,312
0,300	0,317
0,300	0,315
0,300	0,319
0,300	0,314

#### Budget

Variável	Componente	Inc. Padrão	Divisor	Coef.	Contribuição
Rp	Drift	0.003	1.732	0.3144	0.0055
Rp	Calibração	0.002	1.483	0.3144	0.0043
VRp	read	0.0031	3.1623	-0.9999	9.7989e-4
VI	Resolução	5.0000e-4	1.732	1	2.8868e-4
VRp	Reclass	2.0000e-4	1.96	-0.9999	1.0205e-4
VI	read	5.8514e-17	3.1623	1	1.8504e-17
VRp	Análise do Certificado	1.6349e-7	1.96	-0.9999	8.3421e-8

#### Result

Unidade	VI	VR	Erro	U	k	veff
mA	0.300	0.314	-0.014	0.014	2.00	∞

#### Tendência do ponto

Time: -- ■ Série 0: -- ■ Série 0 ± U: --  
■ Série 0 Up. Limit: -- ■ Série 0 Lo. Limit: --





# PRÓXIMOS PASSOS



Próximos Passos - Validação em cenários reais:

- 🤝 **Parcerias com laboratórios de calibração e ensaio**, que representam os principais usuários-alvo do sistema;
- 🧪 **Testes em ambientes com grande volume de dados históricos e complexidade operacional;**
- 👥 **Adoção por múltiplos usuários simultâneos;**
- 👍 **Feedback técnico e funcional** para aprimoramentos.



# Obrigado!

- Artur Augusto Martins
- [arturm@ipt.br](mailto:arturm@ipt.br)

 [linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)

 [instagram.com/ipt\\_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)

 [youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

 **ipt**  
INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

 **SÃO  
PAULO**  
GOVERNO  
DO ESTADO

# Thank you!

- Name
- Contact

 [linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)

 [instagram.com/ipt\\_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)

 [youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

 **ipt**  
INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

 **SÃO  
PAULO**  
GOVERNO  
DO ESTADO