

Nº 179358

Transformação digital na metrologia e nos serviços de calibração

Artur Augusto Martins
Felipe Jaroletto Silva
Juliana Ferreira de Oliveira
Wellington de Chaves

*Palestra apresenta na comemoração
de 90 anos de Metrologia, IPT, 2024.*

38 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

90

ANOS DE
METROLOGIA
NO IPT

TRM Tecnologias Regulatórias e Metrológicas

Tecnologias Regulatórias e Metrológicas - TRM

METROLOGIA ELÉTRICA ELETRICIDADE E MAGNETISMO TELECOMUNICAÇÕES ELETROMÉDICOS FÍSICO-QUÍMICA (CONDUTIVIDADE E pH)	 11 PESSOAS 1 DOUTOR 6 GRADUADOS 4 TÉCNICOS
METROLOGIA MECÂNICA MASSA E PRESSÃO FORÇA, TORQUE, DUREZA E IMPACTO TEMPERATURA E UMIDADE DIMENSIONAL E METROTOMOGRAFIA	 20 PESSOAS 1 DOUTOR 2 MESTRES 3 GRADUADOS 14 TÉCNICOS
REFERÊNCIAS METROLÓGICAS DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DE REFERÊNCIA PROGRAMAS DE PROFICIÊNCIA PROGRAMAS DE INTERCOMPARAÇÕES LABORATORIAIS PESQUISA DE MATERIAIS E CARACTERIZAÇÕES ESPECIAIS	 13 PESSOAS 1 DOUTOR 3 MESTRES 2 GRADUADOS 7 TÉCNICOS
VAZÃO TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E NOVAS ABORDAGENS METROLÓGICAS ÓLEO E GÁS, ÁGUA, SANEAMENTO E <i>SMART METERING</i> VAZÃO DE LÍQUIDOS E GASES: CALIBRAÇÃO E ENSAIOS EM LABORATÓRIO E EM CAMPO TÚNEL DE VENTO: AÇÃO DO VENTO NAS ESTRUTURAS	 30 PESSOAS 6 DOUTORES 4 MESTRES 6 GRADUADOS 14 TÉCNICOS

DADOS RÁPIDOS

- 8400 m² DE ÁREA DE LABORATÓRIOS
- > DE 20% DE MESTRES E DOUTORES
- MAIOR ESCOPO RBC DO BRASIL
- + DE 1000 EMPRESAS ATENDIDAS POR ANO
- + DE 7500 DOCUMENTOS TÉCNICOS EMITIDOS POR ANO
- PRINCIPAL INSTITUIÇÃO INDEPENDENTE PARA APOIO À FISCALIZAÇÃO, CONFORMIDADE E CONFIABILIDADE METROLÓGICA

Eixos Tecnológicos



Óleo e gás

- Apoio à regulação na atividade de fiscalização da medição fiscal da produção de óleo e gás
- Calibração e ensaios de medidores de vazão em laboratório e em campo
- Treinamentos em medição de vazão, incerteza e volume em laboratório e campo
- Programa de proficiência em lubrificantes
- Padrões de viscosidade
- Avaliação da segurança de pouso e decolagem de helicópteros em plataformas
- Estudos da ação do vento em plataformas de petróleo



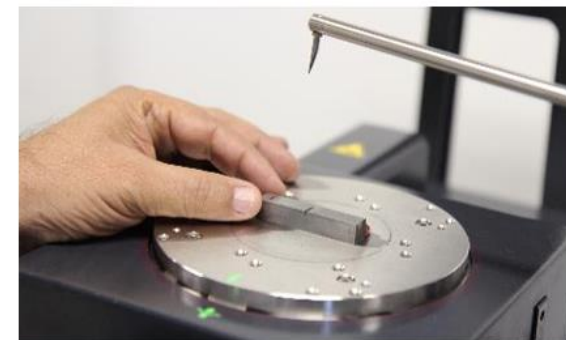
Indústria 4.0

- Desenvolvimento de software e hardware para medições e monitoramento
- Validação de medições IoT e de processos automatizados
- Monitoramento e validação das condições de instalações de equipamentos, aplicações e de IoT
- Calibração de redes de sensores e máquinas (em campo)
- Metrologia digital



Recursos hídricos

- Micromedição, submedição e subfaturamento
- Medição e inventário de água e esgoto
- Validação de balanços hídricos de perdas em sistemas de abastecimento de água
- Materiais de referência de contaminantes em águas naturais
- Calibração em campo de macromedidores de água
- Calibração de medidores de condutividade



Regulação metrológica

- Apoio à regulação de água, esgoto, óleo e gás
- Calibração em campo de medidores de vazão em condições de alta complexidade
- Treinamento e consultoria em metrologia
- Desenvolvimento de parâmetros metrológicos para apoio à regulação de serviços e setores diversos



Saúde

- Calibração de instrumentos médicos (desfibriladores, simuladores de pacientes, simuladores de eletrocardiogramas e marcapassos, bisturis elétricos etc.)
- Avaliação de confiabilidade de protótipos
- Intercomparações de águas para hemodiálise
- Investigação de contaminantes em fármacos



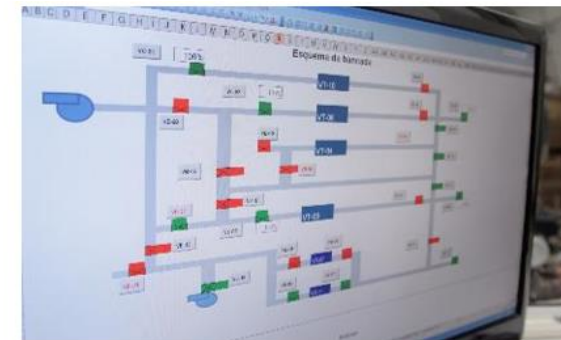
Meio ambiente

- Avaliação de sistemas de medição de vazão para a obtenção de créditos de carbono
- Avaliação de ilhas de calor e conforto térmico
- Dispersão de contaminantes de instalações industriais
- Inventário de água e esgoto
- Padrões de águas naturais
- Caracterização de metais tóxicos em rios e lagos
- Validação de balanços hídricos e perdas em sistemas de abastecimentos de água



Energia

- Ensaio de ímãs para uso em transformadores
- Calibração em alta tensão, alta corrente, força e torque (em campo)
- Medidas de qualidade de energia
- Calibração de anemômetros para parques eólicos
- Estudos de eficiência para a instalação de parques eólicos
- Avaliação da eficiência energética de bombas, ventiladores e compressores
- Programas de proficiência em combustíveis
- Investigação de compostos tóxicos em combustíveis

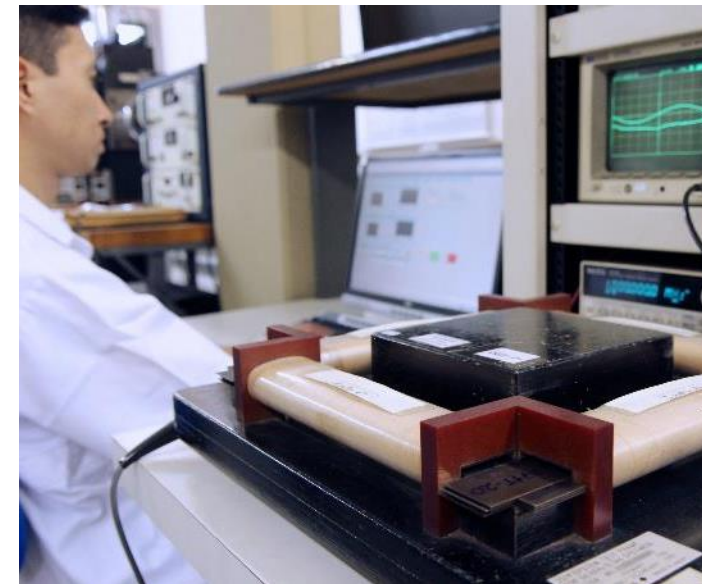
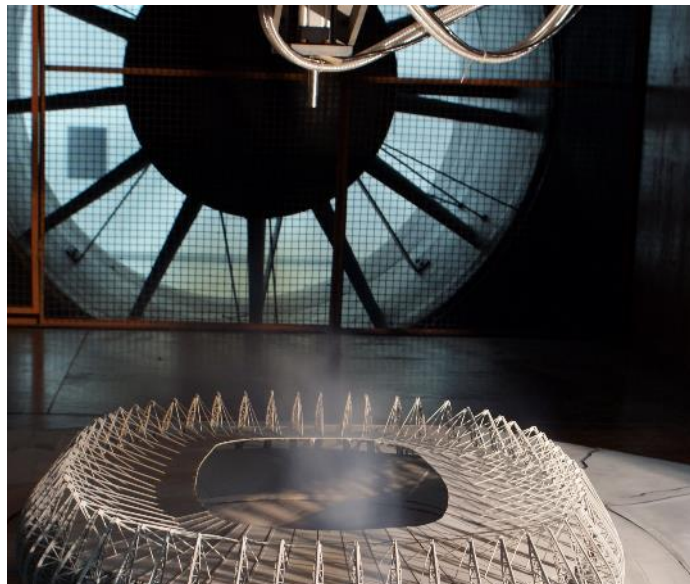


Cidades inteligentes

- Smart metering
- Telemetrologia
- Calibração de radares GNSS
- Calibração de sensores e sistemas de medição em rede
- Apoio a plano diretor e lei de zoneamento
- Avaliação do uso e ocupação do solo e apoio ao plano diretor arbóreo para a melhoria da qualidade do ambiente urbano

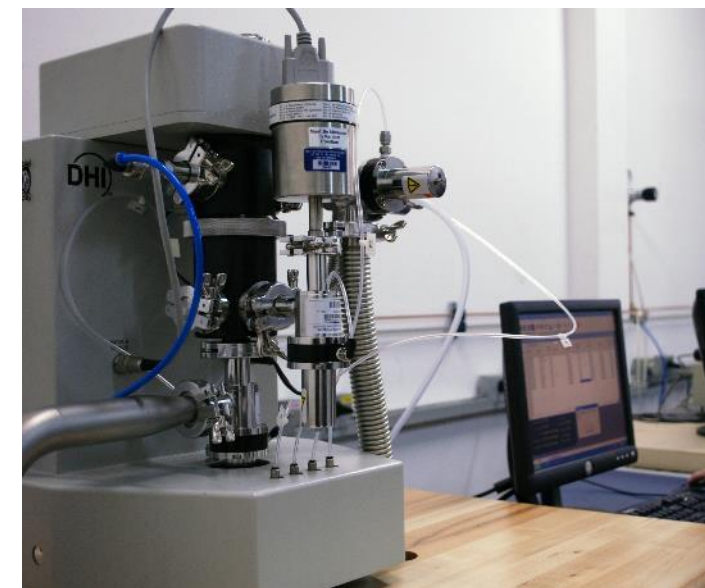
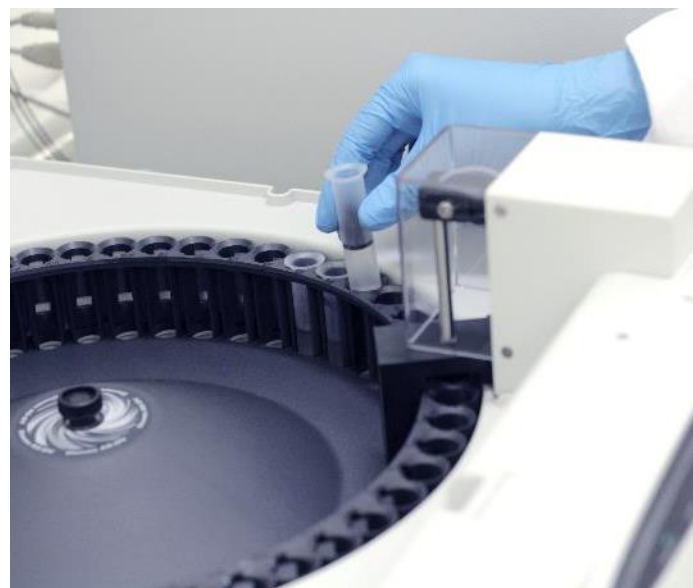
Destques da infraestrutura

- Túnel de vento
- Laboratório de vazão de gás
- Quadro de Epstein para caracterização de aços elétricos
- Tomógrafo

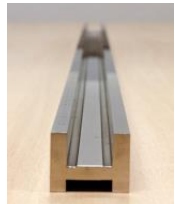


Destques de infraestrutura

- Rack de medição de radiofrequências
- Cromatógrafo de íons
- Espectrômetros de plasma indutivo (óptico e de massas)
- Difratorômetro de Raios X
- Espectrômetros de Raios X
- Balança de pressão para calibração de transdutores de pressão
- Calibração de célula de carga



TRM – A medida exata entre tradição e inovação



Padrões de dimensão e massa

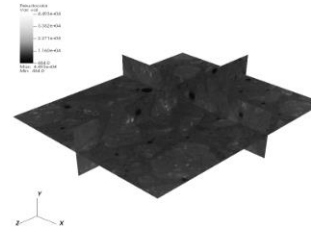
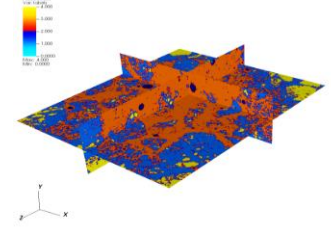
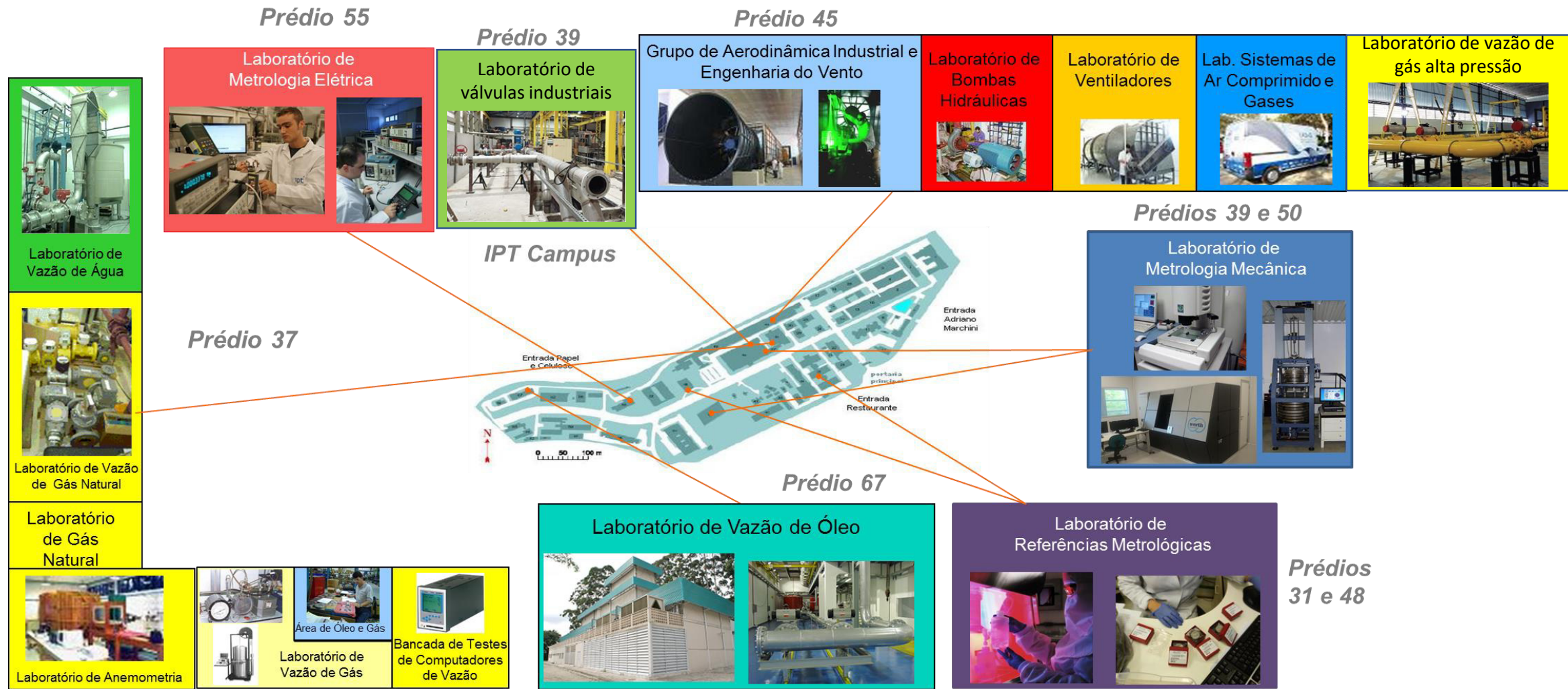


Imagem de porosidade de bloco de concreto obtido por tomografia



Localização dos laboratórios da TRM



IPT - SERVIÇOS METROLÓGICOS, ENSAIOS E ANÁLISES

Grupos de Serviços Acreditados RBC/RBLE (NBR ISO/IEC 17025)

- ✓ ACÚSTICA E VIBRAÇÕES
- ✓ ALTA FREQUÊNCIA E TELECOMUNICAÇÕES
- ✓ DIMENSIONAL
- ✓ ELETRICIDADE E MAGNETISMO
- ✓ FÍSICO-QUÍMICA
- ✓ FORÇA, TORQUE E DUREZA
- ✓ MASSA
- ✓ ÓPTICA
- ✓ PRESSÃO
- ✓ RADIAÇÕES IONIZANTES
- ✓ TEMPERATURA E UMIDADE
- ✓ TEMPO E FREQUÊNCIA
- ✓ VAZÃO E VELOCIDADE DE FLUIDOS
- ✓ VISCOSIDADE
- ✓ VOLUME E MASSA ESPECÍFICA

CLASSE DE ENSAIO
 ENSAIOS ACÚSTICOS, DE VIBRAÇÃO E CHOQUE
 ENSAIOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS
 ENSAIOS MECÂNICOS
 ENSAIOS OPTICOS
 ENSAIOS QUÍMICOS
 ENSAIOS TÉRMICOS

ÁREA DE ATIVIDADE
 AGRICULTURA E PECUÁRIA
ALIMENTOS E BEBIDAS Fev/2024
 AUTOMOTIVA E OUTROS EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE
 BRINQUEDOS, PRODUTOS INFANTIS E ARTIGOS PARA FESTAS
 CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL
 CONSTRUÇÃO CIVIL
 COUROS, CALÇADOS E ARTIGOS AFINS
 ELETRODOMÉSTICOS E SIMILARES
 EMBALAGENS
 EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS MÉDICO-HOSPITALAR E ODONTOLÓGICO
 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE
 MÁQUINAS PARA ESCRITÓRIO E EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA
 MEIO AMBIENTE
 METALURGIA
 MINERAIS METÁLICOS
 MINERAIS NÃO-METÁLICOS
 MOTORES, EQUIPAMENTOS E MATERIAIS ELÉTRICOS
 MOVEIS
 PETRÓLEO E DERIVADOS, GÁS NATURAL, ÁLCOOL E COMBUSTÍVEIS EM GERAL
 PRODUTOS DE BORRACHA E PLÁSTICO
 PRODUTOS DE MADEIRA EM GERAL (EXCETO MOVEIS)
 PRODUTOS DE METAL
 PRODUTOS DE MINERAIS NÃO METÁLICOS
 PRODUTOS DO FUMO
 PRODUTOS QUÍMICOS
 PRODUTOS RELACIONADOS A SAÚDE E SEGURANÇA HUMANA
 SAÚDE HUMANA
 TÊXTIL, VESTUÁRIO E ARTIGOS AFINS



IPT OCP - Organismo Certificador de Produto

Serviços com rastreabilidade assegurada



INFRAESTRUTURA DA QUALIDADE

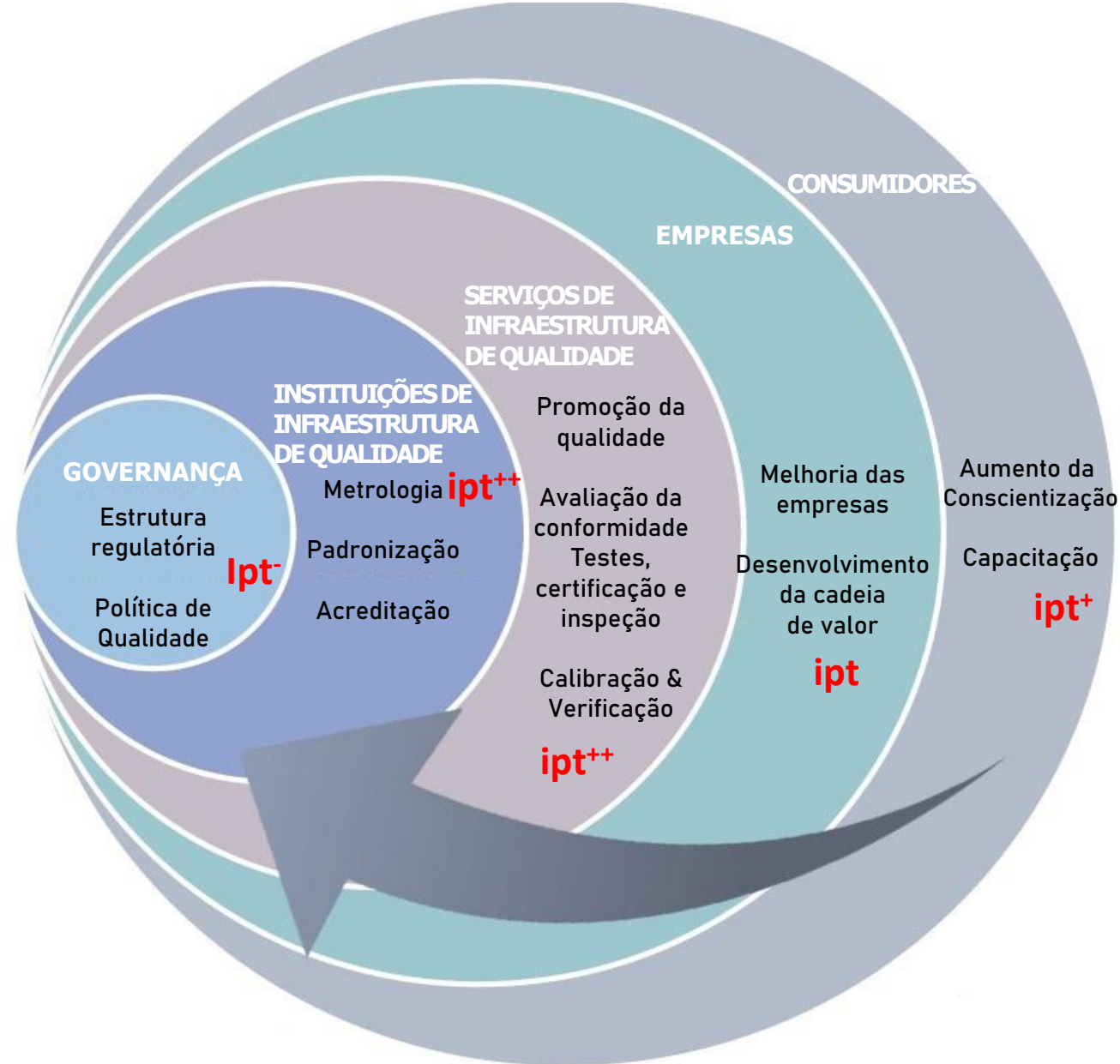


UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

Abordagem sistêmica para o desenvolvimento da IQ



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9
INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE



Adaptado de: UNIDO, Metrology in support of the SDGs



METROLOGIA E ODS 9, 1, 3, 13, 7, 6, 11 E 12

Garantir a igualdade nas condições econômicas para todos os envolvidos



Garantir métricas das mudanças climáticas confiáveis e validadas

Garantir medições para a prevenção, o diagnóstico e o tratamento de doenças



Apoiar a inovação de produtos, a melhoria de processos e a garantia de qualidade



METROLOGIA E ODS 13

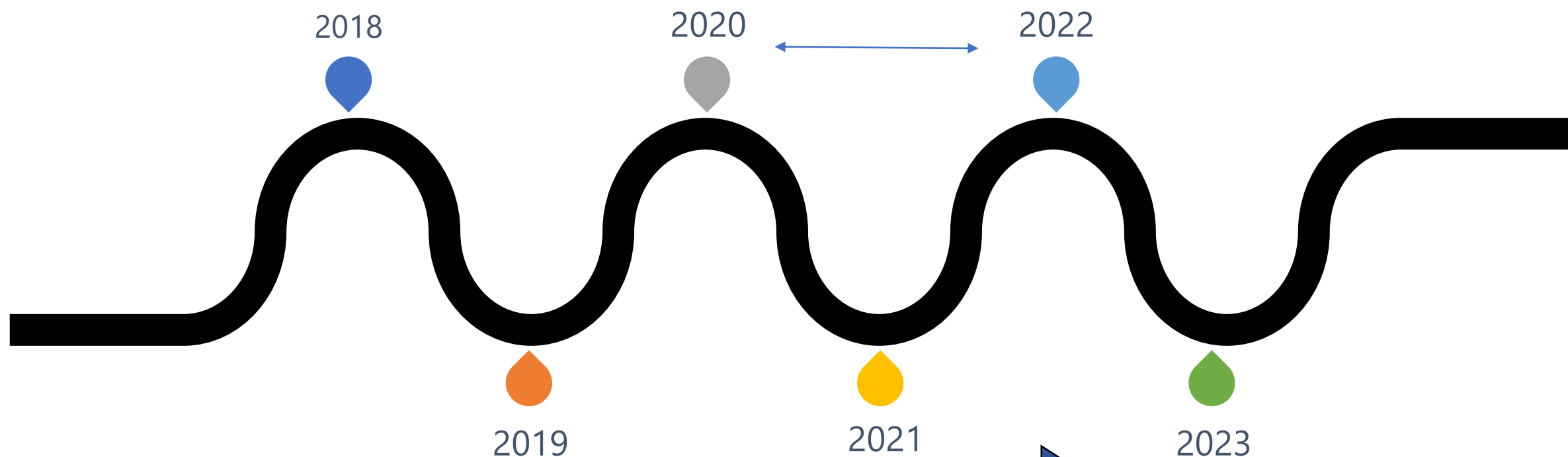
Vídeo da Juliana

90

ANOS DE
METROLOGIA
NO IPT

Transformação digital na Metrologia e nos serviços de calibração

Iniciativas da TRM/IPT visando capacitação e transformação digital



Garagem do CTMetro/IPT
Projetos FINEP
Plano de Desenvolvimento Institucional de Pesquisa - PDIP FAPESP
RECURSOS GESP - Projetos de Capacitação / Projetos motivados

DESAFIOS DO PROJETO DE METROLOGIA AVANÇADA – PDIP FAPESP

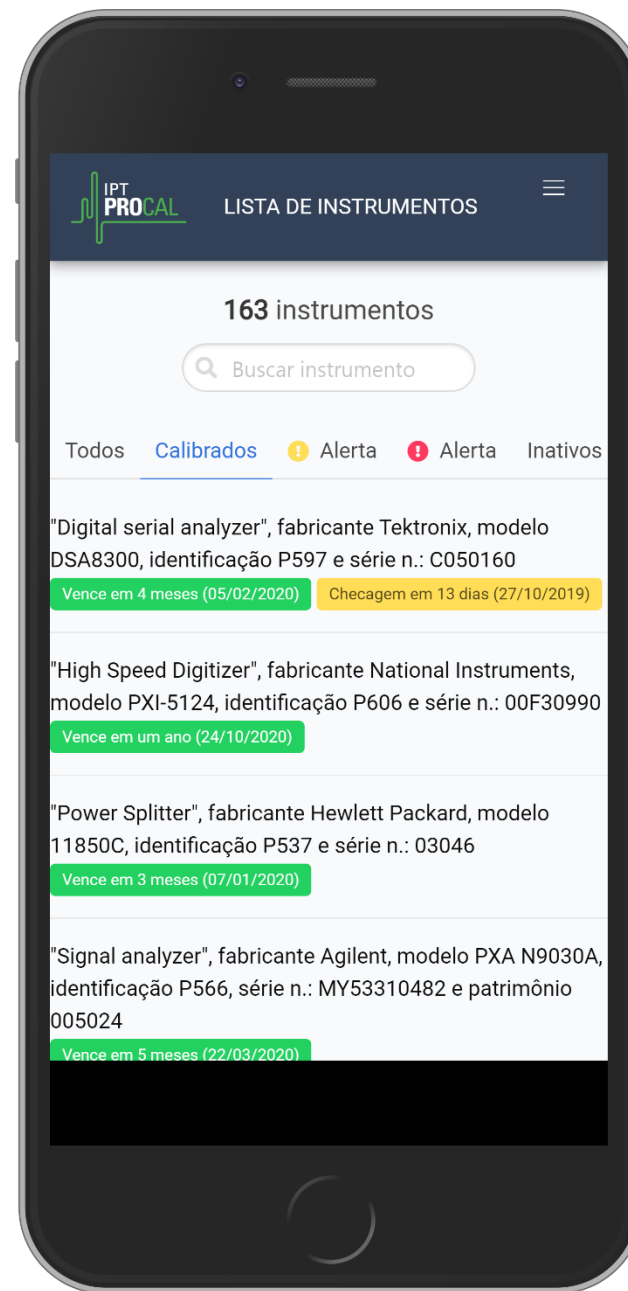


- Disseminação da atividade metrológica como ferramenta essencial para promover segurança, qualidade, competitividade, ganhos financeiros e redução de riscos.
- Transformação digital da Metrologia
 - Metrologia por imagem
 - Metrologia de sistemas dinâmicos
- Novas técnicas aplicadas à metrologia: instrumentação virtual, data science, TIC, IA, *machine learning*.
- Metrologia de *Industrial IoT*



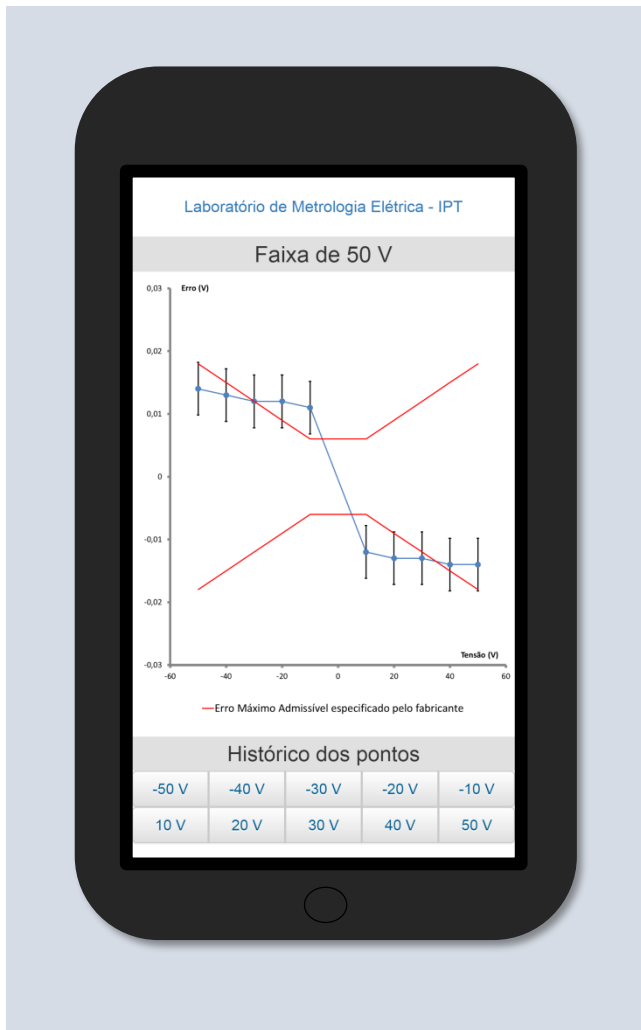
Motivação

- Oportunidade de promover a transformação digital
- Automatizar a análise crítica dos resultados
- Oferecer uma ferramenta de gestão que integra o laboratório ao cliente
- Tornar as informações facilmente acessíveis



2017

Protótipo e início do projeto



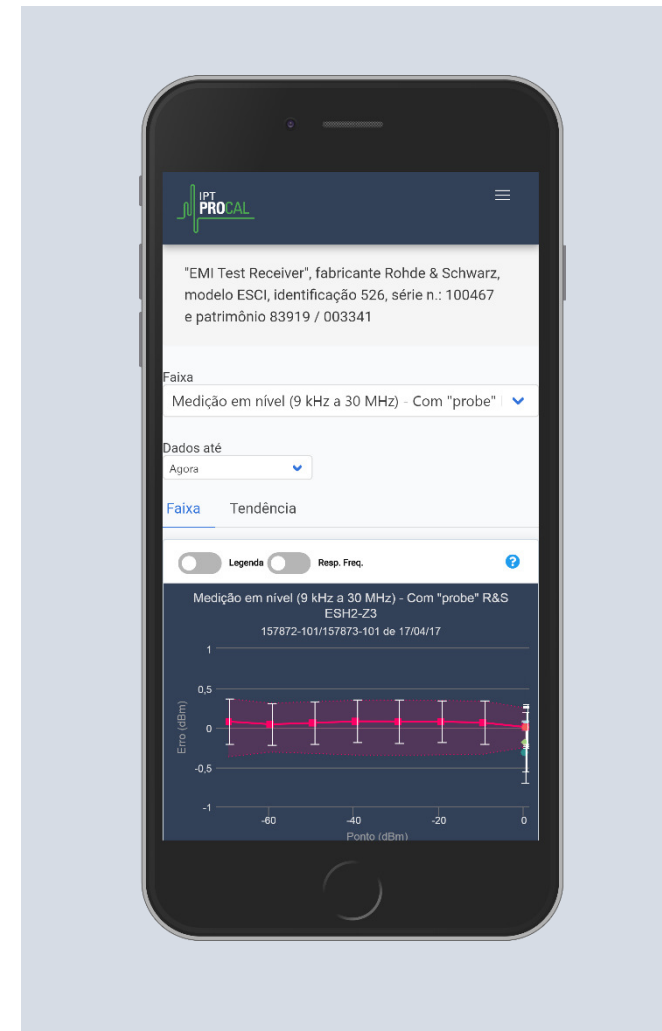
2018

Primeira versão funcional



2019 – 2024

Versão em produção



Cliente recebe e-mail para cadastro e acesso assim que a calibração é encerrada na bancada

Definir senha plataforma IPT ProCal Caixa de entrada x

IPT - ProCal <procal@ipt.br> para danilo@purilub.com.br seg., 4 de nov. 12:04 (há 1 dia)

Olá Artur Augusto Martins,

Você enviou o seu instrumento para o Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT e agora os dados da calibração estão no ProCal, a plataforma que promove a transformação digital na entrega dos resultados da calibração.

Através desta plataforma você poderá visualizar uma prévia dos resultados antes mesmo do certificado ser finalizado. Terá também acesso a ferramentas de gestão e análise dos instrumentos já calibrados em nosso laboratório. Posteriormente, quando a versão final do certificado de calibração assinada digitalmente estiver disponível, você irá receber um novo e-mail com as instruções para realizar o download e avaliar nossos serviços.

Visite o link abaixo para saber mais sobre a Plataforma e definir a sua senha:

[Conhecer mais e definir a senha para o usuário arturm@ipt.br](#)

Caso tenha problemas para acessar a sua conta, por favor entre em contato através do e-mail lme@ipt.br.



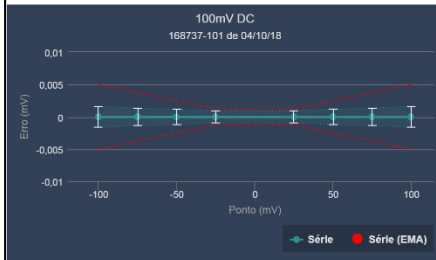
IPT PROCAL

Multímetro 6 ½ dígitos, fabricante Agilent, modelo 34401A, identificação P342, série n.: US36043082 e patrimônio 017842

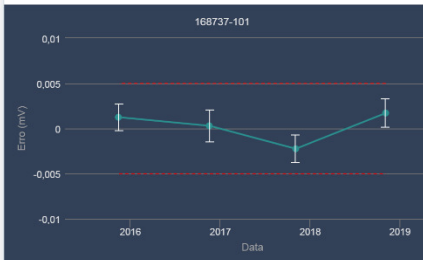
Faixa: 100mV DC

Dados até: Agora

Faixa **Legenda**



Tendência Ponto: -100 mV



Regra de Decisão

Resultado **Conforme** Se $U \times \text{Fator} \leq \text{EMA}$
Resultado **Não Conforme** Se $U \times \text{Fator} > \text{EMA}$

Corrigir

Fator: 1

EMA: Personalizado

Tolerância: 0.005 % + 0 mV

Gravar configurações

Formulas e Aplicação

Indicação do instrumento: mV

Série: -

Formulas

Resultados em mV

Formato: Excel AL

A1

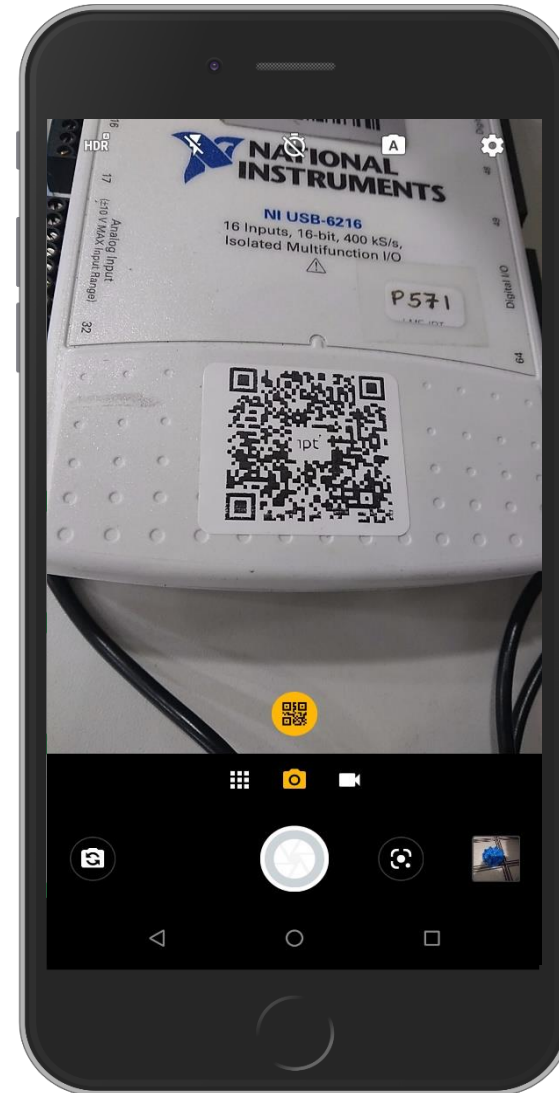
Correção:

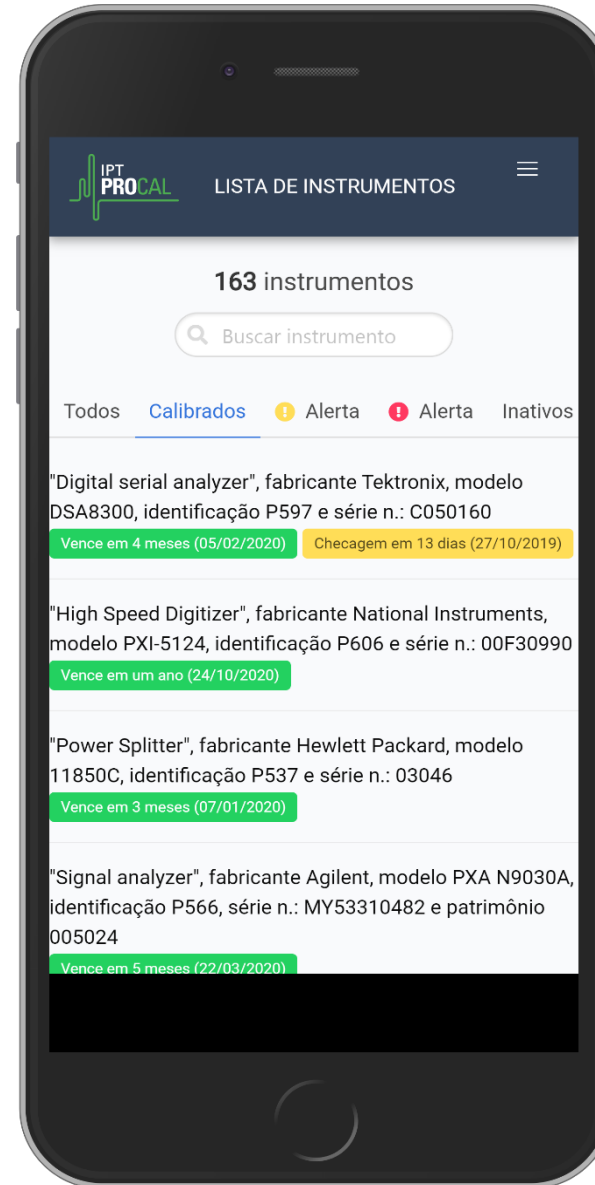
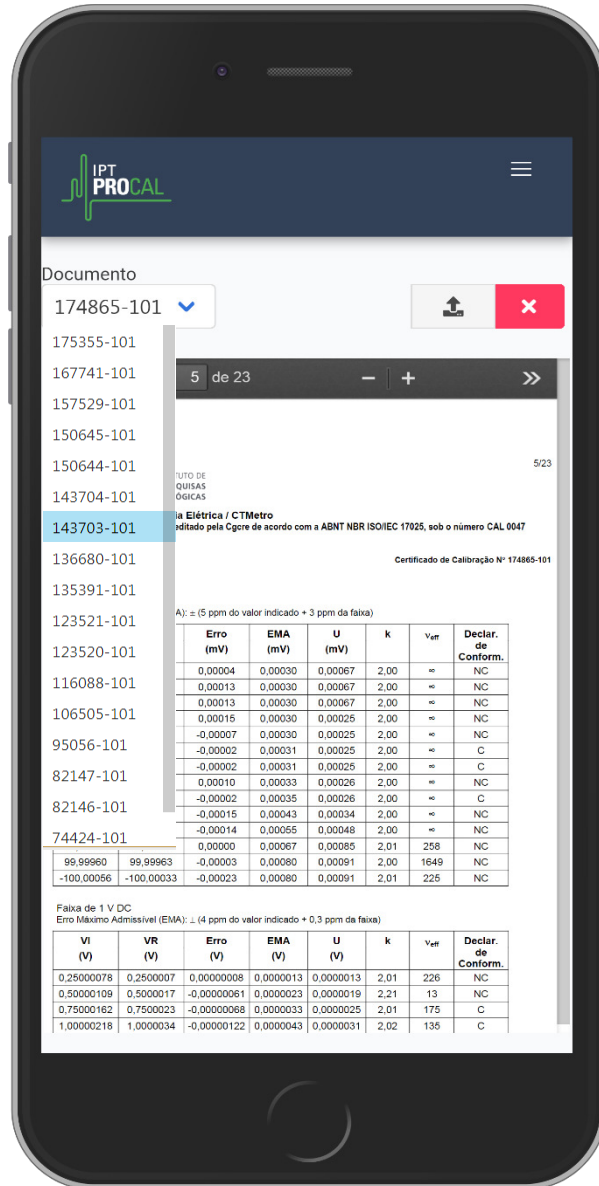
```
se( A1 <= -74,99855 ;  
8,00e-6*A1 - 9,00e-4 ;  
se( A1 <= -49,998625 ;  
-1,50e-3 ;  
se( A1 <= -24,998625 ;  
-1,50e-3 ;  
se( A1 <= 25,001425 ;  
2,00e-6*A1 - 1,45e-3 ;  
se( A1 <= 50,0015 ;  
-4,00e-6*A1 - 1,30e-3 ;  
se( A1 <= 75,0015 ;  
-1,50e-3 ;  
4,00e-6*A1 - 1,80e-3 ) ) ) )
```

Dados e Resultados

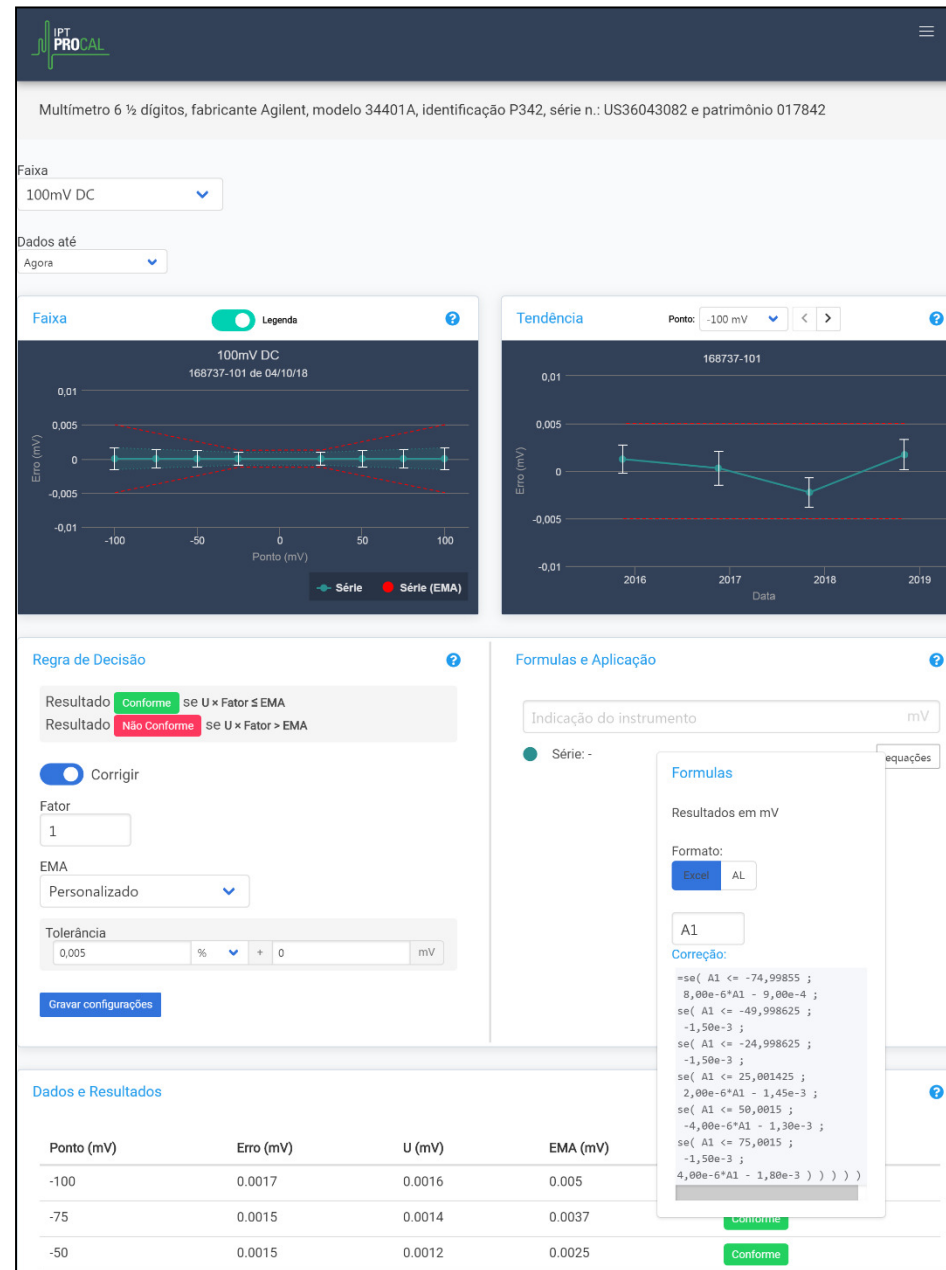
Ponto (mV)	Erro (mV)	U (mV)	EMA (mV)
-100	0.0017	0.0016	0.005
-75	0.0015	0.0014	0.0037
-50	0.0015	0.0012	0.0025

90 ANOS DE METROLOGIA NO IPT

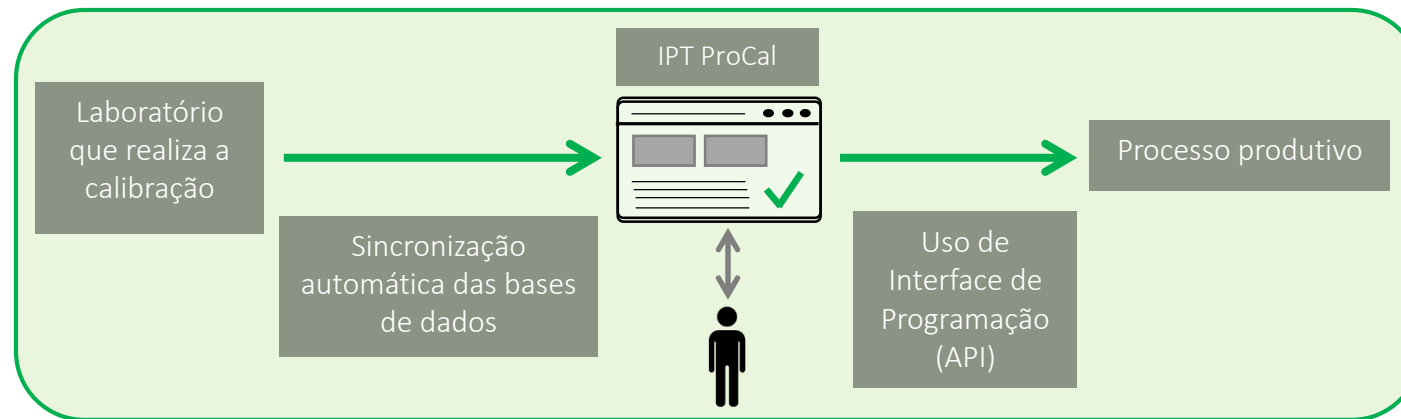
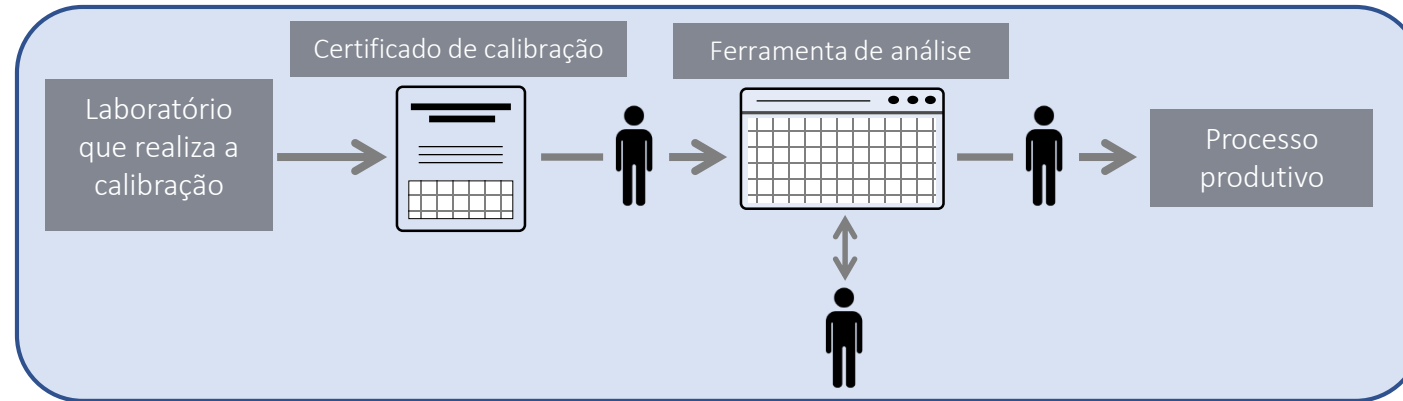




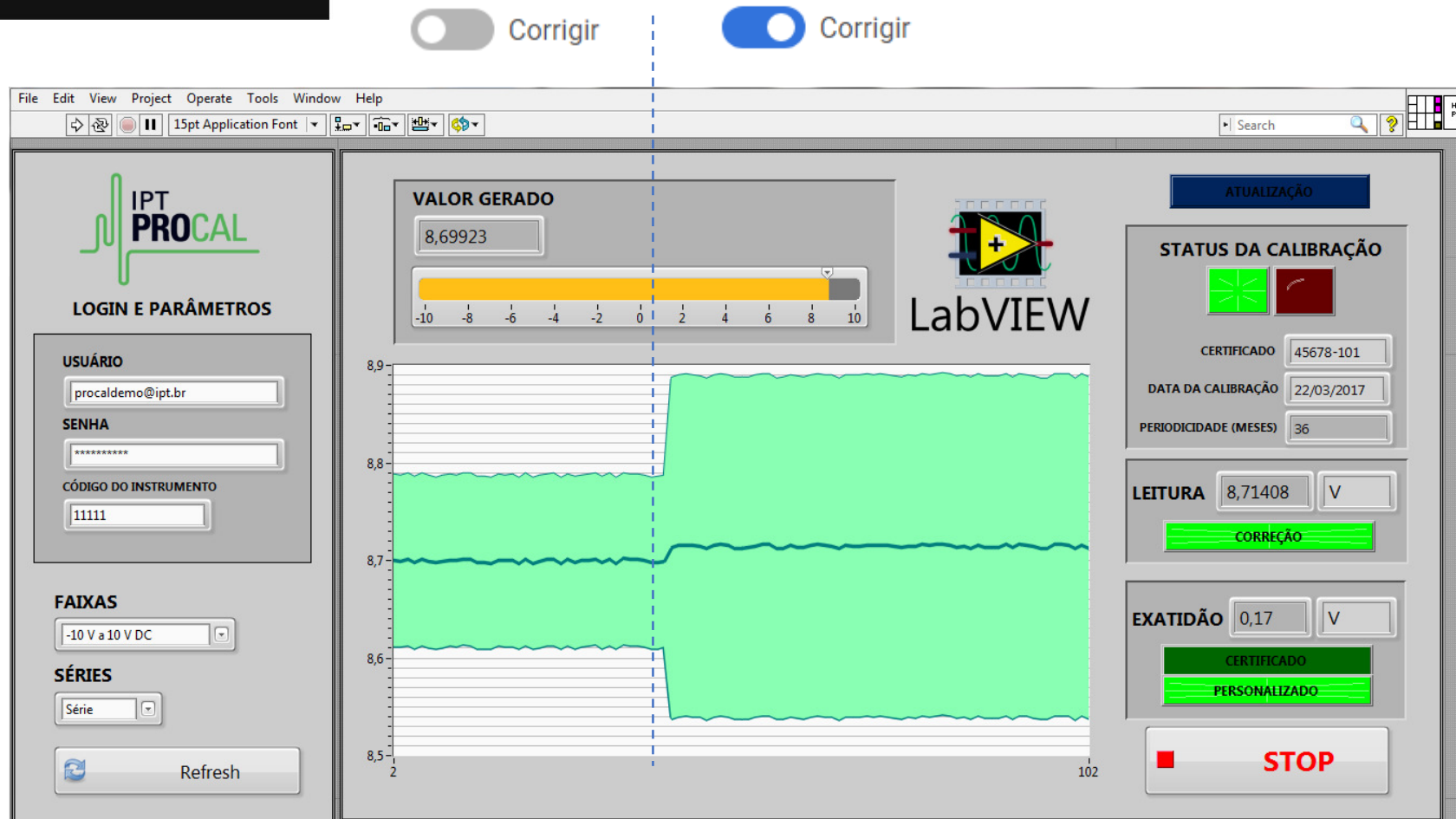
90 ANOS DE METROLOGIA NO IPT



Uso avançado



O fluxo de dados é automatizado: maior produtividade, maior confiabilidade. Alinhado às propostas da *Indústria 4.0*.

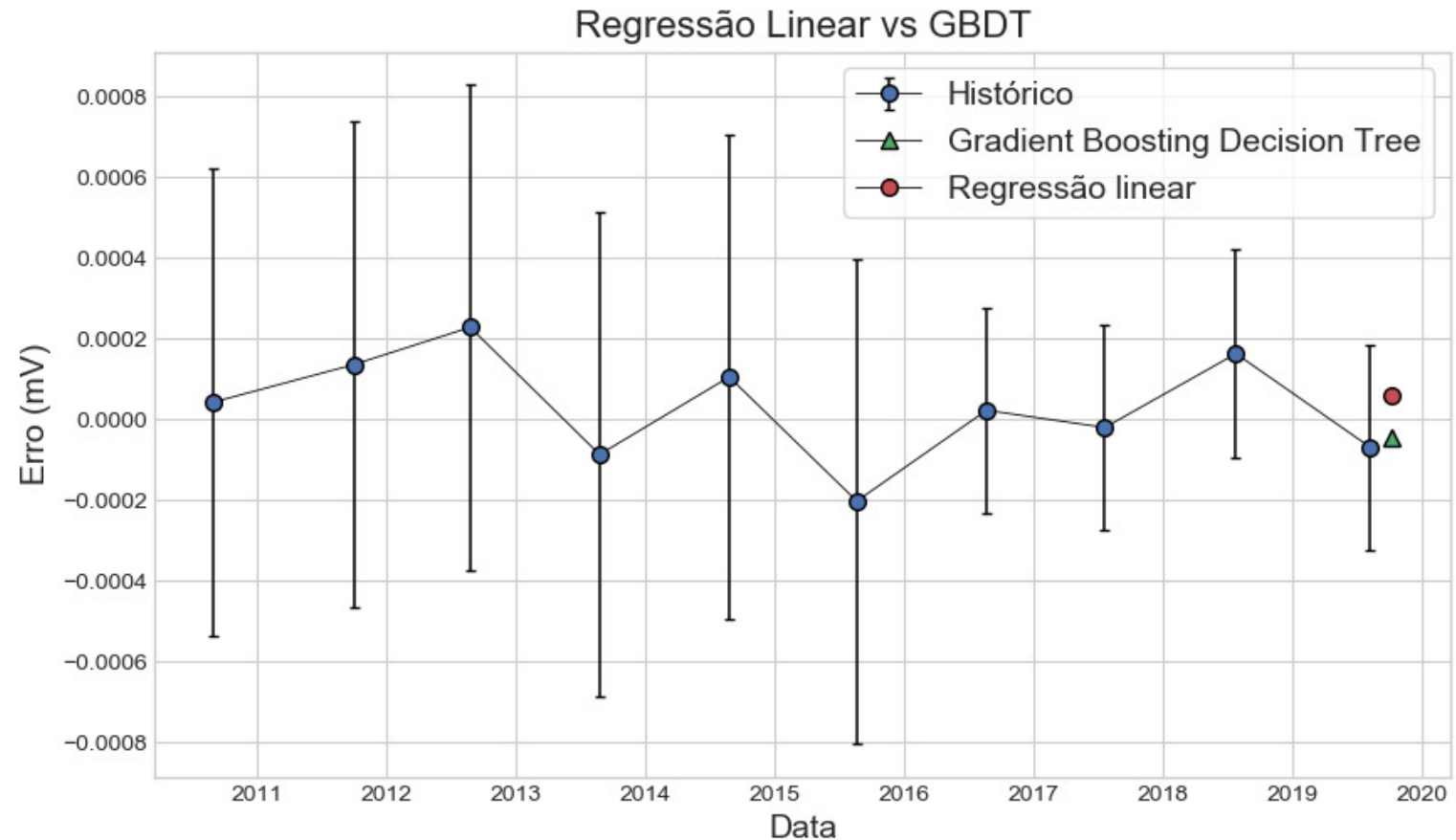


A tomada de decisão definida no ProCal é automaticamente aplicada na instrumentação por meio de sua interface de programação.

AI

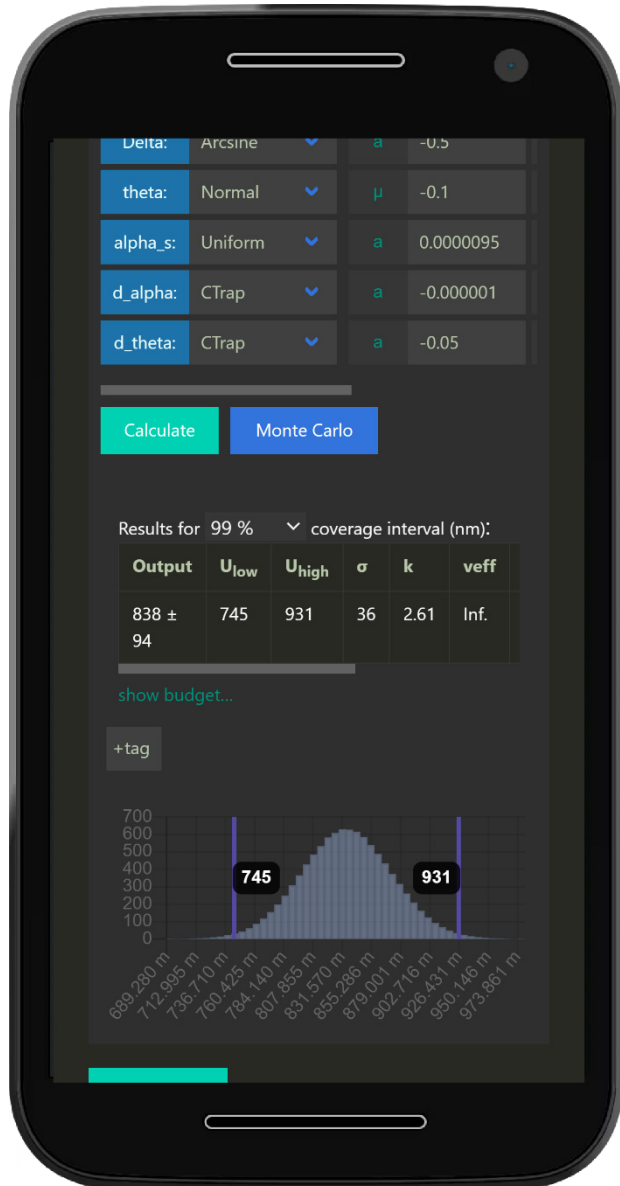
Machine Learning

Data Science



- Sub técnicas da inteligência artificial auxiliando na tomada de decisão
- Utilizando algoritmos de *machine learning* alcançamos um erro médio 70 % inferior nos testes de análise preditiva

<https://uncertainty.app>



Results for 99 % v coverage interval (nm):

Output	U_{low}	U_{high}	σ	k	v_{eff}	limit _{low}	limit _{high}	Pass/Fail
838 ± 94	745	931	36	2.61	Inf.	-	-	-

hide budget

Quantity	y_i	$u(x_i)$	dist	c_i	$ c_i \times u$	v_{eff}
Ls	0.05	2.652e-8	StudentsT	1	2.652e-8	18
D	2.15e-7	6.267e-9	StudentsT	1	6.267e-9	24
d1	0	5.164e-9	StudentsT	1	5.164e-9	5
d2	0	8.083e-9	StudentsT	1	8.083e-9	8
Ln _{om}	0.05	0	Uniform	0	0	Inf.
Delta	0	0.3536	Arcsine	0	0	Inf.
theta	-0.1	0.2	Normal	0	0	Inf.
alpha _s	0.0000115	0.000001155	Uniform	0	0	Inf.
d _{alpha}	0	5.783e-7	CTrap	0.005	2.892e-9	Inf.
d _{theta}	0	0.03005	CTrap	5.75e-7	1.728e-8	Inf.

Calculadora de Variância de Allan

Frequência (Hz)

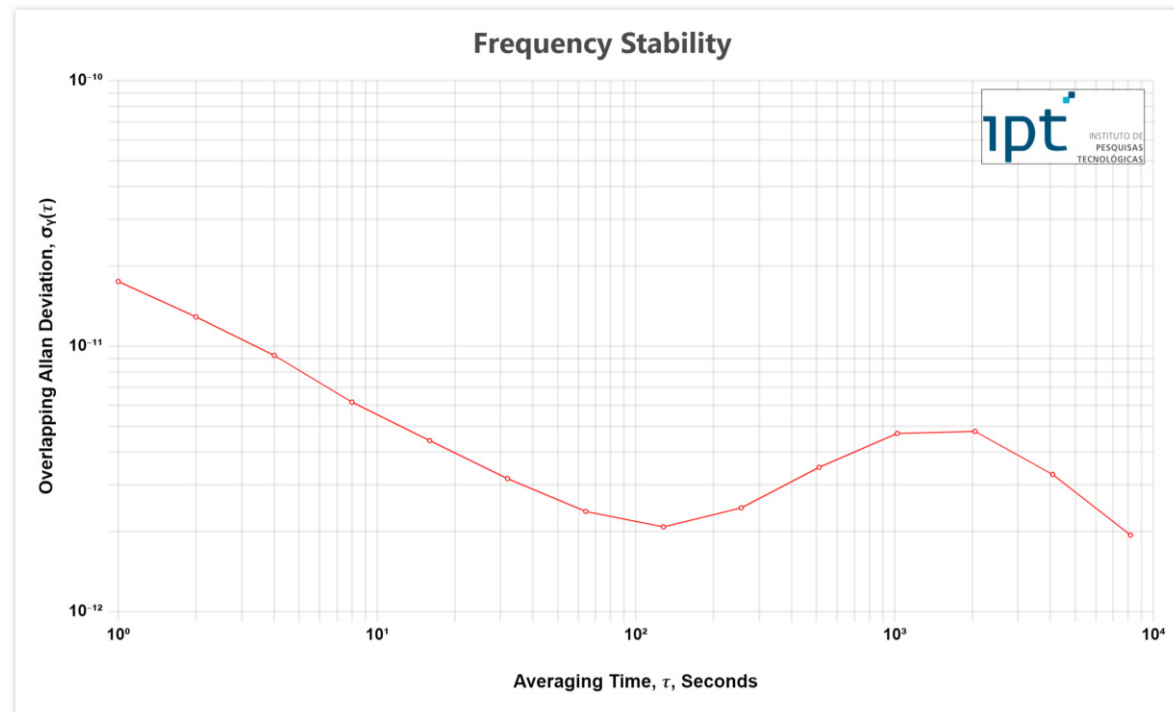
10000000

Leituras

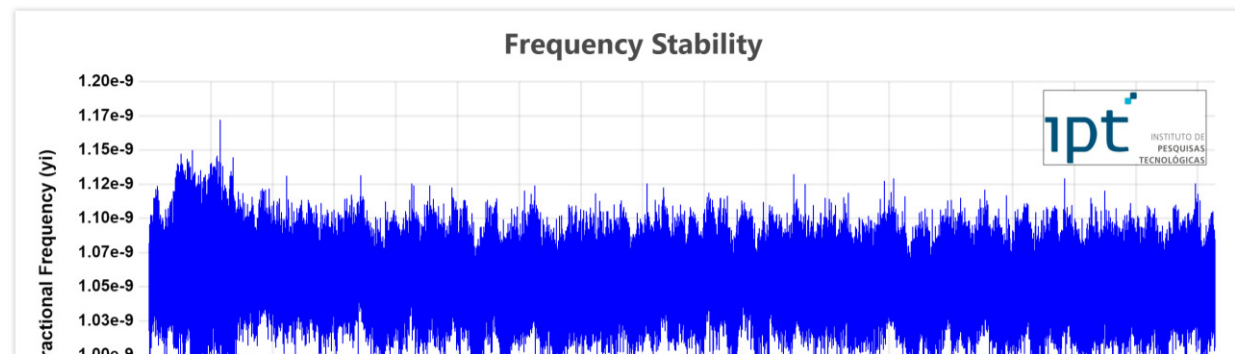
10000000,010791200
 10000000,010533600
 10000000,010571700
 10000000,010590700

Taus

1	(s)	
2	(s)	
4	(s)	remove
8	(s)	remove
16	(s)	remove



Download



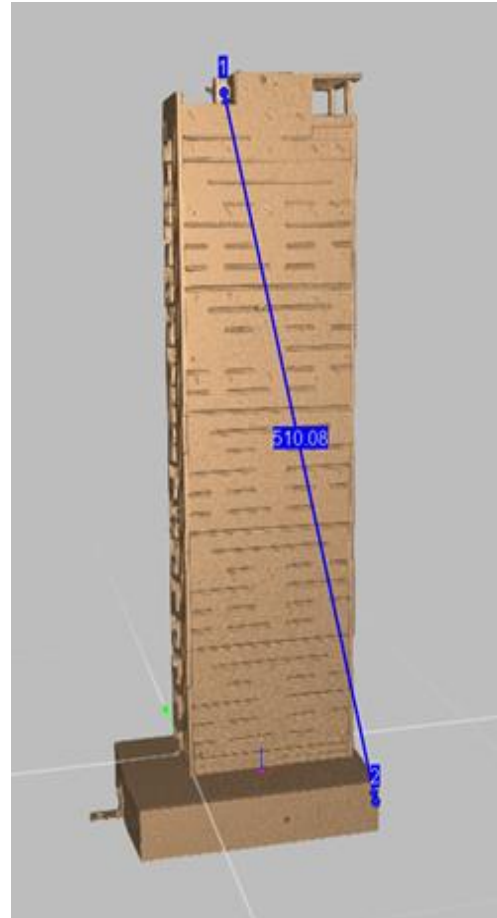
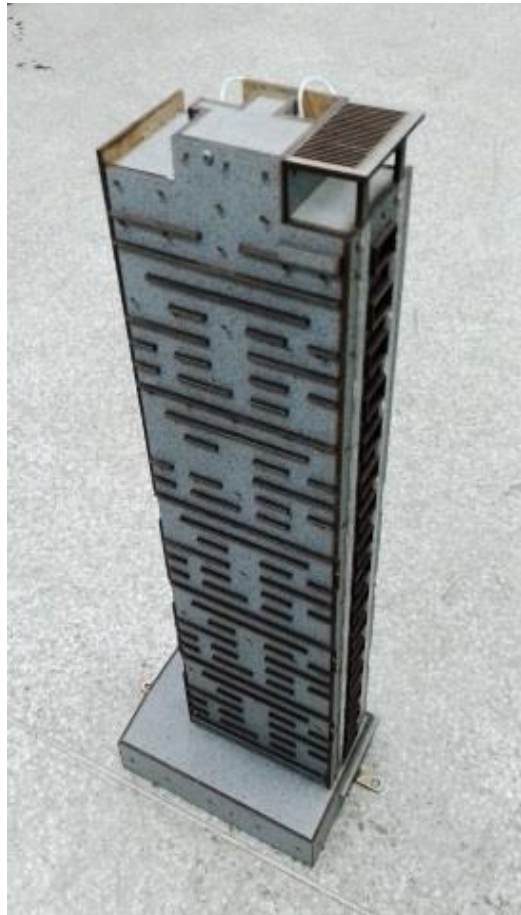
The screenshot displays the OCR application interface. On the left, a video frame shows a person holding a smartphone displaying a calculator with the number 123.456. On the right, the application's processing results are shown, including contrast and dilation sliders, a checked 'Inverter' option, and the OCR output '123.456' with a 100% confidence score and a timestamp of 2024-02-22 19:30:12.934.

OCR: 123.456
confiança: 100 % (filtrar > 90 %)
timestamp: 2024-02-22 19:30:12.934
(intervalo do log 100 ms)

Tipo de fonte:
digits | 7seg

Vídeo do Artur

Controle dimensional com escaneamento 3D

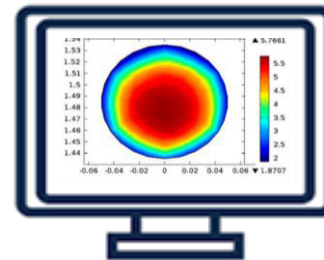


Macromedidores de água

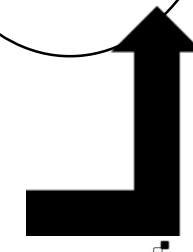
- Necessidade de interromper distribuição de água – planejamento com muita antecedência.
- Na RMSP de madrugada!!
- Equipamentos INTRUSIVOS.
- Dificuldade de longas medições devido a complexidade da instrumentação e instalações.



Simulação CFD combinada com modelagem matemática.



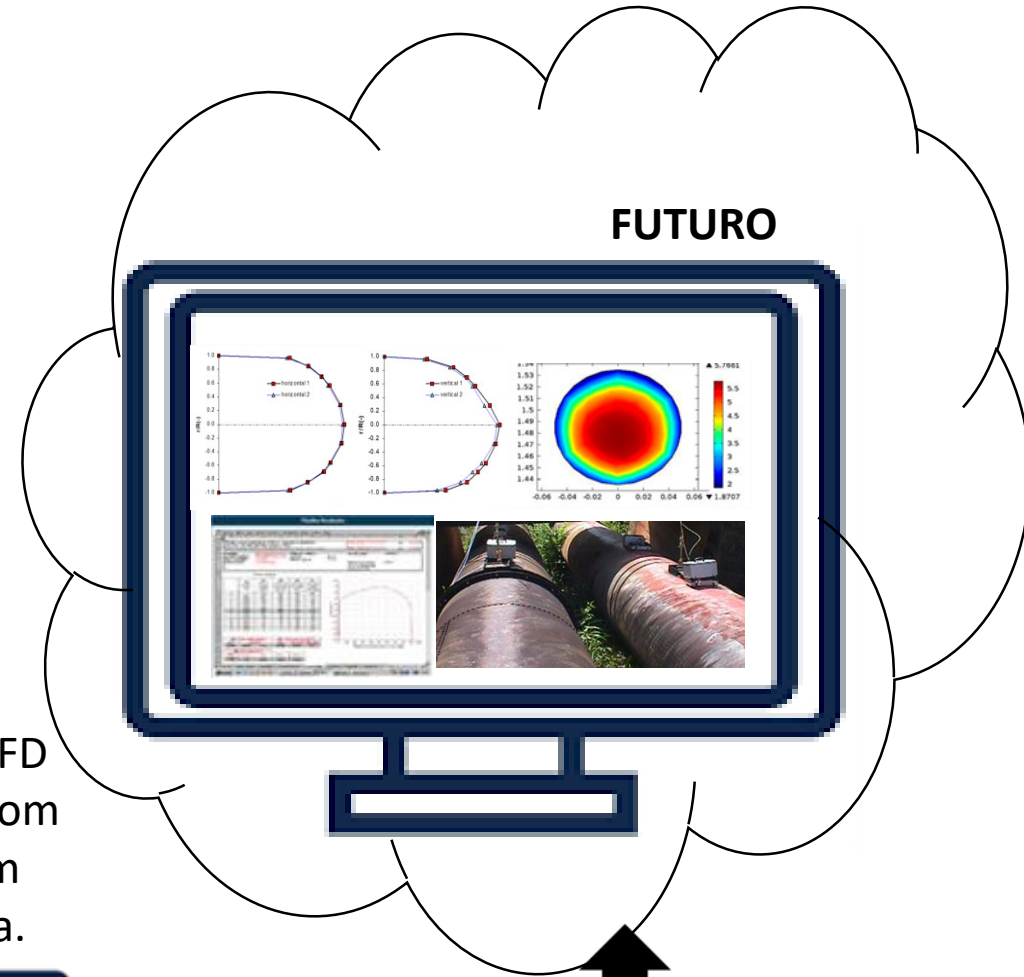
Big data de perfis de velocidade e instalações.



ipt

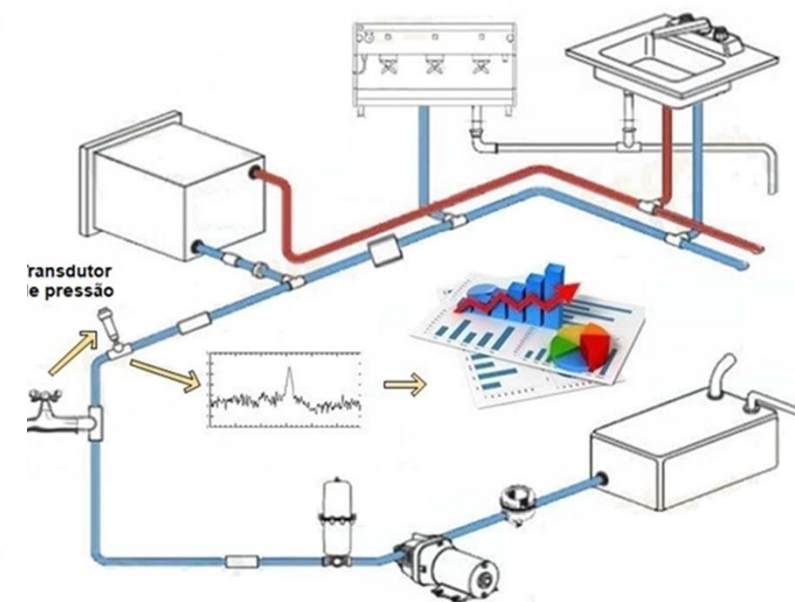
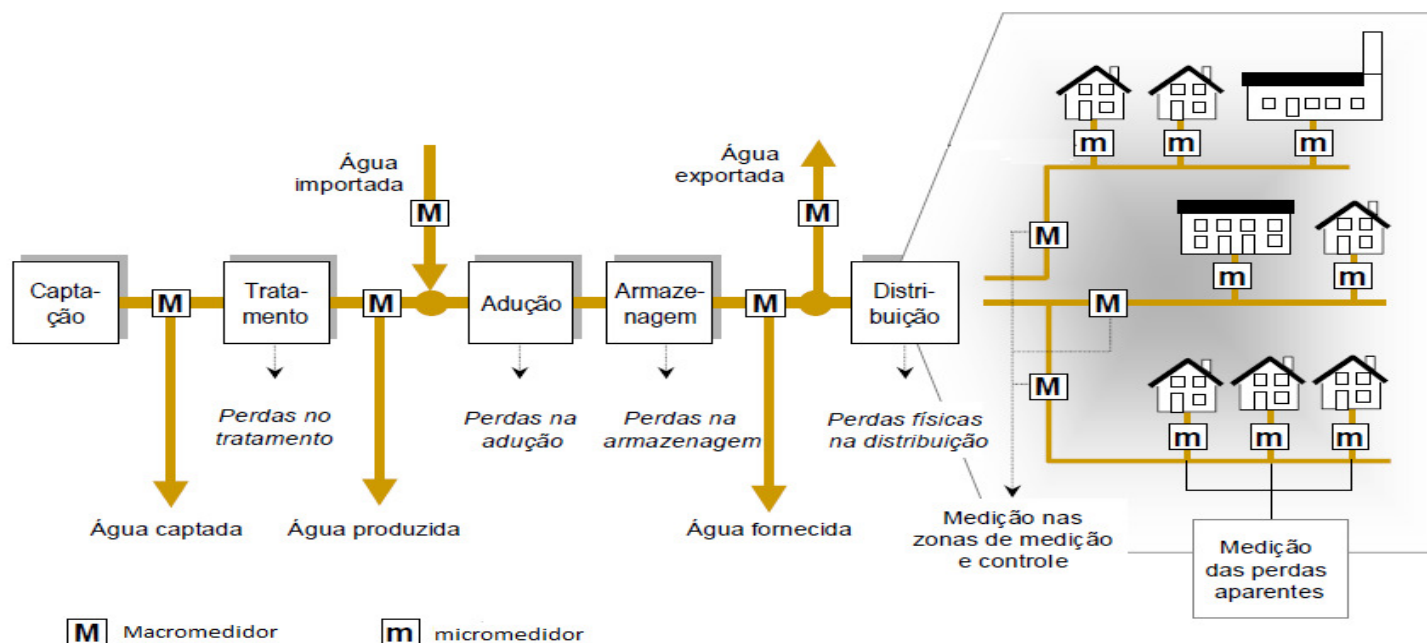
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

SÃO PAULO
GOVERNO
DO ESTADO



Micromedição de volume de água sem medidor

Pressure Data Driven



Determinação o perfil de volume de água fornecido por aparelho ou ponto de consumo no interior do imóvel, comércio ou indústria.



Metrologia das perdas físicas de água – estudo de desempenho de acelerômetros



PCB Piezotronics
500 mV/g
0.5 a 3000 Hz

>



PHD Sensors
500 mV/g
0.9 a 10000 Hz

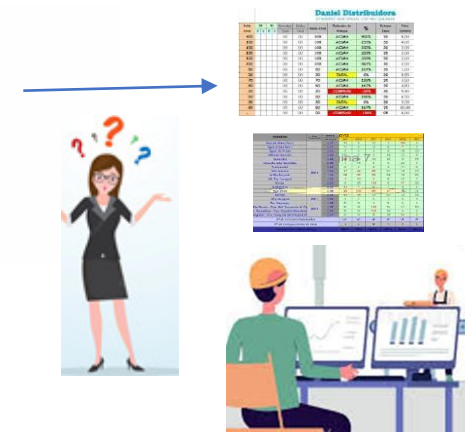
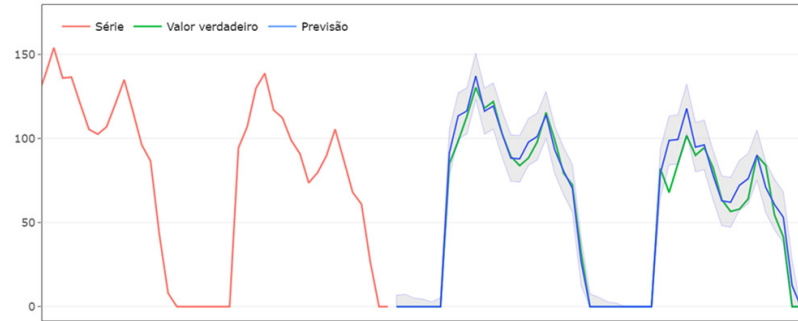
>



PCB Piezotronics
200 mV/g
0 a 1000 Hz

Data driven natural gas flow measurement

Parâmetros operacionais e Métricas dependem de dados metrológicos !!!



Fatores climáticos

Perfis de consumo

Certificados de calibração

% de abertura da válvula

Dados históricos

Frequência de pulsos

Qualidade dos pulsos

Pressão diferencial

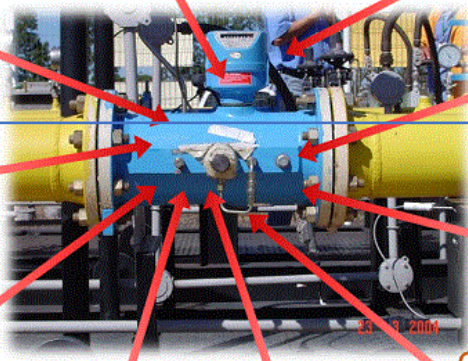
Ruido

Vibração

Pressão do gás

Temperatura do gás

Composição do gás



$$Q_n = Q_{nc} \cdot \left(\frac{P_{nc}}{P_n} \right) \cdot \left(\frac{T_n}{T_{nc}} \right) \cdot \left(\frac{Z_n}{Z_{nc}} \right)$$

Propagação de erros e incertezas

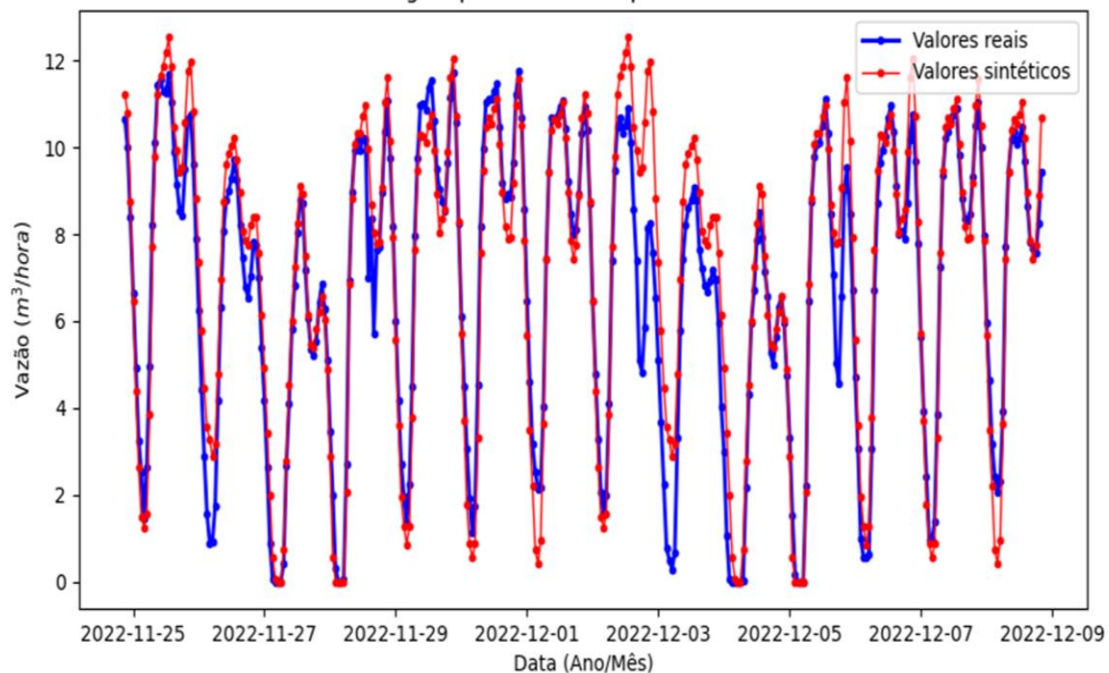
medidores dos *citygates*, dos grandes consumidores industriais, comerciais e residenciais

Data driven natural gas flow measurement

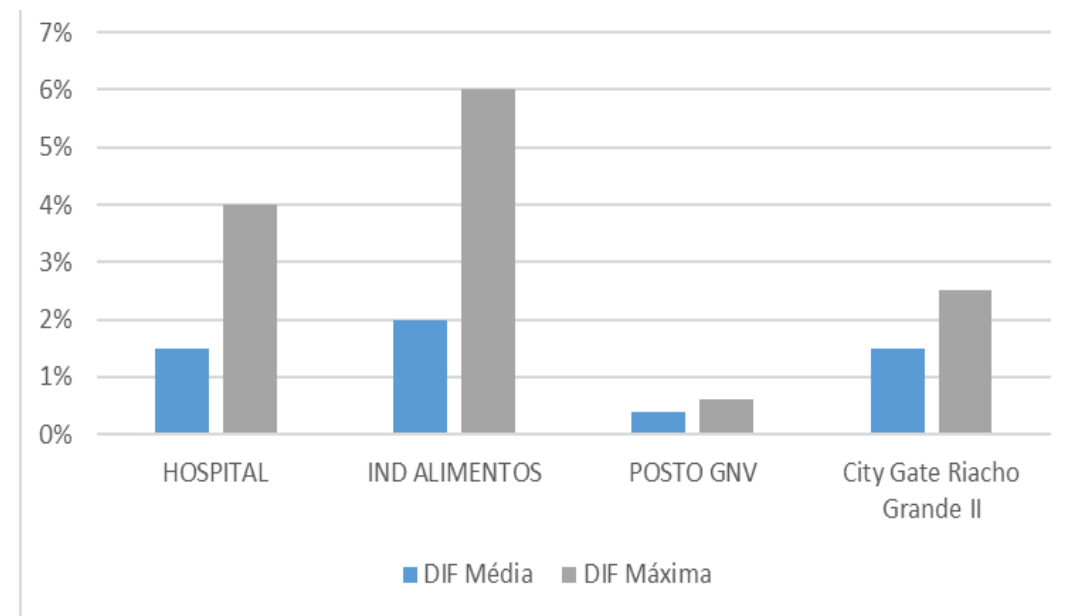
CITY GATE RIACHO GRANDE II

Vol Real – Vol Sintético \leq 2.5 %

!!!



Diferença entre volume real e volume sintético (%)



Data driven natural gas flow measurement - aplicativo



Data driven natural gas flow measurement - aplicativo

pt://127.0.0.1:3260 Open in Browser

15 90
14 22 30 38 46 54 62 70 78 8690

Tipo de previsão

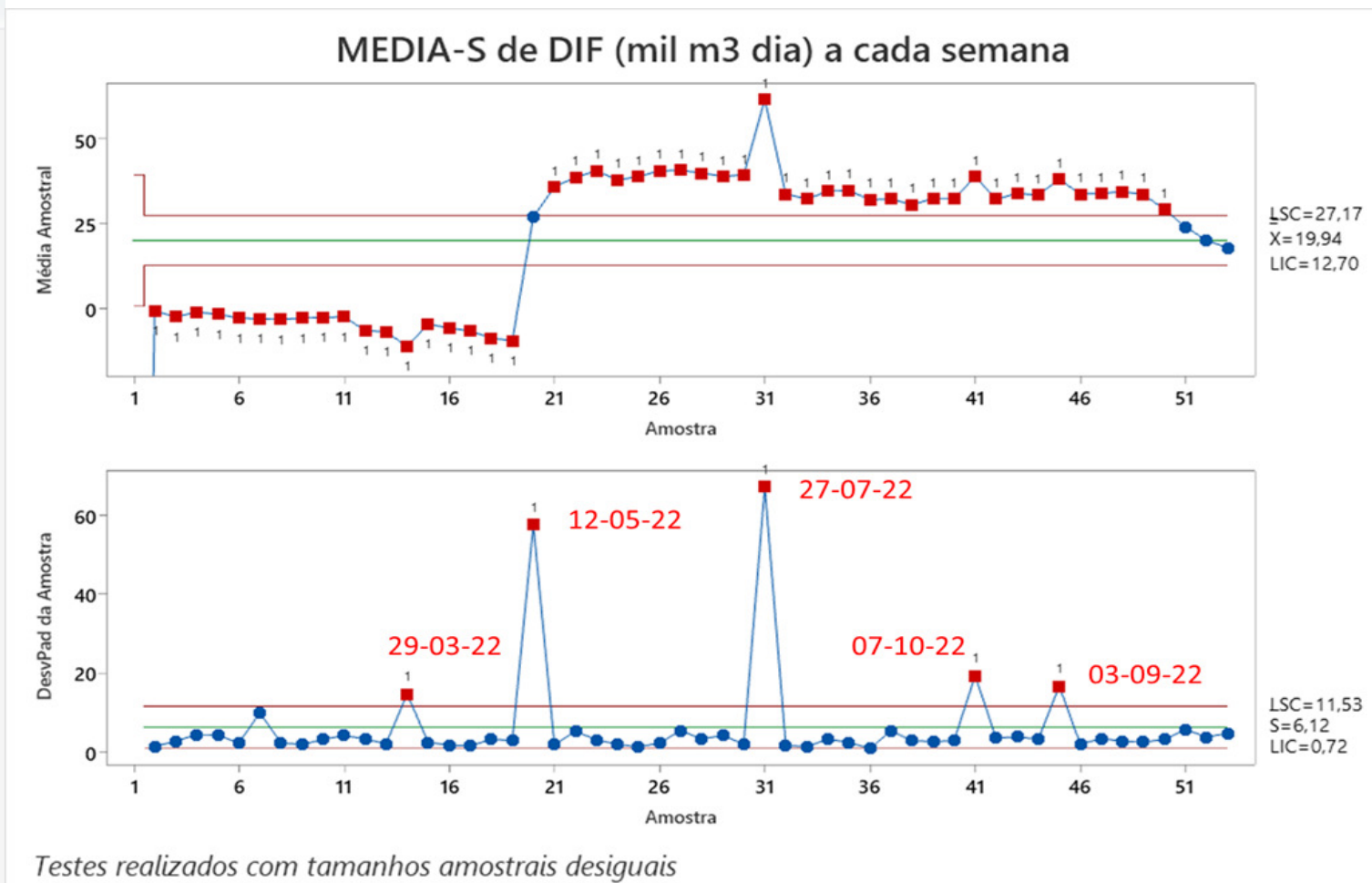
Escolha o tipo de procedimento

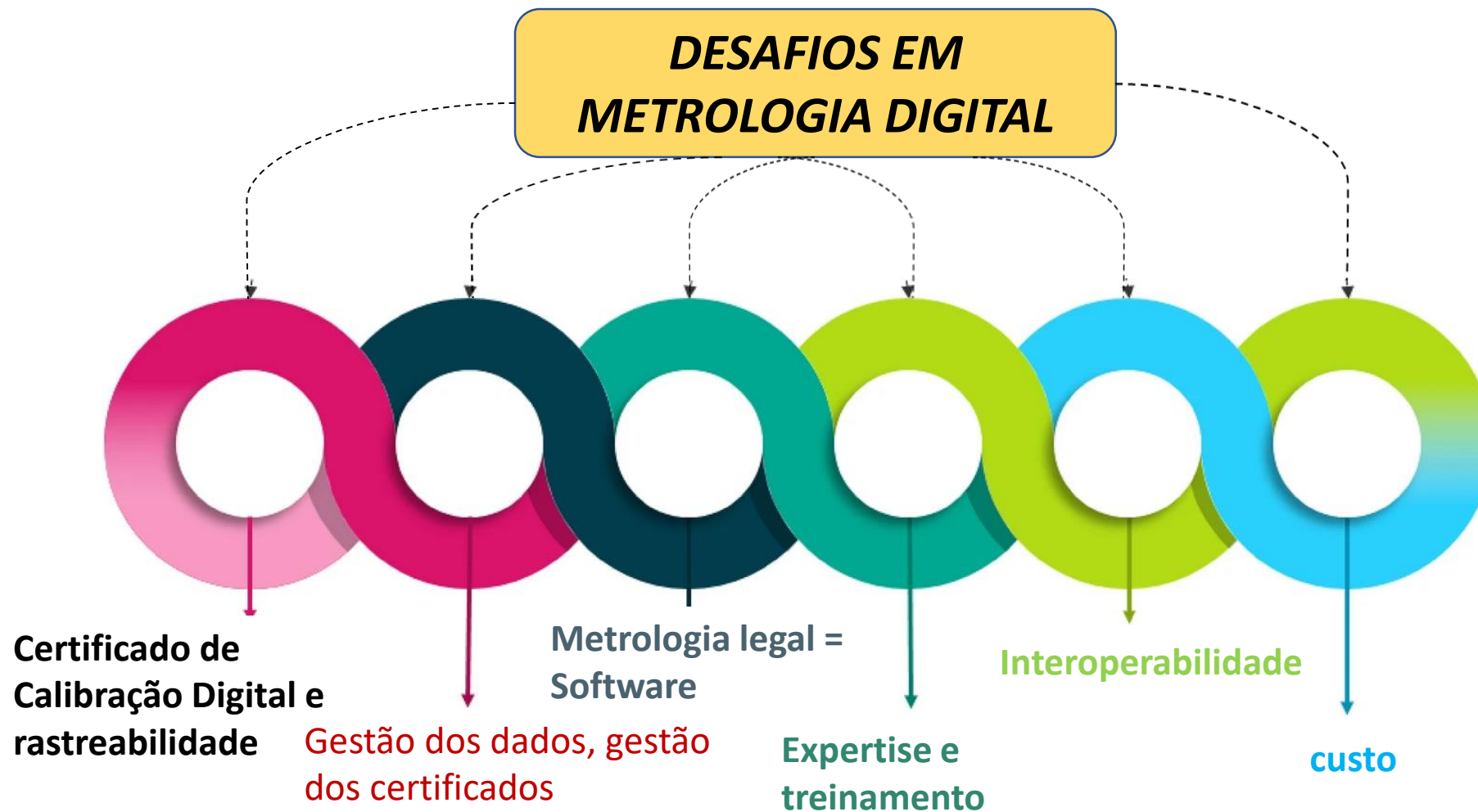
SARIMA
Regressão + SARIMA
TBATS

Considerar sazonalidade semanal.

Horizonte de previsão (horas):
1 72 360
1 37 73 109 145 217 289 360

Aplicar





90

ANOS DE
METROLOGIA
NO IPT

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Unidade de Tecnologias Regulatórias e Metrológicas
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-901

Artur Augusto Martins
Felipe Jaroletto da Silva
Juliana Ferreira de Oliveira
Wellington de Oliveira Chaves

Tecnologias Regulatórias e Metrológicas - TRM
Av. Prof. Almeida Prado, 532 Cidade Universitária
05508 901 São Paulo SP

