

RASTREABILIDADE METROLÓGICA E OS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO PARA A INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA/AMBIENTAL

Márcio Antonio Aparecido Santana¹, Patrícia Lúcia de Oliveira Guimarães²,
José Celso Thomaz Júnior³, Paulo Rogério de Aquino Arlino⁴.

¹ INPE/CPTEC/LIM, Cach. Paulista-SP e UNESP/CTIG, Guaratinguetá-SP, Brasil, e-mail: marcio.santana@cptec.inpe.br

² INPE/CPTEC/LIM, Cachoeira Paulista-SP, Brasil, e-mail: patricia.guimaraes@cptec.inpe.br

³ INPE/CPTEC/LIM, Cachoeira Paulista-SP, Brasil, e-mail: celso.thomaz@cptec.inpe.br

⁴ INPE/CPTEC/LIM, Cachoeira Paulista-SP, Brasil, e-mail: paulo.arlino@cptec.inpe.br

Resumo: O Laboratório de Instrumentação Meteorológica - LIM do INPE/CPTEC tem como atribuição a preparação, instalação, integração, testes funcionais e calibração de um número elevado de sensores e medidores ambientais de pesquisa em todas as áreas da meteorologia. Dentre esses equipamentos destacam-se sensores para medidas das variáveis: temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento, precipitação, radiação solar, parâmetros de qualidade da água, entre outras. Também são incluídos equipamentos e sensores para medidas de fluxos turbulentos e concentrações de CO₂, H₂O, radiossondagens atmosféricas e medições em alto-mar utilizando-se bóias oceanográficas.

Atualmente o LIM está implantando um sistema de Gestão da Qualidade atendendo aos requisitos da NBR ISO/IEC 17025:2005 (Requisitos gerais para competência de laboratórios de calibração e ensaios), às recomendações da *World Meteorological Organization* - WMO e às normas das áreas Meteorológicas e Metrológicas, assegurando a confiabilidade nos dados ambientais utilizados na Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Ambientais, colocando-se à disposição da comunidade científica para a realização de experimentos de campo e, em breve, disponibilizará a difusão dos procedimentos e de calibrações de sensores e instrumentos meteorológicos/ambientais.

Este artigo tem por objetivo apresentar a evolução das atividades desenvolvidas na instrumentação e a contribuição para o setor, apresentando também a atual demanda de serviços e as ações para a implantação do laboratório de Metrologia (calibração) na área de instrumentação meteorológica e os requisitos de incerteza de medição e dos critérios de aceitação para os instrumentos.

Palavras chave: Meteorologia, ambiental, metrologia, instrumentação, calibração.

1. INTRODUÇÃO

Durante o século XX, novos conhecimentos e formas de ver o mundo permitiram o desenvolvimento das telecomunicações, da física, da biotecnologia, da engenharia genética, da eletrônica, da computação, da informática, da astrofísica e da cosmologia, da ciência e da tecnologia

espacial, de inúmeros campos da ciência, aplicações industriais e da meteorologia. Todos estes desenvolvimentos tiveram grandes reflexos na Metrologia tanto do lado da demanda como da oferta. Os processos de medição, que eram feitos manualmente, passaram a ser feitos de forma mais automática, aproveitando os progressos da eletrônica, informática e computação.

Naturalmente esta revolução trouxe uma melhoria importante na qualidade de vida gerando conjuntamente uma grande ameaça ao meio ambiente, que está enfrentando as mudanças climáticas e a deterioração ambiental devido à exploração desequilibrada dos recursos naturais e ao excessivo uso de energias não renováveis e poluentes [1, 2].

Nas últimas décadas tem-se focalizado muita atenção na degradação do meio ambiente e nos problemas que o homem tem causado ao planeta [1]. Dentre esses problemas temos a poluição das águas, a poluição do ar, a destruição da camada de ozônio e o aquecimento global. Para se estudar a diversibilidade destes fenômenos, os cientistas de todo o mundo têm buscado dados e informações para se obter uma maior compreensão dos efeitos causados no meio ambiente. São realizados monitoramentos de diversas variáveis (temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento de superfície, precipitação, radiação solar, entre outras), através de sistemas de observação compostos de sensores, transdutores e medidores manuais ou automáticos. Para que esses dados sejam confiáveis e aceitos mundialmente, a precisão das medições é assegurada e deve ser evidenciada por sua rastreabilidade aos padrões de medida ou materiais de referência certificados e internacionalmente reconhecidos [3].

A rastreabilidade metrológica [4,5] é a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas (Fig.1) [6].



Fig. 1 - Diagrama de rastreabilidade metrológica

O Laboratório de Instrumentação e Calibração Meteorológica - LIM, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - INPE/CPTEC, foi estabelecido em 2002, com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP; com a finalidade de apoiar as pesquisas em andamento na área de meteorologia, particularmente em micrometeorologia e interação solo-planta-atmosfera, em todo o país e em especial na Região Amazônica [7, 8].

2. DEMANDA DE SERVIÇOS NA ÁREA DE INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA AMBIENTAL

O LIM participa de importantes projetos de pesquisa na área de Previsão de Tempo, Estudos Climáticos e Meio Ambiente, tais como:

- Avião Meteorológico;
- Estações Ambientais em Moçambique;
- Experimento Pré-vento (Fig. 2);
- Fundo de Ciência e Tecnologia em Recursos Hídricos - CT-Hidro;
- GEOMAG;
- *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia* - LBA (uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, o INPE e a *National Aeronautics and Space Administration* - NASA);
- Monitoramento Ambiental do Eixo Rio-São Paulo - MARSP;
- Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Paraíba do Sul e do Rio Purus;
- Ozônio;
- Pantanal;

- *Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic* - PIRATA;
- Plano Nacional de Ciência e Tecnologia para o Setor de Energia - CT-ENERG;
- Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos - PMTCRH;
- Projeto Serra do Mar.
- Qualidade do Ar;
- Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais - SONDA (Fig. 3);

Dentre os parceiros na realização destes projetos e programas temos: CEPEL, CETESB, CNPQ, CTA, FINEP, INMET, INPE/CRN, LBA, Marinha do Brasil, MCT, NOAA, Núcleos Estaduais de Meteorologia e Meio Ambiente, Petrobrás, USF-LABSOLAR, USP-LMO, entre outros.



Fig. 2 - Anemômetro tridimensional, higrômetro de Krypton e termohigrômetro do experimento Pré-vento.



Fig. 3 - Estação solarimétrica do projeto SONDA, composta por: piranômetro, sensor PAR, pirgeômetro, luxímetro, fotômetro / sistema aeronet, sombreador, etc.

Parte da contribuição do LIM para os setores meteorológico e ambiental pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis monitoradas

Projeto / Programa	Variáveis monitoradas
Avião Meteorológico	Medidas Aerotransportadas: Velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa, radiação, posição e atitude da aeronave, pressão, altitude, conteúdo de água líquida, temperatura de superfície IR, microfísica de nuvens (histograma de gotas d'água, aerossóis, granizo entre outros).
CT-Hidro	Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação (onda curta, onda longa, PAR, Saldo), fluxo de calor no solo, temperatura do solo (vários níveis), umidade do solo (vários níveis), velocidade e direção do vento, concentrações de CO ₂ , H ₂ O, fluxos turbulentos de CO ₂ e calor.
GEOMAG	Intensidade e direção do campo magnético da terra
LBA	Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação (onda curta, onda longa, IR, PAR, saldo), fluxo de calor no solo, temperatura do solo, umidade do solo, velocidade do vento, direção do vento, concentrações de CO ₂ , H ₂ O (vários níveis inclusive emissão pelo solo), fluxos turbulentos de CO ₂ e calor.
Moçambique	Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, temperatura e umidade do solo, velocidade e direção do vento.
Ozônio / UV	O ₃ e radiação UV.
PANTANAL	Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação (onda curta, onda longa, IR, PAR, saldo), fluxo de calor no solo, temperatura do solo, umidade do solo, velocidade do vento, direção do vento, concentrações de CO ₂ , H ₂ O, fluxos turbulentos de CO ₂ e calor, altura da coluna d'água.
PIRATA	Bóias: Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação (onda curta, onda longa), velocidade e direção do vento, concentração de CO ₂ , temperatura da água do mar, condutividade da água do mar, direção e velocidade das correntes marítimas. Perfilagem marítimas: CTD e XBT (temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido). Perfilagem atmosférica: Radiosonda (temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e pressão). (Fig. 4)
PMTCRH MARSP CT-ENERG	Temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, temperatura e umidade do solo, velocidade e direção do vento. (Fig. 5)
Qualidade da água	Temperatura, pH, turbidez, condutividade, oxigênio dissolvido, nível, ORP, precipitação, entre outros.
Qualidade do Ar	Concentrações de: CO ₂ , CO, H ₂ O, O ₃ , NO _x , entre outros.

Atualmente além das Instituições de Pesquisas, empresas de vários setores vêm implantando estações meteorológicas e outros equipamentos para monitoramento para atenderem parte da legislação das resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e de outros órgãos estaduais dentro dos Sistemas de Gestão Ambiental, ou melhorar o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial). Dentro deste universo existe uma forte demanda para os serviços de:

especificações de equipamentos de dados ambientais, aceitação e verificação operacional da instrumentação, qualificação e acompanhamento de obras civis na implantação de sítios experimentais, instalação de estações ou bóias para coleta de dados ambientais, elaboração de programa para coleta de dados de estação ambiental, manutenção preventiva, manutenção corretiva, instalação e manutenção de sítios experimentais, radiossondagem, calibração, verificação de funcionamento de sensores ou instrumentos meteorológicos, planejamento de missões, assessoria a novos projetos e treinamento especializado.



Fig. 4 - Bóia do projeto PIRATA.



Fig. 5 - Plataforma de Coleta de Dados do PMTCRH.

3. SISTEMAS DE CALIBRAÇÃO, REQUISITOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

3.1. Sistemas de calibração

Um dos grandes desafios nas áreas meteorológica e ambiental é "buscar" e manter a rastreabilidade das medições, visto que alguns equipamentos são específicos e não aparecem nas "relações padronizadas de serviços de calibração acreditados" (por exemplo, a NIT-DICLA- 012), e a maioria dos instrumentos medem alguma grandeza elétrica com sensores que têm como princípio de funcionamento fenômenos físicos. Hoje não é possível a calibração no INMETRO ou na RBC, por exemplo, de um "datalogger", que mede tensão DC/AC ou corrente DC/AC. Na NIT-DICLA-012 não consta "datalogger - coletores de dados" [9]. Estes *dataloggers* são utilizados em campo com

diferentes tipos de sensores de variáveis meteorológicas diversas (radiação solar, vento, chuva, CO₂, parâmetros de qualidade da água, etc.). Ou seja, os sensores são calibrados em laboratórios de áreas afins e os *dataloggers* somente são verificados nas áreas de eletricidade e tempo e frequência, causando problemas nas auditorias dos Sistemas de Gestão da Qualidade.

Sistemas de calibração nas áreas de temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento, precipitação, radiação solar, entre outros, estão sendo implantados visando garantir a confiabilidade dos dados de pesquisa e monitoramento meteorológico/ambiental.



Fig. 6 - Sistema de calibração de temperatura e umidade.



Fig. 7 - Sistema de calibração de radiômetros.

O sistema de calibração de temperatura e umidade relativa do ar ilustrado na Fig. 6 é composto por câmara climática, medidor de ponto de orvalho, termômetro padrão de resistência de platina e um sistema de aquisição de dados. Para temperatura do ar, o padrão foi calibrado em um laboratório acreditado pela rede metrológica NVLAP - *National Voluntary Laboratory Accreditation Program*, dos EUA. O padrão de ponto de orvalho tem a rastreabilidade ao Lahig - Laboratório de Higrometria do INMETRO e os multímetros pela RBC - Rede Brasileira de Calibração, vinculada ao INMETRO. Também na área de umidade relativa têm-se os sais padrões da Vaisala, com rastreabilidade ao Finas - *Finnish Accreditation Service*, da Finlândia.

Na Fig. 7 temos uma configuração para calibração de radiômetros ao ar livre ou *outdoor*. Neste sistema temos um Piranômetro Padrão Kipp & Zonen CM 22, com

rastreabilidade ao PMO/WRC - *Physikalisch-Meteorologische Observatorium / World Reference Center*, Davos, Suíça. Para esta calibração, utiliza-se também um *datalogger* Campbell CR5000 ou um nanovoltímetro Agilent 34420A e um multímetro Agilent 3458A e um transdutor integrado com sensores de temperatura e umidade relativa do ar.



Fig. 8 - Sistema de calibração de barômetros.

A Fig. 8 mostra um sistema de calibração de barômetros com os padrões Vaisala PTB220 calibrados no Lapre - Laboratório de Pressão do INMETRO, utilizando gás nitrogênio com rastreabilidade ao NIST. No sistema de calibração de pluviômetros, ilustrado pela Fig. 9, a rastreabilidade do fluxímetro padrão, da balança e da volumetria calibrada, vêm da RBC/INMETRO.









Fig. 9 - Sistema de calibração de pluviômetros.

Algumas grandezas ainda são pouco difundidas no Brasil, tais como radiação solar [10], velocidade do vento, parâmetros de qualidade da água [11, 12], fluxo de calor e umidade do solo, e nestes casos, atualmente deve-se buscar a rastreabilidade em laboratórios internacionais, dentre eles, o NIST - *National Institute of Standards and Technology* dos EUA e o PTB - *Physikalisch Technische Bundesanstalt* da Alemanha.

A Tabela 2 apresenta a rastreabilidade metrológica de alguns padrões de referência e de trabalho do CPTEC.

Tabela 2 - Rastreabilidade Metrológica

Variável	Padrão de referência / trabalho	Rastreabilidade Metrológica
Temperatura do ar	<i>SPRT - Standard Platinum Resistance Thermometer, Fluke 5699.</i>	
Temperatura do ponto de orvalho	<i>Cooled Mirror DewPointMeter, Michel Dewmete</i>	
Umidade relativa do ar	<i>Humidity Calibrator, Vaisala HMK15, LiCl Salt 11% RH, MgCl₂ Salt 33% RH, NaCl Salt 75% RH, K₂SO₄ Salt 97% e Precision Thermometer DIN, Amarell GmbH & Co. KG.10</i>	 
Pressão atmosférica	<i>Pressure transmitter, marca Vaisala, modelo PTB220, faixa de trabalho: 500 - 1100 hPa</i>	
Radiação Solar	<i>Pyranometer, Kipp & Zonen CM22. Pyrgeometer, Kipp & Zonen CG4.</i>	

3.2. Requisitos de Incerteza de Medição e os Critérios de aceitação

Conforme as recomendações da Organização Meteorológica Mundial - OMM [13, 14], os limites das faixas de trabalho (*range*) dependem das condições climatológicas locais para cada variável. A tabela 3 apresenta alguns requisitos gerais que, se aplicáveis, podem ser utilizados como critério de aceitação para a instrumentação a ser utilizada na medição de variáveis meteorológicas.

A incerteza de medição requerida corresponde à probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 % (fator de abrangência $k = 2,00$), para uma distribuição normal.

Critérios de aceitação são parâmetros que servem como referência para verificar se o instrumento está adequado ao uso. Critérios de aceitação podem ser definidos também como critérios de rejeição, onde são definidos os erros permissíveis que pode determinar ajuste no instrumento ou comprovação da adequação ao uso [15].

Tabela 3 - Requisitos de incerteza, resolução e faixa de trabalho

Variável	Faixa de trabalho	Resolução reportada	Incerteza de medição requerida
----------	-------------------	---------------------	--------------------------------

Temperatura do ar	- 80 a + 60 °C	0,1 K	0,3 K para < - 40 °C ou > + 40 °C 0,1 K para > - 40 °C e ≤ + 40 °C
Umidade relativa	0 a 100 %	1 %	1 % ou 3 % (sensores de estado sólido)
Pressão atmosférica	500 a 1080 hPa	0,1 hPa	0,1 hPa
Vento (velocidade)	0 a 75 m.s ⁻¹	0,5 m.s ⁻¹	0,5 m.s ⁻¹ para ≤ 5 m.s ⁻¹ 10 % para > 5 m.s ⁻¹
Vento (direção)	0 a 360°	1°	5°
Precipitação (acumulada diariamente)	0 a 500 mm	0,1 mm	5% ou 0,1 mm (maior) para ≤ 5 mm 2 % para > 5 mm
Precipitação (intensidade)	0,02 a 2000 mm/h	0,1 mm/h	n/a para 0,02 a 0,2 mm/h 0,1 mm/h para 0,2 a 2 mm/h 5 % para > 2 mm/h

4. CONCLUSÃO

Atendendo às recomendações da Organização Meteorológica Mundial para que todas as variáveis estejam devidamente rastreadas, o INPE está se capacitando a realizar calibrações nos seus sensores, transdutores e medidores utilizados nas pesquisas e no monitoramento ambiental, proporcionando ainda ao País um avanço nas áreas em que algumas grandezas ainda são pouco difundidas.

Com a rastreabilidade evidenciada, os dados têm a confiabilidade assegurada e com isso pode haver comparabilidade com os dados de outras instituições, que têm este requisito implementado.

Devido a crescente demanda e, visto que as normas e procedimentos técnicos ainda não estão bem definidos ou divulgados, outro objetivo do LIM é a difusão do conhecimento da área Metrológica na área Meteorológica e vice-versa e, em breve, implementar programas de comparações interlaboratoriais, participar de rede(s) metrológica(s) e disponibilizar um banco de dados de laboratórios capacitados para a realização de calibração e verificação de instrumentação meteorológica, com o intuito de auxiliar as instituições usuárias, em âmbito nacional.

Dando continuidade à implantação de um laboratório de instrumentação meteorológica, está em andamento um estudo detalhado sobre sistemas de calibração (variáveis temperatura, umidade, pressão, vento, precipitação, radiação solar, parâmetros de qualidade da água, entre outras),

métodos validados, incertezas de medição, normas de calibração e procedimentos que estarão apoiando as atividades da área Ambiental.

A multidisciplinaridade envolvida nos fenômenos ambientais exige enorme disponibilidade de recursos humanos e econômicos, entretanto o desafio tecnológico e a necessidade de resposta às questões científicas fundamentais em curto espaço de tempo consiste no grande fator motivador para os profissionais das áreas de instrumentação meteorológica ou ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipes dos laboratórios LIM, MTE, MTF e MTM pelo apoio técnico, ao setor de suporte ao usuário do CPTEC pelos auxílios e ao CNPq, FAPESP, FINEP, FUNDEPE, INPE, CPTEC e Divisão de Clima e Meio Ambiente, pela viabilização das atividades.

“Procuo nas coisas vagas
Ciência!
...
Procuo na paisagem
Cadência!
Os átomos coreografam
A grama do chão...
...
Que a alma aproveita prá ser
a matéria e viver...”

*“A Alma e a Matéria” do CD Universo ao Meu Redor
de Marisa Monte.*



REFERÊNCIAS

- [1] Trenberth, K. E.; Moore, B.; Karl, T. R.; Nobre, C. A. Monitoring and prediction of the earth's climate: a future perspective. *Journal of Climate*, v. 19, n. 20, p. 5001- 5008, Oct. 2006. (INPE-14519-PRE/9550). Disponível em: <<http://ams.allenpress.com>>. Acesso em: 25 abr. 2008.
- [2] G. Mosati, “As Bases Científicas da Metrologia e vice-versa”, ENQUALAB-2005, REMESP, São Paulo 2005.
- [3] National Metrology Institute of South Africa, Bureau International des Poids et Mesures, Physikalisch Technische Bundesanstalt “Metrologia – As medições no nosso Meio Ambiente – Dia Mundial da Metrologia: 20 de maio 2007”.
- [4] Inmetro, “Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia”, 3ª ed, INMETRO, Rio de Janeiro 2003.
- [5] International Organization for Standardization, “Vocabulário Revision of the 1993 edition, International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM)”, 3rd Edition, Draft April 2004.
- [6] M. A. A. Santana, “Requisitos técnicos para competência de laboratórios de calibração e ensaios aplicados em P&D”, ENQUALAB 2003, São Paulo-SP, julho de 2003.
- [7] A. O. Manzi, J. Tomasella, J. Ceballos, L. D. A. Sá, P. R. A. Arlino, “Proposta de um novo Laboratório de Instrumentação Meteorológica para o CPTEC”, documento interno CPTEC/INPE, junho de 2002.
- [8] A. O. Manzi, J. C. Thomaz Jr., “Histórico do LIM 1998-2002”, documento interno CPTEC/INPE.
- [9] INMETRO, “Norma nº NIT-DICLA-012 - Relação padronizada de serviços de calibração acreditados - rev. nº 9”, abr/07.
- [10] M. G. Kratzenberg, S. Colle, E. B. Pereira, S. L. Mantelli Neto, H. G. Beyer e S. L. Abreu, “Rastreabilidade de Radiômetros para Medição da Energia Solar no Brasil”, *Metrologia*-2003.
- [11] Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, Eugene W. Rice, and Arnold E. Greenberg, “Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater”, Hardcover, Oct 15, 2005.
- [12] U.S. Geological Survey, “Handbooks for Water-Resources Investigations - National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data”, Revised 2005.
- [13] World Meteorological Organization, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”, sixth edition, 1996.
- [14] World Meteorological Organization, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”, preliminary seventh edition, 2006.
- [15] J. A. Silva, “Calibração de Padrões Internos de Trabalho e de Instrumentos Críticos”, ENQUALAB-2005.