

## 4. CADEIA DE RASTREABILIDADE DE TF

Neste capítulo será descrita a estrutura de metrologia de tempo e frequência e a cadeia de rastreabilidade, bem como organizações internacionais, regionais e nacionais relacionadas à metrologia de tempo e frequência, relevantes no contexto do presente estudo. O conceito de rastreabilidade utilizado é o do vocabulário internacional, definido no item 3.1.

### 4.1. A Estrutura de rastreabilidade

Em nível mundial, a estrutura hierárquica da cadeia de rastreabilidade é ilustrada pela figura 58.



Figura 58 - Pirâmide de Rastreabilidade

A cadeia de rastreabilidade tem como ápice a definição das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), mantido pelo BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), laboratório mundial de metrologia de mais alta exatidão, a quem compete realizá-las. Esta estrutura piramidal se estende desde as definições (isentas de incerteza) aos padrões nacionais mantidos pelos institutos nacionais de metrologia (NMI – *National Measurement Institute*), aos padrões de referência de laboratórios de calibração e ensaios e aos padrões de trabalho, chegando às medições realizadas por usuários finais.

São necessários **metrologistas** para caracterizar a cadeia de rastreabilidade determinando a incerteza de medição relativamente ao instituto nacional de metrologia (NMI) de seu país. O NMI é necessário para assegurar que as medições realizadas em um país tenham rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) mantido pelo BIPM.

Rastreabilidade é, freqüentemente, um requisito contratual ou legal e sua importância para sistemas de controle de qualidade é fundamental para atividades de calibração e ensaios.

#### **4.2. Estabelecendo rastreabilidade a um NMI**

Em tempo e freqüência, a referência metrológica é um sinal rastreado ao tempo universal coordenado (UTC) real, mantido por um determinado NMI. Na gestão do sistema de tempo e freqüência, é usual denominar UTC (k) para referir-se ao tempo universal coordenado de um laboratório k.

Quando usando um serviço de disseminação de UTC de um NMI, ou seja, de um UTC(k), os metrologistas fazem uso de uma cadeia de rastreabilidade típica, conforme ilustrado na figura 59 (Lombardi, 1999).

Nesta figura, o elo `A` conecta o BIPM ao NMI, representando um processo de medição (comparação ao padrão internacional), cuja incerteza é relatada na Circular-T, mensalmente emitida pelo BIPM. O elo `B` representa o enlace controlado pelo NMI, cuja incerteza das medições realizadas é determinada pelo próprio NMI.

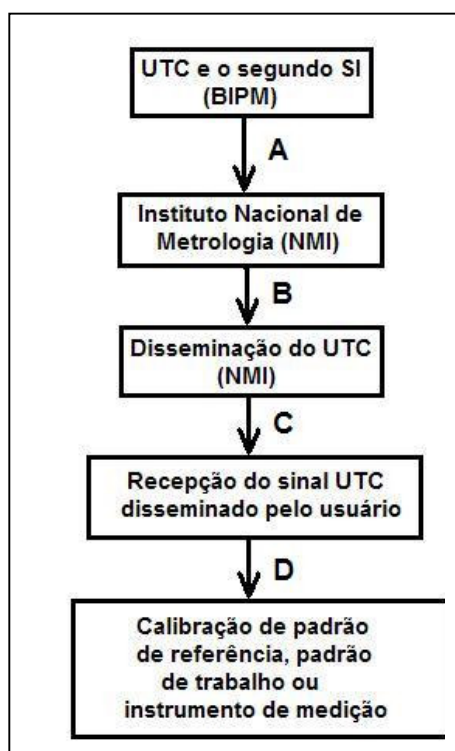


Figura 59 - Representação de uma cadeia típica de rastreabilidade

Alguns serviços estão conectados diretamente à escala de tempo UTC(k) do NMI enquanto outros estão em locais remotos e referenciados a padrões de frequência que são regularmente comparados ao UTC(k). O elo `C` conecta o serviço de disseminação do UTC ao usuário final, situação em que a incerteza associada depende do serviço realizado via transmissão por rádio, telefone, rede INTERNET ou, in loco, por um serviço de calibração. O elo `D` conecta o sinal disseminado ao padrão de referência do usuário e/ou ao padrão de trabalho ou instrumento de medição. Por exemplo, o sinal disseminado pode ser usado para calibrar um padrão de referência, que por sua vez pode ser usado para calibrar padrões de trabalho ou instrumentos de medição.

A análise da cadeia de rastreabilidade deve levar em consideração todos os fatores que a compõem e que podem influenciar a incerteza de medição, tais como: instrumentos de recepção, antenas, *software*, equipamentos de teste, procedimentos de medição e calibração e a própria interferência humana no processo. Regra geral, as incertezas associadas aos elos `C` e `D` são bem maiores que aquelas associadas aos elos `A` e `B`. Em muitos casos, estas podem ser desprezadas.

A figura 60 mostra como a Divisão Serviço da Hora (DSHO) do Observatório Nacional (ON) dissemina o UTC e freqüência aos seus usuários finais por meio dos seguintes serviços de tempo e freqüência: hora falada (via rádio VHF, telephone, INTERNET), sincronismo público de data-hora via INTERNET ou sincronismo público via linha telefônica de data-hora com certificação, carimbo de tempo e serviço de calibração.

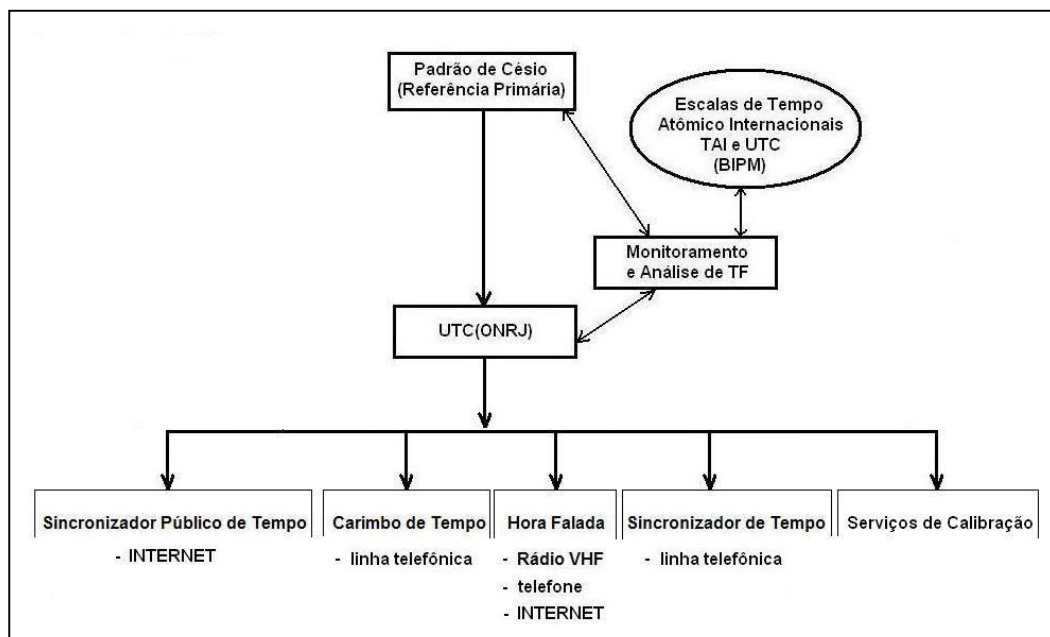


Figura 60 - Serviços de TF prestados pela DSHO

Rastreabilidade também pode ser estabelecida por meio de sinais não controlados por um NMI tais como sinais de rádio-navegação GPS.

#### 4.2.1.

##### Aplicações que requerem rastreabilidade de TF

A rastreabilidade de TF é necessária para calibração e testes de diversos dispositivos, desde os temporizadores até osciladores atômicos, que refletem o atual estado-da-arte.

##### a) Rastreabilidade para medições com baixa exatidão

Para um grande número de aplicações, a exatidão requerida para medição de TF é baixa e da ordem de algumas partes por centena, ou seja da ordem de  $10^{-2}$ . Pode-se citar, por exemplo, temporizadores eletrônicos e

mecânicos, parquímetros, radares medidores de velocidade, taxímetros e outros serviços para os quais uma incerteza de medição da ordem de 5% é usualmente aceita.

Dispositivos deste tipo são em geral calibrados por cronômetro de campo ou temporizadores com incerteza de  $2 \times 10^{-4}$ . Calibração de radares detetores de velocidade de veículos, com incerteza da ordem de  $1 \times 10^{-3}$ , são adequados para a medição de velocidade com uma confiabilidade de 0.1 km/h (Lombardi, 1999).

Algumas aplicações que requerem baixa exatidão, podem fazer uso de um sinal de áudio com hora falada, transmitido por sinal de rádio HF ou telefone ou INTERNET. Sempre que houver calibração utilizando hora falada, a maior fonte de incerteza é o próprio tempo de reação do homem ao acionar e parar o dispositivo de controle de tempo. Uma portadora de sinal de rádio também pode ser usada como referência de frequência, sendo utilizados, em geral, os valores de 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ou 20 MHz, obtendo-se rastreabilidade com incerteza de medição da ordem de  $\sim 10^{-6}$ , em calibrações utilizando (Lombardi, 1999).

Computadores ou redes de comunicação que utilizam relógios para sincronização constituem outro grupo de usuários que obtêm rastreabilidade junto a um NMI. Nestes casos, é possível sincronizar o relógio de um computador com exatidão de ms, pela utilização de um *software* dedicado e conexão ao NMI por meio de acesso telefônico dedicado, ou conexão INTERNET. Deve-se lembrar que alguns destes serviços são públicos e quando o usuário necessitar de rastreabilidade para fins legais será preciso contratar o serviço com certificação adequada para tal.

#### **b) Rastreabilidade para medições com alta exatidão**

Freqüentemente, faz-se necessária rastreabilidade com alta exatidão de medição envolvendo calibração de frequência ou de tempo (sincronização). Por exemplo, contadores de frequência ou geradores de sinal têm osciladores internos (base de tempo) que requerem calibração na faixa de  $10^{-6}$  to  $10^{-10}$  (Lombardi, 1999).

Organizações governamentais ou da indústria podem requerer medições com incertezas na faixa de  $10^{-7}$  a  $10^{-12}$ . Redes de telecomunicações digitais portadoras de informações de voz e dados com alta velocidade de transmissão requerem fonte de referência primária de frequência com incerteza de pelo menos  $10^{-11}$ . Para aplicações em energia elétrica, faz-se necessária sincronização de tempo com exatidão de  $1\mu\text{s}$  para localização de falhas em linhas de transmissão.

Ao utilizar-se sistemas de sistemas de rádio-navegação por satélites para a obtenção de rastreabilidade, deve-se lembrar que um receptor GPS não apresenta boa estabilidade no curto-prazo. Os métodos mais sofisticados de medição de TF são, em geral, reservados às comparações entre os NMI que utilizam, por exemplo: GPS CV monocanal, GPS CV multicanal, GPS+GLONASS CV multicanal ou TWSTFT. Estes métodos exigem troca de informações entre os NMI, fato que retarda a informação das medições impossibilitando resultados em tempo real. Apesar desta limitação, se obtém incertezas da ordem de  $10^{-13}$ .

Há diversas técnicas e sinais de referência para se estabelecer a rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais em medições de TF. Para algumas aplicações em metrologia, a rastreabilidade é estabelecida em intervalos periódicos, envolvendo embalagem e transporte de padrões de uma localidade para outra.

Contudo, a metrologia de TF oferece vários meios convenientes para se estabelecer a rastreabilidade contínua a um NMI, em tempo real. Enlaces diretos são estabelecidos a um NMI sob a forma de sinais com tempo UTC disseminados por rádio, telefone ou rede INTERNET.

#### **4.2.2.**

#### **O Tempo Atômico Internacional e o Tempo Universal Coordenado**

No desempenho da sua missão institucional de assegurar uniformidade internacional das medições e rastreabilidade ao SI, o BIPM gera a escala de tempo conhecida como Tempo Atômico Internacional (TAI), que é obtida por meio de um algoritmo que trata dados de 200 osciladores atômicos localizados em aproximadamente 50 NMI, em diferentes posições do planeta.

Para efeito do cálculo do TAI, a maioria dos osciladores utilizados é do tipo padrão de feixe de césio, havendo também alguns padrões do tipo maser de hidrogênio. Cada oscilador recebe um fator de ponderação, sendo atribuído um valor maior no cálculo para aqueles de melhor desempenho. Atualmente, entretanto, o peso desta ponderação não excede 1% para nenhum dos osciladores que compõem o tempo atômico universal.

Tendo em vista que o TAI é uma escala de tempo atômico, ela não é influenciada pelas irregularidades da rotação da Terra. Esta escala tem sido mais rápida que a escala de tempo astronômica UT1 em aproximadamente  $3 \times 10^{-8}$  por ano (Lombardi, 1999).

Relembrando, o tempo universal coordenado (UTC) acompanha o tempo atômico internacional (TAI), diferindo deste por um número inteiro de segundos denominados ‘segundos intercalados’ (*leap seconds*). A escala UTC é ajustada pela sua inserção ou retirada (segundos intercalados positivos ou negativos) assegurando, aproximadamente, uma concordância com o UT1. Isto significa que em média, durante o ano, a passagem do Sol sobre o meridiano de Greenwich às 12 h UTC não apresenta diferença que seja superior a 0,9 s em relação ao UTC; ou seja:

$$|\text{UT1} - \text{UTC}| < 0,9 \text{ s} \quad (4.1)$$

O que permite a seguinte correlação:

$$\text{UTC} = \text{TAI} - \text{‘leap seconds’} \quad (4.2)$$

Assim, o tempo UTC se mantém numericamente próximo ao tempo UT1 determinado pela rotação da Terra.

**O padrão internacional para metrologia de TF:** É a escala de tempo UTC, mantida pelo BIPM.

O UTC é, na verdade, uma escala de tempo denominada “de papel” (*paper clock*); um conceito teórico associado a um valor calculado e divulgado pelo BIPM por meio da chamada ‘Circular-T’ num prazo de 45 dias após a realização das medições de tempo pelos laboratórios que contribuem para formação do TAI. Como base de comparação, o UTC é confrontado com as referências de tempo mantidas pelos NMI e que recebem a indicação de

UTC(k), sendo k o identificador do referido NMI. Como meta e fazendo uso de tecnologias e processos adequados, compete aos NMI assegurar que seus respectivos relógios UTC (k) se aproximem, o máximo possível, do valor calculado (“de papel”) pelo BIPM. Em geral, a maioria dos NMI que enviam dados ao BIPM mantém o UTC(k) dentro de 1  $\mu$ s do UTC. Porém, em decorrência de competências localizadas, alguns NMI conseguem concordância melhor que 100 ns (Lombardi, 1999).

Tipicamente, a exatidão do método de transferência de tempo GPS CV está na faixa de 1 a 10 ns. Este método – baseado nas medições do código C/A transmitido nos sinais dos satélites e já abordado nos capítulos 3.4 e 3.5 – é utilizado como meio de comparação dos dados referentes aos relógios UTC(k) dos diversos laboratórios (k) que contribuem para o TAI.

Esta comparação de relógios segue o seguinte procedimento básico estruturado nas seguintes três etapas:

- i. Os receptores rastreiam os satélites GPS, seguindo uma programação internacional de rastreamento (*international tracking schedule*) divulgada pelo BIPM, duas vezes ao ano, para referenciar o tempo local (relógio UTC(k)) ao tempo (relógio) do sistema GPS. Isto é realizado diariamente por meio de aproximadamente 50 trilhas de satélites. Todos os laboratórios de calibração enviam os dados com a diferença entre seu relógio local UTC(k) e o tempo GPS ao BIPM.
- ii. O BIPM elimina o tempo do GPS (comum à comparação com todos os relógios locais) dos dados enviados pelos diversos laboratórios e obtém as relações entre os relógios locais dos diversos laboratórios.
- iii. O BIPM calcula um tempo atômico teórico por meio de um algoritmo que utiliza os dados obtidos dos diversos laboratórios.

Desde Janeiro de 1998, o TAI é calculado a partir de blocos de dados relativos ao período de um mês. A estabilidade do TAI está em aproximadamente  $3 \times 10^{-15}$  para períodos médios de 1 a 2 meses.



### 4.2.3. Circular-T do BIPM

O BIPM divulga em sua publicação mensal Circular-T o desvio de tempo entre o UTC e o UTC(k) mantido por cada instituição participante e está disponível no seguinte endereço da Internet:

<ftp://62.161.69.5/pub/tai/publication/>

A figura 61 apresenta um trecho da Circular-T 222 do BIPM, liberada em 13 de julho de 2006, com os valores de UTC-UTC(k) de alguns laboratórios, entre eles o ONRJ que é a sigla correspondente ao laboratório da DSHO. Os valores exemplificados cobrem o mês de junho de 2006, começando em 29 de maio de 2006 (MJD53884) e indo até 28 de junho de 2006 (MJD53914), em intervalos de 5 em 5 dias. A sigla MJD corresponde a *Modified Julian Day* (Dia Juliano Modificado), onde MJD equivale ao dia Juliano modificado que tem sua origem à meia-noite de 17 de novembro de 1858. A Circular-T é sempre divulgada com um mês de retardo (em média) em relação aos dados que são coletados e enviados ao BIPM pelos diversos laboratórios em todo mundo que contribuem para o cálculo do Tempo Atômico Internacional (TAI).

CIRCULAR T 222										ISSN 1143-1393	
2006 JULY 13, 09h UTC											
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES											
ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE DE LA CONVENTION DU METRE											
PAVILLON DE BRETEUIL F-92312 SEVRES CEDEX TEL. +33 1 45 07 70 70 FAX. +33 1 45 34 20 21 tai@bipm.org											
1 - Coordinated universal Time UTC and its local realizations UTC(k). Computed values of [UTC-UTC(k)] and uncertainties valid for the period of this circular. From 2006 January 1, 0h UTC, TAI-UTC = 33 s.											
Date 2006	0h UTC	MAY 29	JUN 3	JUN 8	JUN 13	JUN 18	JUN 23	JUN 28	Uncertainty/ns		Notes
Laboratory k	MJD	53884	53889	53894	53899	53904	53909	53914	uA	uB	u
NIST (Boulder)		6.5	7.1	7.4	6.9	6.9	8.5	9.2	0.7	5.0	5.0
ONRJ (Rio de Janeiro)		7203.9	7255.2	7302.5	7355.9	7415.8	7472.2	7524.1	5.0	20.5	21.1
OP (Paris)		-16.2	-12.9	-5.7	-2.7	-5.1	0.7	-2.9	0.7	2.2	2.4
PTB (Braunschweig)		30.0	32.7	34.6	29.5	28.2	26.8	25.8	0.5	1.7	1.8
2 - International Atomic Time TAI and Local atomic time scales TA(k). Computed values of [TAI-tai(k)].											
Date 2006	0h UTC	MAY 29	JUN 3	JUN 8	JUN 13	JUN 18	JUN 23	JUN 28			
Laboratory k	MJD	53884	53889	53894	53899	53904	53909	53914	[TAI-tai(k)]/ns		
NIST (Boulder)		-45293083.5	-45293276.7	-45293470.1	-45293664.4	-45293858.1	-45294050.3	-45294243.3			
ONRJ (Rio de Janeiro)		-	13.8	-21.7	-51.7	-77.8	-105.1	-119.0	(1)		
PTB (Braunschweig)		-358227.0	-358216.9	-358207.7	-358205.1	-358199.0	-358192.8	-358186.4			
USNO (Washington DC)		-34977304.5	-34977607.9	-34977912.5	-34978217.9	-34978523.7	-34978827.4	-34979133.0			
- Notes on section 2:											
(1) ONRJ: TA(ONRJ) is an independent local atomic time scale computed by ONRJ.											

Figura 61 - Exemplo de uma Circular-T do BIPM

Até setembro de 2006, quando da emissão da Circular-T 224, o BIPM vinha avaliando a contribuição de cada oscilador utilizando o método GPS CV

(*Common View*). Porém, a partir da Circular-T 225, emitida em outubro de 2006, o BIPM passou a calcular o TAI utilizando o método *All-in-View* (vide item-6.6 - *Time links used for the computation of TAI and their uncertainties* da Circular-T 225, no ANEXO F).

### 4.3.

#### Organizações internacionais e regionais de metrologia

Com o foco na estrutura hierárquica da metrologia (que permeia das unidades de base do SI, padrões internacionais, padrões nacionais, padrões dos laboratórios de referência ao usuário final), o presente tópico caracteriza as principais organizações internacionais e regionais de metrologia (RMO – *Regional Metrology Organization*, figura 63), fazendo menção aos Institutos Nacionais de Metrologia (NMI), mais detalhadamente descritos no seção 4.4.

Como motivação, inicia-se com uma visão histórica da evolução da metrologia mundial e da posição brasileira nesse contexto, destacando-se a cronologia de eventos marcantes:

- 1667 – Fundação do Observatório de Paris
- 1862 – D. Pedro II com a Lei Imperial nº 1.157 estabelece que o sistema de pesos e medidas brasileiro será substituído pelo sistema métrico francês.
- 1872 – Implantado o Sistema Métrico Decimal no Brasil.
- 1875 – 17 países assinam a Convenção do Metro, em Paris, dentre eles o Brasil.
- 1877 – Criado o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).
- 1880 – Comparação dos padrões brasileiros com os do BIPM.
- 1881 – Adoção internacional do Sistema CGS (centímetro, grama e segundo).
- 1887 – Criação do *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR), na Alemanha, antecessor do atual PTB.
- 1900 – Criação do *National Physical Laboratory* (NPL), no Reino Unido.
- 1901 – Criação do *National Institute of Standards and Technology* (NIST).
- 1905 – Conferência Nacional de Pesos e Medidas.

- 1931 – Por falta de recursos o Brasil se desliga da Convenção do Metro.
- 1938 – Promulgação da Legislação Metrológica Brasileira - Decreto-lei nº 592.
- 1940 – Criação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- 1945 – Primeiro concurso público, no Brasil, de formação de metrologista, no RJ.
- 1948 – Conferência Internacional de Pesos e Medidas.
- 1952 – Institucionalização do Sistema Internacional de Unidades - SI.
- 1953 – Reintegração do Brasil à Convenção do Metro.
- 1956 – Criação da Organização Internacional de Metrologia Legal / OIML e do Comitê Consultivo para Definição do Segundo (CCDS<sup>2</sup>) renomeado para Comitê Consultivo de Tempo e Frequência (CCTF) em 1997.
- 1960 – Brasil participa da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) que cria o Sistema Internacional de Unidades (SI).
- 1969 – Criação do *Bureau National de Métrologie* (BNM).
- 1973 – Criação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial INMETRO, no Brasil.

#### 4.3.1.

##### O Tratado Diplomático da Convenção do Metro

A Convenção do Metro (*Convention du Mètre*) é um acordo diplomático entre diversas nações, assinado em 20 de maio de 1875 por 17 nações (dentre elas o Brasil) que visa compatibilizar e normalizar os sistemas metrológicos da maioria das nações. Conta atualmente com 51 Estados-Membros. Ela confere autoridade ao CGPM (*Conférence Générale des Poids et Mesures*), ao CIPM (*Comité International des Poids et Mesures*) e ao BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*) para agir, na área de Metrologia, particularmente no que concerne a demanda de padrões de medição com exatidões cada vez maiores, faixas e

---

<sup>2</sup> Em francês – CCDS: *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*; CCTF: *Comité Consultatif du Temps et des Fréquences*.

diversidade, e a necessidade de demonstrar equivalência entre padrões de medição nacionais.

#### 4.3.2.

#### **O Bureau International des Poids et Mesures**

No âmbito mundial, a metrologia científica é coordenada pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), órgão criado pela Convenção do Metro. O BIPM está situado próximo à Paris, no Pavilhão de Breteuil, Sèvres, na França, e é subordinado a dois órgãos de deliberação superior:

- O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) que se reúne anualmente e zela pela Convenção do Metro e pelo desempenho do BIPM. Além disso, o BIPM é assessorado por 10 comitês consultivos. O CIPM é o órgão que recomenda e, em grande parte, orienta o rumo das pesquisas em metrologia, em nível mundial, em conformidade com o Sistema SI.
- A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), que se reúne a cada quatro anos e tem como atribuição fundamental supervisionar o SI, desenvolvendo a padronização das unidades e cuidando da sua dinamização e difusão, com a colaboração de todos os países membros, inclusive do Brasil (*site BIPM, 2006-2007*).

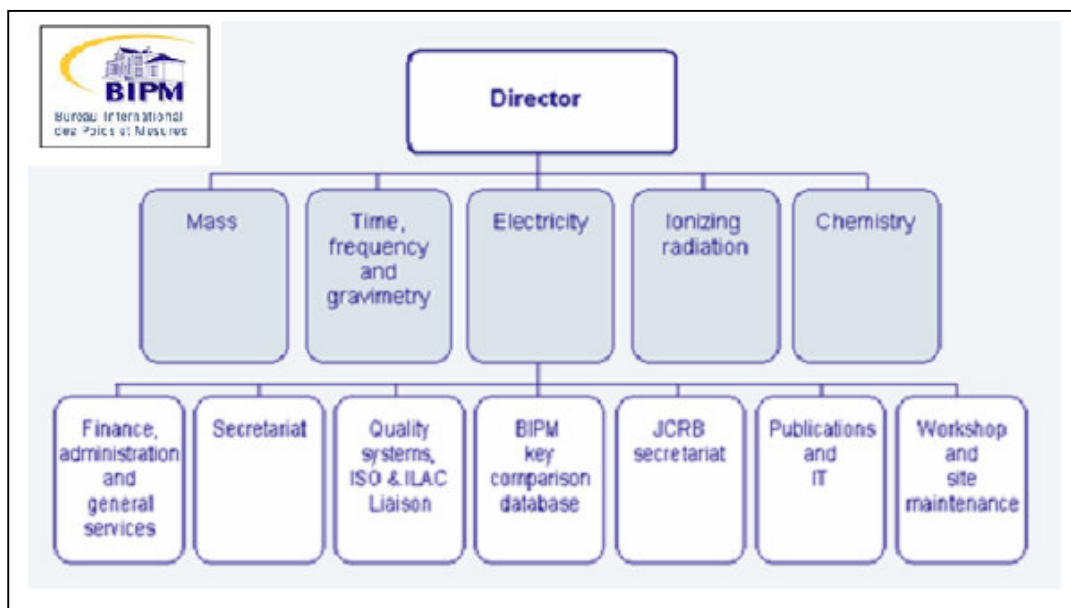


Figura 62 - Organograma do BIPM (*site BIPM*).

A missão do BIPM é assegurar uniformidade internacional das medições e rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI).

#### **4.3.3. Conferência Geral de Pesos e Medidas**

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM; em inglês: *General Conference on Weights and Measures*; em francês: *Conférence Générale des Poids et Mesures*) é constituída de representantes dos governos dos Estados-Membros e observadores associados à CGPM.

Esta conferência geral recebe os relatórios do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), examina e discute os acordos requeridos para assegurar a melhoria e propagação do Sistema Internacional de Medidas (SI). Ela endossa resultados de novas determinações metrológicas fundamentais e várias resoluções de caráter científico internacional, bem como delibera sobre decisões concernentes à organização e desenvolvimento do BIPM, assim como o orçamento para o próximo período de quatro anos. Esta conferência ocorre em Paris a cada quatro anos, tendo a última sido realizada em outubro de 2003.

#### **4.3.4. Comitê Internacional de Pesos e Medidas**

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM; em inglês: *International Committee for Weights and Measures*, em francês: *Comité International des Poids et Mesures*) é composto de dezoito representantes de Estados-Membros sob a Convenção do Metro. Sua função principal é promover a uniformidade mundial das unidades de medidas e isto é implementado por ação direta ou submetendo resoluções à Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

O CIPM reúne-se anualmente no BIPM e, dentre outros encargos, discute os relatórios apresentados por seus Comitês Consultivos.

O CIPM também deve:

- discutir o trabalho do BIPM sob a autoridade delegada pela CGPM;

- publicar um relatório anual sobre a posição financeira e administrativa do BIPM para os governos dos Estados-Membros da Convenção do Metro;
- discutir trabalhos de metrologia realizados em comum pelos Estados-Membros e estabelecer diretrizes e coordenar atividades entre especialistas em metrologia;
  - estabelecer recomendações apropriadas.

#### 4.3.5. Comitê Consultivo para Tempo e Frequência

O Comitê Consultivo para Definição do Segundo (CCDS) foi estabelecido em 1956 e seu nome foi mudado para Comitê Consultivo para Tempo e Frequência (CCTF<sup>3</sup>) pela CIPM de 1997. Suas atividades estão associadas a assuntos relacionados com a definição e realização do segundo, estabelecimento e difusão do Tai e do Tempo Universal Coordenado (UTC) e interagir com o CIPM quanto às matérias de escalas de tempo e tempo, em geral.

#### 4.3.6. European Collaboration in Measurement Standards

A *European Collaboration in Measurement Standards* EUROMET<sup>4</sup> é uma organização cooperativa voluntária entre diversos institutos nacionais de metrologia da União Européia (UE ou EU = *European Union*) e EFTA (*European Free Trade Association*). A EUROMET foi criada em setembro de 1987, na Espanha, por meio da assinatura do documento *Memorandum of Understanding* (MOU) por diversos Estados europeus, tornando-se operacional em 1988. Atualmente conta com a participação de 34 membros.

A EUROMET tem como objetivo promover a coordenação de atividades e serviços de metrologia com o propósito de buscar o máximo de eficiência.

---

<sup>3</sup> CCTF, em francês: *Comité Consultatif du Temps et des Fréquences*; em inglês: *Consultative Committee for Time and Frequency*).

<sup>4</sup> Por decisão da 21ª Assembleia Geral da EUROMET, em Teddington – UK, realizada em 30-31 de maio de 2007, a EUROMET foi encerrada e suas atividades transferidas para a EURAMET (*European Association of National Metrology Institutes*) criada em 01/06/2007.

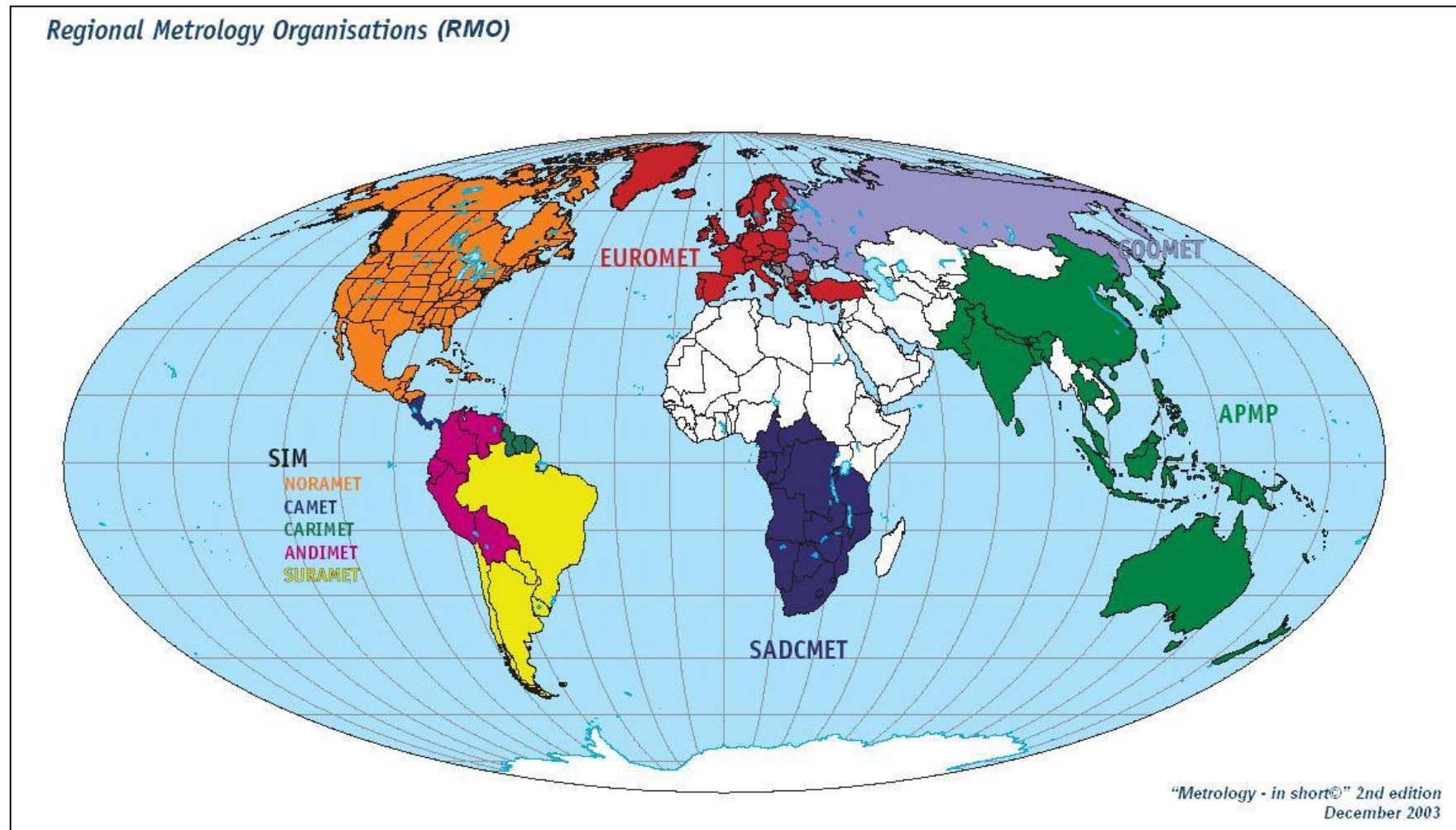


Figura 63 – Organizações Regionais de Metrologia (RMO)

#### **4.3.7. Sistema Inter-americano de Metrologia**

O Sistema Inter-americano de Metrologia (SIM) resultou de um amplo acordo de organizações nacionais de metrologia de 34 nações-membro da Organização dos Estados Americanos (OEA; *Organization of American States* (OAS)).

O SIM foi criado para promover cooperação regional e internacional em metrologia inter-americana. O SIM é comprometido com a implementação de um Sistema de Medição Global nas Américas, em que os usuários tenham plena confiança. Um sistema de medição regional robusto e confiável contribui também para o desenvolvimento da área de livre comércio nas Américas (ALCA).

Está organizado em 5 subregiões: NORAMET, CARIMET, CAMET, ANDIMET e SURAMET indicadas na figura 63 (*site* SIM, 2006-2007).

#### **4.3.8. Euro-Asian Cooperation of State Metrology Institutions**

A *Euro-Asian Cooperation of State Metrology Institutions* (COOMET) é uma organização regional para estabelecer cooperação entre os institutos nacionais de metrologia (NMI) de países do centro-leste europeu (*site* COOMET, 2006-2007).

Ela foi fundada em junho de 1991 e está aberta a países de outras regiões que queiram associar-se como membros.

Atualmente, os membros da COOMET são as seguintes instituições de metrologia: Bielo-Rússia, Bulgária, Geórgia, Alemanha (membro associado), Casaquistão, Quirguistão, DPR da Coreia (membro associado), Cuba (membro associado), Lituânia, Moldávia, Rússia, Romênia, Eslováquia, Usbequistão e Ucrânia.

A atividade básica da COOMET é a cooperação nas seguintes áreas: medições padrão de quantidades físicas, metrologia legal, acreditação e sistemas de gerenciamento de qualidade, informação e treinamento. Dentre seus objetivos destacam:



- Prestar assistência para soluções efetivas de problemas pertinentes a uniformização de medições e sua requerida exatidão.
- Prestar assistência para promover cooperação nas economias nacionais e eliminar barreiras técnicas no comércio internacional.
- Harmonizar as atividades de serviços metrológicos dos países euro-asiáticos com atividades similares em outras regiões.

#### **4.3.9. Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability**

A SADC MET (*Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability*) é uma organização para coordenar as atividades e serviços de metrologia na região africana, provendo serviços de testes e calibração, incluindo regulamentos e padrões de medição nacionais legalmente reconhecidos regional e internacionalmente ao SI (*site SADC MET, 2006-2007*).

#### **4.3.10. Asia Pacific Metrology Programme**

A *Asia Pacific Metrology Programme* (APMP) é uma associação para desenvolvimento do reconhecimento internacional e capacitação metrológica para região da Ásia-Pacífico. Em agosto de 1997, foi assinado pelos membros participantes da APMP o *Memorandum of Understanding* (MoU), formalizando o comprometimento com os objetivos do programa (*site APMP, 2006-2007*).

#### **4.3.11. International Earth Rotation and Reference Systems Service**

A *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS) é uma associação estabelecida em janeiro de 1988 pela International Astronomical Union e a International Union of Geodesy and Geophysics, recebendo inicialmente o nome de International Earth Rotation Service e sendo renomeada em 2003 para o nome atual.

O principal objetivo da IERS é atender as comunidades astronômica, geofísica e geodésica fornecendo (*site* IERS, 2006-2007):

- O Sistema de Referência Celestial Internacional (ICRS) e sua realização: o International Celestial Reference Frame (ICRF).
- O Sistema de Referência Terrestre Internacional (ITRS) e sua realização: o International Terrestrial Reference Frame (ITRF).
- Parâmetros de orientação da Terra requeridos para estudar variações de orientação da Terra para fazer conversões entre o ICRF e o ITRF.
- Dados geofísicos para interpretar variações no ICRF, ITRF ou parâmetros de orientação terrestre e modelar tais variações.
- Padrões, constantes e modelos (isto é, convenções) e incentivando aderência.
- Orientação quanto à necessidade de aplicação ou não do “*leap second*”.

#### **4.3.12. International GPS Service**

O sistema IGS (*International GNSS Service*), formalmente *International GPS Service*, é uma federação voluntária de mais de 200 agências, em todo o mundo, que congrega e torna disponíveis recursos e dados permanentes de estações GPS e GLONASS para gerar produtos de alta qualidade baseados nos sistemas GPS e GLONASS como padrão para GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), dando suporte à pesquisa científica sobre a Terra, aplicações multidisciplinares e educação. O IGS pode ser visto como a mais qualificada comunidade civil internacional GPS (*site* IGS, 2006-2007).

#### **4.4. Institutos Nacionais de Metrologia (NMI)**

Logo abaixo do BIPM, na cadeia de rastreabilidade, estão os Institutos Nacionais de Metrologia (NMI) apresentados a seguir.

#### **4.4.1. Observatório de Paris e o LNE-SYRTE**

O Observatório de Paris foi fundado em 1667 como centro de pesquisas astronômicas geográficas e geodésicas, desempenhando importante papel na navegação.

O LNE-SYRTE (*Laboratoire National de métrologie et d'Essais - Système de Références Temps-Espace* - antigo BNM - SYRTE– *Bureau National de Métrologie - Système de Références Temps-Espace*) é o laboratório nacional de metrologia francês para a área de tempo e frequência. O LNE-SYRTE faz parte do Observatório de Paris e está ligado, por um acordo, ao Laboratório Nacional de Metrologia e Ensaio LNE (*Laboratoire National de Métrologie et d'Essais*) e ao CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*).

Desde janeiro de 2005, a responsabilidade pela metrologia francesa foi confiada ao LNE, em substituição à antiga estrutura denominada BNM (*Bureau National de Métrologie*) que desempenhava esta função desde 1969. É a organização que representa a França junto ao BIPM em assuntos de metrologia.

#### **4.4.2. Observatório Nacional e Divisão Serviço da Hora**

Fundado em 1827 por D. Pedro I, o Observatório Nacional (ON) tinha como objetivos iniciais orientar os estudos geográficos, geodésicos e astronômicos voltados para a navegação e contribuir na formação dos alunos da Academia de Guardas-Marinhas. Tendo ao longo de sua história pertencido a diversos Ministérios, desde 1999 o ON é uma Unidade de Pesquisa diretamente vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia. Atualmente, o ON desenvolve atividades de pesquisa, ensino e serviços nas áreas de Astronomia, Geofísica e Metrologia de Tempo e Frequência.

O Observatório Nacional é uma das instituições científicas mais antigas do país. Desenvolve atividades de pesquisa nas áreas de Astronomia e Astrofísica, Geofísica e Metrologia de Tempo e Frequência, possui cursos de pós-graduação (mestrado e doutorado) em Astronomia, Astrofísica e Geofísica,

além de ser o responsável legal pela geração, conservação e disseminação da Hora Legal no Brasil.

A Metrologia de Tempo e Freqüência é desempenhada pela Divisão Serviço da Hora (DSHO).

A história do Observatório Nacional se confunde com a história das instituições científicas no Brasil. A sua criação, nos primeiros anos da nação foi motivada pela necessidade de fazer frente às demandas que desde já ocorriam. Nas palavras de Henrique Morize (Salamandra, O Observatório Astronômico, 1987): “no começo do século findo esta cidade do Rio de Janeiro, com o influxo da Independência, havia tomado um grande desenvolvimento comercial e seu porto era um dos mais freqüentados por numerosas embarcações, cujos capitães tinham necessidade de conhecer a declinação magnética, assim como a hora média e a longitude para regular seus cronômetros, a fim de poder empreender com segurança a viagem de retorno ou de continuá-la ao redor do mundo. Habitualmente, as operações astronômicas necessárias à obtenção daqueles dados eram efetuadas, com maior ou menor facilidade por processos aproximados, pelos comandantes de navios ou pelo oficial encarregado da navegação. Mas, muitos desses elementos poderiam ser obtidos com mais exatidão e facilidade por profissionais, providos de instrumentos instalados em um Observatório, e capazes, pela sua instrução especial e guiados pela experiência, de obtê-las com maior exatidão e segurança. Da mesma maneira, havia necessidade de conhecer os elementos geográficos de pontos do território, para construir a indispensável carta.”

Assim, em 15 de outubro de 1827, o Imperador D. Pedro I decretou a criação de um observatório “dirigido debaixo da inspeção do Ministério do Império, pelos regulamentos que oferecem de acordo os Lentes das Academias Militar e da Marinha com o Corpo de Engenheiros”. Instalado no torreão da Escola Militar, foi o professor de matemática Pedro de Alcantara Bellegarde quem ficou à frente do mesmo. Durante quase duas décadas, o Observatório pouco progrediu, até que, em 1845, o Ministro da Guerra, Jerônimo Francisco Coelho, reorganizou-o como Imperial Observatório do Rio de Janeiro. Nessa ocasião, foi colocado à frente das mudanças, e como seu

primeiro dirigente denominado de Diretor, o professor Soulier de Sauve, da Escola Militar. Por iniciativa dele, o Observatório foi transferido para a Fortaleza da Conceição, passou a desenvolver-se e, em 1846, teve o seu primeiro Regulamento aprovado por decreto. Entre 1846 e 1850, Soulier transferiu o Observatório para as antigas instalações de uma igreja no Morro do Castelo, local onde permaneceu até 1920. Com a morte do professor Soulier em 1850, foi nomeado Diretor do Observatório o Tenente Coronel Engenheiro Antônio Manoel de Mello, também professor da Escola Militar, e que permaneceu no cargo até 1865, sendo substituído pelo Capitão –Tenente Antônio Joaquim Cruvelo d'Avila.

Em 1865 a Escola Militar sofreu um desmembramento, dando origem à Escola Central, à qual ficou subordinado o Observatório. Em 1871, ele foi desligado da Escola Central, sendo criada a Comissão Administrativa do Imperial Observatório do Rio de Janeiro, e nomeado para a sua direção o renomado cientista francês Emmanuel Liais, que o remodelaria nos seus dois períodos de gestão (01 a 07/1871 e 1874 a 1881). Entre 1871 e 1874, Camilo Maria Ferreira Armond, o Visconde de Prados, deu continuidade ao trabalho empreendido por Liais. Na realidade, de 1827 a 1871, o Observatório ocupou-se quase que exclusivamente da instrução de alunos das escolas militares de terra e mar. Em 1871, foi retirado da administração militar e reorganizado para dedicar-se exclusivamente à pesquisa e prestação de serviços à sociedade em meteorologia, astronomia, geofísica e na medição do tempo e na determinação da hora. Liais, em 1871, deu início às solicitações para que o governo transferisse o Observatório para um local mais adequado à sua finalidade, fato que viria ocorrer somente cinquenta anos mais tarde.

Em 1885, foi publicado o primeiro volume do Anuário do Observatório - uma das mais antigas publicações periódicas que se edita até hoje e, na realidade, uma continuação das Efemérides Astronômicas, publicadas de 1862 a 1870. Em 1886, inicia-se a publicação da Revista do Observatório – primeira revista exclusivamente científica produzida no País -, que foi interrompida em 1891.

Coube ao engenheiro militar e astrônomo belga Luis Cruls, colaborador de Liais em diversos trabalhos científicos, sucedê-lo na direção do Observatório em 1881, permanecendo no cargo até 1908. Em 1888, o

Parlamento votou uma verba que permitiu o início da construção do novo Observatório na Fazenda Imperial de Santa Cruz. Logo após a proclamação da República, em 1890, o Observatório retornou à subordinação do Ministério da Guerra, agora com o nome de Observatório do Rio de Janeiro, tendo como anexo o Serviço Geográfico e sendo abandonada a idéia da sua mudança para Santa Cruz.

Dignos de menção, dentre os valiosos trabalhos prestados pelo Observatório Nacional, no século XIX, estão o estabelecimento e demarcação de parte de nossas fronteiras e a expedição, chefiada por Cruls, realizada ao Brasil Central, entre 1892 e 1896, para a escolha do local aonde seria construída a nova capital – Brasília.

Com o falecimento de Cruls em 1908, assumiu a sua direção o astrônomo Henrique Charles Morize. Em 1909, pelo decreto 7.672, de 18 de novembro, foi criado, no Ministério da Agricultura, a Diretoria de Meteorologia e Astronomia, tendo a ela subordinado o Observatório Nacional - ON, sendo extinto o Observatório do Rio de Janeiro. Em 1921, as duas áreas que compunham a Diretoria foram separadas, dando origem a dois institutos: um dedicado à meteorologia, denominado Diretoria de Meteorologia, e outro à astronomia, geofísica e metrologia (tempo e frequência), que conservou o nome de Observatório Nacional - ON.

Morize, discípulo de Cruls, continuou a luta para dotar o ON de instalações adequadas às suas importantes atividades. Finalmente, em 1922, o Observatório foi transferido do Morro do Castelo (atual Esplanada do Castelo) para o Morro de São Januário, em São Cristóvão, onde se encontra até hoje. Ao falecer, em 1930, Morize deixou para seus sucessores o ON organizado, equipado e dotado de pessoal altamente qualificado.

Em 1930, o Observatório Nacional passou a integrar o recém criado Ministério da Educação e Cultura - MEC, sendo transferido deste para o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, em 1976. Com essa nova subordinação, prosseguiu nos seus objetivos, procurando ampliar as suas linhas de pesquisa, pois se encontrava, a partir dessa data, ligado a um autêntico órgão de desenvolvimento científico e tecnológico, o Conselho, do qual, na realidade, já vinha dependendo indiretamente desde a sua criação, em 1951.

Em 1955, o ON ampliou sua atuação em magnetismo terrestre colocando em funcionamento um observatório na ilha de Tatuoca, na foz do Rio Amazonas. Em 1972, o projeto de instalação de um moderno observatório astrofísico pelo ON foi aprovado pela FINEP sendo, então, adquirido um grande refletor cassegrain-coudé de 1,60 metros, que foi instalado em Brasópolis, Minas Gerais, tendo recebido a primeira luz em 22 de abril de 1980. Em fevereiro de 1981 foi inaugurado pelo Dr. Muniz Barreto, então diretor do ON, tal instalação que recebeu o nome de Observatório Astrofísico Brasileiro – OAB. Em 13 de março de 1985, o OAB foi desmembrado do ON, dando origem ao atual Laboratório Nacional de Astrofísica – LNA.

Em 1982, o CNPq criou o Projeto de Memória de Astronomia e de Ciências Afins, com o objetivo de preservar a história da astronomia, geofísica, meteorologia, metrologia, física e química, que tiveram, no Brasil, suas origens no ON. Em 1985, o projeto deu lugar à criação do Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST, desvinculado do ON, mas ocupando suas instalações originais construídas no Morro de São Januário no primeiro quarto do século XX, além de manter sob a sua guarda todo o acervo histórico do mesmo, incluindo lunetas, cúpulas e centenas de instrumentos. Hoje, todo esse patrimônio acha-se tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN e pelo Instituto Estadual do Patrimônio Cultural - INEPAC, sendo alvo de cuidados especiais para sua preservação.

No ano de 1984, o ON foi credenciado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO como Laboratório Primário de Tempo e Freqüência, estabelecendo o vínculo legal para as atividades de calibração na área de Tempo e Freqüência e como órgão mantenedor dos padrões primários de Tempo e Freqüência. No mesmo ano, com a participação de um comitê de especialistas na Área de Tempo e Freqüência foi elaborado o projeto denominado Laboratório Primário de Tempo e Freqüência – LPTF, sendo o mesmo submetido ao Subprograma Tecnologia Industrial Básica - TIB, no PADCT. O projeto LPTF foi aprovado em agosto de 1986 tendo o contrato de execução sido assinado entre o CNPq-ON e a STI-MIC.

Finalmente, em 1999, o Observatório foi transferido para a subordinação direta do Ministério da Ciência e Tecnologia, sua posição atual.

Ao longo do século XX, o ON foi pioneiro no Brasil (i) na execução continuada de pesquisas astronômicas, (ii) nos levantamentos geofísicos do território nacional que resultaram na implantação de redes de referência do campo de gravidade, a partir de 1955, e do campo magnético terrestre, desde 1915, com a implantação do Observatório Magnético de Vassouras, no Rio de Janeiro, até hoje integrado à estrutura do ON, além das primeiras medidas sismológicas do país e (iii) na geração, manutenção e disseminação da hora legal brasileira, definida pela Lei 2.784 de 18 de Junho de 1913, regulamentada pelo Decreto 10.546 de 5 de Novembro de 1913 (Salamandra, 1987).

A partir de fevereiro de 1984, por designação do INMETRO, a DSHO passou a desempenhar a função de Laboratório Primário de Tempo e Freqüência (LPTF). Os anexos A, B e C trazem os decretos relativos à determinação da Hora Legal Brasileira (Lei n° 2.784 de 18 de junho de 1913, Decreto n° 10.546 de 5 de novembro de 1913 e Decreto n° 4264 de 10 de junho de 2002).

#### **4.4.3. Physikalisch-Technische Bundesanstalt**

O *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB) criado em 1950 é o instituto nacional de metrologia da Alemanha, fornecendo serviços técnicos e científicos. O PTB foi precedido pelo *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR) fundado em 1887 e que assumia a autoridade central de metrologia na Alemanha (*site* PTB, 2006-2007).

#### **4.4.4. National Physical Laboratory**

O *National Physical Laboratory* (NPL) é o laboratório de padrões nacionais do Reino Unido e foi criado em 1900 (*site* NPL, 2006-2007).



#### **4.4.5. National Institute of Standards and Technology**

O *National Institute of Standards and Technology* (NIST) foi fundado em 1901 e é uma agência federal não regulatória pertencente ao departamento de comércio dos Estados Unidos da América (*U.S. Commerce Department's Technology Administration*). O NIST tem a missão de promover a competitividade industrial e inovação americana através do avanço da ciência de medição, padrões e tecnologia (*site NIST, 2006-2007*).

#### **4.4.6. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**

No Brasil, durante o primeiro Império, foram feitas diversas tentativas de uniformização das unidades de medidas. Em 26 de junho de 1862, Dom Pedro II promulgava a Lei Imperial nº 1157 e com ela oficializava, em todo o território nacional, o sistema métrico decimal francês. O Brasil foi uma das primeiras nações a adotar o novo sistema, que seria utilizado em todo o mundo (*site INMETRO, 2006-2007*).

Com o crescimento industrial do século seguinte, fazia-se necessário criar no país instrumentos mais eficazes de controle que viessem a impulsionar e proteger produtores e consumidores.

Assim, em 1961, foi criado o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), que implantou a Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade, os atuais IPEMs, e instituiu o Sistema Internacional de Unidades (SI) em todo o território nacional.

Logo, verificou-se que isso não era o bastante. Era necessário acompanhar o mundo na sua corrida tecnológica, no aperfeiçoamento, na exatidão e, principalmente, no atendimento às exigências do consumidor. Era necessário a Qualidade.

Em 1973, nascia o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, o INMETRO, que no âmbito de sua ampla missão institucional, objetiva fortalecer as empresas nacionais, aumentando a sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços.

