

Medida, ciência e indústria

Ao tempo em se encerravam, sem grande brilho, as primeiras iniciativas do governo brasileiro no campo da metrologia, um novo ciclo de desenvolvimento científico e tecnológico consolidava-se no mundo industrializado. Concretizada a utopia iluminista da unificação dos sistemas de pesos e medidas, baseados em fenômenos físicos invariantes, a metrologia começava a apresentar seus frutos prometidos como instrumento da física experimental e como elemento imprescindível no campo industrial. Já na virada do século XIX, esta associação ultrapassaria fronteiras jamais imaginadas pelos defensores do sistema métrico.

A consolidação do Bureau Internacional de Pesos e Medidas/BIPM, simbolizada pela entrega dos trinta padrões do metro e do quilograma aos países signatários da Convenção do Metro, entre 1875 e 1889, representou o ponto final no processo de organização do sistema métrico. A fração do meridiano terrestre materializou-se no metro padrão e no quilograma padrão depositados no Pavilhão de Breteuil – uma construção de 1743 cedida pelo governo francês, situada no Parque de Saint-Cloud, em Sèvres, a oeste de Paris –, que encontravam assim o caminho para sua universalização, passando a ser legalmente reconhecidos até mesmo pela Inglaterra e pelos Estados Unidos.¹

Sua maquinaria institucional,² apesar das resistências da comunidade científica francesa também foi posta em funcionamento. A Conferência Geral de Pesos e Medidas/CGPM, composta por delegações diplomáticas dos países signatários da Convenção do Metro, reuniu-se pela primeira vez em 1889, com poderes para apreciar o relatório do Comitê Internacional de Pesos e Medidas/CIPM, a indicação do diretor, e a posição administrativa e financeira do Bureau. Este último passou a contar com um *staff* científico, laboratórios e uma secretaria para manutenção dos protótipos internacionais do quilograma e do metro, além de aferir os padrões por solicitação de vários países.³

Entretanto, o movimento que, através da crítica ao trabalho dos pioneiros do final do século XVIII – o metro e o quilograma dos arquivos –, levou às definições cientificamente sólidas da Convenção do Metro de 1875 fazia parte de uma transformação muito mais ampla. As últimas décadas do século XIX testemunharam o início da revolução científica, cujos desdobramentos até hoje vivemos.

Em 1864, James Clerk Maxwell deu forma matemática às descobertas de Michael Faraday sobre as relações entre corrente elétrica e campos magnéticos, consolidando a teoria do eletromagnetismo. Em 1865, como resultado de quase vinte anos de pesquisas sobre termodinâmica, Rudolf Clausius chegava ao conceito de entropia. Em 1897, os experimentos de J. J. Thomson demonstraram a existência do elétron, e, em 1898, os trabalhos de Pierre e Marie Curie comprovaram a existência da radioatividade. Seja no estudo da eletricidade, termodinâmica ou radioatividade, a exigência por instrumentos e técnicas de medição acompanhava a sofisticação experimental do trabalho científico.

A grande novidade, porém, estava na ligação crescente entre tais descobertas e o mundo industrial em expansão. O estudo da termodinâmica e o aperfeiçoamento das técnicas de medição de temperaturas eram cruciais para a operação de altos-fornos e máquinas a vapor. Na esteira dos trabalhos de Faraday e Maxwell sobre eletricidade e eletromagnetismo, vieram a invenção do telefone por Graham Bell, em 1876, a instalação da primeira usina elétrica por Thomas Edison, em 1882, e o telégrafo sem fio por Marconi, em 1896. Em si mesma, a expansão do uso doméstico e industrial da energia elétrica constitui, sem qualquer dúvida, a principal força subjacente à redefinição da metrologia científica.⁴

O BIPM, tal como organizado, não poderia exercer papel importante neste primeiro momento. Os termos de sua criação, com a responsabilidade estritamente limitada aos padrões de massa e extensão, iriam perdurar até o final dos anos 1920, estando seus meios financeiros e de infra-estrutura limitados a este fim.⁵

A discussão sobre as medidas elétricas, que implicava debate adicional sobre medidas de trabalho, luminosidade e tempo, encontrou, então, seu espaço na crescente associação dos foros científicos com a comunidade de negócios. Esta associação foi inaugurada pelo Congresso Internacional de Eletricidade de 1893, em Chicago, e confirmada pela Conferência Internacional de Londres, de 1908, que definiram as unidades para corrente e resistência elétricas. O significado industrial das novas medidas já era muito claro e sua utilização concreta não passava mais simplesmente pela calibração de padrões internacionais, mas também pela sua adequação e difusão.⁶

Dessa forma, organizações científicas de natureza diversa tinham de ser instituídas para dar conta da escala e da sofisticação crescente dos problemas metrológicos. Assim, se a partir da década de 80 do século XIX, a história da metrologia pode ser escrita como a história do impacto da ciência sobre o conceito de medida, ela é também a história das organizações nacionais que tornaram estes avanços realidades tecnológicas concretas. Duas delas são aqui analisadas: o Instituto Federal Físico-Técnico da Alemanha e o National Bureau of Standards (Bureau Nacional de Padrões [NBS]) dos Estados Unidos da América.

O surgimento dos laboratórios nacionais

Physikalisch-Technische Bundesanstalt/PTB

Um dos primeiros institutos tecnológicos criados após a instalação do BIPM, foi o Physikalische-Technische Reichsanstalt/PTR ou Instituto Físico-Técnico do Reich. Fundado em março de 1887, deveu-se à iniciativa do industrial Werner von Siemens e do cientista Hermann von Helmholtz, seu primeiro presidente. Sua origem está relacionada ao processo de institucionalização da física experimental na Alemanha, conjugada com a expansão de novos setores industriais.

No curso das décadas de 30 e 40 do século XIX, a pesquisa científica na Alemanha abandonara o mundo dos gabinetes privados para se instalar definitivamente na estrutura universitária.⁷ Nas últimas décadas do século, deu-se um grande passo com a criação, nas universidades, dos grandes laboratórios. Entre 1873 e 1913, 23 laboratórios de física experimental iniciavam seus trabalhos na Alemanha.⁸ Neste mesmo período, a pesquisa experimental começou a oferecer insumos cada vez mais decisivos para o surgimento de novos ramos industriais. Este processo, surgido na indústria química e mecânica, com as exigências cada vez maiores em termos da qualidade dos instrumentos e medições, atingiu um novo patamar na indústria de vidro e produtos ópticos, a partir de 1865, e em todos os setores vinculados ao desenvolvimento da energia elétrica, após 1870.⁹

Siemens e Helmholtz, porém, desejavam mais que um instituto universitário. Pensavam em manter o alto nível da pesquisa científica, mas com igual direcionamento para áreas tecnológicas. Seria fundamental prosseguir com os estudos teóricos nos campos da óptica, eletricidade, mecânica e metalurgia, mas também haveria que desenvolver *expertise* no campo do projeto e teste de instrumentos, novos materiais e produtos. Para que esta relação entre a dimensão acadêmica e o mundo industrial fosse mantida na sua administração e nos programas de pesquisa, a instituição teria a supervisão de um conselho curador integrado por cientistas, homens de governo e industriais. A importância do projeto para o governo do Reich pode ser auferida pelo montante de recursos destinados ao grupo de laboratórios construídos em Charlottenburg, cerca de três milhões e seiscentos mil marcos, mais que o dobro dos valores destinados pelos Estados Unidos à criação do NBS e mais de seis vezes o montante destinado pelo governo inglês à criação do National Physical Laboratory.¹⁰

O nível de excelência alcançado pelo PTR em suas primeiras décadas de funcionamento pode ser avaliado pela competência dos cientistas que se juntaram a Helmholtz como pesquisadores, gente do porte de Max Planck, Werner Wien e Otto Lumer, e pelas repercussões das primeiras pesquisas. As novas leis sobre radiações eletromagnéticas foram confirmadas por experimentos ali realizados em 1900. Em 1902, iniciaram-se os estudos sobre interferometria. O trabalho empírico desenvolvido sobre radiações, entre 1906 e 1911, viria a constituir a base para a elaboração da teoria quântica.

Os novos ramos da física também foram contemplados na organização do instituto. Em 1912, construiu-se um laboratório para o estudo da radioatividade e, no ano seguinte, um outro para o estudo do magnetismo. Em 1914, ocorreu sua primeira reestruturação, passando a contar com três divisões: Óptica; Eletricidade; e Calor e Pressão. Uma nova geração de cientistas agregou-se à Instituição. Em 1945, Albert Einstein tornou-se pesquisador visitante. Em 1922, Walter Nerst, prêmio Nobel de Física, assumiu a presidência do instituto.

Uma das importantes conseqüências do reconhecimento do trabalho desenvolvido no PTR foi a assunção de atribuições legais no campo metrológico. Em 1898, por ocasião da promulgação de legislação específica sobre a definição e o uso de medidas elétricas, o instituto recebeu a tarefa de guardar e manter os novos padrões, e, em decorrência disso, calibrar instrumentos. O papel por ele desempenhado neste campo, contudo, não era consensual entre pesquisadores e dirigentes, sendo visto como conflitante com sua missão científica.¹¹ Seja como for, apenas após o fim do Segundo Reich as atribuições do instituto viriam a ser ampliadas neste sentido.

Desde 1816, a responsabilidade pela uniformização dos pesos e medidas nos territórios alemães cabia a uma comissão específica que enfrentava os mesmos obstáculos já analisados em outros países: fragmentação da ação pública, falta de padrões, pouco empenho político. Com a unificação do Estado alemão, seguida da adoção do sistema métrico, delinearam-se novas condições, sendo finalmente criado um Instituto de Pesos e Medidas, como contrapartida alemã ao Bureau Internacional. Este instituto e o PTR viveriam paralelamente, não sem restrições de parte a parte, até que as críticas dos setores industriais e a crise fiscal do início dos anos 20 tornaram imperiosa a unificação.

Em 1923, o PTR foi elevado à categoria de autoridade legal no campo de pesos e medidas, recebendo a atribuição da guarda e conservação das unidades de comprimento e massa, e do credenciamento das entidades de ensaios e calibração, sendo inaugurada em sua estrutura uma divisão específica para este campo de trabalho. A excelência no campo da metrologia científica continuava a ser, porém, a marca da instituição. Em 1926, foi inventado um

comparador para medidas de comprimento por interferometria. No ano seguinte, trabalho conjunto com o NBS fixou os pontos fundamentais da escala internacional de temperatura, sendo o padrão para a unidade *caloria* criado em 1929 pelo PTR, e aceito como padrão internacional. Também as pesquisas para a construção de um relógio de quartzo, entre 1932 e 1934, serviriam como base para a definição dos padrões de tempo.

Em 1933, com a ascensão de Hitler ao poder, abriu-se no PTR uma fase polêmica. O recém-empossado presidente Johannes Stark, simpatizante nazista, iniciou sua gestão com a promessa de desenvolver uma *física ariana*, traduzida, em termos concretos, pela transformação do PTR em órgão central de pesquisa científica para a defesa do Reich, e pelos planos de modernas e espetaculares instalações e laboratórios.¹² Este envolvimento com o regime chegou até às célebres Olimpíadas de 1936, quando o instituto se responsabilizou por todo o aparato de cronometragem e medição então empregados. Os projetos de Stark não despertaram, porém, grande entusiasmo na comunidade científica alemã e, sem apoio para seus planos grandiloqüentes, deixou o cargo ainda em 1939. Mesmo com essa correção de rumos, o PTR continuou exercendo um papel importante na pesquisa científica durante os primeiros anos da guerra, mantendo seus pesquisadores e partindo para o trabalho específico na área da física atômica.

A Segunda Guerra Mundial terminaria, afinal, impondo custos significativos ao instituto. Primeiro, pela localização dos laboratórios. Situados nas cercanias de Berlim, sofreriam, entre 1943 e 1945, sérios danos provocados pelos bombardeios e pelo assalto soviético à capital. Segundo, pela dispersão das instalações durante a guerra, imaginada como forma de evitar maior impacto dos ataques aéreos. Com o fim do conflito, a parte das instalações situada em território sob ocupação soviética não seria reincorporada ao instituto, passando a constituir a base técnica da instituição metrológica da Alemanha socialista.

Foi lento o processo de reconstrução, iniciado ainda em 1946, com o que restou do instituto já despojado de seu venerável nome e transformado em órgão do governo de Berlim Ocidental. Em 1947, suas instalações foram transferidas para Braunschweig, onde os trabalhos científicos foram retomados. Nos anos seguintes, iria gradativamente recebendo as atribuições legais do PTR, a autoridade sobre todas as suas instalações em território ocidental, bem como as atribuições relativas a testes e produtos químicos antes atribuídas ao Instituto Químico do Reich. Com um número de pesquisadores equivalente a um terço do existente em 1937, o instituto deflagrou um extenso plano de reconstrução e reequipamento das instalações destruídas pela guerra. Como ponto culminante deste processo, recebeu, em 1950, sua denominação atual, *Physikalische-Technische Bundesanstalt/PTB*, sendo oficialmente inaugurado.

Deste ponto em diante, o caráter metrológico do instituto, entendido em seu sentido amplo, aprofundou-se, resgatando a ênfase científica marcante na primeira metade do século XX. Tornou-se um dos principais agentes no processo de redefinição do sistema métrico, contribuindo com pesquisa fundamental e projeto de instrumentos para o surgimento do Sistema Internacional de Unidades, em 1960. A lâmpada de criptônio desenvolvida em 1951, por exemplo, serviria de base para a nova definição do metro adotada em 1960.¹³ Em 1956, o instituto foi um dos patrocinadores da criação da Organização Internacional de Metrologia Legal/OIML¹⁴ e, como sinal desse ressurgimento expressivo, seu oitavo presidente, Richard Wieweg, tornou-se, em 1960, presidente da Comissão Internacional de Pesos e Medidas.

Mais recentemente, foram sendo incorporados inúmeros domínios técnicos ao campo de suas responsabilidades.¹⁵ Assim, ao lado da pesquisa física e tecnológica; do ensaio e calibração de instrumentos de medida; da produção e divulgação da hora legal e da escala internacional de temperatura, o instituto recebeu autoridade para aprovar normas no campo de tecnologia de segurança do trabalho, proteção radiológica; elaborar regulamentos técnicos; além de manter um amplo programa de consultoria na área científica e tecnológica para cooperação com países em desenvolvimento. Sua estrutura atual compõe-se de dez divisões especializadas: Mecânica e Acústica; Eletricidade; Termodinâmica; Óptica; Engenharia de Precisão; Física Atômica; Física de Nêutrons; Serviços Técnicos e Científicos; Temperatura e Radiação Síncrotron; e Física Médica e Tecnologia da Informação.

National Bureau of Standards/NBS

A história da instituição metrológica dos Estados Unidos, iniciada em 1901, oferece a oportunidade de ilustrar o padrão de inter-relacionamento entre metrologia e desenvolvimento industrial, em um ambiente muito menos marcado por exigências da tradição científica. Sua origem, por certo, esteve ligada a uma atividade científica, mas se desenvolveu a partir da evidente necessidade de serem providos padrões de pesagem e cunhagem para a cobrança de impostos e a garantia da moeda.

As primeiras atividades de cunho metrológico nasceram no âmbito do Coastal Survey, organizadas por um cientista suíço, Ferdinand Rudolph Hassler, que trouxe padrões de pesagem ingleses e os reproduziu para uso nos Estados Unidos. A expansão das atividades metrológicas mais básicas, contudo, enfrentava forte oposição do Congresso

americano, tanto pelo lado do seu custo, como pela idéia de que o envolvimento do governo federal com este assunto representava uma invasão das prerrogativas estaduais.

Em 1836, ainda sob a orientação das idéias de Hassler, foi finalmente inaugurado o Office of Weights and Measures, funcionando como dependência do Departamento do Tesouro, com o objetivo de prover condições mínimas para a uniformização dos pesos e medidas em uso pelos estados. No entanto, ao longo de todo o século XIX, os Estados Unidos experimentaram poucos avanços neste campo e somente gerações seguidas de grandes cientistas sustentaram a sobrevivência da atividade dentro do Coastal Survey e do Office. Em 1866, por exemplo, o Office of Weights and Measures confeccionou um conjunto completo de padrões (inclusive métricos) para uso pelos estados, no exercício da fiscalização das transações comerciais, mas quarenta anos depois, quando foi iniciada nova tentativa de organizar a metrologia legal, seria difícil até mesmo localizar os padrões doados pelo governo federal.

Ao final do século, o governo americano voltou a manifestar interesse pela questão, tornando-se inclusive signatário da Convenção do Metro. Em 1889, em cerimônia conduzida pelo presidente Harrison no Congresso, foram recebidos os padrões do metro e do quilograma. Em 1893, o Office conseguiria, inclusive, que os padrões imperiais fossem oficialmente correlacionados aos padrões métricos, garantindo sua reprodutibilidade. Entretanto, isto era ainda muito pouco para corrigir uma situação de subdesenvolvimento que apresentava aspectos bastante prejudiciais ao país. Com a criação das instituições metrológicas na Europa, sobretudo na Alemanha, e com sua vinculação à pesquisa científica, os Estados Unidos se tornaram absolutamente dependentes dos centros europeus, tanto na provisão de padrões de pesos e medidas, como na calibração de instrumentos.

Várias tendências concorreram para agravar esta situação. A primeira, sem qualquer dúvida, foi a expansão industrial dos Estados Unidos, sobretudo a partir dos anos 70. Não apenas a produção industrial se multiplicou e se sofisticou, mas passou a concorrer em mercados internacionais. Nestas circunstâncias, a padronização dos produtos e processos produtivos tornava-se uma exigência. A segunda foi a série de abusos praticados pelas grandes empresas monopolistas, em termos da qualidade dos produtos e serviços, aproveitados por movimentos políticos para desafiar o *establishment* econômico. A terceira, compreendeu o surgimento de um ramo completamente novo da atividade industrial e da organização doméstica, com a disseminação da eletricidade, cujas primeiras aplicações comerciais iniciaram-se em 1884.

Assim, ao final do século XIX, a ação governamental podia arrolar em seu favor a necessidade de prover produtos de maior qualidade no mercado internacional, a defesa do consumidor e a geração de condições para a expansão de todas as indústrias relacionadas com a eletricidade. As discussões no Congresso, freqüentemente marcadas por considerações sobre salários de cientistas e gastos com equipamentos, encerraram-se afinal com a criação, em 1901, do Bureau of Standards. Não faltaram, por parte dos técnicos que defenderam sua fundação nas audiências públicas, a lembrança das humilhações da ciência americana face aos laboratórios de pesquisa da Alemanha, mas os congressistas negaram-se a apor o qualificativo *national* ao novo órgão do governo federal.

Para sua direção administrativa e científica, foram convocados eminentes cientistas das principais universidades americanas, com destaque para o diretor do Bureau, Samuel Wesley Stratton, que acumulara grande prestígio trabalhando com A. Michelson. Retirado da jurisdição do Tesouro e colocado sob a competência do recém-fundado Department of Commerce and Labor, as primeiras diretrizes institucionais tiveram como alvo a implantação dos laboratórios e a garantia de um fluxo de mão-de-obra de qualidade para sua operação. As atividades do Bureau começavam praticamente da estaca zero,¹⁶ sendo imperativas as substanciais aquisições de equipamentos e padrões dos laboratórios europeus. Nestas condições, o esforço do Bureau seguia estritamente seu mandato legal e voltava-se para o aperfeiçoamento da fiscalização metrológica.

Para isso, foi necessária uma dupla estratégia. A primeira, que posteriormente se transformaria em marca registrada de sua atuação, foi uma campanha de esclarecimento público com respeito ao volume e significação financeira das fraudes metrológicas verificadas nas transações comerciais no país.¹⁷ A segunda, considerando as prerrogativas dos estados neste campo, foi cooptar governadores e *weightmasters* locais para um movimento nacional de melhora na qualidade científica e gerencial da fiscalização. Seu marco inicial foi a realização da I Conferência Nacional de Pesos e Medidas, em 1905, que detonou o processo de uniformização das legislações estaduais. No entanto, ele obteve também conquistas legislativas importantes, como o Foods and Drugs Act (1906), o Net Weight Amendment (1913) e o Standard Container Act (1916), que estabeleciam normas para embalagens de alimentos, remédios e outros produtos do varejo.

As dificuldades da tarefa podem ser julgadas, porém, pelo fato de que, ainda nos anos 50, a uniformização da legislação para o credenciamento de calibradores era objeto de análise da XXXV Conferência Nacional de Pesos e Medidas,¹⁸ e a própria atuação da agência federal continuava a merecer cuidadosa justificação constitucional para seu funcionamento, no final da década.¹⁹

Limitado a esta área de atuação, o Bureau teria uma evolução sem grande relevância. Por sua vez, um caminho estritamente científico, como aquele seguido pelo PTB, dificilmente seria sustentado pelo Congresso americano. Em

pouco tempo, porém, o Bureau of Standards encontraria um papel promissor, que lhe permitiria aplicar a experiência acumulada no campo das medições e desenvolvimento de padrões e ensaios no campo da eletricidade e metalurgia, e justificar a expansão de seus orçamentos. Este papel foi o de instituto de ensaios dos bens e serviços comprados pelo governo norte-americano. Deste momento em diante, as indústrias passaram a demandar regulação para poder vender ao governo segundo as especificações exigidas, os governos estaduais buscaram reproduzir o esquema federal em nível local e os governos municipais, onde se decidiam as questões relativas à provisão dos serviços públicos básicos (água, eletricidade, gás), passaram a exigir controles mínimos de qualidade, garantidos pelas técnicas de ensaios e calibração oferecidas pelo Bureau.²⁰

A eclosão da Primeira Guerra Mundial completaria este processo. Sem dispor de experiência no relacionamento com a indústria, a única infra-estrutura de pesquisa com que contava o governo americano para o desenvolvimento de tecnologias para o esforço de guerra, era o Bureau. Desse modo, volumosos fundos foram postos à disposição do *Bureau* para estudos sobre aviação, equipamentos de comunicação, munições, novos materiais etc.

Após o fim da guerra, a experiência de sucesso do Bureau como agente de ensaios e padronização das compras governamentais, além de produtor de novas tecnologias, passou a enfrentar críticas. A tentativa de manter o volume dos fundos conseguidos durante a guerra, ampliando a área de padronização e ensaios dentro do governo, gerou atritos com outras agências governamentais, levando à redução do seu orçamento a partir de 1923. Por sua vez, entidades nascentes de defesa do consumidor alegavam pouco retorno para o contribuinte do trabalho do Bureau, uma vez que este, por motivos compreensíveis, não divulgava as marcas e produtos recusados como fornecimento ao governo. Organizações privadas para padronização e ensaios, como a American Standards Association e a Associação Americana de Engenheiros, também sustentavam que as campanhas de padronização e a capacitação laboratorial do Bureau estavam exercendo funções do setor privado.

Este conflito foi resolvido em dois tempos. A princípio, a crise econômica tornou realidade as críticas liberais à ação do organismo e houve uma redução drástica dos fundos a ele destinados entre 1933 e 1934. O governo Roosevelt (1933-45) completaria o processo, reafirmando, ao editar nova legislação, uma interpretação mais restritiva para a ação do NBS.

A eclosão de uma guerra mundial, outra vez, viria a salvar o Bureau de seus críticos, permitindo-lhe retomar, a partir de 1941, o papel de laboratório de pesquisa governamental, tendo participado do programa de produção e manejo de materiais estratégicos, e do projeto de construção da bomba atômica. No imediato pós-guerra, com o corte dos gastos governamentais com pesquisa militar, imaginou-se um retorno à pesquisa tecnológica aplicada à indústria, mas a vitalidade das instituições privadas de pesquisa e a necessidade crescente de melhores padrões e calibrações²¹ determinaram o retorno do Bureau às suas atividades tradicionais.

A consolidação do papel de laboratório governamental, consagrada na legislação que reorganizou o Bureau, em 1950, e no projeto de construção dos grandes laboratórios em Gaithersburgh, determinaria o curso de suas atividades. Nas décadas de 50 e 60, deu grande ênfase às tecnologias de computação e ao apoio à corrida espacial, além de servir como agência técnica para o estabelecimento de padrões para a proteção ao meio ambiente, e saúde e segurança no trabalho. Nos anos 70, os programas de conservação de energia surgiram nos programas de pesquisa do NBS.

No decênio anos 80, um antigo obstáculo à ação do Bureau foi desaparecendo. Com os crescentes problemas de competitividade da indústria americana, a idéia de que a pesquisa governamental deveria ser transferida à indústria _ fora do campo militar, naturalmente _ retomou força. E agora com um direcionamento mais claro para os problemas ligados à metrologia científica no contexto das tecnologias emergentes.

Em 1988, a visão oficial do NBS como instrumento para o aumento da competitividade da indústria americana foi consagrada com um marco legal próprio, o Omnibus Trade and Competitiveness Act. Seu objetivo era ampliar as atribuições do Bureau como criador de tecnologias e encarregado de sua difusão no setor industrial. Mesmo seu nome foi mudado para National Institute of Standards and Technology/Nist, passando a ficar submetido a uma autoridade específica para administração de tecnologia, no Departamento do Comércio, e à supervisão de um Visiting Committee on Advanced Technology/VCAT, também responsável pela organização de encontros de negócios para difusão das tecnologias desenvolvidas pelo Nist.

O apoio às companhias americanas é hoje realizado através de quatro programas principais,²² voltados para o desenvolvimento de novas tecnologias em parceria com empresas, para oferecer acesso a instalações laboratoriais, bem como assistência técnica a pequenas e médias empresas; para o desenvolvimento de pacotes de serviços e técnicas de calibração, ensaios e padronização; e para o estímulo do emprego das técnicas da qualidade.

Embora reconhecendo os riscos envolvidos na tentativa de resumir mais de um século de história institucional, alguns pontos deste esboço podem ser fixados.

Primeiro, a diversidade de origem tanto do projeto científico como da relação com o setor industrial. Na Alemanha, a ênfase científica das atividades do PTB compunha parte do esforço de afirmação política do próprio Estado,

enquanto sua relação com os setores industriais era assegurada pela presença de empresários em sua administração. Nos Estados Unidos, a defesa de aperfeiçoamento da metrologia legal e dos padrões em uso deu oportunidade à formação de um projeto científico, cujo sucesso dependeu de fatores ocasionais – padronização de compras governamentais, pesquisa militar – e cuja continuidade sempre foi posta em questão pelo Congresso por várias décadas.

Segundo, a convergência funcional no pós-guerra. A constituição de um domínio estritamente científico para a metrologia gerou as condições para a redefinição da missão de um organismo como o PTB e traçou um círculo próprio para as atividades científicas do National Bureau of Standards. Foi a partir, então, da consolidação deste domínio específico, que ambas as instituições reconquistaram espaço de atuação, tanto na pesquisa metrológica como na produção de tecnologia.

Um dos processos em que a consolidação deste domínio estritamente científico para a metrologia pode ser examinado com mais detalhes é a ampliação do regime metrológico internacional. Ainda que seus primeiros passos tenham sido dados na década de 30, seria no imediato pós-guerra, como parte do processo de reconstrução, que a idéia de um sistema de medidas ganharia forma e substância. Forma, através das decisões da Conferência Internacional de Pesos e Medidas de 1948, e substância, com o esforço internacional de pesquisa desenvolvido por instituições como o PTB e o NBS.

As novas unidades de medida

A associação entre o desenvolvimento científico e o industrial, analisada acima do ponto de vista de sua institucionalidade, também implicou uma ampla revisão do conceito de sistema de unidades. A simplicidade do sistema métrico e de seus padrões deu lugar gradativamente à noção de inter-relacionamento entre unidades, e o desenvolvimento tecnológico, ao mesmo tempo que oferecia novas técnicas de medição, exigia níveis de exatidão cada vez maiores nos laboratórios e no processo produtivo.

A primeira formulação de um sistema completo de unidades de medidas deve-se ao matemático Carl Friedrich Gauss, que fez uma série de experimentos cujos resultados eram expressos em termos de três unidades básicas: o milímetro, o miligrama e o segundo. Gauss demonstrou também que o fluxo magnético poderia ser por elas expresso. Esta idéia seria ainda estendida por Wilhelm Weber, em 1851, para os fenômenos eletromagnéticos e eletrostáticos.

Em termos práticos, porém, a formulação de um sistema coerente de medidas para uso científico foi resultado dos trabalhos de um comitê especial da Associação Britânica para o Avanço da Ciência, composto por eminentes cientistas como James Maxwell, K.W. Siemens e Lord Kelvin, que selecionou como unidades básicas para uso científico o *centímetro*, o *grama* e o *segundo*. No chamado sistema CGS, eram ainda deduzidas as unidades de força, o *dyna*, e de trabalho, o *erg*.

Em 1881, o Congresso Internacional de Eletricidade, reunido em Paris, recomendou a adoção internacional do sistema CGS, e fixou a relação de seus componentes com as unidades elétricas criadas na década de 1860 – o *ohm* (resistência elétrica) e o *volt* (tensão elétrica) – e com as novas unidades então definidas para corrente elétrica (*ampère*), carga elétrica (*coulomb*) e capacitância (*farad*). Como se vê, não houve acordo quanto à adoção de uma unidade elétrica como unidade de base, o que continuaria a ser o principal obstáculo à constituição de um sistema completo de unidades por bastante tempo. Em 1935, quando a Comissão Eletrotécnica Internacional substituiu o centímetro e o grama pelo metro e pelo quilograma, criando o sistema MKS, tal discordância ainda prevaleceria, não tendo sido incorporada ao conjunto nenhuma unidade elétrica.

Consolidando o trabalho dos anos anteriores à Segunda Guerra Mundial, a próxima resolução do comitê internacional, já em 1946, estabeleceria as medidas mecânicas necessárias para a definição das medidas elétricas. A unidade de força, formulada no sistema MKS, corresponderia a uma força exercida sobre uma massa de 1 quilograma para produzir uma aceleração de 1m/s^2 . A unidade de energia seria o *joule*, definido como o trabalho realizado por uma força equivalente a 1N, que desloca seu ponto de aplicação ao longo de uma distância de um metro. Por fim, o *watt* seria a unidade de potência, que, em um segundo, elevaria a energia de um sistema em 1 joule. A partir destas medidas, foram então definidos o *ampère* (unidade de corrente elétrica), o *volt* (unidade de diferença de potencial), o *ohm* (unidade de resistência elétrica), o *coulomb* (unidade de carga elétrica), o *farad* (unidade de capacitância), o *henry* (unidade de indutância elétrica) e o *weber* (unidade de fluxo magnético).

As resoluções do comitê seriam aprovadas, em 1948, pela IX CGPM, que daria o nome de *newton* à unidade de força do sistema MKS. Esta também aprovaria o triplo ponto da água como referência para as escalas de

temperatura, sendo o zero da escala centesimal (Celsius, °C) definido como a temperatura equivalente a 0,0100°C inferior ao triplo ponto da água.²³

Com a incorporação das medidas elétricas, fotométricas e de temperatura, a IX CGPM também disporia as bases para um empreendimento tão importante quanto a Convenção do Metro. Instada pela União Internacional dos Físicos a prover um sistema prático de medidas, que incorporasse os princípios do MKS, e pelo próprio governo francês, a conferência determinou que o CIPM iniciasse um amplo programa de pesquisa e consultas, com vistas ao estabelecimento de *um único sistema prático de medidas, adequado para adoção por todos os países signatários da Convenção do Metro*.

Em 1954, seria dado o passo seguinte na X CGPM, com a decisão relativa às unidades fundamentais do sistema (denominadas unidades de base); a partir delas, seriam deduzidas as demais. Foram escolhidas seis unidades fundamentais: o metro (extensão, definição vigente desde 1889), o quilograma (padrão de massa, vigente desde 1889), o segundo (tempo), o ampère (corrente elétrica, vigente desde 1948), o kelvin (temperatura termodinâmica, estabelecido em 1954) e a candela (intensidade luminosa, vigente desde 1948). Neste conjunto, como se vê, apenas a unidade de tempo ainda não tinha definição aprovada por uma CGPM.

Também neste ano, o comitê definiria o nome de Sistema Internacional de Unidades (SI) e uma primeira lista de unidades suplementares²⁴ (área, volume, frequência, velocidade, etc.), derivadas das unidades de base. As decisões do comitê seriam finalmente ratificadas pela XI CGPM, realizada em 1960, que daria forma ao SI.

O SI fixava ainda as regras para a formação e nomenclatura de múltiplos e submúltiplos de suas unidades, uma lista de unidades derivadas, originadas das unidades básicas, e as unidades que poderiam continuar em uso, embora não constituíssem parte do SI. Desde 1960, além dos avanços nas definições das unidades, a única mudança relevante foi a inclusão do *mol*, como unidade de quantidade de matéria, no grupo das unidades de base.²⁵

A consolidação do sistema de unidades, segundo critérios científicos e fundamentada em um extenso programa de investigação conduzido em vários laboratórios no mundo, é apenas um aspecto do processo mais geral: o impacto do desenvolvimento tecnológico sobre a definição das medidas. Desdobrando-se em dois planos diversos, transformou os padrões de entidades materiais em resultados experimentais, passíveis de realização e reprodução em outros laboratórios; além disso, deslocou, em sua busca por exatidão e regularidade, a conceituação de padrões do plano macroscópico para o plano dos fenômenos subatômicos.²⁶

Neste sentido, um dos exemplos mais interessantes deste processo é a unidade de comprimento, o metro, cuja definição original, ainda baseada no padrão linear de platina iridiada, foi estabelecida pela VII CGPM, em 1927, como:

a distância, a 0 grau, entre os eixos de duas linhas centrais marcadas na barra de platina-irídio mantida no BIPM e declarada como protótipo do metro pela Primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas, estando sujeita esta barra a pressão atmosférica padrão e suportada por dois cilindros, com pelo menos um centímetro de diâmetro, simetricamente dispostos no mesmo plano horizontal, separados por uma distância de 571mm.

Nas décadas finais do século XIX, contudo, as imprecisões inevitáveis na medição do meridiano terrestre eram já conhecidas, assim como as impurezas da liga de platina iridiada. Ao mesmo tempo, James Maxwell já desenvolvera trabalhos com a finalidade de adotar como padrão de extensão um múltiplo do comprimento de onda de uma determinada radiação luminosa. Entre 1892 e 1893, Albert Michelson, utilizando-se da luz produzida por descargas elétricas, estabeleceu a relação entre o número de comprimento de tais ondas e o metro. O National Physical Laboratory/NPL realizaria em 1933 novas experiências, com radiações do cézio, e na VIII CGPM, os alemães Körsters e Lampe apresentariam um trabalho propondo a definição do metro através de experimentos com o gás criptônio, considerado mais estável.²⁷

Entre 1892 e 1940, foram concretizados nove experimentos deste tipo, revelando a estabilidade e a exatidão de medições feitas com o metro considerado como múltiplo de determinados comprimentos de onda. Um comitê consultivo para a definição do metro foi criado pelo CIPM em 1952 e, no momento da institucionalização do SI, estabeleceu-se uma nova definição do metro, revogando as resoluções de 1889 e 1927. Não mais a barra de platina-irídio, fração do meridiano terrestre, mas a extensão equivalente a *1650763,73 comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis 2p10 e 5d5 do átomo de criptônio 86*.

Com esta transformação, a exatidão das comparações de padrões era multiplicada cerca de cem vezes.²⁸ Apesar da determinação respeitosa de que o metro padrão continuasse a ser mantido no BIPM, nas condições fixadas em 1889, o limite da ciência do século XIX havia sido ultrapassado, com o abandono de sua materialização física macroscópica. O universo da medida e da precisão transferiu-se para o domínio do microscópico, e, de fato, o metro pôde ser realizado, a partir de então, em qualquer laboratório capacitado, como produto de um experimento físico.

Posteriormente, o desenvolvimento das tecnologias do *laser* veio oferecer alternativas com maior estabilidade, possibilitando medições ainda mais exatas. Em 1983, a CGPM estabelecia que *o metro é a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo equivalente a 1/299792458 de um segundo*.

Também a unidade de tempo, o *segundo*, cumpriu trajeto semelhante. A formulação astronômica herdada do século XIX definia o segundo como uma fração equivalente a $1/86400$ do dia solar médio, mas, desde o início do século XX, observações astronômicas vinham registrando variações importantes neste valor, provocadas pelas mais diversas irregularidades do movimento da Terra.²⁹ Em 1952, com o propósito de evitar estas variações, a Assembléia Geral da União Astronômica Internacional definiu o segundo como *uma fração equivalente a $1/31556925,9747$ de um ano tropical específico, iniciado em janeiro de 1900.*

Obedecendo a tal definição, ainda em 1956, o CIPM incorporaria o segundo como unidade de base do SI, em 1960.

Assim como no caso do *metro*, desde a década de 30 havia alternativas para a fixação de um padrão de tempo independente de fenômenos astronômicos. Relógios de quartzo construídos no PTB e no NPL já produziam oscilações com estabilidade de duas partes em cem milhões por longos períodos de operação. A transição completar-se-ia, porém, com o aparecimento dos primeiros relógios atômicos. O relógio feito pelo NPL, em 1955, com base em emissões de átomos de césio, passou a constituir a definição do segundo finalmente adotada em 1967.

Em 1964, iniciaram-se os estudos para uma definição do segundo com o emprego de padrões atômicos ou moleculares, e o CIPM foi autorizado a fixar um padrão temporário para uso científico. O novo padrão seria estabelecido pela XIII CGPM, quando foi abandonada a relação com o ano tropical, assumindo o segundo o valor de *9192631770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado básico do átomo de césio 133.*³⁰

As unidades de base elétrica e de temperatura termodinâmica não experimentaram, em suas definições, transições tão significativas. No caso das medidas elétricas, as alternativas mais importantes giravam em torno da natureza da definição do padrão _ material ou absoluto _ e de a qual unidade seria atribuído o caráter de base. Neste aspecto, foi finalmente escolhida a unidade de corrente elétrica, o ampère.

Em 1908, a Conferência Internacional sobre Unidades Elétricas havia selecionado um padrão material, definindo o ampère como a corrente elétrica que depositaria uma certa quantidade de prata por segundo, quando atravessasse uma solução de nitrato de prata submetida a determinadas condições de temperatura e pressão. Apesar das várias dificuldades experimentais envolvidas (definição das dimensões dos eletrodos, temperatura da solução, etc.), somente em 1938 a Comissão Eletrotécnica Internacional estabeleceria o ampère como unidade absoluta, ou seja, como uma corrente capaz de gerar uma força de intensidade específica entre dois condutores paralelos, dispostos a uma certa distância. Esta definição seria incorporada pelo CIPM ao conjunto de unidades do sistema MKS e, em 1960, passaria a fazer parte do SI, nos termos seguintes:

*o ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de um metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.*³¹

A unidade de temperatura termodinâmica teve evolução ainda mais simples. De fato, termômetros e escalas de temperatura começaram a ser elaborados desde o início do século XVIII. Daniel Fahrenheit desenvolveu a escala que leva seu nome no ano de 1724 e a escala centesimal foi criada por Anders Celsius em 1742. Daí em diante, a precisão metrológica passou a depender da qualidade e exatidão dos termômetros. Foi a invenção do termômetro de gás a volume constante de hidrogênio que permitiria, em 1887, o estabelecimento de uma escala centígrada, com dois pontos fixos _ fusão e ebulição da água _, transformada, em 1927, na Escala Internacional de Temperatura.

Em 1948, a CGPM passaria a adotar a escala de um único ponto, o chamado ponto tríplice da água,³² equivalente a $0,01^\circ\text{C}$. Em 1954, a este ponto seria atribuída a temperatura de 273,15K e, com tal denominação, foi incorporado como unidade do SI. Em 1967, a unidade de temperatura termodinâmica e o intervalo de temperaturas foram conceitualmente igualados sob a nomenclatura de kelvin, muito embora o uso da escala Celsius continue válido. A sofisticação conceitual das escalas de temperatura não altera, porém, o problema real representado pela medição das temperaturas.

A eficiência dos termômetros está condicionada ao comportamento das substâncias termométricas escolhidas _ álcool, mercúrio, hélio, hidrogênio, etc. _ para indicar a mudança de temperatura, que sempre apresentam alguma irregularidade. Além disso, são inúteis para medições de temperaturas muito altas ou muito baixas. Acima de mil kelvins, apenas pirômetros ópticos, que utilizam a intensidade de radiação como indicador de temperatura, podem ser empregados, e, mesmo assim, com substancial diminuição da exatidão.³³ Para temperaturas inferiores a 11K, as dificuldades são as mesmas. Medições com termômetros ultra-sônicos podem induzir erros de uma parte em cem.

A definição de unidades de luminosidade constituía um problema prático desde que se tornou corrente a iluminação pública a gás, nos primeiros anos do século XIX. Em 1860, o Parlamento britânico tornaria de uso legal velas de espermacete para verificação da iluminação em Londres. A precariedade evidente desta solução começou a encontrar uma saída no aperfeiçoamento de lâmpadas elétricas especiais. Em 1898, uma lâmpada de pentano seria o substituto legal das velas de espermacete.

Em 1909, um acordo internacional, firmado pelos Estados Unidos, Inglaterra e França, fixou o padrão da vela, empregando lâmpadas com filamento de carbono. No início da década de 20, o CIPM reconheceria o padrão da *vela internacional* a partir de um grupo de lâmpadas com filamento de tungstênio. Na década seguinte, o conceito de unidade de intensidade luminosa seria completamente transformado, ganhando preferência um determinado padrão de radiação de corpo negro. Construído pelo NBS, na forma de uma célula irradiadora no ponto de solidificação da platina, o comitê consultivo do CIPM recomendaria, em 1937, sua adoção como unidade de intensidade luminosa. Somente após o final da Segunda Guerra Mundial, o CIPM viria a fazê-lo. O texto da definição, fixado pela XIII CGPM, em 1967, afirma que *a candela é a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de 1/600000 metro quadrado de um corpo negro à temperatura de solidificação da platina sob pressão de 101325 newtons por metro quadrado.*

As dificuldades experimentais da nova definição, provocadas pelo desenho da célula e pela manutenção de altas temperaturas, e avanços no campo da radiometria criaram condições para uma outra definição ao final da década de 70. A XVI CGPM, em 1979, fixaria a *candela* em termos de uma fonte de radiação: *candela é a intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática na frequência de 540×10^{12} hertz e que possui uma intensidade radiante nesta direção de 1/683 watt por esteradiano.*

Sobre o quilograma, pouco pode ser dito. Esta relíquia da ciência do século XIX permanece intocada em Sèvres, absorvendo vapores de mercúrio, aumentando sua massa, sem que se possa sequer precisamente saber o quanto. Seria preciso compará-lo com ele mesmo, em dois momentos do tempo.³⁴

Esta não é, porém, toda a história. Ainda que o cilindro de platina iridiada chegue ao próximo século como padrão legal de massa, seu destino está selado. O processo que viemos descrevendo, criador de um domínio científico próprio para a metrologia, continua em seu curso e o horizonte de sua substituição já pode ser divisado. Trabalhos desenvolvidos pelo Nist e pelo PTB apontam para a utilização futura de comparações entre quantidades de energia elétrica e mecânica, ou de um dado número de átomos de ouro ou de silício como padrão de massa.³⁵

E as próximas transformações também irão repercutir sobre a institucionalidade da metrologia e sobre a configuração do SI. A utilização de efeitos quânticos permitirá, em breve, definições mais precisas para o ampère, com conseqüências sobre todo o conjunto de unidades de base. Com este novo avanço no caráter experimental da realização das unidades,³⁶ o BIPM, sem o *status* de guardião dos padrões, terá de ser repensado como órgão central de todo o sistema metrológico internacional. Mas isto ainda está no futuro.

Tendo em mente estas rápidas notas sobre um século de ciência e história institucional, retornemos ao ponto em que havíamos deixado o Brasil.