

1

Introdução

A metrologia tem como foco prover confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medições. A exemplo do que vem ocorrendo nos últimos anos nos países industrializados, a importância da metrologia no Brasil cresceu significativamente, devido ao fenômeno da globalização que exige maior demanda por metrologia. Impactam também na importância da metrologia a crescente necessidade de harmonização nas relações de troca, atualmente muito mais intensas, complexas e envolvendo um diversificado número de grandezas a serem medidas com exatidão e credibilidade. No Brasil, a entrada em operação das Agências Reguladoras, resultado do processo de privatização, intensificou sobremaneira a demanda por metrologia em áreas que antes não demandavam grande rigor, exatidão e imparcialidade nas medições, como o que vem ocorrendo com a transferência de custódia de grandes volumes de gás natural.

Os sistemas de metrologia, em praticamente todo o mundo, têm na sua base operacional um conjunto de laboratórios de calibração e de ensaios acreditados pelo organismo de acreditação reconhecido em âmbito nacional, cujo objetivo, em última análise, é prover confiabilidade metrológica ao usuário final sobre a competência técnica instalada. Forma-se assim uma complexa cadeia de laboratórios que têm como referência o correspondente Instituto Metrológico Nacional (INM) que estabelece as inter-relações com os sistemas e instituições internacionais, regionais e estrangeiras de metrologia primária. Esses formam um conjunto de instituições públicas, privadas e não governamentais da maior importância para o desenvolvimento do país e para a competitividade das empresas nacionais, nos mercados interno e externo [1].

Credibilidade na medição é expressão fundamental para justificar a relevância das atividades de metrologia legal, especialmente nas situações em que conflitos de interesses são questionados ou quando medições incorretas possam oferecer riscos indesejáveis a indivíduos ou, de forma mais ampla, a diferentes segmentos da sociedade. Dentre as ferramentas básicas para sustentação da confiabilidade metrológica requerida destacam-se a calibração, rastreabilidade, intercomparação e atividades de pesquisa e desenvolvimento.

O contínuo desenvolvimento científico e tecnológico da metrologia e sua

crecente inserção na economia e no cotidiano da população têm levado a uma permanente evolução e organização da atividade metrológica. Uma visão global da metrologia nas economias mais desenvolvidas do mundo permite identificar uma estrutura básica centrada em três componentes principais [2]:

- Sistema de controle metrológico de caráter compulsório, em áreas sujeitas à regulamentação do Estado, atividade de regulamentação pela metrologia legal;
- Redes de laboratórios de calibração e de ensaios, compostas por entidades privadas e públicas, de elevada capilaridade, organizadas em função das necessidades do mercado notadamente no que se refere aos serviços demandados pelos diversos setores da economia e das demandas sociais sob a responsabilidade do Estado. Em qualquer dos casos, esses serviços devem operar segundo regras que assegurem sua credibilidade, sua qualidade e garantam as condições de concorrência e os direitos do cliente final. No que concerne este tópico, a existência de um sólido sistema de acreditação é fundamental para assegurar a credibilidade da competência técnica instalada;
- Instituto metrológico nacional de direito público (em alguns poucos países é uma instituição privada, mas com controle e subvenção do Estado), que se responsabiliza pelos padrões nacionais e pela gestão e operação das funções estratégicas inerentes ao nível hierárquico mais alto da cadeia de rastreabilidade no país.

É justamente essa instituição metrológica - responsável pela guarda dos padrões metrológicos de referência nacional, pela realização, reprodução e disseminação das unidades de medida do (SI) e por sua harmonização em caráter mundial - que constitui a essência do Instituto Nacional de Metrologia de cada país. A realização dessas tarefas, por sua vez, requer elevado conhecimento científico e tecnológico, além de reconhecimento internacional, o que implica permanente e vigorosa atividade de pesquisa científica e tecnológica na fronteira do conhecimento.

A globalização tem exigido um grande esforço de reestruturação da metrologia, deflagrando um forte movimento de articulação dos institutos metrológicos nacionais, nos diferentes países, dentro de estruturas regionais, sub-regionais e globais. Esse movimento articulado principalmente pelo Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) tem por finalidade garantir a confiabilidade, credibilidade, rastreabilidade, universalidade e coerência nas medições realizadas em todo o mundo.

Para estabelecer a credibilidade de laboratórios da calibração de vazão, a cadeia de rastreabilidade de vazão deve ser estabelecida e referenciada aos padrões de vazão mantidos em INM do país. Esta rastreabilidade (vertical) quantifica e valida às potencialidades das medidas de vazão no contexto da pirâmide metrológica do país com os padrões internacionais e nacionais do INM no topo. A figura 1.1 ilustra essa hierarquia do sistema metrológico.



Figura 1.1: Hierarquia do sistema metrológico. (Fonte: modificado de [3])

Sob a coordenação metrológica do Inmetro, o Brasil participa ativamente de diversas instâncias institucionais, como o Sistema Interamericano de Metrologia (SIM). Para assegurar evidência da sua credibilidade, participa de programas de comparações-chave realizadas sob a égide do Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM/BIPM), do qual o Brasil é signatário.

De um modo geral para a disseminação das unidades de medida no País enfrenta-se quatro desafios básicos:

- Ampliar a infra-estrutura laboratorial, na dimensão regional e setorial, com serviços de reconhecida competência, visando atender à demanda de serviços essenciais;
- Aprimorar a qualidade e a competitividade dos serviços prestados e a excelência no atendimento ao cliente, segundo padrões internacionais;
- Manter uma constante harmonização entre as medições realizadas no País e aquelas realizadas no exterior;

- Promover mecanismos para a sustentabilidade dos laboratórios prestadores de serviços metrológicos.

No plano interno, o Inmetro tem como meta a redução de incertezas de medição, a ampliação das faixas de medição em serviços considerados essenciais de calibração.

No Brasil, as atividades de metrologia legal são atribuições do Inmetro que executa o controle metrológico considerando a regulamentação técnica metrológica específica para cada tipo de instrumento de medição. No campo da fiscalização conta com a ação delegada executada pelos Institutos Estaduais de Pesos e Medidas (IPEM). No caso do petróleo e gás natural, a regulamentação em vigor é composta pela Portaria nº. 1 ANP/Inmetro e pelo RTM que resulta da portaria Inmetro nº. 61 para o gás natural. Esta portaria estabelece as condições e os requisitos mínimos que os sistemas de medição de petróleo e gás natural devem observar, com vistas a garantir resultados acurados [4].

A rastreabilidade é fundamental para que se atenda plenamente aos requisitos da metrologia legal. A rastreabilidade é viabilizada através da gestão e custódia de padrões nacionais, cuja responsabilidade, no Brasil, é do Inmetro, e disseminada até o usuário (indústria e comércio) pela rede de laboratórios acreditados (RBC).

Atualmente, o Inmetro não dispõe de padrão nacional primário para medição de grandes vazões de gás natural escoando em alta pressão, tampouco dispõe o País de infra-estrutura laboratorial adequada. Em função dessa vulnerabilidade metrológica, hoje, a rastreabilidade para medição de vazão ainda é provida por laboratórios do exterior conforme ilustrado na figura 1.2.

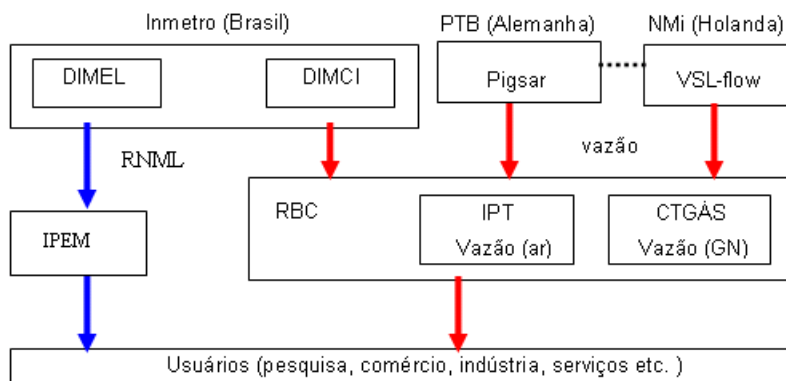


Figura 1.2: Hierarquia do sistema metrológico nacional para vazão de gás. (Fonte: modificado de [3])

Nota: a linha tracejada (- - -) denota um esforço de harmonização entre laboratórios nacionais para se estabelecer um valor de referência de consenso, a seta em vermelho trata-se de prover rastreabilidade, a seta em azul refere-se ao controle metrológico (regulamentações).

O cenário atual para medição de vazão de gás apresenta muitos desafios relativos às atividades de metrologia, dentre as quais destacam-se:

- estruturar os laboratórios nacionais que ofereçam serviços de calibração para garantir a rastreabilidade dos volumes medidos de gás natural para toda a cadeia do gás natural;
- possibilitar ao Inmetro a execução do controle metrológico, em atendimento aos requisitos legais metrológicos;
- manter uma constante harmonização entre as medições realizadas no País e aquelas realizadas no exterior;
- promover comparação interlaboratorial com a comunidade internacional.

Além de prover infra-estrutura para metrologia científica e industrial e possibilitar a execução das atividades da Metrologia Legal no âmbito da medição de vazão de gás natural, a implementação de um sistema primário de medição de vazão para gás natural resulta nos seguintes benefícios:

- diminuição da dependência tecnológica dos laboratórios nacionais em relação aos laboratórios estrangeiros;
- criação de condições requeridas, segundo os parâmetros internacionalmente aceitos para o exercício pleno das funções inerentes ao INM, incluindo uma estrutura tecnológica nacional, tendo em vista o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica em metrologia e domínios associados.

1.1

Definição do problema de pesquisa

Existe a necessidade de garantia de confiabilidade em relação à tecnologia a ser utilizada na medição e controle da quantidade de gás natural para os processos de exploração, beneficiamento, transferência de custódia, distribuição e consumo deste importante insumo.

Desta maneira, para as medições de vazão de gás natural deve-se adotar uma cadeia de rastreabilidade que utiliza padrões de referência nas atividades do controle metrológico dos diversos sistemas de medição.

Atualmente, não existe no País um padrão nacional para a medição de grandes volumes de gás natural. Para atender aos requisitos regulamentares, o

usuário deve recorrer diretamente a um laboratório acreditado de algum país cujo Instituto Nacional de Metrologia disponha de um padrão nacional que lhe dê a requerida rastreabilidade.

Como preceito básico, o trabalho considera como primeiro elo da cadeia de rastreabilidade de medição de vazão o padrão primário. Para discutir a sua importância estratégica, o capítulo 5 apresenta a descrição técnica e metrológica do estado-da-arte dos sistemas primários de vazão de gás natural. Para se definir uma referência, foi realizada uma pesquisa junto aos INM de outros países assim identificando os principais laboratórios, suas práticas, as respectivas bancadas de ensaios e calibração e seus sistemas primários para medição de vazão de gás. O trabalho caracteriza ainda os princípios de funcionamento, as vantagens, desvantagens e os parâmetros críticos de cada sistema.

A lógica da rastreabilidade considera uma contínua degradação da incerteza à medida que a unidade é disseminada. A partir do padrão primário são calibrados os padrões de referência, que por sua vez calibram os padrões de trabalho, então utilizados na calibração de medidores operacionais. Dentre os tipos de padrão primário destacam-se o PVTt, o provador de pistão (piston prover), o provador de campânula (bell prover), o sistema gravimétrico, o dispositivo deslocamento dinâmico (DDD) e o sistema óptico baseado velocimetria a laser com efeito Doppler (LDV). Todos estes sistemas representam o ponto da cadeia metrológica mais próximo dos padrões de medição das grandezas de base como o comprimento, massa, tempo e temperatura, garantindo assim a rastreabilidade da medição às unidades de base do SI e a garantia da melhor CMC (capacidade de medição e calibração) a ser declarada pelo laboratório.

Padrão primário. Padrão que é designado ou amplamente reconhecido como tendo a mais alta qualidade metrológica e cujo valor é aceito sem referência a outros padrões da mesma grandeza. O conceito de padrão primário é igualmente válido para as grandezas de base e grandezas derivadas (VIM [2]).

A questão principal da dissertação é:

- Como iniciativas de desenvolvimento de um padrão primário e do processo de harmonização podem contribuir com a melhoria da cadeia de rastreabilidade da medição de vazão de gás natural à alta pressão no País?

Tendo em vista a complexidade do tema proposto, a dissertação busca

responder também as seguintes questões:

- Como é a cadeia metrológica para vazão de gás natural no País?
- Como são as estrutura dos principais INM e de seus laboratórios de referência na área de medição de vazão de gás?
- Como relacionar os conhecimentos de áreas correlatas ao tema da dissertação, a saber, gás natural, estrutura metrológica, medição e calibração?
- Qual o estado-da-arte dos sistemas primários de medição de vazão para gás natural?
- Como as comparações interlaboratoriais contribuem com a cadeia de rastreabilidade da vazão de gás natural?
- Como a harmonização dos valores de referência realizada pelos laboratórios de medição de vazão para gás natural contribui na cadeia de rastreabilidade da medição de vazão de gás natural?

Partindo-se do pressuposto de que o desenvolvimento de um padrão primário nacional para vazão de gás natural poderá melhorar os níveis da incerteza da cadeia de rastreabilidade, além da independência tecnológica numa área estratégica. A combinação de cadeias independentes e equivalentes de rastreabilidade, por meio do processo de harmonização, poderá reduzir consideravelmente a diferença entre valores de referência e a incerteza associada ao processo de medição de vazão. A presente dissertação de mestrado relacionada à cadeia de rastreabilidade na medição de vazão de gás natural a alta pressão, explora como tema central contribuições para o desenvolvimento de padronização primária de vazão para gás natural e para harmonização dos valores de referência para a unidade de volume de gás natural.

O processo de harmonização estabelece e possibilita a disseminação de um valor de referência harmonizado para a unidade do volume do gás natural, aceito com base em evidências técnicas por laboratórios que detêm uma determinada competência técnica bem caracterizada em seu processo de acreditação. Esse valor de referência para o gás natural em condições operacionais é aplicado, não somente nas instalações de calibração de origem, mas, também, em outras bancadas de prova, tendo aplicação direta em transferência de custódia. Os pré-requisitos do processo de harmonização, os procedimentos e resultados obtidos, bem como os benefícios que decorrem desse processo de harmonização são discutidos no capítulo 6.

1.2

Justificativa do tema da dissertação

No contexto econômico de abertura de mercados o processo de globalização em curso insere a metrologia como poderoso instrumento de quebra de barreiras técnicas ao comércio internacional. O papel desempenhado pelo BIPM, organismo inter-governamental da Convenção do Metro (criada em 1875), sediado em território internacional doado pelo governo da França, cuja responsabilidade primeira foi ter a guarda dos padrões internacionais de medida, reveste-se de um novo caráter à medida que a metrologia passa a ser fixada mais intensamente em base científica. É a partir desse momento que se concede aos INM o próprio estabelecimento de seus padrões. Já que a padronização primária vem cada vez mais se tornando factível com base em experimentos quânticos possíveis de realizações *in loco*. Contudo, é necessário que os INM estabeleçam harmonicamente suas bases de atuação, a fim de dar continuidade à manutenção da confiabilidade e evolução da experiência técnica a ser detida pelo instituto de referência nacional. É então confiada ao BIPM uma nova responsabilidade, a de coordenar, acompanhar e manter um Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) entre os INM, sob o enfoque da declaração de equivalência de padrões de medida e de certificados de calibração. O acordo tem exigido desses institutos evidências de competência técnica na execução de serviços de calibração prestados a clientes.

A qualidade de uma medição não é apenas garantida pela utilização de instrumentos adequados, mas também pela execução de procedimentos confiáveis e reconhecidos. Para tanto, se faz necessário que seja empregado método com compatibilidade de procedimentos e práticas operacionais devidamente documentadas e cuja confiabilidade esteja validada.

A continuidade dessa competência só é assegurada se os laboratórios implementarem sistemas da qualidade baseados em critérios internacionais. Para tal, adotou-se a norma ISO/IEC 17025 (no Brasil a NBR ISO/IEC 17025) que denotam os requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração [5], como padrão para atingir tal meta. Os requisitos desta norma podem ser divididos em requisitos de gerência e requisitos técnicos. A interpretação de alguns destes requisitos e a maneira de atendê-los é diferenciada entre os diversos laboratórios, principalmente no que se refere aos requisitos técnicos. Os distintos institutos metrológicos nacionais também se deparam com a mesma dificuldade. Sendo este um problema inquietante, por causa da necessidade de atingir o objetivo mencionado, este trabalho contribui com o desenvolvimento técnico (padrão primário) e de gestão (harmonização) para assegurar e melhorar a confiabilidade metrológica

nos serviços de calibração realizados pelos institutos metroológicos nacionais.

Os laboratórios dos institutos metroológicos nacionais têm como atribuição disseminar as unidades das grandezas físicas de acordo com as unidades de base do SI, desenvolvendo metodologias de medição associados a uma exatidão bastante elevada para servir de referência no País a laboratórios de calibração, centros de pesquisa, universidades e indústrias, através da conseqüente oferta de serviços de calibração.

A qualidade dos resultados desses serviços de calibração, com suas respectivas margens de dúvida, isto é, incerteza associada a medição, está diretamente afetada por uma série de fatores. Dentre os mais significativos destacam-se os métodos e procedimentos de calibração, equipamentos de medição, padrões e rastreabilidade das medições. Estes fatores irão fazer com que o valor de uma grandeza obtido por medição esteja mais próximo ou mais afastado de seu valor verdadeiro, isto é, apresentando, respectivamente, um resultado mais exato ou menos exato.

O interesse e a motivação do pesquisador em colaborar com a melhoria da cadeia de rastreabilidade de medição de gás natural no País através da contribuição no desenvolvimento de um padrão primário e da apresentação do processo de harmonização dos valores de referência do metro cúbico de gás natural. Como fundamento básico de referência, são discutidos os seis modelos clássicos de padrões primários de laboratórios para vazão de gás natural de laboratórios de referência de INM de referência mundial destacando-se o PTB (Alemanha), NMi (Holanda) e BNM (França), dentre outros. Discute-se, também, a experiência de harmonização já consolidada por esses três laboratórios nacionais que lograram reconhecimento internacional.

A figura 1.3 ilustra os cenários internacional e nacional da cadeia de rastreabilidade para a medição de vazão de gás natural, a capacitância dos laboratórios estudados nessa dissertação, os padrões primários mais utilizados (evidenciando a necessidade nacional) e o processo de harmonização realizado entre três desses laboratórios.

O desenvolvimento de um sistema de referência primário para vazão de gás natural permitirá independência na garantia da rastreabilidade de medição efetuada durante ensaios e calibrações dos medidores de vazão de gás no Brasil. E, por conseguinte, a redução das incertezas de medição, atribuindo maior autonomia tecnológica aos laboratórios nacionais em relação aos laboratórios estrangeiros.

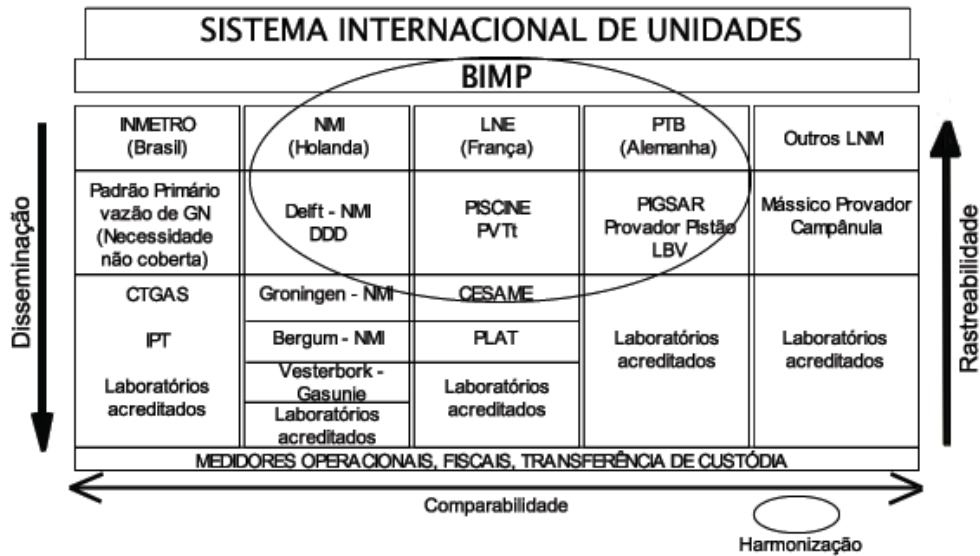


Figura 1.3: Caracterização das cadeias de rastreabilidade para medição de vazão de gás natural e da harmonização

1.3 Objetivos geral e específicos

Com base no exposto, o objetivo geral desta dissertação é contribuir para a formulação de um sistema brasileiro para a medição de vazão de gás natural em alta pressão. Com este propósito, revê a literatura internacional sobre padronização primária para medição de vazão de gás natural (visando contribuir com o desenvolvimento de uma cadeia de rastreabilidade de medição de vazão independente) e da harmonização dos valores de referência para a unidade de volume de gás natural entre cadeias metrológicas.

Em termos específicos, a dissertação busca:

- descrever a cadeia metrológica para vazão de gás natural para compor um cenário de análise;
- analisar a estrutura dos INM e de seus laboratórios de referência na área de medição de vazão de gás,
- relacionar os conhecimentos de áreas correlatas, a saber, gás natural, estrutura metrológica, medição e calibração;
- apresentar o estado-da-arte nos sistemas primários de medição de vazão para gás natural;
- apresentar a harmonização dos valores de referência realizada pelos laboratórios de medição de vazão para gás natural;
- apresentar considerações e conclusões a respeito de sistemas primários, harmonização e valor harmonizado.

1.4

Metodologia

Quanto aos fins, a pesquisa pode ser considerada exploratória e aplicada. Exploratória, pois é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Aplicada, pois também é motivada pela necessidade de resolver problema concreto. Com referência à forma de abordagem do problema, a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica e estudo de caso. Bibliográfica, pois o estudo é desenvolvido em material publicado em livros, publicações, redes eletrônicas, trabalhos acadêmicos e os referenciais normativos e práticos. Estudo de caso, pois a pesquisa é circunscrita especificamente às experiências de relevantes institutos nacionais de metrologia de países que lograram harmonizar seus valores de referência para a unidade m^3 de gás natural.

No contexto desses preceitos metodológicos, o trabalho se desenvolveu com base na análise das melhores práticas metrológicas de laboratórios de referência metrológica e na experiência vivenciada pelo autor nesses laboratórios nacionais. Compiladas essas informações foi possível fazer um diagnóstico das demandas nacionais por metrologia de vazão e fundamentar a proposição de um modelo para padronização primária e cadeia de rastreabilidade (metrologia de vazão) para o País.

1.4.1

Pesquisa bibliográfica

Desenvolvida com o propósito de identificar experiências bem sucedidas e as características das melhores capacidades de medições de vazão de gás natural. Teve como foco (a) a padronização primária para medição de vazão (realizada por laboratórios nacionais de metrologia e por alguns laboratórios especializados que operam em articulação com laboratórios nacionais) [6–12] e (b) o resultado da participação em programas de comparação interlaboratorial entre eles [13–16].

Nessa etapa da pesquisa foram identificadas competências para medição de vazão no âmbito dos Laboratórios Nacionais e de outros laboratórios de referência para medição de vazão de gás natural.

No âmbito dos Laboratórios Nacionais:

- PTB (Alemanha) - Physikalisch Technische Bundesanstalt [17, 18];
- NMi (Holanda) - Netherlands Measurements Institute [19];
- LNE (França) - Laboratoire National D'Essais [20, 21].

No âmbito de outros laboratórios especializados:

- PIGSAR (Alemanha) - Prüfinstitut für Gaszähler, Ein Service Angebot der Ruhrgas AG [22];
- NMi VSL (Holanda) - Van Swinden Laboratory [23];
- LNE/LADG (França) - Laboratoire Associé de Débitmétrie Gazeuse ;
- NEL (Reino Unido) - National Engineering Laboratory;
- CEESI (EUA) - Colorado Engineering Experiment Station, Inc [24–26];
- NIST (EUA) - National Institute of Standard and Technology [27].

Com base no resultado da ampla pesquisa bibliográfica referenciada acima se avaliou as características metrológicas da capacitação de medição desses laboratórios, a estrutura de suas cadeias de rastreabilidade, bem como a hierarquia e classe de seus padrões de medição. Em particular, seus modelos de padrões primários foram estudados. Com foco nos principais (seis) modelos de padronização primária esquematicamente ilustrados na figura 1.4, o trabalho cobre os princípios de medição de vazão utilizados nos laboratórios de referência que hoje possuem seus valores de referência harmonizados para a medição de vazão de gás. Esses sistemas primários de vazão de gás natural são caracterizados pelos seguintes modelos:

- gravimétrico (reservatório para medição mássica);
- provador de campânula (bell prover);
- volume constante e pressão variável (PVTt);
- provador de pistão (piston prover);
- volume variável (dispositivo dinâmico de deslocado, DDD);
- óptico com uso velocimetria a Laser com efeito Doppler (LDV).

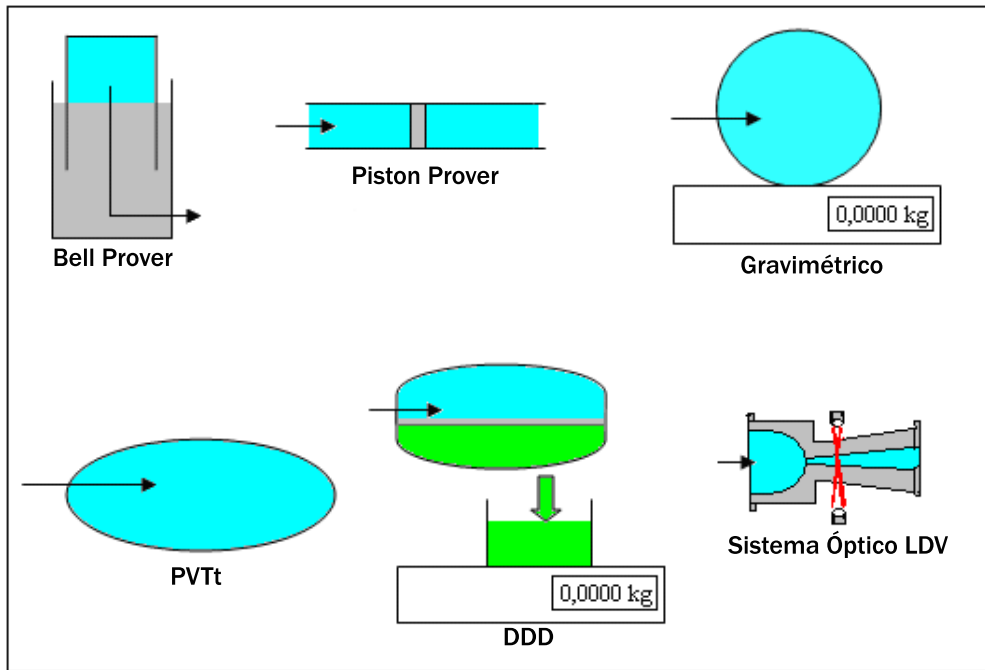


Figura 1.4: Principais padrões primários para gás natural

1.4.2 Estudo de caso

Comparabilidade dos Valores de Referência - Como base para a declaração do que foi denominado pelo CIPM de “valor harmonizado de referência para medição de vazão de gás natural”, são comparadas as melhores capacidades de medição dos laboratórios estudados (três Laboratórios Nacionais de Metrologia e laboratórios especializados). Em particular são discutidas suas complementaridades e redundâncias de medição (em metrologia a redundância é sempre percebida como oportunidade para estudo de comparabilidade da medição). Finalmente atingido o objetivo proposto, são discutidas as bases do processo de harmonização do valor de referência estabelecido por consenso pelos laboratórios com base em suas características metrológicas, calibração de seus padrões e em resultados de suas participações em processos regionais e internacionais de comparação laboratorial. O presente estudo de comparabilidade dos valores de referência (que permitem a sua harmonização) beneficia-se, inegavelmente, da oportunidade vivenciada pelo autor que teve a oportunidade de desenvolver parte da sua pesquisa no laboratório Van Swinden Laboratory do NMI da Holanda exatamente durante o período em que laboratórios de metrologia da Holanda e da Alemanha cooperavam para definir a metodologia de um “valor harmonizado de referência” para a medição de vazão, valor esse finalmente estabelecido por consenso em 2005.

1.4.3 Desenho de pesquisa

A figura 1.5 apresenta o desenho da pesquisa que resume o desenvolvimento do trabalho de dissertação e o sequenciamento lógico associado a cada etapa do seu desenvolvimento estabelece a conexão entre as infra-estruturas nacionais de metrologia e de vazão, suas cadeias de rastreabilidade, os processos de intercomparação laboratorial, bem como os processos de harmonização.

A primeira etapa é uma pesquisa documental da capacitância atual dos Institutos Nacionais de Metrologia de referência para medição de vazão de gás natural dos países desenvolvidos e do Brasil. A segunda etapa é uma pesquisa exploratória e conceitual sobre padronização primária para medição de vazão de gás identificando o estado-da-arte. A terceira etapa é a pesquisa conceitual sobre a harmonização do valor de referência para o (m³) de gás natural, a descrição desse processo e o estudo de caso realizado por esses Laboratórios Nacionais de Metrologia estudados. A seguir, são caracterizados os critérios de cada capítulo que permitiram circunstanciar uma reflexão sobre as lacunas da metrologia de vazão de gás natural no Brasil, assim, fundamentando uma proposição de modelo a ser implementado.



Figura 1.5: Desenho da pesquisa

1.5 Estrutura da dissertação

Apresenta-se aqui, sucintamente, como a dissertação está estruturada. São sete capítulos, compreendendo esta introdução, dois capítulos de funda-

mentação teórica, três capítulos correspondentes ao desenvolvimento da pesquisa e o último capítulo contendo as conclusões da pesquisa.

O **Capítulo 1** tem um caráter introdutório, apresenta o tema abordado, sua justificativa, objetivos, metodologia, abrangência.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica sobre tópicos relacionados ao gás natural e técnicas de medição de vazão, portanto cumprindo o propósito de contextualização do trabalho.

O **Capítulo 3** conceitua e discute a estrutura da rastreabilidade e os sistemas para medição de vazão de gás utilizados por laboratórios nacionais de metrologia de renome internacional.

O **Capítulo 4** caracteriza e avalia a infra-estrutura dos laboratórios de medição de vazão de gás, os principais tipos de instalação, suas características e respectivas capacidades de medição.

O **Capítulo 5** descreve o estado-da-arte da padronização primária para medição de vazão de gás, notadamente os seguintes sistemas: gravimétrico (reservatório para medição mássica), de volume variável (provador de campânula), de volume constante e pressão variável (PVTt); de pressão constante (provador de pistão); de volume variável (dispositivo dinâmico de deslocamento); sistema óptico baseado na velocimetria Laser com efeito Doppler, seus princípios físicos, propriedades técnicas, operacionais e metrológicas.

O **Capítulo 6** discute o processo de harmonização dos valores de referência para a unidade de volume de gás natural, os princípios básicos, seus benefícios, introdução, pré-requisitos, procedimentos e a determinação do valor de referência denominado valor harmonizado. A figura 1.6 caracteriza os elementos básicos para o encadeamento sequencial dos capítulos 4, 5 e 6.

O **Capítulo 7** resume as principais conclusões do trabalho em consonância com os objetivos propostos e encaminha recomendações.

Como reflexão global no que concerne a contribuição do presente trabalho, destaca-se a organização de informações para auxiliar na formulação de uma padronização primária para medição de vazão de gás no Brasil, com base na análise das técnicas praticadas por laboratórios nacionais de metrologia e por outros laboratórios especializados que lograram harmonizar seus valores de referência para medição de vazão de gás natural. O trabalho contribui, também, ao descrever o procedimento para a harmonização dos valores de referência para a unidade de volume de gás natural escoando em alta pressão.

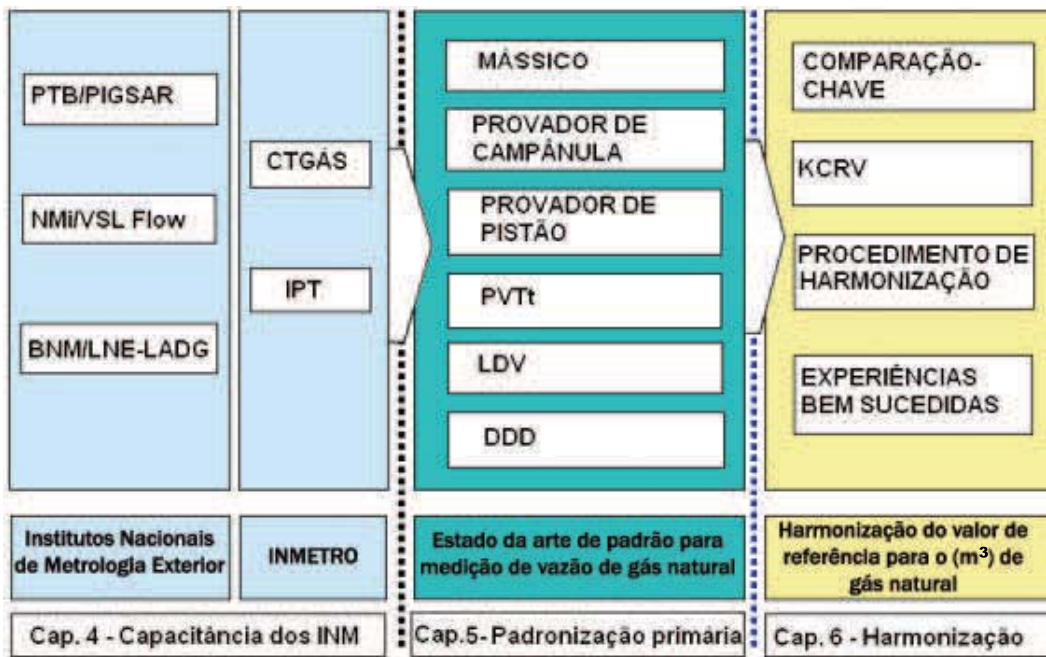


Figura 1.6: Infra-estruturas laboratoriais, padronização primária e métodos de harmonização