



MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS - MDIC  
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO

## PLANO DE TRABALHO

### 1. DADOS INSTITUCIONAIS

#### 1º PARTÍCIPE

##### **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia**

Natureza Jurídica: Autarquia Federal, criada pela Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973, com redação alterada pela Lei nº 12.545, de 14 de dezembro de 2011.

CNPJ nº 00.662.270/0003-20

Endereço: Avenida Nossa Senhora das Graças, 50

Cidade: Duque de Caxias UF: RJ CEP: 25.250-020

Representante Legal: Angela Flores Furtado

C.P.F./ M.F.: 275.512.966-20

Cargo: Presidente

Ato de Nomeação: Decreto de 23 de janeiro 2019, publicado no D.O.U. de 24 de janeiro de 2019 – Seção 2, doravante denominado **Inmetro**.

#### 2º PARTÍCIPE

##### **Universidade de São Paulo**

Natureza Jurídica: Autarquia estadual de regime especial

CNPJ n.º: 63.025.530/0001-04

Endereço: Rua da Reitoria, 374, Cidade Universitária

Cidade: São Paulo UF: SP CEP: 05508-220

Representante Legal: Vahan Agopyan

C.P.F./ M.F.: 39.536.208-00

Cargo: Reitor

Ato de Nomeação: Portaria n.º 556/27 publicada no DO do Estado de São Paulo de 14 de novembro de 2017

doravante denominado **USP**

##### **Instituto de Física de São Carlos**

Natureza Jurídica: Autarquia estadual de regime especial

CNPJ n.º: 63.025.530/0030-49

Endereço: Av. Trabalhador São-carlense, 400 Campus I

Cidade: São Carlos UF: SP CEP: 13566-590

Representante Legal: Vanderlei Salvador Bagnato

C.P.F./ M.F.: 002.804.928-47

Cargo: Diretor

Ato de Nomeação: Portaria do Reitor nº 03 de 02/01/2018, publicada no DO do Estado de São Paulo de 03/01/2018.

doravante denominado **IFSC**

## 2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Título da Proposta	Período de Execução	
PADRÕES NACIONAIS DE TEMPO E FREQUÊNCIA	De: 2019	Até: 2024
Objetivos da Proposta		
<p>Geral:</p> <p>Desenvolvimento do tema Metrologia de Tempo e Frequência dentro das instalações do INMETRO e de São Carlos, com troca de conhecimentos científicos e metrológicos entre as duas instituições, com intercâmbio de pesquisadores e forte formação de recursos humanos para desenvolver projetos, processos e produtos nessa área.</p> <p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Desenvolvimento de um chafariz de átomos de césio 133 resfriados no INMETRO para ser operado oferecendo correção para a escala de tempo UTC(INXE);</li><li>2. Estabelecimento de procedimentos para a operação da escala de Tempo Atômico TAI(LRTE) e do Tempo Coordenado Universal UTC(LRTE) definido pelo BIPM em São Carlos. Tal ponto será localizado dentro das instalações do Laboratório do Instituto de Física na USP, campus de São Carlos;</li><li>3. Desenvolvimento de métodos avançados para transferência de frequência por fibra monomodo com design de um sistema ativo com compensação de fase, testado em São Carlos para posterior reprodução no INMETRO;</li><li>4. Disseminação do sinal da escala de tempo local UTC(LRTE) para os usuários de sinais de tempo e frequência nos laboratórios de São Carlos, inclusive o pente de frequências associado ao padrão óptico de Estrôncio;</li><li>5. Desenvolvimento de um relógio compacto que opera com expansão de nuvem de átomos resfriados de césio operante no modo ativo, como possível substituição para o padrão secundário Maser de Hidrogênio;</li><li>6. Desenvolvimento da segunda geração de chafariz de átomos frios de césio com câmara de vácuo em vidro;</li><li>7. Travamento de laser de interrogação dos experimentos de espectroscopia de Estrôncio com uso do pente de frequências rastreado à escala de tempo local UTC(LRTE);</li><li>8. Estabilização de um laser com ressonador óptico ultra estável para ensaio em transferência de frequência em grandes distâncias;</li><li>9. Realização de espectroscopia de estrôncio atômico e iônico para apoio ao desenvolvimento do padrão primário de frequência óptica de estrôncio.</li></ol>		

## Justificativa da Proposta

Nos últimos anos, conforme determinações dos comitês consultivos de metrologia do BIPM, consideráveis esforços têm sido feitos para estabelecer referências metrológicas baseadas em experimentos reprodutíveis sem a utilização de artefatos de referência. Isso tem em vista a iminente mudança do Sistema Internacional de Unidades baseado em metrologia quântica. Por outro lado, tal rumo faz com que cada país que deseje dominar suas referências fundamentais torne-se também um desenvolvedor em cada área de metrologia. No caso da unidade de tempo, sua definição é baseada primariamente na frequência de uma linha de transição atômica. A determinação atualmente em vigor para o padrão primário é a da transição em 9,192 GHz do estado fundamental do átomo de  $^{133}\text{Cs}$ , sendo que outras espécies atômicas já são aceitas como referências secundárias, depois de diversas medidas comparativas com sistemas baseados em  $^{133}\text{Cs}$ .

Padrões de frequência de  $^{133}\text{Cs}$  são de natureza passiva, ou seja, o átomo em questão tem a transição de referência excitada por um gerador externo, sendo que a eficiência dessa excitação fornece um sinal de correção para o gerador. A capacidade de discriminação da frequência de transição determina diretamente a confiabilidade do sistema de referência. Além disso, como a referência é baseada no átomo, diversos grupos de pesquisa em todo o mundo têm trabalhado em diferentes métodos de interrogação da transição atômica. Atualmente, o sistema capaz de reproduzir com maior fidelidade a unidade de tempo utiliza técnicas de manipulação de átomos com luz laser, sendo denominado de chafariz de átomos frios.

As primeiras ideias relativas à construção de um Chafariz Atômico são atribuídas a Zacharias que, com o objetivo de aprimorar os relógios atômicos de sua época, propôs a construção de um sistema baseado em um feixe térmico vertical, aumentando o intervalo de tempo entre as duas zonas de Ramsey de espectroscopia magnética nuclear. Tal proposição acabou por se mostrar impraticável naquele tempo, entretanto, com o aperfeiçoamento das técnicas de resfriamento e aprisionamento de átomos por lasers, a proposta do Chafariz Atômico tornou-se viável novamente. Atualmente vários países possuem chafarizes atômico, utilizando-os para importantes experimentos em física atômica e molecular e metrologia. Em alguns desses países há também o aperfeiçoamento de sistemas desse tipo tendo em vista sua utilização como um padrão primário de tempo e de frequência.

Há alguns anos, o Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica de São Carlos (CePOF - CEPID - FAPESP) iniciou a construção de um chafariz atômico de  $^{133}\text{Cs}$ , tendo em vista sua utilização como padrão primário. Além de nosso sistema pretender ser um padrão operacional de frequência, contribuindo conjuntamente com outros Chafarizes Atômicos (de outros países) para a precisão das coordenadas de tempo internacionais, como o TAI e o UTC, ele se apresenta também como um excelente laboratório para medições de grande precisão. Aliás, o contínuo desenvolvimento do limite de precisão e estabilidade dos padrões atômicos de frequência visa principalmente a realização de experimentos no âmbito da física básica, já que excedem em ordens de grandeza as necessidades tecnológicas atuais.

Com relação aos padrões nacionais oficiais, atualmente dispomos de padrões comerciais que, naturalmente, possuem uma considerável defasagem de qualidade com o que é possível ser obtido em padrões de laboratório. Considerando a degradação natural de transmissão de sinais dessa natureza, é redundante ressaltar a necessidade de padrões centrais de referência na ponta da pirâmide de referência.

Outra vertente importante dessa proposta é que o sistema de referência nacional deve estar preparado para uma futura mudança na definição da unidade segundo com a substituição da transição de micro-ondas do césio para uma transição óptica do estrôncio.

A parceria USP/INMETRO possibilitará realização de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico na área de Tempo e Frequência de forma sem precedentes, levando-se em conta a capacidade de ambas as instituições. Além disso, considerando o interesse estratégico desse assunto, a proposta desse projeto já toma uma posição de necessidade no cenário nacional e internacional.

### 3. METAS A SEREM ATINGIDAS

META		INDICADOR
Nº	DESCRIÇÃO	
0.	Formalização do Laboratório Associado ao Inmetro para Inovação e Competitividade (LAIIC) junto ao Instituto de Física de São Carlos da USP.	Homologação do acordo de cooperação.
1.	Chafariz de átomos de césio 133 resfriados no INMETRO instalado e operante, oferecendo correção para a escala de tempo UTC (INXE).	Operação do padrão para correção da escala de tempo UTC (INXE)
2.	Laboratório associado ao Inmetro em São Carlos com operação contínua 24/7 da escala de tempo local UTC (LRTE) com suporte de gestão do Inmetro.	Contribuição do UTC (LRTE) para comparação chave do BIPM
3.	Desenvolvimento de métodos avançados para transferência de frequência por fibra monomodo com design de um sistema ativo com compensação de fase testado em São Carlos para posterior reprodução no INMETRO	Enlaces de fibra monomodo operacionais em São Carlos e Inmetro.
4.	Disseminação do sinal da escala de tempo local UTC (LRTE) para os usuários de sinais de tempo e frequência nos laboratórios de São Carlos, inclusive o pente de frequências associado ao padrão óptico de Estrôncio.	Uso do sinal da escala UTC (LRTE) para operação do pente de frequências de São Carlos.
5.	Desenvolvimento de um relógio compacto que opera com expansão de nuvem de átomos resfriados de césio operante no modo ativo, como possível substituição para o padrão secundário Maser de Hidrogênio.	Uso do relógio compacto como integrante da escala de tempo UTC (LRTE)
6.	Desenvolvimento da segunda geração de chafariz de átomos frios de césio com câmara de vácuo em vidro.	Operação do chafariz com medição pela escala de tempo UTC (LRTE)
7.	Travamento de laser de interrogação dos experimentos de espectroscopia de Estrôncio com uso do pente de frequências rastreado à escala de tempo local UTC (LRTE).	Pente de frequências rastreado ao UTC (LRTE) e laser de interrogação calibrado em relação ao pente de frequências.
8.	Estabilização de um laser com ressonador óptico ultra estável para ensaio em transferência de frequência em grandes distâncias.	Uso local do laser estabilizado para transferência de frequência em São Carlos
9.	Realização de espectroscopia de estrôncio atômico e iônico para apoio ao desenvolvimento do padrão primário de frequência óptica de estrôncio.	Espetroscopia do estrôncio rastreada ao UTC (LRTE) como apoio à mudança da definição do segundo do SI.

### 4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

ETAPA	MÊS/ANO					RESPONSÁVEL
	1.	2.	3.	4.	5.	
0. Laboratório associado	X					Dr. Rodolfo Saboia Lima de Souza
1. Chafariz de césio			X	X	X	Dr. Guilherme de Andrade Garcia
2. Operação UTC (LRTE)	X	X				Dr. Daniel Varela Magalhães
3. Enlaces de fibra monomodo			X	X	X	Dr. Daniel Varela/ Dr. Guilherme Garcia
4. Disseminação UTC (LRTE)		X	X			Dr. Daniel Varela Magalhães
5. Relógio Compacto		X	X	X	X	Dr. Daniel Varela Magalhães
6. Chafariz de segunda geração				X	X	Dr. Daniel Varela Magalhães
7. Pente de frequências			X	X		Dr. Vanderlei Bagnato
8. Laser estabilizado cavidade ressonante		X	X	X		Dr. Daniel Varela Magalhães
9. Espectroscopia de Estrôncio				X	X	Dr. Vanderlei Bagnato

## 5. PRAZO DE EXECUÇÃO

O prazo de execução será de 5 (cinco) anos a contar da data da sua assinatura, não podendo ir além do prazo de encerramento do Acordo de Parceria ao qual está vinculado.



DOCUMENTO ASSINADO ELETRONICAMENTE COM FUNDAMENTO NO ART. 6º, § 1º, DO [DECRETO Nº 8.539, DE 8 DE OUTUBRO DE 2015](#) EM 28/05/2019, ÀS 14:18, CONFORME HORÁRIO OFICIAL DE BRASÍLIA, POR

RODOLFO SABOIA LIMA DE SOUZA

Chefe da Divisão de Metrologia em Tecnologia da Informação e Telecomunicações



ART. 6º, § 1º, DO [DECRETO Nº 8.539, DE 8 DE OUTUBRO DE 2015](#) EM  
04/06/2019, ÀS 13:34, CONFORME HORÁRIO OFICIAL DE BRASÍLIA, POR

VALNEI SMARCARO DA CUNHA

Diretor da Diretoria de Metrologia Científica e Tecnologia, Substituto(a)



DOCUMENTO ASSINADO ELETRONICAMENTE COM FUNDAMENTO NO  
ART. 6º, § 1º, DO [DECRETO Nº 8.539, DE 8 DE OUTUBRO DE 2015](#) EM  
23/06/2019, ÀS 12:38, CONFORME HORÁRIO OFICIAL DE BRASÍLIA, POR

ANGELA FLÔRES FURTADO

Presidente



DOCUMENTO ASSINADO ELETRONICAMENTE COM FUNDAMENTO NO  
ART. 6º, § 1º, DO [DECRETO Nº 8.539, DE 8 DE OUTUBRO DE 2015](#) EM  
15/07/2019, ÀS 14:48, CONFORME HORÁRIO OFICIAL DE BRASÍLIA, POR

VAHAN AGOPYAN

Usuário Externo

A autenticidade deste documento pode  
ser conferida no site  
<https://sei.inmetro.gov.br/autenticidade>  
informando o código verificador **0389527**  
e o código CRC **21BCC258**.



Divisão de Inovação Tecnológica

Endereço: Nossa Senhora das Graças, nº 50, Prédio 06, Xerém, Duque de Caxias - RJ CEP:  
25.250-020 - Brasil

Telefone: (21) 2679-9533

E-mail: [nit@inmetro.gov.br](mailto:nit@inmetro.gov.br)