

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Instituto Politécnico do Porto



Aquisição e registo automático de comparadores de massa digitais em calibração de pesos

João Luís Andrade de Menezes

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado em Engenharia de Instrumentação e Metrologia

Orientador: Doutor Cristiano Abreu, ISEP

Novembro de 2015

Agradecimentos

Ao Doutor Cristiano Abreu, estou-lhe muito grato pelo apoio inextinguível com que sempre me presenteou no acompanhamento da realização deste trabalho académico-profissional.

Ao Eng. Joaquim Alves, pela atitude muito solícita com que sempre me atendeu, fosse como docente da unidade curricular de METOS, fosse como diretor do MEIM.

Ao Eng. Joaquim Ferreira, grande amigo, sempre muito atuante e com uma atitude de grande dedicação e colaboração na academia e na vida profissional. Em boa hora me cativou para mais este desafio do MEIM.

Ao Eng. Eduardo Ferreira, pela amizade e pela colaboração desinteressada em partilhar comigo uma abordagem inicial à aquisição de dados automática via *wireless* entre o computador e os comparadores de massa.

Ao Eng. César Gonçalves, pela amizade e disponibilidade no empréstimo do equipamento CSW-H80 da SOLLAE SYSTEMS.

À Eng.^a Marta Braga, pela amizade e disponibilidade no empréstimo do equipamento NPORT W2150A da MOXA.

Ao Sr. João Pedro Silva, pela amizade e pela atitude sempre colaborante e dedicada na análise da parte de instrumentação e de programação informática do assunto desta dissertação.

À Sr.^a Maria José Assis, técnica do laboratório de massa da DRE-Norte, agradeço o conhecimento prático que me transmitiu relativamente ao modo de trabalhar com os comparadores de massa alvo da realização deste trabalho e as conversas tidas acerca do comportamento metrológico dos mesmos ao longo dos anos.

Aos meus pais, irmão, familiares e amigos, pelo apoio transmitido e pela confiança depositada.

Para terminar, às duas mulheres da minha vida, minha mulher Sandra e minha filha Inês, que sempre me apoiaram incondicionalmente, por vezes mesmo em seu desfavor, a levar de vencido mais esta etapa da minha vida.

Resumo

A presente dissertação foi desenvolvida nas instalações do laboratório de massa da extinta Direção Regional da Economia do Norte (DRE-Norte), no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio Profissional (DPEPR) do curso de Mestrado de Instrumentação e Metrologia (MEIM) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O laboratório de massa da DRE-Norte dedicava-se, entre outras atividades, à calibração de pesos das classes de exatidão F1 e inferior, definidas na recomendação R111-1:2004 da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), para valores nominais desde 1 mg até 1 000 kg.

Foi implementado um sistema real de calibração de pesos utilizando dois comparadores de massa, com interface de comunicação de dados, com fios e sem fios, para o PC (*Personal Computer*), com aquisição automática dos dados.

Desenvolveu-se uma aplicação informática em Visual Basic com o objetivo de ligar os dois comparadores de massa ao PC e automatizar o processo de calibração de pesos com base no método ABBA.

O *software* desenvolvido foi aplicado num caso real de calibração de pesos em ambiente de intercomparação laboratorial com a participação de sete laboratórios nacionais, entre os quais, o laboratório de massa da DRE-Norte.

Palavras-chave:

Aquisição de dados; Medição; Erro; Incerteza; Metrologia; Calibração; Rastreabilidade.

Abstract

This essay was developed in the mass laboratory facilities of the extinct Direção Regional da Economia do Norte (DRE-Norte), in the context of my Dissertation / Project / Traineeship (DPEPR) Master's course of Instrumentation and Metrology (MEIM) at the the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

The mass laboratory of DRE-Norte was dedicated, among other activities, to the calibration of F1 accuracy classes of weights and lower, as defined by the recommendation R111-1:2004 of the International Organization of Legal Metrology (OIML), for nominal values from 1 mg to 1 000 kg.

A real world calibration system using two laboratory mass comparators, with wired and wireless data communication interfaces to the PC (Personal Computer) for automatized data acquisition, was implemented.

A Visual Basic based software application was developed in order to connect the mass comparators to the PC and automatize the metrological ABBA process of mass calibrations

The developed software has been applied in a real world context of weights calibration in an inter-comparison laboratory environment with the participation of seven national laboratories as well as in the mass laboratory of DRE-Norte.

Keywords:

Data acquisition; Measurement; Error; Uncertainty; Metrology; Calibration; Traceability.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas.....	viii
Glossário.....	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Estrutura.....	2
2 Estado da Arte.....	3
2.1 Direção Regional da Economia do Norte.....	3
2.2 Metrologia.....	5
2.3 Dia Mundial da Metrologia.....	6
2.4 Os 3 pilares da metrologia.....	7
3 Comparadores de massa.....	9
3.1 Características dos dois comparadores de massa.....	10
3.2 Comunicação de dados.....	11
3.2.1 Tipos de comunicação.....	11
4 Topologia de redes.....	12
4.1 Introdução às redes sem fios.....	12
4.1.1 Modo infraestrutura.....	13
4.1.2 Modo Ad-hoc.....	13
4.1.3 Requisitos de uma rede Wi-Fi.....	13
4.1.4 Autenticação e Segurança.....	14
4.2 Características dos dispositivos Wi-Fi usados.....	14
5 Implementação da rede sem fios.....	15
5.1 Configuração do Wireless-G ADSL HOME Gateway.....	15
5.2 Instalação e configuração do CSW-H80.....	16
5.2.1 Instalação.....	16
5.2.2 Configuração.....	17
5.3 Instalação e configuração do W2150A.....	18

6 Testes de comunicação	19
Teste 1.1: Comunicação com fios PC <-> UMT5	19
Teste 1.2: Comunicação sem fios PC <-> UMT5	20
Teste 2.1: Comunicação com fios PC <-> CC500.....	20
Teste 2.2: Comunicação sem fios PC <-> CC500.....	21
7 Aplicação informática para aquisição de dados	22
7.1 Introdução ao Visual Basic 2013.....	22
7.2 Análise do código em Visual Basic.....	25
7.3 Exportação dos dados para ficheiro Excel.....	28
7.3.1 Comparador de massa UMT5	28
7.3.2 Comparador de massa CC500.....	30
8 Comparação interlaboratorial	33
8.1 Introdução e objetivos à participação numa comparação interlaboratorial	33
8.2 Comparação interlaboratorial de calibração de pesos.....	33
8.2.1 Introdução	33
8.2.2 Descrição dos pesos.....	34
8.2.3 Erro do peso de teste	35
8.2.4 Incerteza de medição	35
8.2.5 Procedimento de calibração e cálculo da incerteza expandida	36
8.2.6 Resultados do processo de calibração.....	41
8.2.7 Diferença interlaboratorial e incerteza associada.....	43
8.2.8 Erro normalizado	46
8.2.9 Conclusões a retirar à intercomparação laboratorial.....	47
8.2.9.1 Diferenças entre os laboratórios participantes e o laboratório piloto.....	47
8.2.9.2 Erro normalizado.....	47
8.2.9.3 Incertezas	48
9 Conclusões.....	50
9.1 Discussão de resultados	50
9.2 Trabalhos futuros	50
Bibliografia.....	51
Webgrafia	54
Anexo 1.....	1
Anexo 2.....	1
Anexo 3.....	1

Índice de figuras

Figura 1: Atividade da DRE-Norte no domínio da Qualidade.....	3
Figura 2: Topologia da rede sem fios.....	12
Figura 3: Infrastructure Mode.....	13
Figura 4: Ad-hoc Mode.....	13
Figura 5: Ligações Ethernet do Wireless-G ADSL HOME Gateway.....	15
Figura 6: LED de cor verde ligado.....	15
Figura 7: Cross cable.....	17
Figura 8: ezManager_32e.....	17
Figura 9: Esquema de ligações com fios PC <-> UMT5.....	19
Figura 10: Protocolo de comunicação e output no VBTerm, PC <-> UMT5.....	19
Figura 11: Esquema de ligações sem fios PC <-> UMT5, com o HyperTerminal.....	20
Figura 12: Esquema de ligações com fios PC <-> CC500, com o VBTerm.....	20
Figura 13: Protocolo de comunicação e output no VBTerm, PC <-> CC500.....	21
Figura 14: Esquema de ligações sem fios PC <-> CC500, com o HyperTerminal.....	21
Figura 15: Interface gráfica da nova aplicação informática.....	22
Figura 16: <i>Templates</i> de parametrização do protocolo de comunicação.....	22
Figura 17: As quatro classes que compõem o programa.....	25
Figura 18: Fluxograma da classe Instrumento.....	25
Figura 19: Fluxograma da classe “Conexao”.....	26
Figura 20: Interface gráfica da nova aplicação informática.....	27
Figura 21: Fluxograma de cálculo da incerteza de medição.....	35
Figura 22: Resultados obtidos para o valor nominal de 1 mg.....	43
Figura 23: Resultados obtidos para o valor nominal de 2 mg.....	44
Figura 24: Resultados obtidos para o valor nominal de 5 mg.....	44
Figura 25: Resultados obtidos para o valor nominal de 10 mg.....	45
Figura 26: Resultados obtidos para o valor nominal de 20 mg.....	45
Figura 27: Distribuição das diferenças.....	46
Figura 28: Distribuição do erro normalizado.....	47
Figura 29: Distribuição do <i>En</i> em valores percentuais.....	48

Índice de tabelas

Tabela 1: Comparadores de massa	10
Tabela 2: Alguns dos padrões da norma 802.11 [41].....	12
Tabela 3: Protocolo de comunicação do comparador UMT5	19
Tabela 4: Protocolo de comunicação do comparador CC500	20
Tabela 5: Aquisição automática das indicações do peso de 1 mg.....	28
Tabela 6: Aquisição automática das indicações do peso de 2 mg.....	29
Tabela 7: Aquisição automática das indicações do peso de 5 mg.....	29
Tabela 8: Aquisição automática das indicações do peso de 10 mg	29
Tabela 9: Aquisição automática das indicações do peso de 20 mg	29
Tabela 10: Indicações obtidas no modo manual (pesos de (1; 2; 5; 10 e 20) mg).....	30
Tabela 11: Aquisição automática das indicações do peso de 100 g.....	31
Tabela 12: Aquisição automática das indicações do peso de 200 g.....	31
Tabela 13: Aquisição automática das indicações do peso de 500 g.....	31
Tabela 14: Indicações obtidas no modo manual (pesos de (100; 200 e 500) g)	31
Tabela 15: Características dos pesos de teste.....	34
Tabela 16: Características dos pesos padrão.....	34
Tabela 17: Indicações obtidas na calibração do peso de 1 mg.....	38
Tabela 18: Resumo do cálculo da incerteza expandida (U_{exp}).....	40
Tabela 19: Resultados da calibração do peso de 1 mg	41
Tabela 20: Resultados da calibração do peso de 2 mg	41
Tabela 21: Resultados da calibração do peso de 5 mg	42
Tabela 22: Resultados da calibração do peso de 10 mg	42
Tabela 23: Resultados da calibração do peso de 20 mg	42
Tabela 24: Diferenças entre laboratórios participantes e laboratório piloto e incerteza expandida da calibração	43
Tabela 25: Erro normalizado obtido pelos laboratórios participantes	46
Tabela 26: Distribuição do erro normalizado pelos laboratórios participantes	47
Tabela 27: Valor de incerteza apresentada vs Valor de incerteza acreditada pelo laboratório L7	49

Glossário

BIPM	<i>Bureau</i> Internacional de Pesos e Medidas
CEI	Comissão Eletrotécnica Internacional
CMC	Capacidade de Medição e Calibração
CR	<i>Carriage Return</i>
DCE	<i>Data Communication Equipment</i>
DFI	Departamento de Física do Instituto Superior de Engenharia do Porto
DNS	<i>Domain Name System</i>
DPEPR	Dissertação/Projeto/Estágio Profissional
DRE-Norte	Direção Regional da Economia do Norte
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i>
<i>Dtp</i>	Diferença observada entre a massa do peso de teste e a massa do peso padrão
ILAC	Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios
INMETRO	Instituto de Metrologia do Brasil
IPP	Instituto Politécnico do Porto
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITN	Instituto Tecnológico e Nuclear
JCGM	Comité Conjunto para Guias em Metrologia
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCM	Unidade de Metrologia Científica e Aplicada
LF	<i>Line Feed</i>
LNM	Laboratório Nacional de Metrologia
LSB	<i>Least Significant Byte</i>
<i>Mpp</i>	Massa do peso padrão
<i>Mpt</i>	Massa do peso de teste
MRA	Acordo de Reconhecimento Mútuo
MSB	<i>Most Significant Byte</i>
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
ppm	Partes por milhão
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
<i>u</i>	Incerteza-padrão
<i>uc</i>	Incerteza-padrão combinada
<i>Uexp</i>	Incerteza-padrão expandida
VB	Visual basic
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
δ_{cmp}	Linearidade do comparador
δ_{dpp}	Deriva da massa do peso padrão desde a última calibração

δdms
 δimp

Arredondamento do valor do dígito menos significativo da indicação
Impulsão do ar

1 Introdução

1.1 Motivação

Os laboratórios de metrologia industrial que atuam na área da massa, são entidades que têm por principal missão realizar a calibração de pesos. Para tal dispõem, como principal equipamento para realizar a sua atividade, de instrumentos de medição designados por comparadores de massa, e que têm por finalidade medir a massa de pesos com características conforme as definidas na Recomendação da OIML R 111-1 (2004).

A partir do início dos anos oitenta, a utilização de comparadores de massa digitais começou a massificar-se, sendo que tais comparadores de massa começaram a ser fabricados munidos de equipamento que permitisse conectá-los com PC e conseqüentemente estabelecer a comunicação entre ambos. Daí resultou a aquisição dos valores obtidos pelos comparadores de massa e o seu envio para PC.

A concessão da acreditação no âmbito da grandeza massa ao laboratório de metrologia de massa da DRE-Norte remonta a 30-08-1996 segundo o referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025. Acreditação que se aplica à calibração de pesos e ao âmbito da metrologia industrial.

Acontece que, desde a data de concessão da acreditação o laboratório dispôs de comparadores de massa digitais equipados com interface de comunicação de dados para PC. Contudo, tais interfaces nunca foram utilizadas para esse efeito, sendo que o registo dos dados era realizado de forma manual, ou seja, o técnico efetuava a leitura da indicação do comparador de massa e registava-a, de forma manuscrita num boletim de registos de ensaios em suporte de papel.

Com todas as desvantagens que o registo em papel apresenta, desde a possibilidade de erro que o técnico pode cometer entre a leitura do instrumento e o seu registo no papel, passando pelo extravio do registo em papel, até à ilegibilidade da escrita, pretendeu-se implementar um projeto que possibilitasse a ligação dos comparadores de massa com PC, permitindo que a indicação do valor da massa obtida nos comparadores, fosse adquirida de forma automática num PC.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi o de adquirir os dados de dois comparadores de massa digitais para um PC via *wired* e via *wireless*.

Para tal caracterizaram-se os instrumentos quanto às suas características técnicas, tipo de portas de ligação e protocolo utilizado na comunicação para o PC.

Avaliou-se o *software* disponibilizado pelos fabricantes dos comparadores de massa para a transmissão e aquisição dos dados dos instrumentos para o PC.

Decidiu-se pelo *software* a utilizar para elaborar um programa que adquirisse os dados dos comparadores de massa para o PC.

Exportaram-se os dados adquiridos para um formato de ficheiro em que os mesmos pudessem ser acedidos e tratados, no sentido de se realizarem cálculos sobre e com os mesmos.

1.3 Estrutura

Este trabalho está dividido em 9 capítulos.

O capítulo 1 resume-se à introdução ao tema apresentando e ao motivo que levou à realização e desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 2 descreve a instituição DRE-Norte na vertente Direção de Serviços da Qualidade, pormenorizando as suas cinco áreas de atuação. É dado relevo a conceitos tais como, metrologia, medição, grandeza, calibração, entre outros.

O capítulo 3 apresenta as características dos comparadores de massa e a sua interface de comunicação com o PC.

O capítulo 4 aborda as redes sem fios quanto aos modos de configuração e apresenta algumas das características dos dispositivos sem fios que vão ser utilizados.

O capítulo 5 apresenta em forma de procedimento a instalação e configuração dos dispositivos sem fios.

No capítulo 6 realizam-se testes relativos à comunicação entre os comparadores de massa e o PC utilizando a comunicação com fios e sem fios.

No capítulo 7 aborda-se a aplicação informática que foi desenvolvida com vista a substituir os emuladores de terminal utilizados no capítulo 6, com a mais valia de permitir a exportação dos dados adquiridos para um formato que possibilite a realização de cálculos com os mesmos.

O capítulo 8 introduz os dados obtidos na calibração de pesos no âmbito de uma intercomparação realizada a nível nacional.

O capítulo 9 apresenta os resultados alcançados no decorrer do trabalho apontando as potencialidades que advirão na continuidade do desenvolvimento do *software* criado.

2 Estado da Arte

2.1 Direção Regional da Economia do Norte

A DRE-Norte foi inaugurada a 11 de setembro de 1996, pelo então ministro da Economia, Dr. Augusto Mateus. O edifício, sediado na Rua Direita do Viso, 120 – 4269-002 PORTO, foi considerado “de arquitetura moderna e arrojada”. O ministro Dr. Augusto Mateus, na companhia do Eng. Pires Martins, diretor regional da instituição, considerou que essa seria “uma casa da atividade empresarial, com apoio técnico e científico às empresas”. “Integrada numa lógica de descentralização e de aproximação às empresas”, tinha como objetivo “combater as desigualdades de oportunidades, quer humanas quer empresariais” [8].

Referiu ainda que, “As Direções Regionais da Economia servirão para prestar serviços às empresas, numa lógica de parceria”. O ministro da Economia defendeu a necessidade de redimensionar as relações entre a Administração Pública e as empresas, construindo “uma relação mais estreita e de confiança” [8].

O diretor regional, Eng. Pires Martins, mencionou que a casa que iria dirigir ia “prestar um serviço público aos clientes, apoiando o tecido económico da região, e servir de exemplo de competitividade e qualidade” [8].

A atividade da DRE-Norte, no domínio da Qualidade, desenvolveu-se nas seguintes áreas: licenciamento, metrologia legal, qualificação de entidades, metrologia aplicada e ensaios no âmbito da acústica.

O diagrama da figura 1 apresenta de forma esquemática a relação funcional existente entre as áreas da Direção de Serviços da Qualidade.



Figura 1: Atividade da DRE-Norte no domínio da Qualidade

Os serviços que se encontravam a serem prestados à direção de serviços da qualidade visavam, genericamente, a defesa do consumidor e a segurança de pessoas e bens, bem como a prestação de serviços de calibração de instrumentos de medição, assegurado pela área da Metrologia Aplicada.

Apresenta-se a seguir a descrição das competências de cada uma das cinco áreas:

- **Licenciamento**

Assegurar a aplicação da legislação relativa ao licenciamento de cisternas, bem como a legislação sobre o licenciamento de equipamentos sob pressão, incluindo os de armazenagem de produtos energéticos e realizar

vistorias de funcionamento a instalações de produção de vapor e os exames necessários a candidatos à profissão de fogueiro.

- Cisternas e outros recipientes para o transporte de mercadorias perigosas;
- Equipamentos sob pressão;
- Exames de funcionamento de geradores de vapor;
- Exames de fogueiros;
- Motores fixos.

● Metrologia legal

Controlo metrológico de instrumentos de medição envolvidos em operações comerciais, fiscais ou salariais, ou utilizados nos domínios da segurança, da saúde, ou da economia de energia, bem como das quantidades dos produtos pré-embalados.

A DRE-Norte foi organismo notificado, identificado pelo número 0549, nos domínios dos instrumentos de pesagem de funcionamento não automático e dos contadores de líquidos, que não a água.

- Sistemas de medição distribuidores de combustível;
- Instrumentos de pesagem de funcionamento não automático;
- Manómetros para pneumáticos de veículos automóveis;
- Manómetros industriais;
- Contadores de tempo;
- Contadores de grande caudal;
- Quantidades de produtos pré-embalados.

● Qualificação de entidades

Coordenar tecnicamente e acompanhar as atividades dos serviços de metrologia e dos reparadores e instaladores de instrumentos de medição, no âmbito do reconhecimento da respetiva qualificação enquanto organismos de verificação metrológica na área da metrologia legal, bem como realizar auditorias anuais a essas entidades.

- Serviços municipais de metrologia;
- Serviços concelhios de metrologia;
- Reparadores e/ou instaladores de instrumentos de medição no âmbito da metrologia legal;
- Instaladores de dispositivos limitadores de velocidade.

● Metrologia aplicada

Prestar serviços de calibração de instrumentos de medição, no âmbito das necessidades dos agentes económicos da região norte, no âmbito acreditado pelo Instituto Português de Acreditação das grandezas Massa e Volume, a que se referia o Anexo Técnico de Acreditação N.º M0041-1.

Garantir a rastreabilidade das medições realizadas pelos reparadores e/ou instaladores de tacógrafos e taxímetros, mediante a calibração dos seus contadores de impulsos e bancos de ensaios padrão.

- Instrumentos de pesagem de funcionamento não automático;
- Pesos e medidas materializadas de massa;
- Material volumétrico;
- Recipientes graduados;

- Manómetros analógicos e digitais;
- Contadores de impulsos e bancos de ensaios de tacógrafos e taxímetros.

- Ensaios no âmbito da acústica

Realizar ensaios no âmbito da acústica, nomeadamente no que respeita à arbitragem legal, no âmbito acreditado pelo Instituto Português de Acreditação, a que se referia o Anexo Técnico de Acreditação N.º L0033.

- Ruído ambiente: critério de incomodidade e determinação do nível sonoro médio de longa duração;
- Avaliação da exposição ao ruído durante o trabalho.

2.2 Metrologia

A metrologia é o domínio do conhecimento relativo à medição. Muitas vezes confundido com meteorologia, mas com significados muito distintos.

O documento escrito em língua portuguesa onde se pode obter a definição mais exata para metrologia é a 1.ª edição Luso – Brasileira de 2012 do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. Este documento resultou de um trabalho conjunto entre os Laboratórios Nacionais de Metrologia de Portugal e do Brasil, IPQ (Instituto Português da Qualidade) e o INMETRO, respetivamente, de tradução do documento *International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms – JCGM 200:2012*.

Esta última versão deste documento tem acolhido apoiantes e adversários, isto porque a evolução dos conceitos e os seus significados nem sempre são consensuais.

A definição de **metrologia** é: “Ciência da **medição** e suas aplicações” [1], ao que se acrescenta a seguinte nota: “A metrologia engloba todos os aspetos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação” [1].

“Apesar de a metrologia ser definida como a ciência da medição não poderá ser considerada como ferramenta única de cientistas. As medições são de vital importância para todos nós, que habitamos o planeta e em que tudo é mensurável. A complexa mas invisível rede de serviços, fornecedores e comunicações sobre a qual somos todos dependentes conta com a metrologia para a sua eficiência e confiança nas operações. Por exemplo:” [a]

- a) “O sucesso económico dos países depende sobretudo da capacidade de produzir e comercializar, fabricando e testando produtos e componentes;” [a]
- b) “A integração dos sistemas de navegação por satélite com os diversos fusos horários dos países tornam os sistemas de localização possíveis e com elevada exatidão – permitindo o trabalho em rede dos sistemas de computadores à volta do mundo, e possibilitando aos aviões voarem com reduzidas condições de visibilidade;” [a]
- c) “A saúde humana depende de forma crítica da capacidade de se realizarem diagnósticos exatos e em que a confiança nas medições assume uma importância extrema;” [a]
- d) “Os consumidores têm que acreditar na quantidade de combustível que lhes é abastecido por uma bomba de combustível” [a] ou na quantidade de fruta que lhes é pesada numa balança.

São diversas as tarefas e variadas as situações em que estamos perante a realização de metrologia. Ou seja, sempre que se está perante a definição de medir e de medição. Medição: “Processo de obtenção experimental dum ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma **grandeza**” [1]. Adicionalmente, e para maior clarificação dos conceitos, acrescentam-se as seguintes notas:

“NOTA 1: A medição não se aplica a propriedades qualitativas” [1].

“NOTA 2: A medição implica a comparação de grandezas ou a contagem de entidades” [1].

“NOTA 3: A medição pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido dum resultado de medição, segundo um procedimento de medição e com um **sistema de medição calibrado** que opera de acordo com o procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição” [1].

Como é dito atrás, quando se mede, está-se a atribuir um valor a uma grandeza, e o que é uma grandeza? Grandeza: “Propriedade dum fenómeno dum corpo ou duma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência” [1]. Por exemplo:

- a) Atribuir-se à grandeza comprimento o valor de 1 (número) m (referência que designa a unidade de medida do sistema internacional de unidades - metro);
- b) Atribuir-se à grandeza massa o valor de 2 (número) g (referência que designa a unidade de medida do sistema internacional de unidades - grama);
- c) Atribuir-se à grandeza tempo o valor de 3 (número) s (referência que designa a unidade de medida do sistema internacional de unidades - segundo).

Os três exemplos apresentados acima reportam-se apenas a três grandezas de um leque muito vasto de grandezas existentes e com as quais desde tempos imemoriais o homem ao longo da história tem vindo a caracterizar de uma forma quantitativa a distância percorrida, a pesagem efetuada, o tempo gasto na realização de uma tarefa, entre outras.

No seguimento desta exposição de conceitos a NOTA 3 da definição de medição introduziu o conceito: sistema de medição calibrado. Este conceito tem por base a definição de calibração. A **calibração** define-se como: “Operação que estabelece, sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação” [1].

2.3 Dia Mundial da Metrologia

Dada a importância crescente no que concerne aos assuntos relacionados com a metrologia, o dia 20 de maio foi estabelecido como o dia mundial da metrologia, em alusão ao dia 20 de maio de 1875, dia em que foi assinada a convenção do metro, data a partir da qual o sistema métrico, atualmente designado por Sistema Internacional de unidades (SI), passou a ser adotado por 17 países signatários dessa Convenção, entre os quais Portugal [2].

A ratificação da Convenção do Metro deu-se em Portugal pela Lei de 19 de abril de 1876, no reinado de D. Luís I [3].

Existem atualmente 57 estados membros e 40 associados da Convenção do Metro [a].

De referir que estes números, quer de estados membros quer de associados, têm de ano para ano, aumentado significativamente, supondo-se que tal tenha origem no carácter cada vez mais importante que os países revelam em relação à participação nestes assuntos. De relevar que os países que fazem parte da Convenção do Metro se estendem por todo o mundo sem exceções.

Imediatamente antes da viragem para o 3.º milénio, em 1999, foi levado a cabo um Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) que contemplou o reconhecimento da equivalência dos padrões e dos certificados de calibração dos países membros. Para que tal reconhecimento seja efetivo é necessário que os membros participem, através dos seus laboratórios nacionais de metrologia em comparações interlaboratoriais regulares e que disponham de sistemas da qualidade segundo as normas internacionais aplicáveis [2, 3].

Em sequência da realização das comparações internacionais a exatidão das medições a longo prazo é assegurada pela rastreabilidade aos padrões de medida e na falta destes aos materiais de referência certificados e internacionalmente reconhecidos [2, 3].

No MRA participam cerca de duas centenas de laboratórios nacionais de metrologia (LNM) ou laboratórios designados pelos países, encontrando-se registadas quase 30 milhares de capacidades de medição e calibração (CMC), diferentes [2].

Portugal encontra-se representado pelo LCM – Unidade de Metrologia Científica e Aplicada do LNM do IPQ, sendo responsável pelas grandezas comprimento, massa, tempo, temperatura, eletricidade e mole e pelo laboratório designado, Laboratório de Metrologia de radiações ionizantes e radiação do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), que tem a responsabilidade de representar Portugal no âmbito das grandezas radioatividade e radiações ionizantes [2].

A importância das atividades relacionadas com as medições tem tido um impacto crescente no sector económico e social, quer ao nível nacional quer ao nível internacional, que segundo estudos, representam, respetivamente, 5% e 6% do PIB [2].

É incontestável atribuir-se à metrologia um lugar primordial na prossecução do desenvolvimento tecnológico, porque este assenta cada vez mais na utilização de técnicas de medição mais inovadoras e mais complexas [2].

A utilização da metrologia como área do conhecimento relativo à medição, tem uma natureza transversal a todas as áreas da engenharia, sem exceção, e abarca um vasto e variado conjunto de atividades económicas, científicas e legais [4].

2.4 Os 3 pilares da metrologia

A Metrologia encontra-se dividida em 3 pilares fundamentais com diferentes níveis de complexidade e exatidão.

- Metrologia científica

Trata da organização e desenvolvimento das normas sobre a medição e da sua manutenção ao mais alto nível [5].

- Metrologia industrial ou aplicada

Garante o funcionamento adequado dos instrumentos de medição utilizados na indústria, nos processos de produção e de teste, para garantir a qualidade de vida para os cidadãos e para a pesquisa académica [5].

- Metrologia legal

Está mais preocupada com as medidas quando estas influenciam a transparência das transações económicas, particularmente quando há um requisito para verificação legal do instrumento de medição [5].

A Metrologia fundamental não tem uma definição internacional, mas geralmente significa o maior nível de exatidão dentro de um determinado campo. A metrologia fundamental pode, portanto, ser descrita como o ramo de nível superior da metrologia científica [5].

3 Comparadores de massa

Um instrumento de pesagem pode ser utilizado de duas formas:

a) Como comparador, na disseminação da unidade de massa desde um padrão de massa de exatidão superior até padrões de massa de exatidão inferior, usando o método de substituição. A este propósito, as propriedades mensuráveis de um comparador de massa são a sua sensibilidade e/ou o valor de massa da menor divisão da escala, a repetibilidade (determinada a partir do ciclo de medição utilizado, ABBA ou ABA), erro de indicação e, se necessário, o efeito de carga excêntrica (excentricidade). O comparador de massa apresenta a diferença do valor de massa entre dois pesos, o peso padrão e o peso de teste [40].

Por outro lado, os comparadores de massa são classificados em duas categorias: manuais e automáticos.

- comparadores manuais necessitam de intervenção humana para a carga e descarga dos pesos e registo das indicações;

- comparadores automáticos minimizam a necessidade de intervenção humana, sendo que, os erros devidos ao operador durante o processo de pesagem são praticamente eliminados. As indicações são gravadas em ficheiros que serão a base de informação de uma base de dados criada num programa, e que podem ser visualizados, impressos, copiados ou apagados em qualquer momento.

b) Como instrumento de pesagem direta utiliza-se a balança. A balança indica a massa de um corpo colocado sobre um recetor de carga, sem recurso a pesos padrão. A este propósito as características alvo de avaliação são: repetibilidade das indicações, erro da indicação ao longo de toda a escala, e se necessário, o efeito de carga excêntrica (excentricidade) [40].

3.1 Características dos dois comparadores de massa

A tabela 1 identifica os dois comparadores de massa utilizados, caracterizando-os em termos metrológicos e em termos de interface de comunicação.

Tabela 1: Comparadores de massa

		
Marca	Mettler Toledo	Sartorius
Modelo	UMT5	CC500
Resolução	0,1 µg (resolução fina) 1 µg (resolução adotada)	10 µg
Alcance	0...5100 mg	505 g
Unidades apresentadas	mg ou µg	g ou mg
Repetibilidade (desvio padrão)	0,25 µg (0...2 g) 0,4 µg (>2...5 g)	0,02 mg
Âmbito de utilização	Calibração de pesos da classe de exatidão F1 e inferior com valores nominais (1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200 e 500) mg e (1; 2 e 5) g	Calibração de pesos da classe de exatidão F1 e inferior com valores nominais (10; 20; 50; 100; 200 e 500) g
Tipo de transmissão de dados (Padrão)	RS232	RS232
Tipo de interface	Série 	Série 
Cabo recomendado pelo fabricante		
Tipo de conector (do cabo) que liga ao comparador de massa	DCE (Data Communication Equipment) (macho DB9)	DCE (Data Communication Equipment) (macho DB25)
Tipo de conector (do cabo) que liga ao PC	DTE (Data Terminal Equipment) (fêmea DB9)	DTE (Data Terminal Equipment) (fêmea DB25)

3.2 Comunicação de dados

Para que os dados físicos com origem nos comparadores de massa sejam recolhidos no PC torna-se necessário a comunicação entre ambos. Para tal, existem vários aspetos relacionados com os tipos de comunicação disponíveis, o meio pelo qual a transmissão de dados pode ser feita e, o tipo de redes que se podem construir consoante o meio de transmissão de dados escolhido.

3.2.1 Tipos de comunicação

Existem duas formas gerais para o envio de dados: a comunicação paralelo e a comunicação série.

Na comunicação em paralelo, são enviados grupos de bits simultaneamente, o que exige fisicamente a utilização de mais do que um fio para garantir a comunicação, o que promove a existência de ruído e utilização em distâncias curtas. Por outro lado, na comunicação série, que significa “um após o outro”, a informação é enviada bit após bit. Esta forma de comunicação reduz significativamente os custos, devido ao facto de não serem necessários vários fios para transmissão dos dados, permitindo ainda que esta seja feita através de distâncias mais longas. A comunicação entre os comparadores de massa e o PC é em série, por conseguinte, a informação entre os comparadores de massa e o PC, faz-se através do cabo série. Saliente-se que o sinal ao passar no cabo série já se encontra na forma digital, dado que a conversão de analógico para digital é realizada pelo conversor ADC (conversor analógico digital), controlado pelo microcontrolador incorporado nos comparadores.

4 Topologia de redes

Este trabalho visa implementar a topologia da rede sem fios apresentada na figura 2.

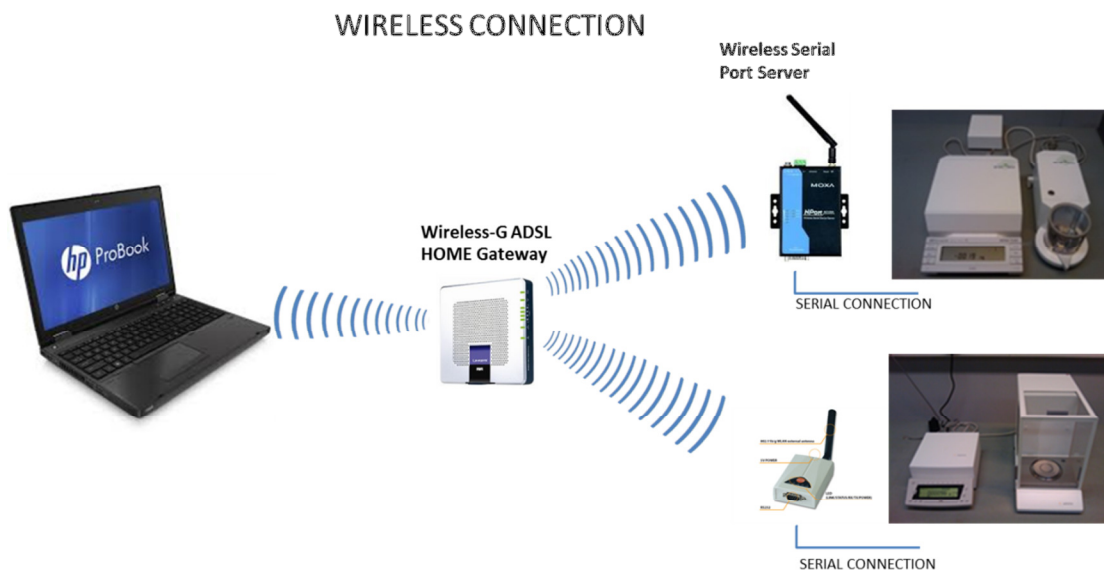


Figura 2: Topologia da rede sem fios

4.1 Introdução às redes sem fios

A rede Wireless LAN (WLAN, também conhecido por Wi-Fi) é uma das mais populares normas de comunicação sem fios no mercado. É uma norma internacional que descreve as características de uma rede de área local sem fios. Wi-Fi é tecnicamente o nome da certificação dada pela Wi-Fi Alliance à compatibilidade entre dispositivos que utilizam a norma 802.11.

Tipicamente, a norma 802.11 reserva as camadas de mais baixos níveis do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) para uma conexão sem fios que utiliza ondas eletromagnéticas. A camada física (*physical layer*) define a interface entre o barramento do dispositivo e a camada física.

A especificação da norma 802.11 é composta por mais de 20 padrões diferentes. Os padrões mais populares hoje em dia são 802.11b, 802.11g e 802.11n que são utilizados na maioria dos dispositivos Wi-Fi comercializados hoje em dia. A tabela 2 apresenta alguns desses padrões assim como algumas das suas principais particularidades.

Tabela 2: Alguns dos padrões da norma 802.11 [41]

Padrão	Frequência de operação (GHz)	Taxa de transferência (Mb/s)	Alcance (m)
802.11a	5	54	120
802.11b	2,4	11	140
802.11g	2,4	54	140
802.11n	2,4/5	248	250

Existem dois modos de operação do padrão *wireless LAN*, que são designados por *infrastructure* e *ad-hoc* [11].

4.1.1 Modo infraestrutura

A estação *wireless* LAN comunica através de um ponto de acesso (*Access Point* - AP). Por isso, pelo menos um AP é necessário para implementar a rede de *infrastructure*. A estação *wireless* LAN pode comunicar com redes de servidores (*hosts*) com fios porque os relés da AP entre estações *wireless* LAN funcionam tal como entre estações *wireless* LAN e *wired* LAN (Ethernet) *host* [11].

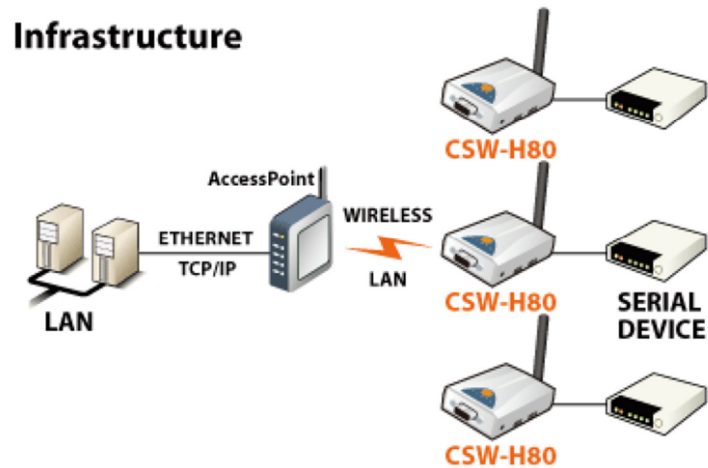


Figura 3: Infrastructure Mode

4.1.2 Modo Ad-hoc

As estações *wireless* comunicam entre si sem AP. Por isso, o utilizador pode fazer uma rede de comunicações mais simples. Uma rede deste tipo é mais adequada quando não existe a necessidade de LAN com fios e quando se trata de uma pequena rede. Habitualmente, esta configuração é designada por *peer-to-peer mode* [11].

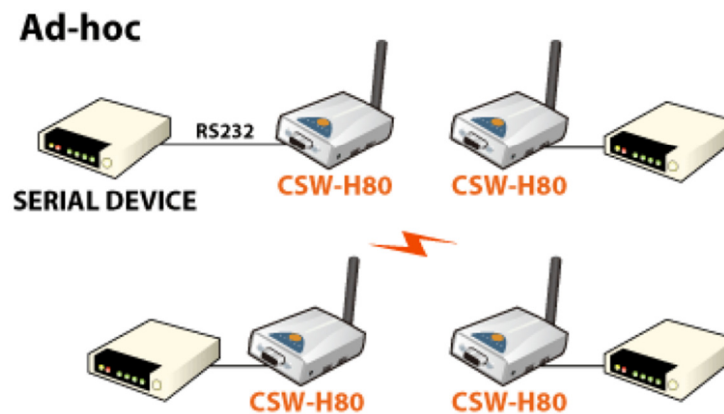


Figura 4: Ad-hoc Mode

4.1.3 Requisitos de uma rede Wi-Fi

- Service set identifier (SSID)

É um identificador que identifica uma *wireless* LAN em particular. Por isso, o mesmo SSID deve ser configurado em todas as estações para que a comunicação se faça na mesma rede *wireless*. No caso da *infrastructure mode*, o utilizador tem que definir o mesmo SSID nas estações e nos AP's. O valor máximo deste parâmetro é 31 bytes. [11]

- Canal (Channel)

A norma IEEE 802.11b/g de estações *wireless* LAN comunica sobre o ISM (industrial, scientific and medical radio bands) (banda Industrial, Científica e Médica), em que a frequência é de cerca de 2,4 GHz. As especificações da norma IEEE 802.11 dividem esta banda em 14 canais a cada 5 MHz. Se o utilizador instalar mais do que uma rede *wireless* LAN na mesma zona, os canais deverão separar-se mais do que 4 canais para evitar interferências. [11]

4.1.4 Autenticação e Segurança

- Autenticação

Uma estação *wireless* LAN deve ter uma autenticação da AP que está na *infrastructure mode*. Existe o sistema aberto e o sistema protegido por chave para os procedimentos de autenticação. [11]

- WEP (*Wired Equivalent Privacy*)

A WEP é um protocolo seguro de *wireless* LAN. Existem dois tipos de procedimentos WEP – chaves de 64 bits e chaves de 128 bits. [11]

-WPA (Wi-Fi Protected Access)

Representa uma melhoria substancial de segurança quando comparada a WEP. A WPA é uma norma de segurança para utilizadores com dispositivos equipados com ligações Wi-Fi *wireless*. Isto é uma melhoria e é expectável que venha substituir a norma de segurança Wi-Fi original – WEP. Existem dois modos de autenticação do utilizador na segurança WPA. Uma é a *Enterprise* que tem autenticação no servidor e a outra é a *PSK (Pre-Shared Key)* que não faz uso de servidor para autenticação [11].

- WPA2

É uma segurança de *wireless* LAN, segundo a norma IEEE 802.11i, que vem substituir a *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP) e que usa a tecnologia *Advanced Encryption Standard* (AES). WPA2 abrange simultaneamente a *Enterprise* e a *PSK mode* [11].

4.2 Características dos dispositivos Wi-Fi usados

a) Wireless-G ADSL HOME Gateway

Este dispositivo é habitualmente designado por router *wireless* e tem como principal característica funcionar segundo a norma IEEE 802.11b/g.

b) Wireless Serial Port Server, modelo NPort W2150A

Este dispositivo é um conversor RS232 para Wi-Fi, que funciona segundo a norma 802.11a/b/g, permitindo ser intercalado entre um dispositivo que possua uma porta RS232 e comunicar com um dispositivo *wireless* que funcione segundo a mesma norma.

c) Wireless LAN Serial Device Server, modelo CSW-H80

Este dispositivo é um conversor RS232 para Wi-Fi, que funciona segundo a norma 802.11b/g, permitindo ser intercalado entre um dispositivo que possua uma porta RS232 e comunicar com um dispositivo *wireless* que funcione segundo a mesma norma.

5 Implementação da rede sem fios

Para que a comunicação via *wireless* possa existir entre o PC e os Wireless Serial Port Server, passando pelo Wireless-G ADSL HOME Gateway, é utilizado o protocolo IP (*Internet Protocol*). Todo o sistema baseado numa rede IP, como é o caso de um PC, de um Wireless-G ADSL HOME Gateway e de um Wireless Serial Port Server, por exemplo, necessita de um endereço IP que o identifique na rede.

Existem duas formas de atribuir um endereço IP ao dispositivo de uma rede: através de um endereço IP estático ou através de um endereço IP dinâmico. Os endereços IP utilizados no âmbito deste trabalho serão IP estáticos, o que significa que serão atribuídos IP manualmente aos dispositivos da rede. Um endereço IP estático garante que o dispositivo ao qual foi atribuído o IP possua sempre o mesmo endereço IP até que seja alterado. Um endereço IP estático deve ser único e deve identificar apenas um e um só dispositivo.

O Wireless-G ADSL HOME Gateway dispõe de LEDs no seu painel lateral, que indicam a atividade da rede, sendo que o LED que identifica o *wireless* é um LED de cor verde que se ilumina sempre que existe uma ligação *wireless* bem sucedida. Quando o LED se encontra a piscar, significa que está a existir envio ou receção de dados de ou para um dos dispositivos da rede.

5.1 Configuração do Wireless-G ADSL HOME Gateway

Dado que se pretende utilizar uma ligação *wireless* para um PC, seguir-se-ão os seguintes passos de configuração:

1 - Ligar o cabo de rede com ficha RJ45 à ficha 1 da Ethernet do Wireless-G ADSL HOME Gateway e a outra extremidade do cabo de rede à ficha de rede de um PC.

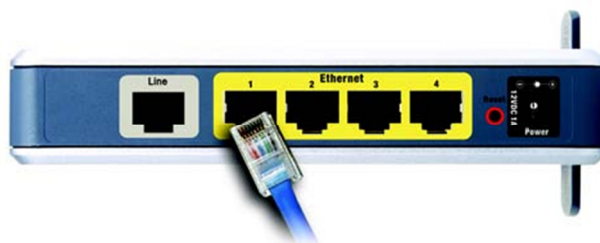


Figura 5: Ligações Ethernet do Wireless-G ADSL HOME Gateway

2 - O LED de cor verde de Power ligar-se-á e irá piscar durante alguns segundos, após esse tempo o LED permanecerá continuamente aceso.



Figura 6: LED de cor verde ligado

3 - No Windows 7, percorrendo o caminho: Painel de Controlo\Rede e Internet\Centro de Rede e Partilha, acede-se às ligações das redes ativas, acedendo-se à designação do IP que, por defeito, o Wireless-G ADSL HOME Gateway apresenta (192.168.1.1).

4 - A digitação do IP 192.168.1.1 num browser, por exemplo, Google Chrome ou Internet Explorer, seguido de Enter, origina a abertura de uma janela de login. Digitar **admin** (nome por defeito) no campo User Name e, digitar **admin** (nome por defeito) no campo Password. Acionar o botão OK.

5 - A primeira janela que aparece é o separador de Basic Setup. Este separador possibilita a alteração das portas de entrada das definições gerais. A alteração das definições descritas e o clicar no botão Save Settings grava as alterações, ao contrário do clicar no botão “Cancel Changes” que cancela as alterações.

No ítem Network Setup, em:

- Local IP Address, o valor por defeito é 192.168.1.1. Este valor será alterado para 192.168.127.1
- Starting IP Address , o valor por defeito é 192.168.1.2. Este valor será alterado para 192.168.127.2

No separador Wireless, em Basic Wireless Settings, em:

- Wireless Network Mode, dado que por defeito se encontra selecionado Mixed que permite utilizar na rede dispositivos que funcionam segundo as normas 802.11b e 802.11g, que é o que se dispõe neste trabalho, esse parâmetro será mantido.
- Service Set Identifier (SSID). Corresponde ao nome porque é designada a rede *wireless*. Aparece por defeito linksys. Este nome foi alterado para MJM, sigla que identifica “Mestrado João Menezes”.
- Wireless Channel, foi ajustado para 11 – 2.462 GHz.
- Wireless SSID Broadcast, permaneceu em Enable.

Para gravar as alterações, clicar no botão Save Settings.

A partir deste momento o Wireless-G ADSL HOME Gateway encontra-se configurado, para funcionar numa rede *wireless*.

O cabo de rede que se ligou à ficha 1 da Ethernet do Wireless-G ADSL HOME Gateway (ver figura 5) e a outra ponta ao conector RJ45 do PC não será mais necessário, dado que a rede a partir deste momento poderá funcionar apenas por *wireless*.

5.2 Instalação e configuração do CSW-H80

5.2.1 Instalação

A instalação do dispositivo CSW-H80 da Sollae Systems consiste nos seguintes passos:

1 - Usar um *cross cable* (cabo cruzado) para efetuar a instalação do dispositivo, sendo que a configuração do referido cabo encontra-se representada na figura 7.

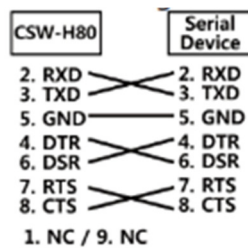


Figura 7: Cross cable

Como se pode verificar na figura 7, o *cross cable* é constituído por duas fichas, em que cada ficha utiliza 7 pinos e em que cada pino tem uma descrição, tal como designado a seguir: RXD (Receive Data), TXD (Transmit Data), GND (Ground), DTR (Data Terminal Ready), DSR (Data Set Ready), RTS (Request to Send) e CTS (Clear to Send).

O LED vermelho de PWR liga-se e o LED laranja de STS pisca a cada segundo.

2 - Ligar o *cross cable* (ficha DB9 de 9 pinos fêmea) à porta COM do PC. Caso o PC não possua nenhuma porta COM, pode-se utilizar um conversor Série para USB.

3 - Pressionar o botão de função do dispositivo entre 20 ms e 1 s do lado do CSW-H80. Então, os 4 LEDs do dispositivo, excetuando o de PWR, piscarão simultaneamente, significando que o CSW-H80 está a funcionar, configurado no modo série.

4 - Abrir o ficheiro ezManager_32E e seleccionar o separador Serial. Escolher a porta COM que se encontra ligada e clicar no botão Open.

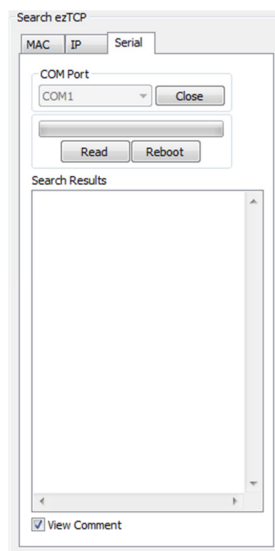


Figura 8: ezManager_32e

Quando a porta COM se encontrar aberta, clicar no botão Read. Então, pode-se configurar todos os valores dos parâmetros.

5.2.2 Configuração

A configuração do dispositivo faz-se através do ficheiro ezManager_32E.

O Wireless-G ADSL HOME Gateway deve estar ligado e a funcionar e a rede MJM deve estar ligada no PC.

1 - Abrir o ficheiro ezManager_32E.

2 - Clicar no botão Search All.

Visualiza-se no separador Network, a designação do dispositivo que se encontra ligado (CSW-H80, Ver.: 1.1H) e em Local IP Address, o IP do dispositivo (192.168.127.254).

No separador Serial Port visualiza-se a designação da Local Port do dispositivo (1470).

Visualiza-se em Wireless LAN o SSID da rede (MJM).

3 - Clicar no botão Write para gravar a configuração.

5.3 Instalação e configuração do W2150A

1 - Obter a indicação do IP Address do dispositivo que se encontra numa etiqueta colada na parte inferior do mesmo.

2 - Ligar ao dispositivo o cabo de alimentação de energia elétrica e um cabo de rede.

3 - Ligar o cabo de rede à tomada de rede do PC.

4 - Abrir um *browser* no PC, por exemplo, Google Chrome ou Internet Explorer, e digitar a designação do IP Address indicado na parte inferior do dispositivo (192.168.127.254).

Abrir uma web console de configuração.

5 - Em Network Settings, IP Address alterar para 192.168.127.3 e clicar no botão Next.

6 - Em Operation Mode Settings selecionar TCP para que a comunicação entre o PC e o dispositivo série se faça via TCP (Transmission Control Protocol) port. A porta atribuída por defeito é a 4001. Clicar no botão Next.

7 - Em Serial Settings seleciona-se os parâmetros de comunicação atribuídos ao dispositivo série que vai ser ligado ao Nport W2150A. Clicar em Next. Visualiza-se um resumo da configuração efetuada.

8 - Clicar no botão Save/Restart. A configuração efetuada fica gravada e sai-se da configuração.

9 - Para entrar na configuração do dispositivo, abre-se novamente um *browser* e digita-se agora o novo IP Address (192.168.127.3), seguido de Enter. Pode-se agora passar de parâmetro em parâmetro e caso seja necessário, alterar-se o que se pretender.

6 Testes de comunicação

Teste 1.1: Comunicação com fios PC <-> UMT5

Efetuiu-se um teste para avaliar o estabelecimento de comunicação entre o PC e o comparador de massa UMT5. Para tal, recorreu-se à configuração do emulador de terminal VBTerm e à ligação através de um cabo série, fornecido pelo fabricante do comparador de massa, dos dois dispositivos, de acordo com o apresentado na figura 9.

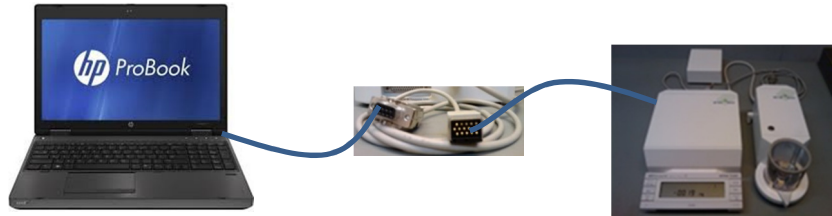


Figura 9: Esquema de ligações com fios PC <-> UMT5

Definiu-se o protocolo de comunicação, de acordo com o apresentado na tabela 3, quer no VBTerm quer no comparador de massa.

Tabela 3: Protocolo de comunicação do comparador UMT5

Baud rate	Data bits	Parity	Stop bits	Handshake
9600	7	Par	1	Xon/Xoff

No seguimento da colocação de uma massa sobre o recetor de carga do UMT5 e o acionar da tecla “PRINT” do mesmo, resultaram as indicações que se visualizam na figura 10.

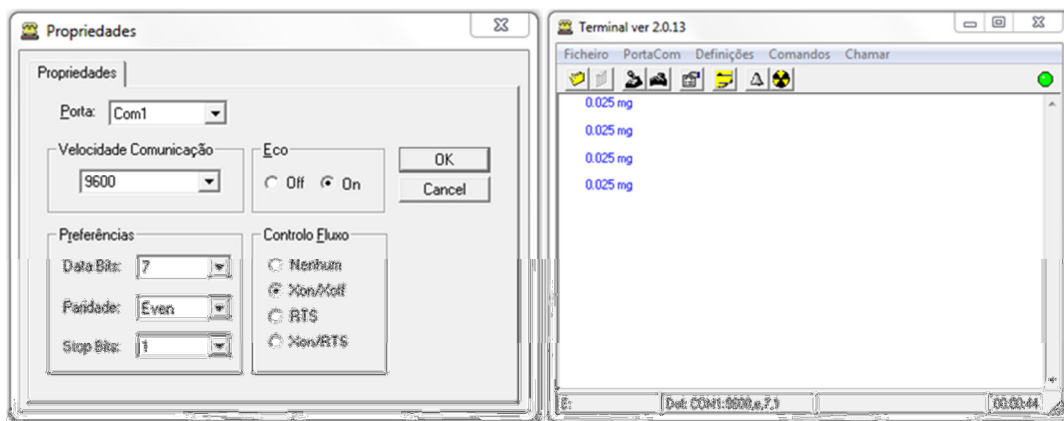


Figura 10: Protocolo de comunicação e output no VBTerm, PC <-> UMT5

Teste 1.2: Comunicação sem fios PC <-> UMT5

Efetuiu-se um teste para avaliar o estabelecimento de comunicação entre o PC e o comparador de massa UMT5. Para tal, recorreu-se à configuração do emulador de terminal Windows HyperTerminal, ligação via cabo série entre o NPort W2150A e o comparador de massa. O NPort W2150A ligou-se via *wireless* ao router linksys, que por sua vez comunica pela mesma via com o PC, de acordo com o apresentado na figura 11.

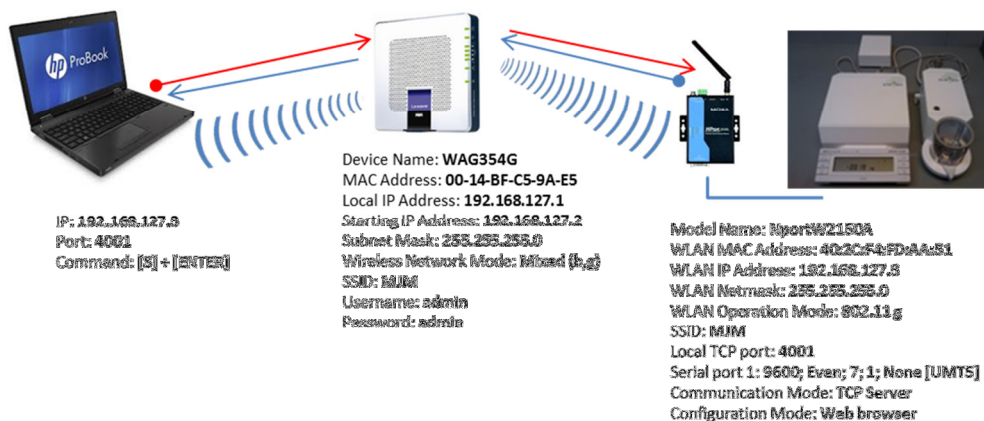


Figura 11: Esquema de ligações sem fios PC <-> UMT5, com o HyperTerminal

O resultado obtido nesta configuração foi o mesmo que o obtido na Figura 10.

Teste 2.1: Comunicação com fios PC <-> CC500

Efetuiu-se um teste similar para avaliar o estabelecimento de comunicação entre o PC e o comparador de massa CC500. Para tal, recorreu-se à configuração do emulador de terminal VBTerm e à ligação através de um cabo série, fornecido pelo fabricante do comparador de massa, dos dois dispositivos, de acordo com o apresentado na figura 12.



Figura 12: Esquema de ligações com fios PC <-> CC500, com o VBTerm

Definiu-se o protocolo de comunicação, de acordo com o apresentado na tabela 4, quer no VBTerm quer no comparador de massa.

Tabela 4: Protocolo de comunicação do comparador CC500

Baud rate	Data bits	Parity	Stop bits	Handshake
1200	7	ímpar	1	Xon/Xoff

No seguimento da colocação de uma massa sobre o recetor de carga do CC500 e o acionar da tecla “⊙/” do mesmo, resultaram as indicações que se visualizam na figura 13.

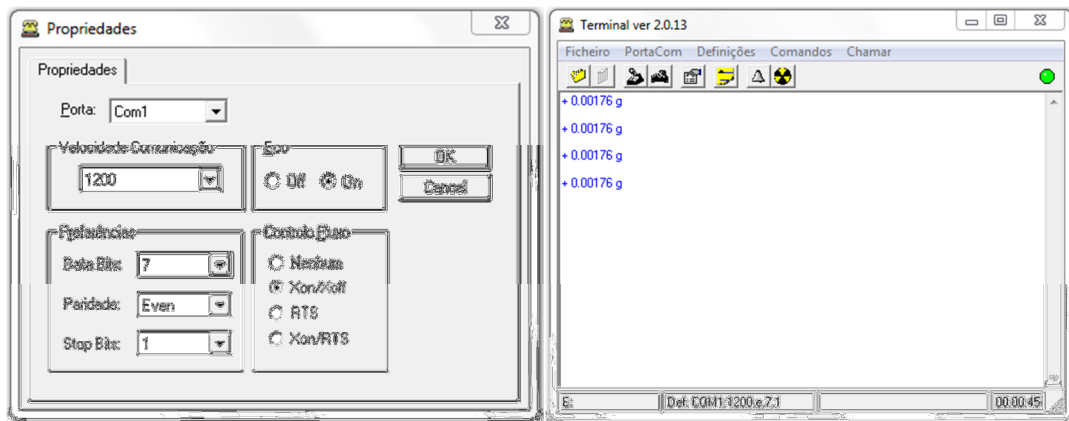


Figura 13: Protocolo de comunicação e output no VBTerm, PC <-> CC500

Teste 2.2: Comunicação sem fios PC <-> CC500

Efetuuou-se um teste para avaliar o estabelecimento de comunicação entre o PC e o comparador de massa CC500. Para tal, recorreu-se à configuração do emulador de terminal Windows HyperTerminal, ligação via cabo série entre o CSW-H80 e o comparador de massa. O CSW-H80 ligou-se via *wireless* ao router linksys, que por sua vez comunica pela mesma via com o PC, de acordo com o apresentado na figura 14.



Figura 14: Esquema de ligações sem fios PC <-> CC500, com o HyperTerminal

O resultado obtido nesta configuração foi idêntico ao obtido na figura 13.

7 Aplicação informática para aquisição de dados

7.1 Introdução ao Visual Basic 2013

A utilização do Microsoft Visual Studio Express 2013 for Windows Desktop, através do produto Visual Basic 2013, permitiu desenvolver uma aplicação informática que fosse capaz de ter o desempenho do HyperTerminal e/ou do VBTerm, mas que para além disso, tivesse uma interface que fosse capaz de padronizar várias configurações e gravá-las para posterior utilização. Ao mesmo tempo que permitiu exportar os dados para um ficheiro Excel, para posterior tratamento e análise de dados e arquivo em formato digital. Esta interface permite também que a comunicação entre ambos os dispositivos seja bidirecional. A figura 15 mostra a interface gráfica da aplicação informática criada.

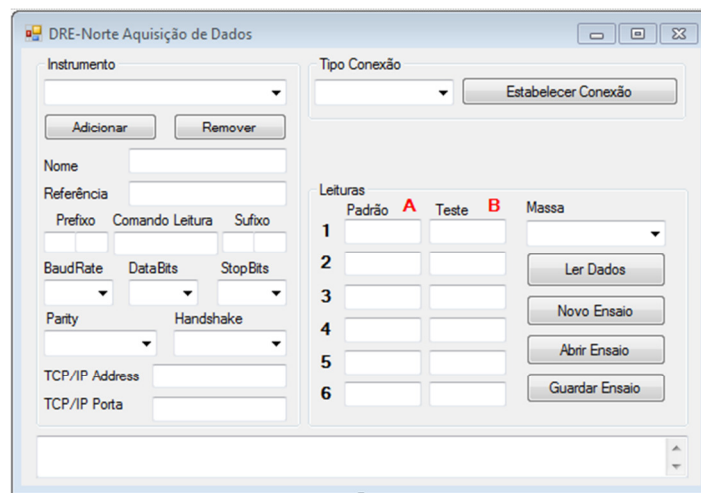


Figura 15: Interface gráfica da nova aplicação informática

Para agilizar a parametrização do protocolo de comunicação utilizado por cada comparador (UMT5 e CC500) em conjugação com os dispositivos série-wireless (W2150A e CSW-H80), respetivamente, criaram-se e gravaram-se as quatro configurações apresentadas na figura 16, adotando a comunicação sem fios.

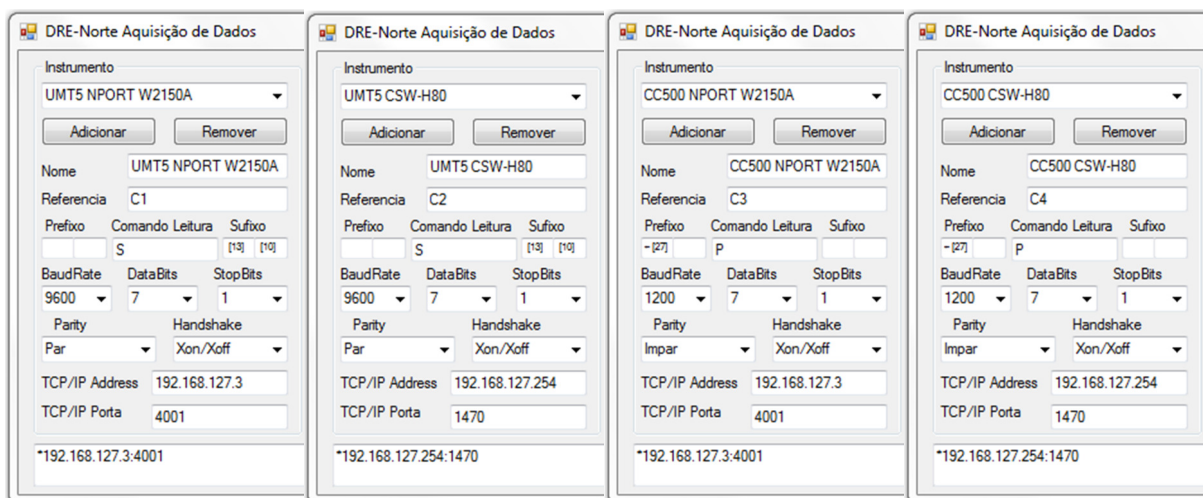


Figura 16: *Templates* de parametrização do protocolo de comunicação

Formato em que são enviados os dados do comparador para o PC

Equipamento: UMT5

- Para que o valor da indicação seja enviado do UMT5 para o PC, em sequência de envio de comando do PC, esse comando é composto pela letra "S" ou "s" seguida por dois sufixos "CR" (*carriage return*), caractere 13 do código ASCII, e "LF" (*line feed*), caractere 10 do código ASCII [39].
- Para que a indicação seja enviada do UMT5 para o PC, é necessário atuar na tecla "Print".

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
																		CR	LF

Apresenta-se a seguir o significado de cada posição que compõe a sequência dos dados enviados pelo UMT5.

- 1.^a e 2.^a identificação dos comandos (exemplo: S, s, ES, TA, ...);
- 3.^a e 14.^a espaço (caractere 32 do código ASCII);
- 4.^a à 13.^a valor da pesagem com um ponto decimal e sinal "menos" (-), se aplicável;
- 15.^a à 18.^a símbolo da unidade (pode vir em "mg" ou "ug");
- 19.^a e 20.^a *Carriage Return* e *Line Feed*, respetivamente.

Exemplos:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S				4	9	9	8	.	9	8	0	7		m	g			CR	LF
S			-	4	9	9	8	.	9	8	0	5		m	g			CR	LF
T	A																	CR	LF
E	S																	CR	LF
S			-	5	0	0	0	.	0	1	3	9		m	g			CR	LF
							0	.	0	0	1	0		m	g			CR	LF
							0	.	0	0	2			m	g			CR	LF
									0	.	7			u	g			CR	LF

Em que, além do comando "S" explicado acima, "TA" significa *Tare* e "ES" significa *Error Syntax*.

Equipamento: CC500

- a) Para que o valor da indicação seja enviado do CC500 para o PC, em sequência de envio de comando do PC, esse comando é composto pelo prefixo tecla "ESC" (*escape*), caractere 27 do código ASCII, seguido do comando letra "P" [37].
- b) Para que a indicação seja enviada do CC500 para o PC, é necessário atuar na tecla "Ⓞ"/".

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
														CR	LF

Apresenta-se a seguir o significado de cada posição que compõe a sequência dos dados enviados pelo CC500.

- 1.^a Sinal de "mais" (+), "menos" (-) ou "espaço";
- 2.^a à 10.^a valor da pesagem com um ponto decimal;
- 11.^a espaço;
- 12.^a à 14.^a símbolo da unidade e/ou espaço (pode vir em "g", "mg", "kg", "dwt", "ozt", ...);
- 15.^a à 16.^a *Carriage Return* e *Line Feed*, respetivamente.

Exemplos:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+	2	0	0	.	0	0	4	9	7		g			CR	LF
+			0	.	0	0	0	0	3		g			CR	LF
-			0	.	0	0	0	0	4		g			CR	LF
			0	.	0	0	0	0	0		g			CR	LF
-	1	0	0	.	0	0	0	2	2		g			CR	LF
-				7	8	3	.	7	4		m	g		CR	LF
-						0	.	2	0		m	g		CR	LF
+						0	.	4	4		m	g		CR	LF
+			4	5	1	8	.	0	3		m	g		CR	LF
-	1	0	0	0	0	2	.	0	9		m	g		CR	LF

7.2 Análise do código em Visual Basic

O programa elaborado em Visual Basic 2013, intitulado por, “DRE-Norte Aquisição de Dados”, compõe-se genericamente por quatro classes, designadas por: “Main”; “Instrumento”; “Conexao” e “CalculoExcel”, que esquematicamente poderão ser representadas pela sequência apresentada na figura 17:



Figura 17: As quatro classes que compõem o programa

A classe “Main” constitui a classe principal, sendo a classe que serve como ponto de partida para a execução do programa. Esta classe controla e desencadeia a execução direcionada à chamada das classes “Instrumento”, “Conexao” e “CalculoExcel”.

A classe “Instrumento” é descrita pelo fluxograma da figura 18:

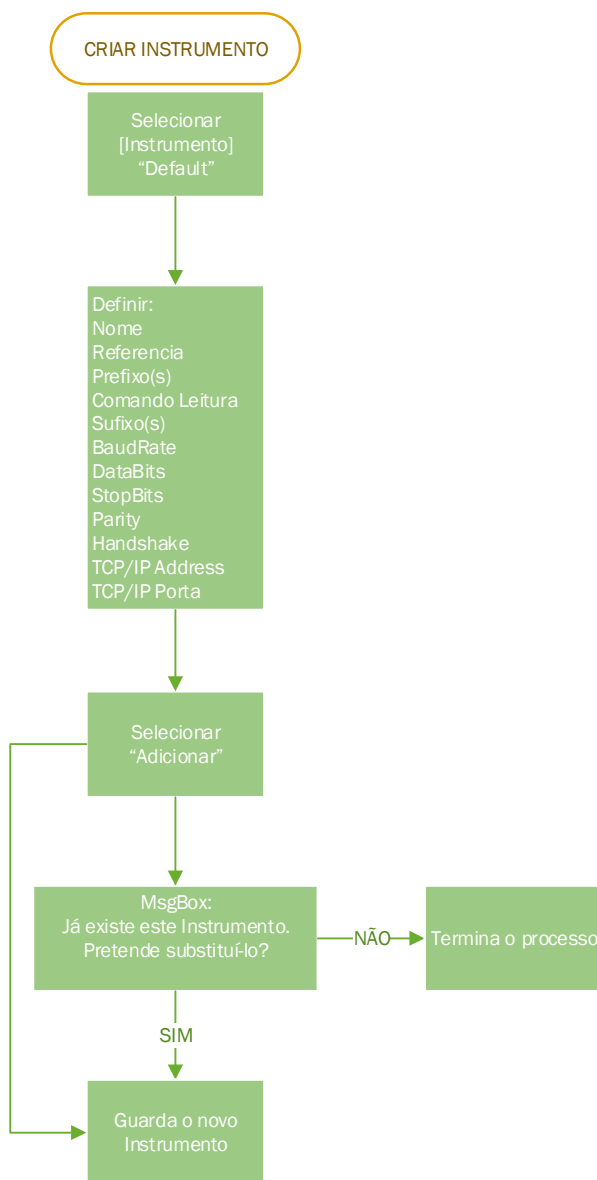


Figura 18: Fluxograma da classe Instrumento

A classe “Conexao” é descrita pelo fluxograma da figura 19:

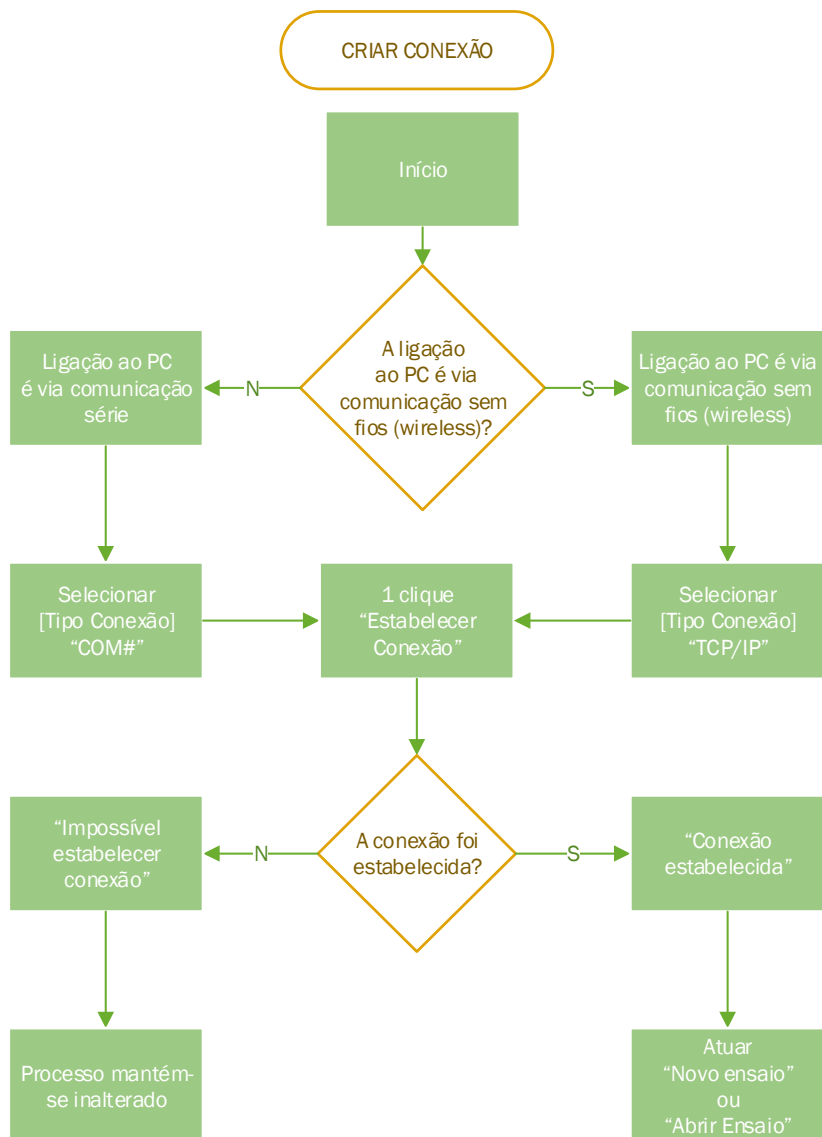


Figura 19: Fluxograma da classe “Conexao”

Passos a seguir para a realização de um ensaio de calibração de pesos:

- 1.º passo: Criar/Selecionar instrumento na *combobox* “Instrumento”.
- 2.º passo: Criar conexão, selecionando na *combobox* “Tipo Conexão” a ligação por porta COM# ou TCP/IP.
- 3.º passo: Abrir ensaio ou criar novo ensaio, nos botões “Abrir Ensaio” ou “Novo Ensaio”, respetivamente.
- 4.º passo: Selecionar o valor nominal do peso sujeito a ensaio, na *combobox* “Massa”.
- 5.º passo: Colocar sobre o recetor de carga do comparador o peso, atuando de seguida no comando para a indicação ser adquirida pelo programa, após a qual o cursor passa para a posição seguinte da sequência ABBA, e assim sucessivamente até à posição 12.

Na figura 20 estão identificadas as 12 posições (posição 1 até à posição 12) que o cursor vai sucessivamente ocupando deste a posição inicial (posição 1 que corresponde ao início do 1.º ciclo) até à posição final (posição 12 que corresponde ao fim do 3.º ciclo).

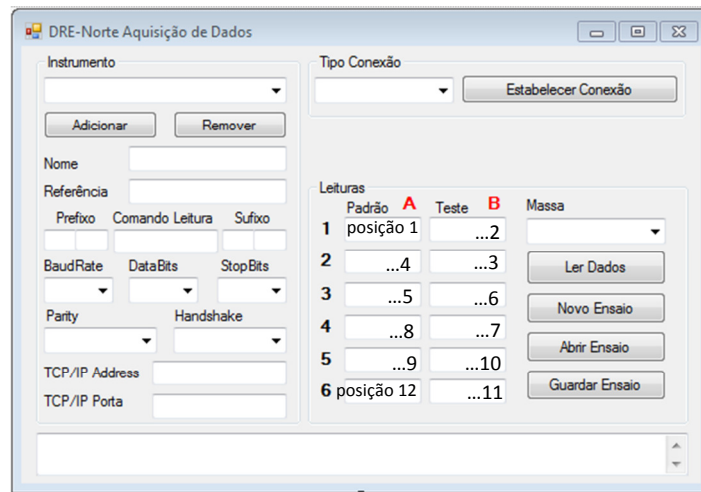


Figura 20: Interface gráfica da nova aplicação informática

6.º passo: Selecionar novo valor nominal do peso sujeito a ensaio, na *combobox* “Massa” ou senão, atuar no botão “Guardar Ensaio” e definir um nome para o ficheiro Excel, para o qual, previamente, foi criado um *template*.

É no momento em que se atua no botão “Guardar Ensaio” que é chamada a classe “CalculoExcel” e que tem como função enviar os valores que foram registados para as devidas posições na folha Excel.

7.3 Exportação dos dados para ficheiro Excel

As indicações dos comparadores são enviadas para ficheiro Excel sem qualquer segmentação. Por forma a facilitar o processo, recorreu-se a fórmulas disponibilizadas no Excel para efetuar tal segmentação, como é mostrado nos pontos 7.3.1 e 7.3.2.

7.3.1 Comparador de massa UMT5

Indicação enviada para uma célula do Excel: “S _ _ _ _ _ 0 . 0 0 1 _ _ m g _ _”.

Passo 1: Após digitar a fórmula “=COMPACTAR(&#;)” obteve-se “S _ 0 . 0 0 1 _ _ m g _ _”.

[COMPACTAR remove todos os espaços do texto exceto os espaços únicos entre palavras]

Passo 2: Após digitar a fórmula “=ESQUERDA(&#;8)” obteve-se “S _ _ 0 . 0 0 1”.

[ESQUERDA devolve o primeiro caractere ou caracteres numa cadeia de texto, com base no número de caracteres que especificar]

Passo 3: Após digitar a fórmula = “=DIREITA(&#;6)” obteve-se “_ 0 . 0 0 1”.

[DIREITA devolve o último caractere ou caracteres numa cadeia de texto, baseado no número de caracteres especificados]

Passo 4: Após digitar a fórmula = “SUBST(&#;”.”;”,”;1) obteve-se “_ 0 , 0 0 1”.

[SUBST coloca novo_texto no lugar de texto_antigo numa cadeia de texto]

Após o passo 3, o resultado que se obtém apresenta-se em formato numérico. O passo 4 apenas efetua a substituição do ponto decimal para vírgula, podendo a partir desse momento, o resultado ser utilizado em cálculos com valores numéricos.

- Apresentação em folha Excel dos dados adquiridos e segmentação dos mesmos:

Para testar a aquisição automática dos dados apresenta-se nas tabelas 5 à 9, os dados obtidos em folha Excel com base em 12 aquisições por valor nominal de massa obtidos no seguimento de colocação no UMT5 de pesos com valores nominais 1 mg; 2 mg; 5 mg; 10 mg e 20 mg.

a) 1 mg

Tabela 5: Aquisição automática das indicações do peso de 1 mg

Padrão	Teste										
A	B										
S 0.000 mg	S -0.012 mg										
S 0.001 mg	S -0.012 mg	S 0.000 mg	S 0.000 mg	S 0.000 0.000	0,000	S -0.012 mg	S -0.012 mg	S -0.012 -0.012	-0,012		
S 0.000 mg	S -0.012 mg	S 0.001 mg	S 0.001 mg	S 0.001 0.001	0,001	S -0.012 mg	S -0.012 mg	S -0.012 -0.012	-0,012		
S 0.001 mg	S -0.012 mg	S 0.000 mg	S 0.000 mg	S 0.000 0.000	0,000	S -0.012 mg	S -0.012 mg	S -0.012 -0.012	-0,012		
S 0.001 mg	S -0.012 mg	S 0.001 mg	S 0.001 mg	S 0.001 0.001	0,001	S -0.012 mg	S -0.012 mg	S -0.012 -0.012	-0,012		
S 0.001 mg	S -0.011 mg	S 0.001 mg	S 0.001 mg	S 0.001 0.001	0,001	S -0.011 mg	S -0.011 mg	S -0.011 -0.011	-0,011		
S 0.001 mg	S -0.011 mg	S 0.001 mg	S 0.001 mg	S 0.001 0.001	0,001	S -0.011 mg	S -0.011 mg	S -0.011 -0.011	-0,011		

b) 2 mg

Tabela 6: Aquisição automática das indicações do peso de 2 mg

Padrão		Teste															
A	B																
S 0.000 mg	S -0.008 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.008 mg	S	-0.008 mg	S	-0.008	-0.008	-0,008
S 0.001 mg	S -0.008 mg	S	0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001	0.001	0,001	S	-0.008 mg	S	-0.008 mg	S	-0.008	-0.008	-0,008
S 0.000 mg	S -0.009 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.009 mg	S	-0.009 mg	S	-0.009	-0.009	-0,009
S 0.000 mg	S -0.008 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.008 mg	S	-0.008 mg	S	-0.008	-0.008	-0,008
S 0.000 mg	S -0.009 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.009 mg	S	-0.009 mg	S	-0.009	-0.009	-0,009
S 0.000 mg	S -0.008 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.008 mg	S	-0.008 mg	S	-0.008	-0.008	-0,008

c) 5 mg

Tabela 7: Aquisição automática das indicações do peso de 5 mg

Padrão		Teste															
A	B																
S 0.000 mg	S -0.003 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.003 mg	S	-0.003 mg	S	-0.003	-0.003	-0,003
S 0.000 mg	S -0.004 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.004 mg	S	-0.004 mg	S	-0.004	-0.004	-0,004
S 0.000 mg	S -0.003 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.003 mg	S	-0.003 mg	S	-0.003	-0.003	-0,003
S 0.000 mg	S -0.003 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.003 mg	S	-0.003 mg	S	-0.003	-0.003	-0,003
S 0.000 mg	S -0.004 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.004 mg	S	-0.004 mg	S	-0.004	-0.004	-0,004
S -0.001 mg	S -0.004 mg	S	-0.001 mg	S	-0.001 mg	S	-0.001	-0.001	-0,001	S	-0.004 mg	S	-0.004 mg	S	-0.004	-0.004	-0,004

d) 10 mg

Tabela 8: Aquisição automática das indicações do peso de 10 mg

Padrão		Teste															
A	B																
S 0.000 mg	S -0.002 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.002 mg	S	-0.002 mg	S	-0.002	-0.002	-0,002
S 0.001 mg	S -0.002 mg	S	0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001	0.001	0,001	S	-0.002 mg	S	-0.002 mg	S	-0.002	-0.002	-0,002
S 0.001 mg	S -0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001	0.001	0,001	S	-0.001 mg	S	-0.001 mg	S	-0.001	-0.001	-0,001
S 0.001 mg	S -0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001	0.001	0,001	S	-0.001 mg	S	-0.001 mg	S	-0.001	-0.001	-0,001
S 0.000 mg	S -0.002 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.002 mg	S	-0.002 mg	S	-0.002	-0.002	-0,002
S 0.000 mg	S -0.002 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.002 mg	S	-0.002 mg	S	-0.002	-0.002	-0,002

e) 20 mg

Tabela 9: Aquisição automática das indicações do peso de 20 mg

Padrão		Teste															
A	B																
S 0.000 mg	S -0.012 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.012 mg	S	-0.012 mg	S	-0.012	-0.012	-0,012
S 0.000 mg	S -0.012 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.012 mg	S	-0.012 mg	S	-0.012	-0.012	-0,012
S 0.000 mg	S -0.011 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.011 mg	S	-0.011 mg	S	-0.011	-0.011	-0,011
S 0.001 mg	S -0.011 mg	S	0.001 mg	S	0.001 mg	S	0.001	0.001	0,001	S	-0.011 mg	S	-0.011 mg	S	-0.011	-0.011	-0,011
S 0.000 mg	S -0.012 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.012 mg	S	-0.012 mg	S	-0.012	-0.012	-0,012
S 0.000 mg	S -0.012 mg	S	0.000 mg	S	0.000 mg	S	0.000	0.000	0,000	S	-0.012 mg	S	-0.012 mg	S	-0.012	-0.012	-0,012

Com o intuito de comparar e validar as indicações obtidas através da aquisição automática e através do modo manual, apresentam-se na tabela 10 as indicações obtidas no modo manual.

Tabela 10: Indicações obtidas no modo manual (pesos de (1; 2; 5; 10 e 20) mg)
(os valores da tabela estão apresentados em “mg”)

1 mg		2 mg		5 mg		10 mg		20 mg	
Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B
0,000	-0,012	0,000	-0,008	0,000	-0,003	0,000	-0,002	0,000	-0,012
0,001	-0,012	0,001	-0,008	0,000	-0,004	0,001	-0,002	0,000	-0,012
0,000	-0,012	0,000	-0,009	0,000	-0,003	0,001	-0,001	0,000	-0,011
0,001	-0,012	0,000	-0,008	0,000	-0,003	0,001	-0,001	0,001	-0,011
0,001	-0,011	0,000	-0,009	0,000	-0,004	0,000	-0,002	0,000	-0,012
0,001	-0,011	0,000	-0,008	-0,001	-0,004	0,000	-0,002	0,000	-0,012

Comparando as indicações obtidas pela aquisição automática e pelo modo manual, constata-se que as indicações obtidas pelos dois métodos são coincidentes, concluindo-se, deste modo, que o processo de aquisição automática se encontra validado.

7.3.2 Comparador de massa CC500

Indicação enviada para uma célula do Excel: “+ 0.01 mg”.

Passo 1: Após digitar a fórmula “=COMPACTAR(&#)” obteve-se “+ 0.01 mg”.

Passo 2: Após digitar a fórmula “=ESQUERDA(&#;6)” obteve-se “+ 0.01”.

Passo 3: Após digitar a fórmula “=SUBST(&#;.”;”,”;1)” obteve-se “+ 0,01”.

Após o passo 2, o resultado que se obtém apresenta-se em formato numérico. O passo 3 apenas efetua a substituição do ponto decimal para vírgula, podendo a partir desse momento, o resultado ser utilizado em cálculos com valores numéricos.

- Apresentação em folha Excel dos dados adquiridos e segmentação dos mesmos:

Para testar a aquisição automática dos dados apresentam-se nas tabelas 11 à 13, os dados obtidos em folha Excel com base em 12 aquisições por valor nominal de massa obtidos no seguimento de colocação no CC500 de pesos com valores nominais 100 g; 200 g e 500 g.

a) 100 g

Tabela 11: Aquisição automática das indicações do peso de 100 g

Padrão A	Teste B									
+ 0,00 mg	+ 0,13 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,13 mg	+ 0,13 mg	+ 0,13	+ 0,13	+ 0,13
+ 0,01 mg	+ 0,12 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	+ 0,12 mg	+ 0,12 mg	+ 0,12	+ 0,12	+ 0,12
+ 0,01 mg	+ 0,13 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	+ 0,13 mg	+ 0,13 mg	+ 0,13	+ 0,13	+ 0,13
+ 0,02 mg	+ 0,13 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,13 mg	+ 0,13 mg	+ 0,13	+ 0,13	+ 0,13
+ 0,03 mg	+ 0,14 mg	+ 0,03 mg	+ 0,03 mg	+ 0,03	+ 0,03	+ 0,14 mg	+ 0,14 mg	+ 0,14	+ 0,14	+ 0,14
+ 0,02 mg	+ 0,13 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,13 mg	+ 0,13 mg	+ 0,13	+ 0,13	+ 0,13

b) 200 g

Tabela 12: Aquisição automática das indicações do peso de 200 g

Padrão A	Teste B									
+ 0,00 mg	- 0,11 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	- 0,11 mg	- 0,11 mg	- 0,11	- 0,11	- 0,11
+ 0,01 mg	- 0,11 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	- 0,11 mg	- 0,11 mg	- 0,11	- 0,11	- 0,11
+ 0,01 mg	- 0,11 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	- 0,11 mg	- 0,11 mg	- 0,11	- 0,11	- 0,11
+ 0,00 mg	- 0,12 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	- 0,12 mg	- 0,12 mg	- 0,12	- 0,12	- 0,12
- 0,01 mg	- 0,13 mg	- 0,01 mg	- 0,01 mg	- 0,01	- 0,01	- 0,13 mg	- 0,13 mg	- 0,13	- 0,13	- 0,13
+ 0,00 mg	- 0,12 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	- 0,12 mg	- 0,12 mg	- 0,12	- 0,12	- 0,12

c) 500 g

Tabela 13: Aquisição automática das indicações do peso de 500 g

Padrão A	Teste B									
+ 0,00 mg	+ 0,09 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,09 mg	+ 0,09 mg	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,09
+ 0,00 mg	+ 0,09 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,09 mg	+ 0,09 mg	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,09
+ 0,00 mg	+ 0,10 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00 mg	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,10 mg	+ 0,10 mg	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10
+ 0,01 mg	+ 0,09 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	+ 0,09 mg	+ 0,09 mg	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,09
+ 0,01 mg	+ 0,10 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01 mg	+ 0,01	+ 0,01	+ 0,10 mg	+ 0,10 mg	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10
+ 0,02 mg	+ 0,11 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02 mg	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,11 mg	+ 0,11 mg	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,11

Com o intuito de comparar e validar as indicações obtidas através da aquisição automática e através do modo manual, apresentam-se na tabela 14 as indicações obtidas no modo manual.

Tabela 14: Indicações obtidas no modo manual (pesos de (100; 200 e 500) g)

(os valores da tabela apresentam-se em "g")

100 g		200 g		500 g	
Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B	Padrão A	Teste B
+ 0,00	+ 0,13	+ 0,00	- 0,11	+ 0,00	+ 0,09
+ 0,01	+ 0,12	+ 0,01	- 0,11	+ 0,00	+ 0,09
+ 0,01	+ 0,13	+ 0,01	- 0,11	+ 0,00	+ 0,10
+ 0,02	+ 0,13	+ 0,00	- 0,12	+ 0,01	+ 0,09
+ 0,03	+ 0,14	- 0,01	- 0,13	+ 0,01	+ 0,10
+ 0,02	+ 0,13	+ 0,00	- 0,12	+ 0,02	+ 0,11

Comparando as indicações obtidas pela aquisição automática e pelo modo manual, constata-se que as indicações obtidas pelos dois métodos são coincidentes, concluindo-se, deste modo, que o processo de aquisição automática se encontra validado.

8 Comparação interlaboratorial

O desenvolvimento deste trabalho académico decorreu, em simultâneo, com a realização de uma comparação interlaboratorial de calibração de pesos, a nível nacional.

O laboratório de massa da DRE-Norte foi um dos sete laboratórios participantes e os resultados obtidos no seguimento da aquisição de dados com a implementação da nova ferramenta informática, serviram de base ao tratamento e análise dos resultados no âmbito da referida comparação interlaboratorial.

Na comparação interlaboratorial foi utilizado como equipamento principal do laboratório da DRE-Norte o comparador de massa UMT5 e um conjunto de cinco pesos padrão de valores nominais 1 mg, 2 mg, 5 mg, 10 mg e 20 mg, da classe de exatidão E2.

8.1 Introdução e objetivos à participação numa comparação interlaboratorial

Na base do conceito de medição está a atividade de comparar uma quantidade com um valor de referência, com recurso a uma experiência prévia.

Também uma comparação interlaboratorial, em metrologia, é a demonstração da equivalência dos resultados e dos procedimentos de medição utilizados pelos diferentes laboratórios, para a realização da calibração de padrões ou outros dispositivos de medição, ou seja, a análise metrológica dos diferentes equipamentos de medição laboratoriais.

Habitualmente, participam nos ensaios de comparação interlaboratorial os laboratórios, que pretendem avaliar a qualidade dos resultados apresentados e a sua fiabilidade, isto é, com interesse na avaliação do seu próprio desempenho.

Tal como a tarefa de medição traz consigo o seu próprio desafio, também um ensaio de comparação interlaboratorial constitui um desafio, que tem como objetivos:

- Fornecer uma ferramenta de garantia da qualidade ao laboratório, a título individual, permitindo-lhe comparar o seu desempenho com laboratórios similares, desenvolver as ações corretivas consideradas necessárias e facilitar a melhoria do desempenho [42].
- Permitir a avaliação da cadeia de rastreabilidade ao nível nacional nas respetivas áreas, identificar e confirmar a rastreabilidade de cada um dos laboratórios [42].
- Permitir que o laboratório demonstre a sua competência perante a entidade acreditadora [42].

8.2 Comparação interlaboratorial de calibração de pesos

8.2.1 Introdução

A presente comparação interlaboratorial organizada pela RELACRE (Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal), decorreu durante 6 meses, e visou avaliar as capacidades de medição e calibração dos laboratórios acreditados participantes.






O laboratório de massa do IPQ (Instituto Português da Qualidade) é a entidade técnica responsável pela comparação interlaboratorial nacional.

Participaram nesta comparação interlaboratorial sete laboratórios acreditados nacionais.

8.2.2 Descrição dos pesos






O conjunto dos pesos de teste, têm as características metrológicas apresentadas na tabela 15:

Tabela 15: Características dos pesos de teste

Fotografia	Fabricante / Classe exatidão	Valor nominal	EMA (OIML R111)	Material	Massa volúmica ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Forma
	KERN / F1	1 mg	0,020 mg	Alumínio	$2\,700 \pm 130$	Chapa triangular
	KERN / F1	2 mg	0,020 mg	Alumínio	$2\,700 \pm 130$	Chapa quadrangular
	KERN / F1	5 mg	0,020 mg	Alumínio	$2\,700 \pm 130$	Chapa pentagonal
	KERN / F1	10 mg	0,025 mg	Prata niquelada	$8\,600 \pm 170$	Chapa triangular
	KERN / F1	20 mg	0,03 mg	Prata niquelada	$8\,600 \pm 170$	Chapa quadrangular

O conjunto dos pesos padrão, utilizados pelo laboratório da DRE-Norte, têm as características metrológicas apresentadas na tabela 16:

Tabela 16: Características dos pesos padrão

Fotografia	Fabricante / Classe exatidão	Valor nominal	EMA (OIML R 111)	Material	Massa volúmica ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Forma
	METTLER TOLEDO / E2	1 mg	0,003 mg	Aço inoxidável	$8\,000 \pm 50$	Filiforme
	METTLER TOLEDO / E2	2 mg	0,003 mg	Aço inoxidável	$8\,000 \pm 50$	Filiforme
	METTLER TOLEDO / E2	5 mg	0,003 mg	Aço inoxidável	$8\,000 \pm 50$	Filiforme
	METTLER TOLEDO / E2	10 mg	0,003 mg	Aço inoxidável	$8\,000 \pm 50$	Filiforme
	METTLER TOLEDO / E2	20 mg	0,003 mg	Aço inoxidável	$8\,000 \pm 50$	Filiforme

8.2.3 Erro do peso de teste

A equação apresentada abaixo permite obter o erro do peso de teste.

Erro do peso de teste = indicação do peso de teste – indicação do peso padrão

Utilizando o método ABBA, de 3 ciclos, para calibrar um peso, designando por "A_{ij}" a indicação do peso padrão e por "B_{ij}" a indicação do peso de teste, em que, o primeiro índice "i" designa o n.º do ciclo e o segundo índice "j" designa a ordem sequencial da indicação no ciclo, virá:

$$\text{Erro do peso de teste} = \frac{\left\{ \left(\left(\frac{B_{11} + B_{12}}{2} \right) - \left(\frac{A_{21} + A_{22}}{2} \right) \right) + \left(\left(\frac{B_{21} + B_{22}}{2} \right) - \left(\frac{A_{21} + A_{22}}{2} \right) \right) + \left(\left(\frac{B_{31} + B_{32}}{2} \right) - \left(\frac{A_{31} + A_{32}}{2} \right) \right) \right\}}{3}$$

8.2.4 Incerteza de medição

A incerteza do resultado de uma medição exprime o desconhecimento associado ao valor da grandeza a ser medida. Por definição, incerteza de medição, é o "parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a uma mensuranda" [1].

A figura 20 mostra o fluxo para o cálculo da incerteza de medição.

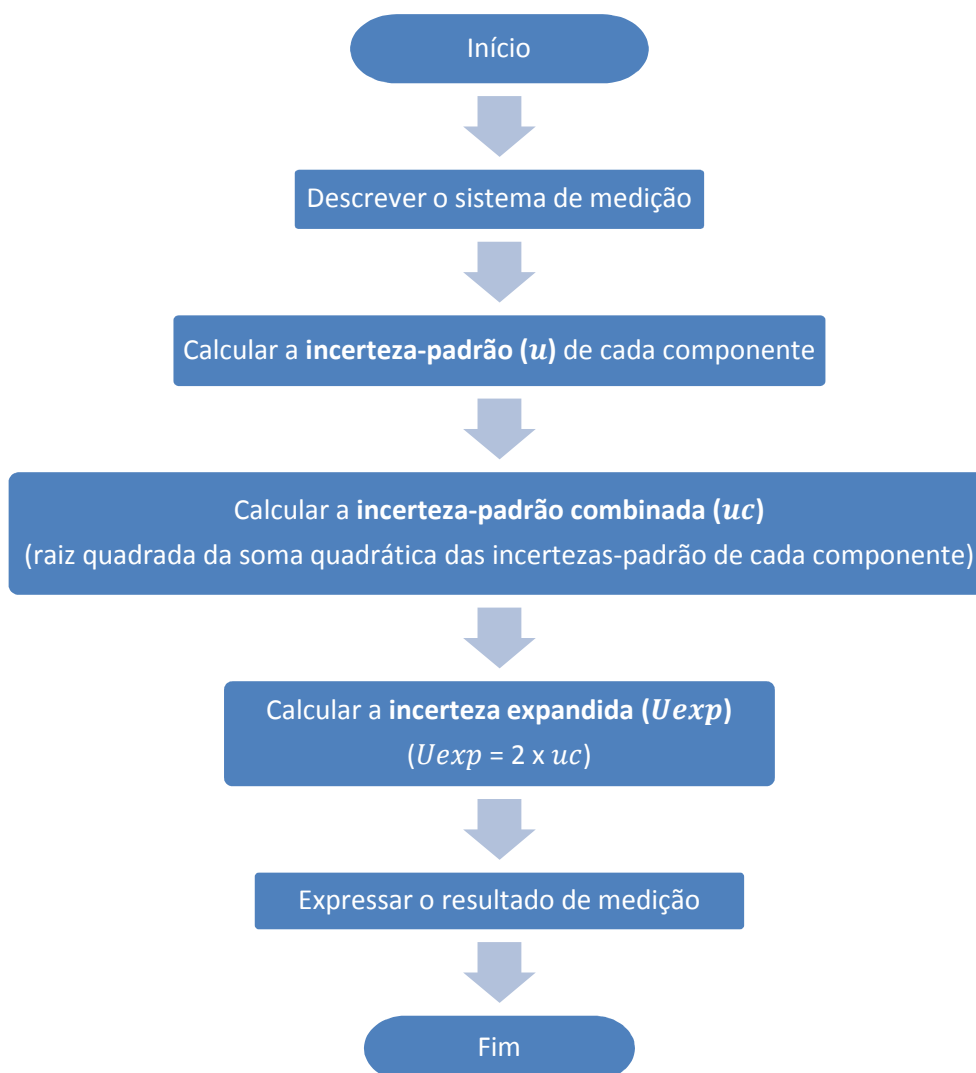


Figura 21: Fluxograma de cálculo da incerteza de medição

8.2.5 Procedimento de calibração e cálculo da incerteza expandida

Nesta secção será descrito o procedimento de calibração e cálculo da incerteza expandida associada na calibração do peso de teste de valor nominal 1 mg da classe de exatidão F1 da OIML R111-1:2004.

Os conteúdos referidos nesta secção terão por base o documento de referência EA-4/02 M:2013, da *European co-operation for Accreditation*, intitulado por, *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, entre outros documentos de referência referidos na bibliografia.

A1.1 A relação entre as quantidades de entrada que contribuem para o valor da mensuranda é dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

A calibração foi efetuada utilizando um comparador de massa com características adequadas e um peso padrão de igual valor nominal ao peso de teste e da classe de exatidão E2 da OIML R111-1:2004.

A massa do peso de teste é obtida através da seguinte expressão:

$$M_{pt} = M_{pp} + D_{tp} + \delta d_{pp} + \delta d_{ms} + \delta c_{mp} + \delta i_{mp}$$

Onde M_{pt} representa a massa do peso de teste, M_{pp} a massa do peso padrão e D_{tp} representa a diferença observada entre a massa do peso de teste e a massa do peso padrão.

A variável δd_{pp} refere-se à deriva da massa do peso padrão desde a última calibração, δd_{ms} representa o arredondamento do valor do dígito menos significativo da indicação, δc_{mp} representa a linearidade do comparador e δi_{mp} a impulsão do ar.

A1.2 No que respeita à identificação de todas as correções que devem ser tidas em conta no resultado da mensuranda, nomeadamente, δd_{pp} , δd_{ms} , δc_{mp} e δi_{mp} , não é habitual aplicar tais práticas para esta classe de exatidão de pesos e o comparador não tem um erro de linearidade tão significativo para que se deva fazê-lo, contudo, as incertezas para estas contribuições devem ser determinadas. Assume-se que, relativamente à deriva da massa do peso padrão desde a última calibração, ao arredondamento do valor do dígito menos significativo da indicação, à linearidade do comparador e à Impulsão do ar, as mesmas são iguais a zero.

Assim sendo, assume-se que:

$$M_{pt} = M_{pp} + D_{tp}$$

A1.3 **Massa do peso padrão (M_{pp}):** O certificado de calibração do peso padrão fornece o valor de 1,003 5 mg com uma incerteza expandida associada de **0,001 2 mg** para uma probabilidade de, aproximadamente, 95% (fator de expansão, $k = 2$).

A1.4 **Deriva da massa do peso padrão desde a última calibração (δd_{pp}):** A deriva do peso padrão é estimada a partir de calibrações prévias, e assume-se que o valor é igual à incerteza expandida de \pm **0,001 2 mg**. É assumido que segue uma distribuição de probabilidade retangular.

A1.5 **Arredondamento do valor do dígito menos significativo da indicação (δdms):** Dado que a resolução do comparador é de 0,001 mg, o dígito menos significativo (dms), corresponde a esse valor. Logo, o valor do arredondamento, δdms , tem como limites $\pm 0,5 dms$ da indicação dos valores do peso padrão e do peso de teste. Combinando estas duas distribuições retangulares obtém-se uma distribuição, aproximadamente, triangular, com limites de incerteza de $\pm dms$, a que corresponde o valor de $\pm 0,001$ mg.

A1.6 **Linearidade do comparador (δcmp):** é dada pelo fabricante e tem como limites $\pm 0,000 25$ mg, contudo, e para o caso presente, o valor será majorado para $\pm 0,001$ mg. Foi assumida uma distribuição de probabilidade retangular.

A1.7 **Impulsão do ar (δimp):** Foi estimado como sendo 1 ppm do valor nominal do peso, isto é, $\pm 0,000 001$ mg. Assume-se uma distribuição de probabilidade retangular.

A1.8 Para determinação da incerteza devida à **Repetibilidade (R)** do processo de medição, foi efetuada uma **avaliação prévia** de 10 comparações entre o peso padrão e o peso de teste, obtendo-se um desvio padrão, $s(R)$, de 0,000 5 mg. Esta avaliação replica a variação da posição do peso no comparador, incluindo os efeitos devidos ao erro de excentricidade do comparador, aos efeitos eletromagnéticos do comparador e à interação eletromagnética deste com o peso.

Apresentam-se a seguir as diferenças encontradas (em mg) nas 10 comparações realizadas:

0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

A1.9 **Correlação:** Nenhuma das grandezas de entrada são consideradas correlacionadas em grau significativo.

A1.10 Foram efetuadas três observações da diferença de massa entre o peso de teste e o peso padrão, utilizando-se o método de substituição e o esquema ABBA, de 3 ciclos. A designação “A” refere-se à indicação obtida aquando da colocação do peso padrão no recetor de carga do comparador e a designação “B” diz respeito à indicação obtida com a colocação do peso de teste. Os resultados obtidos são os que se apresentam na tabela 17:

Tabela 17: Indicações obtidas na calibração do peso de 1 mg

N.º ciclo (<i>Ai</i> ; <i>Bi</i>)	Sequência	Indicação (mg)	(peso de teste – peso padrão) (mg) $\frac{(Bi1 + Bi2)}{2} - \frac{(Ai1 + Ai2)}{2}$	Erro (mg) (média das diferenças)
1	A11	0,000	-0,012 5	-0,012
	B11	-0,012		
	B12	-0,012		
	A12	0,001		
2	A21	0,000	-0,012 5	
	B21	-0,012		
	B22	-0,012		
	A22	0,001		
3	A31	0,001	-0,012 0	
	B31	-0,011		
	B32	-0,011		
	A32	0,001		

Do certificado de calibração do peso padrão, retira-se que a massa do peso padrão é 1,003 5 mg. O valor obtido na calibração do peso de teste é por isso 1,003 5 mg + (-0,012 g) = **0,992 mg**.

A1.11 Dado que foram efetuadas 3 comparações entre o peso padrão e o peso de teste (3 ciclos ABBA), esse valor será utilizado para calcular o desvio padrão da média, $s(Rx)$:

Do ponto A1.8, resulta que, $s(R) = 0,000 5$, o que implica que, $s(Rx) = \frac{s(R)}{\sqrt{n}} = \frac{0,000 5}{\sqrt{3}} = 0,000 3$ mg.

A1.12 A unidade em que estão expressas as incertezas padrão e o valor da mensuranda é a mesma, ou seja, miligramas, e a relação funcional entre as variáveis de entrada e a mensuranda corresponde a um somatório linear. Portanto, todos os coeficientes de sensibilidade são unitários ($ci = 1$).

A1.13 Uma vez que nenhuma das variáveis é considerada correlacionada, a incerteza-padrão combinada é determinada da seguinte forma:

$$uc(Mpt) = \sqrt{u(Mpp)^2 + u(\delta dpp)^2 + u(\delta dms)^2 + u(\delta cmp)^2 + u(\delta imp)^2 + u(Rx)^2}$$

$$uc(Mpt) = \sqrt{0,001 2^2 + 0,001 2^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,000 001^2 + 0,000 3^2}$$

$$uc(Mpt) = 0,001 2 \text{ mg}$$

A1.14 A incerteza expandida calcula-se multiplicando a incerteza-padrão combinada (uc) pelo fator de expansão $k=2$, uma vez que os graus de liberdade efetivos de uc são iguais ou superiores a 500¹.

Daí resultando, $U_{exp} = 2 \times 0,0012 = 0,0024 \text{ mg}$

¹ Excetuando a variável R_x , em que o número de graus de liberdade é dado por $\nu_i = n-1 = 10-1 = 9$, as restantes variáveis, porque têm os limites inferior e superior, a_+ e a_- , respetivamente, considera-se que a probabilidade da grandeza em questão estar fora destes limites é extremamente pequena. Consequentemente, para essas variáveis, o número de graus de liberdade da incerteza-padrão pode ser tomado como $\nu_i \rightarrow$ infinito, adotando-se assim, $\nu_i = 500$ [43].

Tabela 18: Resumo do cálculo da incerteza expandida (U_{exp})

Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (\pm mg)	Distribuição de probabilidade	Divisor	Coefficiente de sensibilidade (c_i)	Incerteza-padrão u_i (mg)	Graus de liberdade efetivos (ν_{eff})
M_{pp}	Calibração do peso padrão	0,0012	Normal	2	1	0,000 6	∞
δ_{dpp}	Deriva desde a última calibração	0,0012	Retangular	$\sqrt{3}$	1	0,000 7	∞
δ_{dms}	Arredondamento do dígito menos significativo	0,001	Triangular	$\sqrt{6}$	1	0,000 4	∞
δ_{cmp}	Linearidade do comparador	0,001	Retangular	$\sqrt{3}$	1	0,000 6	∞
δ_{imp}	Impulsão do ar (1 ppm do valor nominal do peso)	0,000 001	Retangular	$\sqrt{3}$	1	0,000 000 6	∞
R_x	Repetibilidade da indicação	0,000 3	Normal	1	1	0,000 3	9
u_c	Incerteza-padrão combinada		Normal			0,001 2	>500
U_{exp}	Incerteza expandida		Normal ($k=2$)			0,002 4	>500

A1.16 Apresentação do resultado final

O valor da massa do peso de teste de 1 mg será **0,992 mg \pm 0,002 4 mg**.

(nota: o valor da massa do peso de teste está dado em concordância com a resolução do comparador e a incerteza expandida associada está dada com não mais que dois algarismos significativos).

A incerteza expandida da medição está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo fator de expansão $k=2$, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%.

8.2.6 Resultados do processo de calibração

a) 1 mg

Tabela 19: Resultados da calibração do peso de 1 mg

Padrão_A (mg)	Teste_B (mg)	i	A1i	B1i	B2i	A2i	D1ai = ((B1i+B2i)/2)-((A1i+A2i)/2)	(mg)
0,000	-0,012	1	0,000	-0,012	-0,012	0,001	-0,0125	0,000
0,001	-0,012	2	0,000	-0,012	-0,012	0,001	-0,0125	0,001
0,000	-0,012	3	0,001	-0,011	-0,011	0,001	-0,0120	0,000
0,001	-0,012							0,001
0,001	-0,011							0,001
0,001	-0,011							0,000
								0,001
								0,000
								0,001
								0,000
								0,001
								0,0005

-0,012 ---> média das diferenças (g)

Do certificado de calibração, a massa do peso padrão é 1,0035 mg.
O valor da calibração do peso de teste será então 1,0035 mg + (-0,012) = 0,992 mg.

0,992

0,0005 ---> desvio padrão (mg)

0,0003 ---> incerteza padrão (g)

Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (± mg)	distribuição probabilidade	divisor	ci	ui (mg)	(ui)^2 (mg)	veff
Mpp	calibração do peso padrão	0,0012	Normal	2	1	0,0006	0,00000036	inf
δdpp	drift desde a última calibração	0,0012	Retangular	√3	1	0,0007	0,00000048	inf
δdms	erro de arredondamento digital	0,001	Triangular	√6	1	0,0004	0,00000017	inf
δcmp	não linearidade do comparador	0,001	Retangular	√3	1	0,0006	0,00000033	inf
δimp	impulsão do ar (1 ppm do valor nominal)	0,000001	Retangular	√3	1	0,0000006	0,00000000	inf
Rx	repetibilidade das indicações	0,0003	Normal	1	1	0,0003	0,00000009	9
uc	incerteza padrão combinada		Normal				0,00119536	> 500
Uexp	incerteza expandida		Normal (k=2)				0,00239	> 500

O valor medido do peso de 1 mg é 0,992 mg ± 0,0024 mg.

b) 2 mg

Tabela 20: Resultados da calibração do peso de 2 mg

Padrão_A (mg)	Teste_B (mg)	i	A1i	B1i	B2i	A2i	D1ai = ((B1i+B2i)/2)-((A1i+A2i)/2)	(mg)
0,000	-0,008	1	0,000	-0,008	-0,008	0,001	-0,0085	0,000
0,001	-0,008	2	0,000	-0,009	-0,008	0,000	-0,0085	0,001
0,000	-0,009	3	0,000	-0,009	-0,008	0,000	-0,0085	0,000
0,000	-0,008							0,000
0,000	-0,009							0,000
0,000	-0,008							0,000
								0,000
								0,000
								0,000
								0,000
								0,0004

-0,009 ---> média das diferenças (g)

Do certificado de calibração, a massa do peso padrão é 1,9974 mg.
O valor da calibração do peso de teste será então 1,9974 mg + (-0,009) = 1,988 mg.

1,988

0,0004 ---> desvio padrão (mg)

0,0002 ---> incerteza padrão (g)

Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (± mg)	distribuição probabilidade	divisor	ci	ui (mg)	(ui)^2 (mg)	veff
Mpp	calibração do peso padrão	0,0012	Normal	2	1	0,0006	0,00000036	inf
δdpp	drift desde a última calibração	0,0012	Retangular	√3	1	0,0007	0,00000048	inf
δdms	erro de arredondamento digital	0,001	Triangular	√6	1	0,0004	0,00000017	inf
δcmp	não linearidade do comparador	0,001	Retangular	√3	1	0,0006	0,00000033	inf
δimp	impulsão do ar (1 ppm do valor nominal)	0,000002	Retangular	√3	1	0,0000012	0,00000000	inf
Rx	repetibilidade das indicações	0,0002	Normal	1	1	0,0002	0,00000006	9
uc	incerteza padrão combinada		Normal				0,00118290	> 500
Uexp	incerteza expandida		Normal (k=2)				0,00237	> 500

O valor medido do peso de 2 mg é 1,988 mg ± 0,0024 mg.

c) 5 mg

Tabela 21: Resultados da calibração do peso de 5 mg

Padrão A (mg)	Teste B (mg)	i	A1i	B1i	B2i	A2i	D1ai = ((B1i+B2i)/2)-((A1i+A2i)/2)	(mg)
0,000	-0,003	1	0,000	-0,003	-0,004	0,000	-0,0035	0,000
0,000	-0,004	2	0,000	-0,003	-0,003	0,000	-0,0030	0,000
0,000	-0,003	3	0,000	-0,004	-0,004	-0,001	-0,0035	0,000
0,000	-0,003							0,000
0,000	-0,004							0,000
-0,001	-0,004							0,000
Do certificado de calibração, a massa do peso padrão é 5,0014 mg. O valor da calibração do peso de teste será então 5,0014 mg + (-0,003) = 4,998 mg.								0,000
								4,998
								0,0003 --> desvio padrão (mg)
								0,0002 --> incerteza padrão (g)
								0,0003
Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (± mg)	distribuição probabilidade	divisor	ci	ui (mg)	(ui) ² (mg)	veff
Mpp	calibração do peso padrão	0,0012	Normal	2	1	0,0006	0,00000036	inf
δdpp	drift desde a última calibração	0,0012	Retangular	v3	1	0,0007	0,00000048	inf
δdms	erro de arredondamento digital	0,001	Triangular	v6	1	0,0004	0,00000017	inf
δcmp	não linearidade do comparador	0,001	Retangular	v3	1	0,0006	0,00000033	inf
δimp	impulsão do ar (1 ppm do valor nominal)	0,000005	Retangular	v3	1	0,0000029	0,00000000	inf
Rx	repetibilidade das indicações	0,0002	Normal	1	1	0,0002	0,00000003	9
uc	incerteza padrão combinada		Normal				0,00117190	> 500
Uexp	incerteza expandida		Normal (k=2)				0,00234	> 500
O valor medido do peso de 5 mg é 4,998 mg ± 0,0023 mg.								

d) 10 mg

Tabela 22: Resultados da calibração do peso de 10 mg

Padrão A (mg)	Teste B (mg)	i	A1i	B1i	B2i	A2i	D1ai = ((B1i+B2i)/2)-((A1i+A2i)/2)	(mg)
0,000	-0,002	1	0,000	-0,002	-0,002	0,001	-0,0025	0,000
0,001	-0,002	2	0,001	-0,001	-0,001	0,001	-0,0020	0,001
0,001	-0,001	3	0,000	-0,002	-0,002	0,000	-0,0020	0,001
0,001	-0,001							0,001
0,000	-0,002							0,000
0,000	-0,002							0,000
Do certificado de calibração, a massa do peso padrão é 10,0039 mg. O valor da calibração do peso de teste será então 10,0039 mg + (-0,002) = 10,002 mg.								0,000
								10,002
								0,0005 --> desvio padrão (mg)
								0,0003 --> incerteza padrão (g)
								0,0005
Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (± mg)	distribuição probabilidade	divisor	ci	ui (mg)	(ui) ² (mg)	veff
Mpp	calibração do peso padrão	0,0016	Normal	2	1	0,0008	0,00000064	inf
δdpp	drift desde a última calibração	0,0016	Retangular	v3	1	0,0009	0,00000085	inf
δdms	erro de arredondamento digital	0,001	Triangular	v6	1	0,0004	0,00000017	inf
δcmp	não linearidade do comparador	0,001	Retangular	v3	1	0,0006	0,00000033	inf
δimp	impulsão do ar (1 ppm do valor nominal)	0,00001	Retangular	v3	1	0,0000058	0,00000000	inf
Rx	repetibilidade das indicações	0,0003	Normal	1	1	0,0003	0,00000009	9
uc	incerteza padrão combinada		Normal				0,00144300	> 500
Uexp	incerteza expandida		Normal (k=2)				0,00289	> 500
O valor medido do peso de 10 mg é 10,002 mg ± 0,0029 mg.								

e) 20 mg

Tabela 23: Resultados da calibração do peso de 20 mg

Padrão A (mg)	Teste B (mg)	i	A1i	B1i	B2i	A2i	D1ai = ((B1i+B2i)/2)-((A1i+A2i)/2)	(mg)
0,000	-0,012	1	0,000	-0,012	-0,012	0,000	-0,0120	0,000
0,000	-0,012	2	0,000	-0,011	-0,011	0,001	-0,0115	0,000
0,000	-0,011	3	0,000	-0,012	-0,012	0,000	-0,0120	0,000
0,001	-0,011							0,001
0,000	-0,012							0,000
0,000	-0,012							0,000
Do certificado de calibração, a massa do peso padrão é 20,0036 mg. O valor da calibração do peso de teste será então 20,0036 mg + (-0,012) = 19,992 mg.								0,000
								19,992
								0,0004 --> desvio padrão (mg)
								0,0002 --> incerteza padrão (g)
								0,0004
Símbolo	Fonte de incerteza	Valor (± mg)	distribuição probabilidade	divisor	ci	ui (mg)	(ui) ² (mg)	veff
Mpp	calibração do peso padrão	0,002	Normal	2	1	0,0010	0,00000100	inf
δdpp	drift desde a última calibração	0,002	Retangular	v3	1	0,0012	0,00000133	inf
δdms	erro de arredondamento digital	0,001	Triangular	v6	1	0,0004	0,00000017	inf
δcmp	não linearidade do comparador	0,001	Retangular	v3	1	0,0006	0,00000033	inf
δimp	impulsão do ar (1 ppm do valor nominal)	0,00002	Retangular	v3	1	0,0000115	0,00000000	inf
Rx	repetibilidade das indicações	0,0002	Normal	1	1	0,0002	0,00000006	9
uc	incerteza padrão combinada		Normal				0,00170080	> 500
Uexp	incerteza expandida		Normal (k=2)				0,00340	> 500
O valor medido do peso de 20 mg é 19,992 mg ± 0,0034 mg.								

8.2.7 Diferença interlaboratorial e incerteza associada

Esta secção descreverá a diferença encontrada entre os laboratórios participantes e o laboratório piloto (IPQ) e a respetiva incerteza associada.

Nota 1: U_{exp} é a incerteza expandida da comparação sendo dada por $U_{exp} = \sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}$, em que U_{ref} corresponde à incerteza expandida calculada para cada um dos períodos em que se obtiveram os valores de referência e U_{lab} corresponde à incerteza expandida obtida por cada laboratório participante [20].

Nota 2: O código que corresponde ao laboratório da DRE-Norte é o L7.

Tabela 24: Diferenças entre laboratórios participantes e laboratório piloto e incerteza expandida da calibração (os valores da tabela estão apresentados em “mg”)

Laboratório	1 mg		2 mg		5 mg		10 mg		20 mg	
	Dif	U_{exp}	Dif	U_{exp}	Dif	U_{exp}	Dif	U_{exp}	Dif	U_{exp}
L1	-0,001	0,006	0,001	0,006	0,001	0,006	-0,004	0,008	-0,001	0,011
L2	-0,004	0,007	-0,001	0,007	-0,002	0,007	-0,002	0,008	-0,005	0,010
L3	-0,001	0,006	-0,001	0,006	-0,001	0,006	0,000	0,008	-0,001	0,010
L4	0,009	0,011	0,012	0,011	0,001	0,010	-0,003	0,010	-0,003	0,010
L5	-0,011	0,040	-0,008	0,040	0,001	0,040	-0,002	0,040	0,008	0,040
L6	0,001	0,004	-0,003	0,004	-0,002	0,004	0,000	0,005	-0,003	0,007
L7	-0,001	0,002	0,000	0,002	-0,001	0,002	-0,001	0,003	-0,001	0,003

A representação gráfica dos resultados da tabela 24 encontra-se representada nas figuras 22 à 26 (a traço longo-ponto vermelho encontra-se o intervalo correspondente à incerteza expandida dos resultados do laboratório piloto):

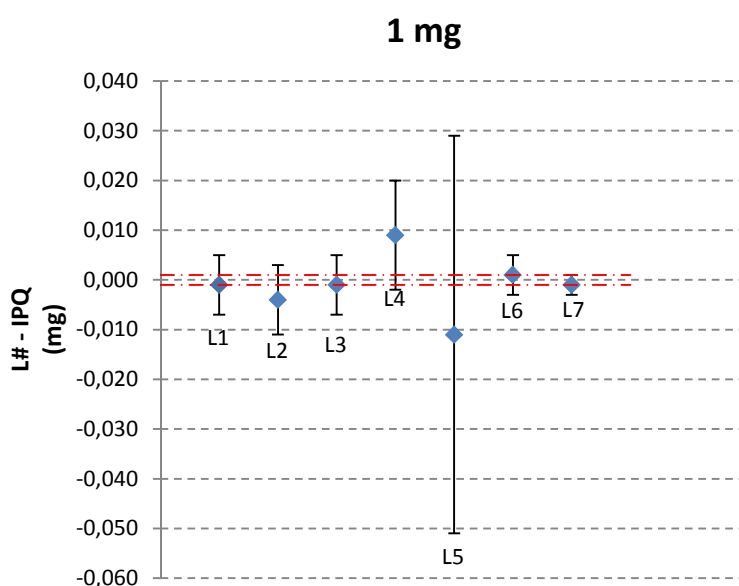


Figura 22: Resultados obtidos para o valor nominal de 1 mg

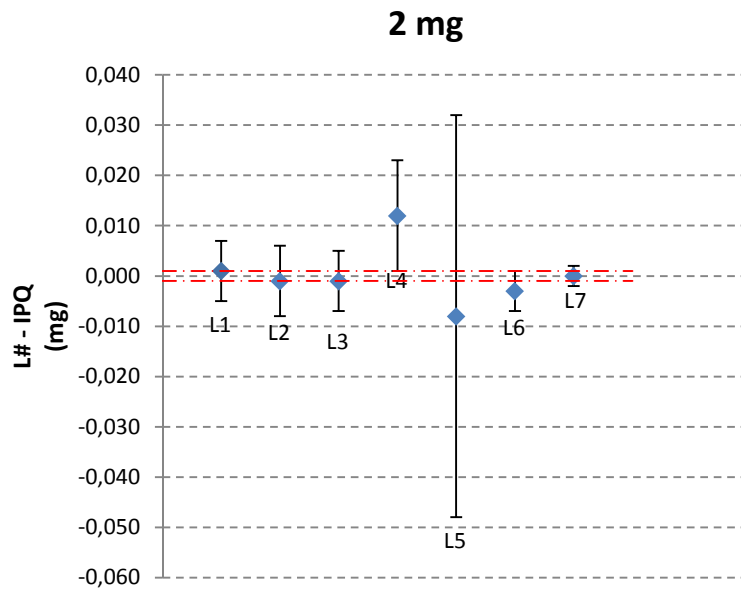


Figura 23: Resultados obtidos para o valor nominal de 2 mg

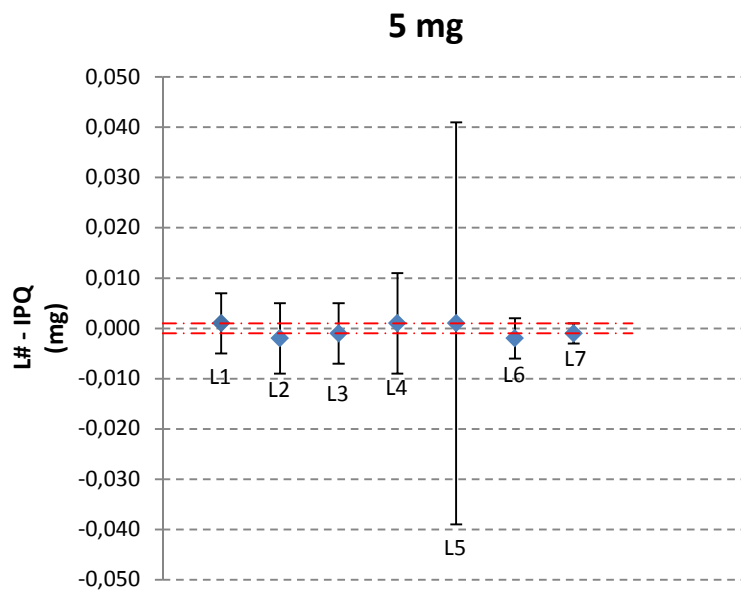


Figura 24: Resultados obtidos para o valor nominal de 5 mg

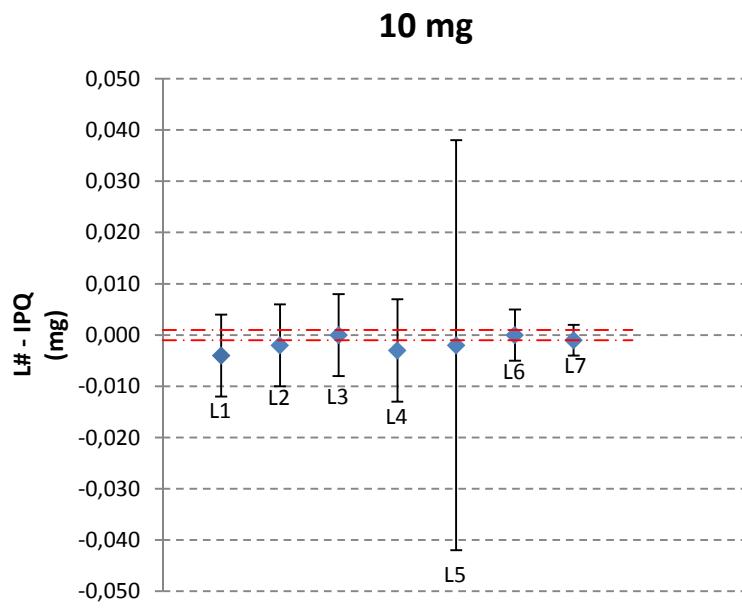


Figura 25: Resultados obtidos para o valor nominal de 10 mg

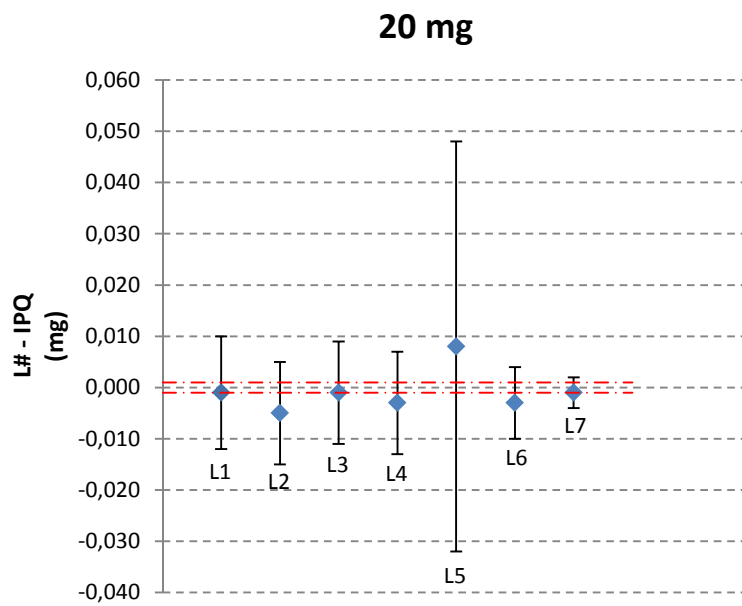


Figura 26: Resultados obtidos para o valor nominal de 20 mg

A representação gráfica da figura 27 representa a distribuição das diferenças encontradas entre os laboratórios e o laboratório piloto:

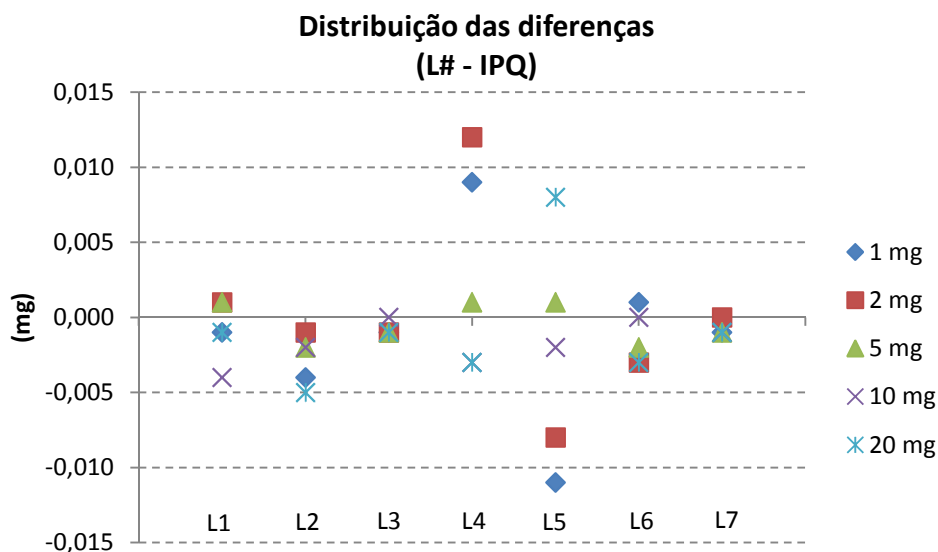


Figura 27: Distribuição das diferenças

8.2.8 Erro normalizado

Como forma de avaliar o desempenho dos laboratórios foi calculado o erro normalizado (E_n) definido pela ISO 13528:2005 – *Statistical methods used in proficiency testing by interlaboratory comparisons*,

$$E_n = \frac{(V_{lab} - V_{ref})}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Onde: V_{lab} - Valor do laboratório; V_{ref} - Valor de referência; U_{lab} - Incerteza-padrão ($k = 2$) do laboratório e U_{ref} - Incerteza-padrão ($k = 2$) do laboratório de referência [20].

Os resultados obtidos serão satisfatórios para $|E_n| \leq 1$ e insatisfatórios para $|E_n| > 1$.

Tabela 25: Erro normalizado obtido pelos laboratórios participantes

Valor nominal (mg)	L1 $ E_n $	L2 $ E_n $	L3 $ E_n $	L4 $ E_n $	L5 $ E_n $	L6 $ E_n $	L7 $ E_n $
1	0,1	0,5	0,2	0,8	0,3	0,2	0,4
2	0,1	0,1	0,2	1,0	0,2	0,7	0,0
5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,0	0,5	0,4
10	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3
20	0,0	0,4	0,1	0,2	0,2	0,5	0,3

Na figura 28 estão representados graficamente os resultados do $|E_n|$ da tabela 25:

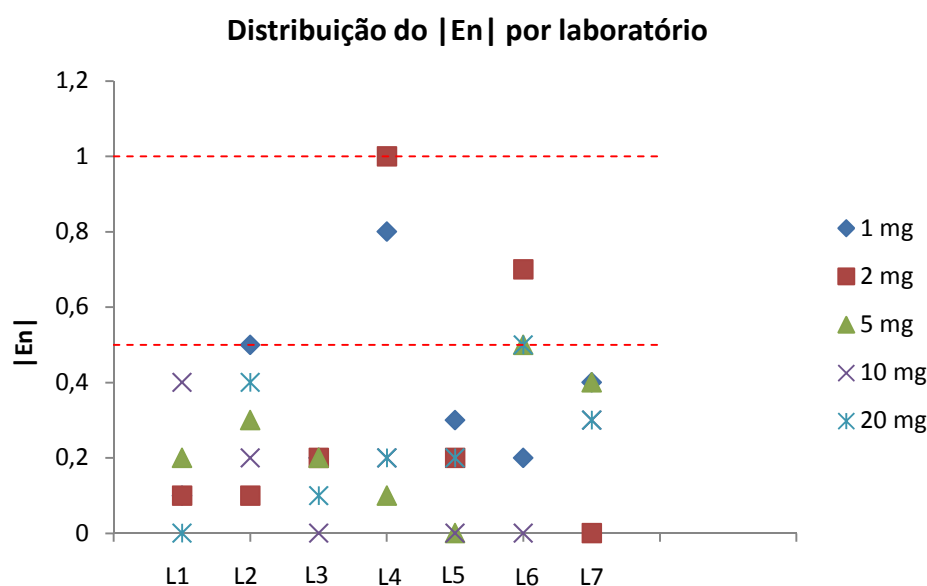


Figura 28: Distribuição do erro normalizado

8.2.9 Conclusões a retirar à intercomparação laboratorial

8.2.9.1 Diferenças entre os laboratórios participantes e o laboratório piloto

Analisando a figura 27, conclui-se que os laboratórios que apresentaram menores diferenças relativamente ao laboratório piloto em toda a gama nominal de calibração foram o L3 e o L7. No lado oposto, pode-se afirmar que os laboratórios que apresentaram as maiores diferenças relativamente ao laboratório piloto foram o L5 e o L4 [20].

Se a estes resultados se juntarem as respetivas incertezas de comparação, conclui-se que o laboratório que apresenta o melhor desempenho é o L7, pois apresenta as menores diferenças associadas às menores incertezas da comparação de entre todos os laboratórios participantes (L1 a L7) [20].

O laboratório L5 apresenta incertezas superiores ao permitido para a classe de exatidão F1 (1/3 do erro máximo admissível), para os valores nominais considerados [20].

8.2.9.2 Erro normalizado

Na tabela 26 estão representados os valores do erro normalizado obtido por cada laboratório participante.

Tabela 26: Distribuição do erro normalizado pelos laboratórios participantes

Laboratório	$ E_n < 0,5$	$ E_n \geq 0,5 \wedge E_n \leq 1$	$ E_n > 1$
L1	5	0	0
L2	4	1	0
L3	5	0	0
L4	3	2	0
L5	5	0	0
L6	4	1	0
L7	5	0	0

Em sequência da análise à tabela 26, constata-se que a maioria dos laboratórios participantes apresenta erros normalizados com valores inferiores a 0,5 para todos os valores nominais considerados, não existindo nenhum laboratório com resultados considerados não satisfatórios ($|E_n| > 1$) [20].

Distribuição dos valores do $|E_n|$ em %

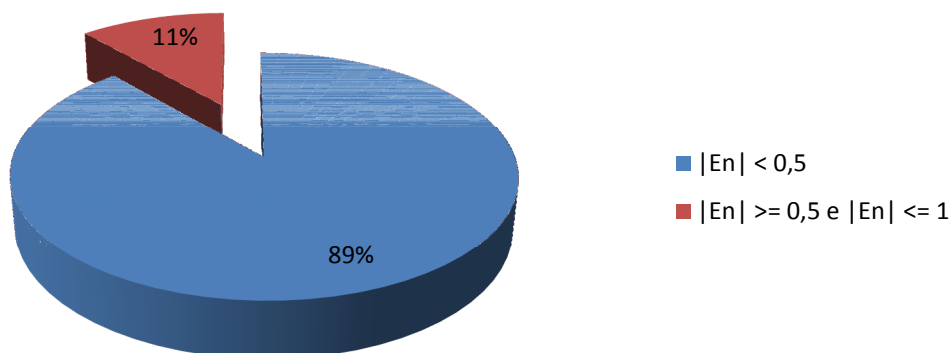


Figura 29: Distribuição do $|E_n|$ em valores percentuais.

Analisando o gráfico da figura 29, conclui-se que a esmagadora maioria dos resultados apresentam um erro normalizado inferior a 0,5.

8.2.9.3 Incertezas

O laboratório L5 apresentou uma incerteza que não é compatível com a classe de exatidão dos pesos de teste da comparação interlaboratorial o que se justifica pelo facto de não estar acreditado para calibração de pesos com estas características [20].

O laboratório L2 apresentou uma incerteza expandida superior à incerteza para o qual está acreditado. Se tivesse optado pela incerteza para o qual está acreditado, teria obtido para o valor nominal de 20 mg um resultado não satisfatório, o mesmo se aplicando ao valor nominal de 1 mg [20].

O laboratório L7 apresentou valores de incerteza expandida inferiores à incerteza para o qual está acreditado, tendo obtido um resultado satisfatório [20].

Os resultados obtidos pelo laboratório L7 permitem repensar a alteração da sua capacidade de medição e calibração (menor incerteza).

A tabela 27 apresenta o valor de incerteza para o qual o laboratório L7 se encontra acreditado, comparativamente com o valor de incerteza apresentado nesta comparação interlaboratorial.

Tabela 27: Valor de incerteza apresentada vs Valor de incerteza acreditada pelo laboratório L7

Valor nominal (mg)	Valor de incerteza apresentada (mg)	Valor de incerteza acreditada (mg)
1	0,002	0,003
2	0,002	0,003
5	0,002	0,003
10	0,003	0,004
20	0,003	0,005

9 Conclusões

9.1 Discussão de resultados

O objetivo deste trabalho foi alcançado de forma satisfatória na medida em que a sua implementação no âmbito da calibração de pesos, utilizando 2 comparadores de massa, traz consigo o desaparecimento de registos manuscritos em papel ao que se junta a diminuição do erro na introdução/escrita manual das indicações obtidas na calibração de pesos.

O sistema de aquisição de dados implementado faz com que haja um ganho de produtividade por se ter um sistema adequado às necessidades, e mais simples de operar. O técnico do laboratório de massa fica com o seu tempo mais otimizado e simultaneamente pode operar mais do que um ensaio. Um sistema dedicado como o que foi desenvolvido torna a calibração de pesos num processo mais automatizado, mais aliciante, e consequentemente, mais barato no seu cômputo geral. Por outro lado, por haver um domínio do utilizador sobre o sistema, é possível alterar as características ou adicionar novos recursos, de acordo com a necessidade, não se ficando dependente das limitações de um *software* comercial proprietário.

A aquisição automática da indicação nos dois comparadores, quer por comunicação série quer por comunicação TCP/IP demonstrou-se coerente com as indicações registadas pelo modo manual.

Os ensaios de calibração realizados aos pesos de 1 mg, 2 mg, 5 mg, 10 mg e 20 mg, utilizando a aquisição de dados automática do comparador de massa UMT5 para o PC foi validada mediante comparação com as leituras obtidas manualmente, comprovando-se que os valores obtidos em ambos os métodos foram coincidentes, constatando-se, desse modo, a validação do método de aquisição automático. O exposto acima aplica-se de igual modo à calibração dos pesos de 100 g, 200 g e 500 g com o comparador de massa CC500.

9.2 Trabalhos futuros

Os resultados obtidos na realização deste trabalho demonstram que o mesmo atende às expectativas inicialmente delineadas e possibilitam dar continuidade ao mesmo visando uma maior e melhor otimização.

Além da aquisição dos dados será interessante prever melhorias e aperfeiçoamentos ao nível da interface gráfica com o utilizador, no armazenamento da informação em base de dados e na geração de relatórios, nomeadamente, certificados de calibração.

Bibliografia

- [1] 1.ª edição Luso – Brasileira de 2012 do VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia) Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados.
- [2] Dia Mundial de Metrologia 2009, Intervenção na abertura, IPQ, 20 de maio de 2009, Jorge Marques dos Santos.
- [3] Dia Mundial da Metrologia 2009, Os padrões nacionais das unidades de medida, Eduarda Filipe, Diretora da Metrologia Científica e Aplicada do IPQ.
- [4] O ENG^o MECÂNICO RESPIRA METROLOGIA - Carlos Sousa em 20150603.
- [5] METROLOGY IN SHORT 3RD EDITION - EURAMET.
- [6] Comprehensive Mass Metrology, M. Kochsiek, M. Glaser (eds), WILEY-VCH, 2000, ISBN 9783527296149.
- [7] HANDBOOK OF MASS MEASUREMENT, FRANK E. JONES, RANDALL M. SCHOONOVER, CRC PRESS, 2002, ISBN 9780849325311.
- [8] JORNAL DE NOTÍCIAS, QUINTA-FEIRA, 12 DE SETEMBRO de 1996.
- [9] Automatização do sistema de alinhamento utilizado na calibração de hidrómetros pelo método Cuckow, André Reis Tavares, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- [10] Wireless LAN Serial Device Server, Quick Installation & Simple Test Guide (CSW-H80).
- [11] Serial to WLAN Converter, CSW-H80 User's Manual, Version 1.9, 2010-08-18.
- [12] MOXA, NPort W2150A/W2250A Series, Quick Installation Guide, Second Edition, December 2012.
- [13] Serial-to-Ethernet Device Servers, NPort W2150A/W2250A, 1 and 2-port RS-232/422/485 IEEE 802.11a/b/g wireless device servers.
- [14] Guia para a aplicação da NP EN ISO/IEC 17025, OGC001, 2010-03-30, IPAC.
- [15] Guia para a acreditação em metrologia de massa, OGC003, 2005-09-14, IPAC.
- [16] Avaliação da incerteza de medição em calibração, OGC010, 2015-01-06, IPAC.
- [17] Determinação da incerteza da calibração de massas, Edição 1, novembro 1997, Guia RELACRE 8.
- [18] EA-4/02 M:2013 – Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, september 2013 rev01.
- [19] OIML R 111-1, Edition 2004 (E), International Recommendation, Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2-3 and M3, Part 1: Metrological and technical requirements.
- [20] Ensaio de Aptidão, IPQ – RELACRE, Relatório Final, Calibração de Massas F1, REF: CL-MF1/1-2012, ED: 01, DATA: 2013-05-10.
- [21] SOP No. 4, Recommended Standard Operating Procedure for Weighing by Double Substitution Using a Single-Pan Mechanical Balance, a Full Electronic Balance, or a Balance with Digital Indications and Built-In Weights, February 2012.

- [22] SOP No. 4, Recommended Standard Operating Procedure for Weighing by Double Substitution, January 2015.
- [23] Ficheiro de Excel baseado no document SOP No. 4, Recommended Standard Operating Procedure for Weighing by Double Substitution, September 2014.
- [24] M3003, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, UKAS – United Kingdom Accreditation Service, Edition 3, November 2012.
- [25] JCGM 101:2008, Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method, First edition 2008.
- [26] NIMT-CNL-SP No. 301, Standard Procedure for Calibration of Weight class F1, 1 mg to 20 kg, January 2004.
- [27] Measurement Good Practice Guide, No. 71, The Measurement of Mass and Weight, S Davidson, M Perkin, M Buckley, June 2004.
- [28] Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02-S1, Suplemento 1 ao EA-4/02, Expressão da Incerteza de Medição na Calibração, Exemplos, Primeira edição brasileira do EA-4/02-S1: fevereiro de 1999.
- [29] EA-4/02 M: 2013, European co-operation for Accreditation, Publication Reference, Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration, September 2013 rev01.
- [30] Guia para a Expressão da Incerteza da Medição, Terceira Edição Brasileira, Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT), Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), 2003.
- [31] OIML D 28, Edition 2004 (E), International Document, Conventional value of the result of weighing in air.
- [32] ISO/IEC 17043, First edition 2010-02-01, International Standard, Conformity assessment – General requirements for proficiency testing.
- [33] ISO 13528, First edition 2005-09-01, International Standard, Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.
- [34] NP EN ISO/IEC 17025:2005, Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio de calibração.
- [35] Wireless-G, ADSL Home Gateway, User Guide, 2,4 GHz, 802.11g, Linksys, Cisco Systems.
- [36] Sartorius, Electronic Mass Comparator CC50, CC111, CC310, CC500, Installation and Operating Instructions.
- [37] Sartorius Comparator, Interface Description for the CC Model Series, 98647-000-53.
- [38] Mettler Toledo, MT/UMT balances, Operating instructions, 11780223A.
- [39] Mettler Toledo, AT/MT/UMT Balances, Bidirectional Data Interface, Operating instructions, 704018B.
- [40] The 9th international symposium on advanced topics in electrical engineering, May 7-9, 2015, Bucharest, Romania, Between parallel mirrors – an electronic weighing instrument, Adriana Vâlcu.
- [41] Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless standards, September 18, 2007, Jan Magne Tjensvold.

[42] Comparação Interlaboratorial: Uma Ferramenta ao Serviço dos Laboratórios, 2.º Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Metrologia (SPMET), 17 de Novembro de 2006 – Lisboa, Ana Maria Duarte, Cláudia Almeida, RELACRE – Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal.

[43] Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração, 2ª Edição, Dezembro 2005, IPQ – Instituto Português da Qualidade.

Webgrafia

[a] www.bipm.org/en/worldwide-metrology/, consultado em 26-09-2015.

[b] www.bipm.org/en/about-us/member-states, consultado em 26-09-2015.

Anexo 1

O presente trabalho seguiu o que se encontra definido no documento abaixo (consultado no sítio do Instituto Português da Qualidade em 2015-10-16), no que diz respeito à utilização da vírgula como separador decimal e ao espaço como separador de grupos de 3 algarismos.

Instituto Português da  Qualidade



IPQ

SPQ

Normalização

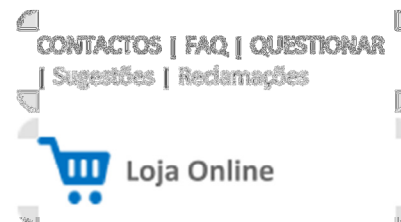
Metrologia

Temas Europeus

Área de trabalho
(acesso reservado)

Qual o separador decimal correto: vírgula ou ponto?

A escrita dos grandes números obedece às regras aprovadas na 9ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM), em 1948. Estas regras foram adotadas oficialmente em Portugal, pela Portaria n.º 17 052, de 4 de Março de 1959, que reiterou idênticas disposições da Portaria n.º 6 409 de 12 de Julho de 1929. Assim, aquela CGPM admitiu que o separador decimal pode ser a vírgula ou o ponto, adotados, respetivamente, pelos países de língua ou tradição francesa ou inglesa, sendo em qualquer das tradições usado o "espaço" como separador de grupos de 3 algarismos. Em Portugal, as referidas portarias determinaram o uso da tradição francesa, ou seja o uso da vírgula como separador decimal e o "espaço" como separador de grupos de 3 algarismos.



Anexo 2

Refere-se à situação em que a correção da impulsão do ar é negligenciável.

CORRECAO NEGLIGENCIAVEL

Fórmula utilizada para o cálculo da densidade do ar (ver fórmula (E.3-1), pg 76, da OIML R 111-1: 2004 (E)), tendo por base, as condições específicas de pressão atmosférica (p), humidade relativa (hr) e temperatura (t):

$$\rho_a = \frac{0.34848 p - 0.009 (hr) \cdot \exp(0.061 t)}{273.15 + t}$$

Dados

Em que:

- a densidade do ar, ρ_a , é expressa em kg m^{-3} ;
- a pressão atmosférica, p , é dada em mbar ou hPa;
- a humidade relativa, hr , é expressa em percentagem; e
- a temperatura, t , em $^{\circ}\text{C}$.

A correção da impulsão do ar é negligenciável?

Liga / Material	VN (mg)	t / $^{\circ}\text{C}$	p /mbar	hr /%	$\rho_a / \text{kg m}^{-3}$	$\rho_a / \text{kg m}^{-3}$ (1 cd)	C	1/3 · U/m ₀	A correção da impulsão do ar é negligenciável?	
									SIM	NÃO
prata niquelada	20	20,0	970	50	1,147881172	1,2	4,55E-07	5,00E-05	X	
prata niquelada	10	23,0	1009	52,9	1,180752452	1,2	1,68E-07	1,00E-04	X	
alumínio	5	23,1	1009	52,8	1,180326322	1,2	4,83E-06	1,33E-04	X	
alumínio	2	23,1	1009	52,7	1,180338754	1,2	4,82E-06	3,33E-04	X	
alumínio	1	23,1	1009	52,7	1,180338754	1,2	4,82E-06	6,67E-04	X	

ρ da prata niquelada (massa de teste) = (8600 ± 170) kg m^{-3}
 ρ do alumínio (massa de teste) = (2700 ± 130) kg m^{-3}
 ρ do aço inoxidável (massa padrão) = (8000 ± 50) kg m^{-3}

Dado que se verifica que $|C| \leq 1/3 \cdot U/m_0$, então a correção da impulsão do ar é negligenciável.

$$|C| \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{U}{m_0} \quad (\text{fórmula (C.5.1-5), pg 65, da OIML R 111-1: 2004 (E)})$$

Em que:

- U é a incerteza expandida; e
- m_0 é o valor nominal do peso.

$$C = (\rho_a - \rho_0) \cdot \left(\frac{1}{\rho_i} - \frac{1}{\rho_r} \right)$$

Em que:

- C é o fator de correção da impulsão do ar (grandeza adimensional);
- a densidade do ar, ρ_a , é expressa em kg m^{-3} ;
- o valor de referência da densidade do ar, ρ_0 , é igual a $1,2 \text{ kg m}^{-3}$;
- a densidade do peso de teste, ρ_i , é expressa em kg m^{-3} ; e
- a densidade do peso de referência, ρ_r , é dada em kg m^{-3} .

Anexo 3

Refere-se à situação em que a incerteza da impulsão do ar é negligenciável.

INCERTEZA NEGLIGENCIÁVEL

C.6.3 Uncertainty of the air buoyancy correction, u_b (Type B)

The uncertainty of the air buoyancy correction can be calculated from equation (C.6.3-1) [38].

$$u_b^2 = \left[m_{cr} \frac{(\rho_t - \rho_0)}{\rho_t \rho_0} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr} (\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_0)}{\rho_0^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{a1} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} \quad (C.6.3-1)$$

where ρ_{a1} is the air density during the (previous) calibration of the reference weight by use of a higher order reference weight. When using equation (C.6.3-1) be sure to use the same value for the uncertainty of the density of the reference weight, $u(\rho_0)$, that was used in the uncertainty calculation of the previous calibration. A larger uncertainty cannot be arbitrarily chosen.

C.6.3.1 Even if the air buoyancy correction is negligible (see C.5.1.2), the uncertainty contribution of the buoyancy effect may not be negligible, and shall be taken into account, if $u_b \geq u_c / 3$ (see equation (C.6.3-1)).

ub
mcr
ror
rot
roa
ro0
roa1
u(roa)
u(rot)



u_b kg uncertainty of air buoyancy correction
 u_c kg combined standard uncertainty

$$u_b^2 = \left[m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr} (\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_0)}{\rho_0^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{a1} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4}$$

ub 0,00000000022845 kg uncertainty of air buoyancy correction
(ub)² 0,0000000000000000 kg uncertainty of air buoyancy correction

0,00000022845 g 0,00022845 mg 0,228450015 µg

Dado que se verifica que u_b não é $\geq u_c / 3$, então a incerteza da impulsão do ar é negligenciável.

(nota: para 1 peso de 1 mg, F1, a incerteza padrão combinada ronda 2 µg)

mcr	0,000001 kg	conventional mass of the reference weight
ror	8000 kg m ⁻³	density of a reference weight with mass ror
rot	2700 kg m ⁻³	density of the weight being tested
roa	1,1790 kg m ⁻³	density of moist air
ro0	1,2000 kg m ⁻³	density of air as a reference value equal to 1,2 kg m ⁻³
roa1	1,2000 kg m ⁻³	density of air during the (previous) calibration of the reference weight by use of a higher order reference weight
u(roa)	0,001 kg m ⁻³	uncertainty of density of moist air
u(rot)	130 kg m ⁻³	uncertainty of density of the weight being tested