

A Newton's cradle with five spheres. One sphere on the left is dark blue and in motion, having just struck or about to strike the others. The other four spheres are cyan and are stationary. The background is a solid orange color.

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado

Sabrina Passoni Maravieski
(Organizadora)

A Newton's cradle with five silver spheres hanging from thin wires against a dark gray background. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others.

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado

Sabrina Passoni Maravieski
(Organizadora)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Física: produção de conhecimento relevante e qualificado

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Sabrina Passoni Maravieski

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
F537	Física: produção de conhecimento relevante e qualificado / Organizadora Sabrina Passoni Maravieski. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-924-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.247222402 1. Física. I. Maravieski, Sabrina Passoni (Organizadora). II. Título. CDD 530
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O presente livro “Física: Produção de conhecimento relevante e qualificado?” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume aborda de forma categorizada algumas pesquisas que aplicam conceitos, teorias e equações da física tecnologias atuais e situações do cotidiano a fim de mostrar a importância da física nas diversas áreas.

Ao final da leitura, mesmo que aqui estejam reunidos apenas alguns temas, o leitor poderá concluir que de fato, estudos que envolvam tecnologias, são extremamente importantes para o entendimento de como as “coisas” funcionam. E que, é impossível não nos envolvermos com estudos científicos, caso nosso objetivo seja a compreensão daquilo que nos cerca e usamos diariamente.

O objetivo desta obra é apresentar ao leitor que as aulas de física para a geração atual podem se tornar mais interessantes, ou atrativas para os estudantes, com a introdução de metodologias de aprendizagem baseada em projetos, games e também, a engenharia reversa, a qual consiste em saber como as tecnologias funcionam. Desta forma, além de relevante, é possível contribuir para um ensino-aprendizagem mais fascinante tanto para o estudante, como para o docente; independentemente da idade do aluno e área de conhecimento.

Por outro lado, a qualidade dos artigos aqui publicados depende da maturidade intelecto científica individual do leitor, ou seja, se está habituado a fazer leitura e correções de artigos científicos de forma crítica, mas imparcial. Neste sentido, em 2009, Ulysses Paulino de Albuquerque publicou na revista *botânica.org* um artigo de opinião intitulado: “A qualidade das publicações científicas – considerações de um Editor de Área ao final do mandato”, no qual, o autor, faz uma reflexão em torno dos principais problemas técnicos e éticos observados durante a sua carreira como Editor. Logo, para melhor avaliar-se a qualidade dos artigos publicados, sugiro ao leitor, a leitura deste artigo, pois sabe-se que a ideia em um artigo pode ser boa, porém a forma como esta é colocada no papel, seguindo as normas científicas, é bem diferente.

No primeiro capítulo são apresentados dois artigos que abordam conceitos da física aplicados em áreas técnicas distintas como a de Radiodiagnóstico via Tomografia Computadorizada (TC) Transferência de Calor em fluidos. O primeiro tem como objetivo encontrar uma metodologia unificada para o controle de qualidade semanal em TC utilizando fantoma independente. Já o segundo artigo, trata-se de implementação e aperfeiçoamento do padrão nacional de condutividade térmica para fluidos simples. Como pode-se observar são artigos que tem a física como base na resolução ou melhoria de problemas reais tecnológicos e de engenharia.

No segundo capítulo são apresentados três artigos voltados para a área de ensino, nos quais trazem abordagens diferentes para se trabalhar com diferentes conteúdos da

base curricular nacional. No primeiro artigo trata do conteúdo de astronomia para o ensino fundamental em um estudo de caso, cujo objetivo foi identificar juntos aos discentes as suas análises e dificuldade quanto a esse conhecimento. No segundo artigo, os autores apresentam conceitos básicos de física nuclear, trabalhando-os de forma integrada através de um jogo de tabuleiro no estilo Super Ludo, em que o jogo tem como objetivo simular um acidente nuclear em uma usina onde um dos reatores entrou em colapso.

E finalmente, no terceiro artigo, os autores propõem que os estudantes de engenharia devem conhecer e gerenciar a trajetória das informações do produto que são produzidos por diversas ferramentas e métodos. Para isso, colocam em prática a metodologia Baseada em Projetos (ABP), pois acreditam que essa, é uma metodologia ativa que pode ser utilizada para que o aprendizado de engenharia, principalmente para conhecer e aplicar o conhecimento de Engenharia Reversa dentro da área de Metrologia Dimensional promove o trabalho em equipamentos e resolução de problemas reais.

Deste modo, esta obra visa contribuir para o docente de Física e demais áreas tecnológicas e de engenharia para o enriquecimento da sua prática, pois sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Sabrina Passoni Maravieski

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
APLICABILIDADE DE UMA METODOLOGIA PARA TESTES SEMANAIS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	
Laura Larré Godolfim	
Maurício Anés	
Janine Hastenteufel Dias	
Mirko Salomón Alva Sánchez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224021	
CAPÍTULO 2.....	14
PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA FLUIDOS SIMPLES CNM-PNE-20-2015	
Leonel Lira Cortés	
Saúl García Duarte	
Jesús Arce Landa	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224022	
CAPÍTULO 3.....	29
ASTRONOMIA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UM ESTUDO DE CASO NO INTERIOR DO PARÁ	
Bruno Medeiros Quaresma	
Rafael Costa Araújo	
Fernanda Carla Lima Ferreira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224023	
CAPÍTULO 4.....	38
GAME DE TABULEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR	
Eduardo Toniolo Campos	
Marcelo Augusto Leigui de Oliveira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224024	
CAPÍTULO 5.....	47
LA INGENIERÍA INVERSA Y EL ABP COMO MEDIOS AUXILIARES PARA EL ESTUDIO Y EL APRENDIZAJE DE LA METROLOGÍA Y LA GENERACIÓN DE DUPLICADOS DE PARTES Y COMPONENTES	
Eusebio Jiménez López	
Gabriel Luna-Sandoval	
Mario Acosta Flores	
Juan José Delfín Vázquez	
Lilia Zulema Gaytán Martínez	
Baldomero Lucero Velázquez	
Luis Andrés García Velásquez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224025	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	58
ÍNDICE REMISSIVO.....	59

CAPÍTULO 1

APLICABILIDADE DE UMA METODOLOGIA PARA TESTES SEMANAIS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 08/01/2022

Laura Larré Godolfim

Universidade Federal de Ciências da Saúde de
Porto Alegre
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0750636916841635>

Maurício Anés

Hospital de Clínicas de Porto Alegre
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1836138058659100>

Janine Hastenteufel Dias

Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4934191411138065>

Mirko Salomón Alva Sánchez

Universidade Federal de Ciências da Saúde de
Porto Alegre
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/6230220049078476>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo encontrar uma metodologia unificada para o controle de qualidade semanal em Tomografia Computadorizada (TC), utilizando um fantoma independente para a realização dos exames em todas as TCs de um hospital de Porto Alegre (RS, Brasil). As medições foram realizadas em três equipamentos de TCs: GE Brightspeed Edge 8-Slice, Toshiba Aquilion One TSX-301A e Philips Brilliance CT 16 Power utilizando

seus respectivos fantasmas e o fantoma Gammex 464 como simulador de unificação. Os testes foram realizados para avaliar a uniformidade, a exatidão do número CT e o ruído. Primeiramente, o teste foi realizado com o fantoma do fabricante e depois com o Gammex 464, sendo os dados adquiridos utilizando os parâmetros do fabricante do Tomógrafo para ambos os fantasmas (consoante os manuais de cada equipamento). Os resultados dos testes para os quatro simuladores foram analisados de acordo com os limites dos respectivos manuais e comparados com os limites estabelecidos pelo Guia de Radiodiagnóstico Médico: Segurança e Desempenho de Equipamentos. O fantoma ACR mostrou-se um fantoma adequado para realizar o programa de CQ em dois equipamentos de TC. A tentativa de avaliar o uso de um fantoma único para fazer o programa de CQ deve ser ajustada à heterogeneidade dos parâmetros, considerando todos os fatores para a aquisição do teste, materiais do fantoma, sua construção e protocolos.

PALAVRAS-CHAVE : Tomografia Computadorizada, Controle de Qualidade, Radiologia Diagnóstica

APPLICABILITY OF A METHODOLOGY FOR WEEKLY QUALITY CONTROL TESTING IN COMPUTED TOMOGRAPHY

ABSTRACT: This work aimed to find a unified methodology for a weekly quality assurance in Computed Tomography by using an independent phantom to perform the tests in all CTs in a hospital at Porto Alegre (RS, Brazil). The

measurements were performed in three CTs equipment: the GE Brightspeed Edge 8-Slice, the Toshiba Aquilion One TSX-301A and the Philips Brilliance CT 16 Power using their respective phantoms and the phantom Gammex 464 as the unified simulator. The tests were performed to evaluate uniformity and CT number accuracy and noise. Firstly, the test was performed using the manufacturer CT phantom and after the Gammex 464, acquiring the data using the manufacturer parameters from the scanner manual for both phantoms. The test's results for the four phantoms were analyzed according to the limits from the respective manuals and compared with the limits established by the Guia de Radiodiagnóstico Médico: Segurança e Desempenho de Equipamentos, the National Guideline. The ACR phantom showed to be a suitable phantom to perform the QA program in two CT equipment. The attempt to evaluate the use of a unique phantom to make the QA program should be adjusted to the heterogeneity of parameters, considering all the factors for the test acquisition, phantom materials, construction, and protocols.

KEYWORDS: Computed Tomography, Quality Control, Diagnostic Imaging

1 | INTRODUCTION

Computed tomography is a very useful diagnostic method which is widely used in medical imaging. Currently in Brazil, there are 5682 equipment in use (BRASIL, 2021). The CT scan can deliver a significantly higher dose to the patient than other imaging techniques (IAEA, 2012). The delivered dose depends on a set of parameters of different protocols, such as collimation, filtration, focus-isocenter distance, detector efficiency, current-time product, voltage, and slice thickness (PINA et al., 2009), which may also impact the image noise level. All these parameters must be optimized to achieve an appropriate diagnostic image quality with the lowest radiation dose possible (MCCOLLOUGH; GUIMARÃES; FLETCHER, 2009; WILTING et al., 2001; MCCOLLOUGH, 2005).

According to the International Commission on Radiological Protection (ICRP), the use of ionizing radiation should be based on the principles of justification, optimization, and dose limitation. Once justified, the parameters need to be optimized to produce an acceptable image quality at the lowest dose (WILTING et al., 2001, HAAGA et al., 1981, MORIN; GERBER; MCCOLLOUGH, 2003, KALENDER, 2011). Quality assurance (QA) is essential for all computerized tomography (CT) equipment to ensure high quality diagnostic images with the least exposure to ionizing radiation. (WILTING et al., 2001, MCCOLLOUGH, 2005, BRISSE et al., 2009, ALIKHANI et al., 2017, EGHAREVBA et al., 2021). Moreover, it contemplates professional training, suitable use of the equipment, applicable protocols, and image interpretation (INKOOM et al., 2010, PÉRIARD; CHALONER, 1996). The image quality can be analysed by using a suitable phantom and measurements of physical parameters. (BRISSE et al., 2009, ALIKHANI et al., 2017)

CTs quality control is performed through periodic tests when the equipment is under maintenance or presents a problem. Brazilian regulatory disposition Portaria 453/98 from Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA) regulates the

requirements related to X-ray emission equipment quality control (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998). In order to standardize the tests, ANVISA published in 2005 a report (Guia de Radiodiagnóstico Médico: Segurança e Desempenho de Equipamentos) detailing the required steps to perform basic quality control tests in CTs equipment, as well as information about the procedures, testing intervals, and result limits, working as a national reference report for QA programs (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005). In December 2019, the Collegiate Board Resolution number 330 - RDC 330/2019 - (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019) and its Normative Instruction 55 - current NI 93 - (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) from ANVISA were launched. They revoked Portaria 453/98-MS13 including new requirements for quality assurance and safety. Moreover, acceptance limits for quality control tests were added to the reference report. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) International guidelines and recommendations were also used to complement national requirements, such as the Reports 39 and 66 from the American Agency of Medical Physics (AAPM) (MUTIC et al., 2003,20], the Protocolo Español de Control de Calidad En Radiodiagnóstico (2011), IAEA Human Health Series 19 (2012), and Protocolo de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe (2021).

CT manufacturing companies recommend a set of specific tests to perform the QA program with specific tolerance limits. In addition, each equipment has its own phantom (WILTING et al., 2001, BUREAU OF ENVIRONMENTAL RADIATION PROTECTION, 2018, CONFERENCE OF RADIATION CONTROL PROGRAM DIRECTORS, 2001) which is commonly used to calibrate and check the performance of the equipment. Phantoms like the Gammex 464 from the American College of Radiology are used to check the image quality of different equipment (CROPP et al., 2013).

The main objective of this research was to test a unified QA methodology by using an independent phantom to perform the tests in all CT equipment in a hospital of Porto Alegre (RS- Brasil) in weekly tests of CT noise, uniformity and accuracy, requested by ANVISA (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) .

2 | MATERIALS AND METHODS

CT uniformity, accuracy, and noise were measured in three CTs equipment: GE Brightspeed Edge 8-Slice, Toshiba Aquilion One TSX-301A and Philips Brilliance CT 16 Power, using their respective phantoms and the independent phantom Gammex 464 from the ACR as the unification simulator. QA tests for all equipment are part of the hospital QA program and the evaluated parameters follow the guidelines established by [18], National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), RDC 330 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019) and IAEA Human Health Series nº 19 (2012) and are in accordance with the acceptable limits.

Results are given in units of HU (Hounsfield Unit). According to the definition, the HU for water is zero and for air is -1000, however each manufacturer usually provides its own

tolerance limits specifications (CROPP et al., 2013).

Specifications for image performance evaluation according national and international guidelines are shown in table 1:

Guideline/Report	Uniformity		Accuracy		Noise	
	Freq.	Tol. (HU)	Freq.	Tol. (HU)	Freq.	Tol. (HU)
*Portaria 453/98-MS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998)	W(a)	-	W(a)	-1000±5 (air) 0±5 HU (water)	Mf	-
NI 93/2021 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021)	W(a)	≤ 5	W(a)	-1000±10 (air) 0±5 (water)	W(a)	≤ 15 % (c)
Guia de Radiodiagnóstico Médico e Odontológico (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005)	S(b)	±5	S(b)	±5 HU from the nominal value	S(b)	±10% (d)
AAPM Report 66 and Report 39 (1993)	M	±5	D for water	0±5	D	According to the manufacturer specifications
Protocolo Español (2011)	A(a)	±5	A(a)	-1000±4 (air) 0±4 (water)	A(a)	≤ 20% (c)
Protocolo de Control de Calidad en América Latina y el Caribe (2021)	A(a)	± 10	A(a)	± 5	A(a)	±25 % (e)
IAEA HH N°19 (2012)	M	± 10 HU	M	±5 HU(d)	M	± 25 % (d)

Table 1. Specifications of the CT uniformity, noise, and accuracy tests according to frequency and tolerance limits for different Guidelines.

Freq. – Frequency, Tol. – Tolerance, D – daily, W – weekly, M – monthly, S – every six months, A – annually, Mf – according manufacturer

* According to 4.45-4.49 items from Portaria 453¹³, the calibration, constancy and uniformity tests must be performed weekly and in the case of a machine issue, replacement, or adjustment of the X-ray tube. The document does not present information about tolerance limits for uniformity and noise tests.

(a) Also, after any repair and for commissioning.

(b) Also, after any repair.

(c) From the reference value

(d) From the baseline value

(e) From the basis measurement or according to the manufacturer specifications

Tolerance Limits show that the most restrictive guideline for CT uniformity, accuracy and noise tests, respectively, are National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), Spanish Protocol and again National Guideline. As it is the most restrictive and is used nationally, the tolerance limits of the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005)

were chosen for the analysis of the results.

Tests were performed to evaluate CT uniformity, accuracy and noise. Firstly, for the manufacturer CT phantom and then the Gammex. Data was acquired using the manufacturer parameters from the scanner manual for both phantoms. Results for the four phantoms were analyzed according to the limits from the respective manuals and compared with the limits established by the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) and the NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) . The limits are presented in table 2:

Tests	Phantoms				National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005)	NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021)
	GE	Toshiba	Philips	Gammex		
Uniformity (HU)	±5	±5	±5	±5	±2 from the reference value	± 5
Noise (HU)	3±0.4	3 to 5.4	4 to 5	CNR>1	±10% from the basis measurement	≤ 15% from the reference value
Accuracy (HU)	±4	±4	±4	±5	±5 from the nominal value	±5 from the nominal value

Table 2. Limits of uniformity, noise and accuracy tests for each manufacturer and according to the National Guideline and the Normative Instruction 93.

Considering the three limits established by the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), the reference value is intrinsic to the equipment and the basis measurement is the result of the first measurement of the CT equipment.

The GE phantom allows measurements of contrast scale, low and high spatial resolution, noise, uniformity, slice thickness, and laser light precision. According to the manufacturer, the phantom scan must be done daily (GE, 2011). Meanwhile, the Toshiba manual requires a monthly noise, a uniformity, and CT number test. A daily tube warming is necessary to maintain quality and useful life of the tube, Calibration only needs to be performed in case of repair or replacement (TOSHIBA, 2011). The Philips manual requires tube warming only if the equipment is not used for longer than ten hours. Air calibration should be performed twice a week to guarantee system operation (RADIOLOGY, 2020). Examples of the three phantoms sections are shown in figures 1, 2 and 3.

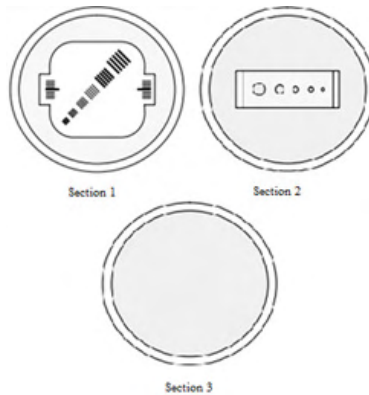


Figure 1. Sections of the GE phantom: Section 1 is used to access high scale resolution, contrast scale, slice thickness and laser precision. Section 2 is used to access low contrast resolution and Section 3 is used to access noise and uniformity.

Source: Instruções de uso. Brightspeed Edge 8 Slice Edition (GE, 2011).

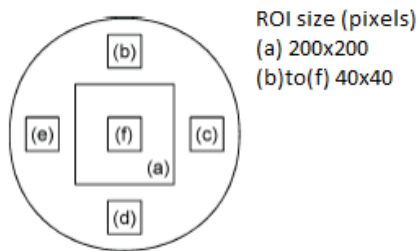


Figure 2. Section of the Toshiba phantom: the scheme shows the performing of the noise, uniformity, and CT number tests. "Noise and mean CT are evaluated based on the mean TC and standard deviation in the ROI placed in the center of the water spectrum display image. Uniformity is assessed based on differences in CT means between the multiple ROIs placed in the water spectrum display image".

Source: Manual de Operação do Tomógrafo Computadorizado Toshiba AQUILION ONE (TOSHIBA, 2011).

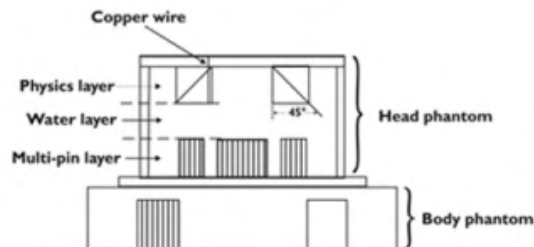


Figure 3. Structure of the Philips phantom: The physics section is used to access the impulse response and the section thickness; the water section is used to access the noise and the multi-pin layer used to access the contrast scale.

Source: Precedence Imaging System, Release 2.0, Instructions for Use (PHILIPS, 2011).

The Gammex 464 allows the determination of CT number, slice thickness, high and low contrast resolution, uniformity, noise, and position precision tests. According to figure 4, the phantom contains four modules. Module 1 is used to perform positioning and alignment, CT number accuracy, and slice thickness tests. Module 2 is used to perform the low contrast resolution test. Module 3 is used to perform the CT number uniformity test, and Module 4 is used to perform the high contrast resolution test (RADIOLOGY, 2020, MANSOUR et al., 2006). This phantom is used in the United States as a simulator to perform CT accreditation (CROPP et al., 2013).

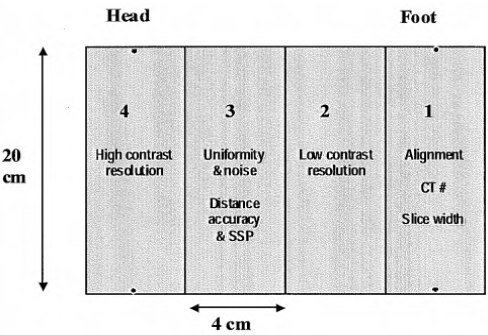


Figure 4. Sections of the Gammex 464.

Source: Gammex 464. CT Accreditation Phantom Instructions (RADIOLOGY, 2020)

The protocols used to perform the three tests were recommended by each CT equipment manufacturer manual, and the parameters are available in table 3:

Parameters	Philips	GE	Toshiba	Gammex
FOV	250	250	240	250
Acquisition FOV	500	Small Body	240	500
Collimation (mm)	16*1.5	5*4	4*4	16*1.5
Thickness (mm)	6	10	8	2
Rotation time (s)	0.75	1	1	0.75
kVp	120	120	120	120
mAs	250	126	500	360
Reconstruction	Standard	Bone or Standard(a)	FC70	High Resolution
Filter	EB	Head Filter	Small	UB
Matrix	512	512	512	512

Table 3. Acquisition parameters of the QA program for each phantom, according to each manual for Philips, GE, and Toshiba, and for Gammex as established by the hospital.

(a) Bone for high contrast resolution and Standard for low contrast detectability, noise, and uniformity.

After the image was acquired, the uniformity test was performed by plotting 4 ROIs (Regions Of Interest) in the 12, 3, 6 and 9 o'clock positions and one ROI in the center of the phantom image through the program ImageJ bundled with 64-bit Java 1.8.0_112.

The uniformity (U) was calculated According to equation 1:

$$U= CT_{per} - CT_{central} \tag{1}$$

CT_{per} is the average CT number from one of the four edges ROIs, and CT_{central} is the average CT number from the central ROI. The noise (N) test was performed by analyzing the standard deviation result from the central ROI:

$$N \text{ (\%)} = (\sigma_{ROI} /1000). 100 \tag{2}$$

where σ_{ROI} is the standard deviation for the CT number in the central ROI, and 1000 is the difference between the nominal values of CT number for water and air. Lastly, the accuracy (A) test was calculated as the subtraction of the nominal CT number, the CT_{nominal}, for water and air (0 and 1000, respectively) from the average CT number of the central ROI (CT_{central}), according to equation 3:

$$A = CT_{central} - CT_{nominal} \tag{3}$$

The test results were all compared to the limits of the respective equipment and to the limits of the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Results from the tests in the three CT units with their own specific phantoms and with the Gammex 464 are shown in tables 4 to 6.

Position	Average ROI (HU)		Standard Deviation ROI (HU)	
	GE	Gammex	GE	Gammex
Center	-0.30	0.43	2.92	3.01
12h	0.46	1.80	2.73	2.79
3h	1.89	1.45	2.51	2.73
6h	1.70	2.39	2.63	2.90
9h	1.66	1.55	2.64	2.84

Table 4. Obtained values for the GE scanner for the manufacturer provided phantom and for the Gammex.

Position	Average ROI (HU)		Standard Deviation ROI (HU)	
	Toshiba	Gammex	Toshiba	Gammex
Center	-1.6	-0.3	4.6	3.7
12h	0.1	0	4.2	3.3
3h	0	-0.3	4.2	3.3
6h	0	0.2	4.3	3.2
9h	0.2	-0.2	4.4	3.4

Table 5. Obtained values for the Toshiba CT. First for its specific phantom and then for the Gammex.

Position	Average ROI (HU)		Standard Deviation ROI (HU)	
	Philips	Gammex	Philips	Gammex
Center	0.9	4.7	3.8	3.7
12h		3.0		3.3
3h		8.5		3.3
6h		12.4		3.2
9h		8.3		3.4

Table 6. Obtained values for the Philips CT. First for its specific phantom and then for the Gammex.

For the GE CT phantom all the uniformity tests results are within the manufacturer respective limits. The CT number accuracy result is -0.30 HU, within the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) and the manufacturer limits. The Gammex uniformity results are in accordance with the limits established by the manufacturer's manual and the GE manual. For the noise result only the limit from GE manual was considered since the CT equipment manual does not consider CNR, unlike the Gammex. The result of the noise test is above the GE limit. The CT number accuracy was of 0.43 HU, agreeing with the limits established by both manuals. Comparing with the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), the reference value for the uniformity is 1.58 HU, and results for both phantoms are in accordance with the limit. The basis value for noise is 3.19 HU, and for both phantoms the results were above the limit. For the CT number accuracy test limit, the nominal value is 0 HU (for water) and both phantom results are within the limit of ± 5 HU. For both phantoms the tests results are in accordance with the NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) limits for all the tests.

Uniformity values for the Toshiba phantom are in accordance with manual limits. For noise test, the result is within the limits and the accuracy value is of -1.6 HU, which is in accordance with the manufacturer respective limit. Uniformity results for the Gammex are all within the limits established by both manuals and the noise result is above the limit of Toshiba manual. The accuracy result is 4.6 HU and is below the Toshiba limit within

0,6 HU and is within the Gammex limit. According to the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), the reference value for uniformity is 0.9 HU and the results for both phantoms are in accordance with the limit. The basis value for noise is 4.8 HU, and for both phantoms the results are below the limit. For the accuracy test limit, the nominal value is 0 HU (for water) and both phantom results are within the limit. As for GE, for both phantoms the results are within the NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) limits.

The Philips equipment automatically gives the phantom tests results by acquiring the mean value from the ROIs. The measurement for water accuracy is also automated, and the evaluation is performed in the central ROI in the four sections. Considering that the Gammex modules have different structures, images and ROIs were acquired and analyzed individually to perform the test.

Our results shown taht phantom the uniformity value and noise result are within the limits for the Philips phantom. The Gammex uniformity results for the 6 o'clock position exceed both manual limits in 2.7 HU. The noise value is below the Philips manual limit. The accuracy value is within the Gammex limit and it exceeds the Philips limit at 0.7 HU. Considering the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), the reference value for the uniformity is 1.0 HU. The results for the Philips phantom are in accordance with the established limit, and the Gammex results exceed the limit in the 12, 3, 6 and 9 o'clock positions by, 0.7, 0.8, 4.7, and 0.6 HU, respectively. The basis value for noise is 3.80 HU, and for the Philips phantom and the Gammex the result is above the limit. For the accuracy test, the nominal value is 0 HU (for water) and results for both phantoms are within the limit. The Philips phantom tests results are in accordance with the NI 93 limits (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). However, the Gammex 464 result for the uniformity test surpasses the NI 93 limit by 2.7 HU.

The tables below summarizes the results found for the Gammex 464 phantom:

Tests	GE		Toshiba		Philips	
	National Guideline	NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021)	National Guideline	NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021)	National Guideline	NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021)
Uniformity	Passed	Passed	Passed	Passed	Didn't pass(a)	Didn't pass(b)
Noise	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
Accuracy	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Table 7. Summary of the results obtained with the Gammex 464 ghost compared to the National Guideline and Normative Instruction 93.

(a) Below the limit by 0.7, 0.8, 4.7 and 0.6 HU for 3, 6, 9 and 12 o'clock positions.

(b) Below the limit by 2.7 HU for 6 o'clock position.

Tests	GE	Toshiba	Philips
Uniformity	Passed	Passed	Didn't pass(b)
Noise	Passed	Passed	Passed
Accuracy	Passed	Didn't pass(a)	Didn't pass(c)

Table 8. Summary of the results obtained with the Gammex 464 ghost compared to each manufacturer limits.

(a) Below the limit by 0.6 HU.

(b) Below the limit by 2.7 HU for the 6 o'clock position.

(c) Below the limit by 0.7 HU.

For all the equipment phantoms, most of the results were within the manual limits. For GE and Toshiba, Gammex acquired data was in accordance with the established limits in its own manual and the equipment manual, except for the Accuracy test compared to the Toshiba limit. For the tests performed with the Gammex in the Philips CT, results out of the range were obtained, possibly due to the use of the Philips protocol to acquire the images. There are important differences in both acquisition protocols, such as slice thickness, reconstruction algorithm, and filtration. In the case of noise results being below the limit, which happened for both phantoms tested in the Philips CT, the obtained data was accepted as a good indicator of image quality, since the least image noise, the highest is its quality.

It is important to mention that the National Guideline (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) limits are more restrictive than the limits established by the equipment, the Gammex manual, and the NI 93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). For the uniformity test, Philips CT results for Gammex exceeded the limit. That difference may be related to the use of the Philips acquisition parameters for the Gammex. Meanwhile, for the noise test, results are below the limits for both phantoms with GE CT and Toshiba CT, and for Gammex with Philips CT, what can be explained using the same reasoning. Thus, the results below the limits were accepted. One of the biggest challenges to analyze the results is the different materials that constitute the phantoms and the arrangement of the structures in the simulators.

4 | CONCLUSIONS

Tests were performed according to the manual for each CT equipment. The large variety of parameters and specificity among all manufacturers must be considered. The verification of Philips and Gammex 464 acquisition protocols shows a difference in the filtration parameter, slice thickness and more factors that could cause out of limits results for the Gammex, as the test was performed according to Philips's protocol. A more in-depth discussion can be made by the individual analysis of the images of the Philips phantom, as well as manually acquiring data to obtain the CT number accuracy value. As a continuation of the work, the CNR can be calculated to compare with the Gammex limit for the noise test.

Finally, the ACR phantom showed to be a suitable unifying phantom for two CT equipment.

The attempt to evaluate the use of a unique phantom to perform the QA program should be adjusted to the heterogeneity of parameters, considering all the factors for the test acquisition, phantom materials, construction, and protocols.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Dr. L. Streit for revising this manuscript and the medical physicists Fabricio Garrafiel e Ney de Souza Neto for discussion and support.

REFERENCES

AAPM. **REPORT 39: SPECIFICATION AND ACCEPTANCE TESTING OF COMPUTED TOMOGRAPHY SCANNERS**. New York: American Association Of Physicists In Medicine, 1993.

ALIKHANI, B et al. **Impact of CT parameters on the physical quantities related to image quality for two MDCT scanners using the ACR accreditation phantom: A phantom study**. *Radiography (Lond)*, [s. l], v. 23, n. 3, p. 202-210, ago. 2017.

BRASIL. Brasil. Ministério da Saúde. **DaTaSUS**. 2021. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?cnes/cnv/equipobr.def>. Acesso em: 15 set. 2021.

BRISSE, H J et al. **The relevance of image quality indices for dose optimization in abdominal multi-detector row CT in children: experimental assessment with pediatric phantoms**. *Phys Med Biol*, [s. l], v. 54, n. 7, p. 1871-1892, abr. 2009.

BUREAU OF ENVIRONMENTAL RADIATION PROTECTION. **Guide For Radiation 8. Safety/Quality Assurance Programs: Computed Tomography Equipment York State, Department Of Health, Available At:**. New York : Department Of Health, 9 jan. 2018.

CONFERENCE OF RADIATION CONTROL PROGRAM DIRECTORS (Frankfort). **Suggested State Regulations for the Control of Radiation (SSRCR)**. 2001. Disponível em: <http://www.crcpd.org/SSRCRs/F-Part%202009.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2018.

CROPP, Robert J et al. **Scanner and kVp dependence of measured CT numbers in the ACR CT phantom**. *J Appl Clin Med Phys.*, [s. l], v. 14, n. 6, p. 338-349, 4 nov. 2013.

EGHAREVBA, Osayaba Peace et al. **Assessing the Status of Quality Control Parameters of Four Computed Tomography Scanners in Ibadan**. *European Journal Of Medical And Health Sciences*, [s. l], v. 3, n. 4, p. 80-83, 2021.

GE, Healthcare do Brasil Comércio e Serviços Para Equipamentos Médico-Hospitalares. **Instruções de uso. Brightspeed Edge 8 Slice Edition, Brightspeed Edge 16 Slice Edition, Brightspeed Edge 4 Slice Edition**. Brasil: Ge Healthcare, 2011.

HAAGA, J R et al. **The effect of mAs variation upon computed tomography image quality as evaluated by in vivo and in vitro studies**. *Radiology*, [s. l], v. 138, n. 2, p. 449-454, fev. 1981.

IAEA,INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Quality Assurance Program For Computed Tomography: Diagnostic And Therapy Applications: N°19**. Vienna, 2012.

INKOOM et al., Stephen et al. **Quality Assurance and Quality Control of Equipment in Diagnostic Radiology Practice - The Ghanaian Experience.** Intechopen, [s. l], p. 291-308, nov. 2010.

KALENDER, Willi A.. **Computed Tomography: fundamentals, system technology, image quality, applications.** Germany: John Wiley & Sons, 2011. 372 p.

MANSOUR, Z et al.. **Quality control of CT image using American College of Radiology (ACR) phantom. T Egypt J Of Rad And Nuc Med,** [s. l], v. 47, n. 4, p. 1665-1671, jun. 2006.

MCCOLLOUGH, Cynthia H. **Automatic exposure control in CT: are we done yet? Radiology .,** [s. l], v. 237, n. 3, p. 755-756, dez. 2005.

MCCOLLOUGH, Cynthia H; GUIMARÃES, Luís; FLETCHER, Joel G. **In defense of body CT. Ajr Am J Roentgenol.,** [s. l], v. 193, n. 1, p. 28-39, jul. 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Svs/Ms N° 453.** Brasil, 1 jun. 1998.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Radiodiagnóstico médico: segurança e desempenho de equipamentos,** Brasil, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução Da Diretoria Colegiada - RDC N° 330.** Brasil, 20 dez. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Instrução Normativa – IN N° 93.** Brasil, 27 mai. 2021.

MORIN, Richard L.; GERBER, Thomas C.; MCCOLLOUGH, Cynthia H.. Radiation Dose in Computed Tomography of the Heart. **Circulation,** [s. l], v. 107, n. 6, p. 917-922, fev. 2003.

MUTIC et al., Sasa et al. **Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 66. Med Phys.,** [s. l], v. 30, n. 10, p. 2762-2792, out. 2003.

PÉRIARD, M.A.; CHALONER, P. **Diagnostic X-Ray Imaging Quality Assurance: An Overview. Government Of Canada: Health Canada,** Canada, v. 27, p. 171-177, 1996.

PINA, Diana Rodrigues de; DUARTE et al. **Controle de qualidade e dosimetria em equipamentos de tomografia computadorizada. Radiologia Brasileira,** [s. l], v. 42, n. 3, p. 171-177, maio 2009.

PHILIPS, Medical Systems Nederland BV. **Precedence Imaging System, Release 2.0, Instructions for Use, 1, 9201-5102C-ENG, REV A,** Philips, 2011.

PROTOCOLO ESPAÑOL DE CONTROL DE CALIDAD EN RADIODIAGNÓSTICO. Madrid: Sociedad Española de Física Médica y Sociedad Española de Protección Radiológica, 2011.

PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA RADIODIAGNÓSTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2021.

RADIOLOGY, American College Of. **Gammex 464. CT Accreditation Phantom Instructions.** Eua: American College Of Radiology, 2020. Disponível em: <https://accreditationsupport.acr.org/support/solutions/articles/11000053945-phantom-overview-ct-revised-11-19-2020->. Acesso em: 19 nov. 2020.

TOSHIBA, Medical Systems Corporation. **Manual de Operação do Tomógrafo Computadorizado Toshiba AQUILION ONE, Modelo TSX-301C:** volume básico. Brasil: Toshiba, 2011.

WILTING, J e et al. **A rational approach to dose reduction in CT: individualized scan protocols. Eur Radiol.,** [s. l], v. 11, n. 12, p. 2627-2632, jul. 2001.

PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA FLUIDOS SIMPLES CNM-PNE-20-2015

Data de aceite: 01/02/2022

Fecha de envío: 12/11/2021.

Leonel Lira Cortés

Centro Nacional de Metrología
Querétaro, México

Saúl García Duarte

Centro Nacional de Metrología
Querétaro, México

Jesús Arce Landa

Tecnológico Nacional de México/CENIDET,
Morelos, México

RESUMEN: Se presenta la implementación y mejora del patrón nacional de conductividad térmica para fluidos simples en el Centro Nacional de Metrología (CENAM). El patrón nacional utiliza la técnica transitoria del hilo caliente, ésta se basa en medir el incremento de temperatura de un alambre delgado de platino de alta pureza que disipa energía térmica de manera constante, y que se encuentra inmerso en el fluido al cual se requiere medir su conductividad térmica. El alcance de medición del patrón nacional fue inicialmente de $0.1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a $0.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a temperatura ambiente, con incertidumbre relativa de 5 % del valor determinado con $k=2$; posteriormente, se mejoró al emplear una celda de acero inoxidable diseñada para contener a dos alambres de platino con el objetivo de que los efectos de borde no influyan en la medición, finalmente se extendió el Intervalo en temperatura

de medición, de $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $64 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Actualmente el patrón nacional realiza mediciones con incertidumbres menores a 1 % para valores de conductividad térmica que van de $0.1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a $0.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ en el intervalo de temperatura arriba mencionado.

PALABRAS CLAVE: Técnica del hilo caliente, conductividad térmica, fluidos simples, puente de Wheatstone.

1 | INTRODUCCIÓN

1.1 Modelo físico ideal

El arreglo experimental ideal para la teoría del método transitorio del hilo caliente se observa en la Figura 1. Una línea fuente de calor, de longitud infinita, en posición vertical, con capacidad calorífica cero y conductividad térmica infinita se sumerge en un fluido denso, isotrópico, que tiene propiedades independientes de la temperatura y se encuentra en equilibrio termodinámico con el fluido en el tiempo $t=0$. Se considera que la transferencia de energía de la línea fuente a través de fluido es solo por el modo de conducción [1].

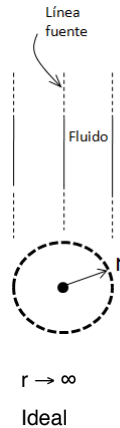


Fig. 1. Arreglo experimental ideal.

1.2 Modelo matemático

Para conocer el incremento de temperatura de la línea fuente para tiempos mayores que cero, $t > 0$, se utiliza la ecuación de difusión de calor en estado transitorio la cual surge de la ecuación de balance de energía:

$$\lambda \nabla^2 T(r, t) = \rho C_p \frac{\partial T(r, t)}{\partial t} \quad (1)$$

Donde λ es la conductividad térmica del fluido, $\nabla^2(r, t)$ el Laplaciano de la temperatura, ρ la densidad del fluido, C_p la capacidad calorífica del fluido y t el tiempo.

Se define el incremento de temperatura en el fluido a una distancia r del alambre para un tiempo t como: $\Delta T(r, t) = T(r, t) - T_0$.

Donde T_0 es la temperatura de equilibrio del fluido.

La Ecuación 1 se resuelve con las siguientes condiciones de frontera e inicial,

$$\begin{aligned} \Delta T(r, t) &= 0, & t &= 0 \\ \lim_{r \rightarrow \infty} \Delta T(r, t) &= 0, & t &> 0 \\ \lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial T}{\partial r} &= \frac{q}{2\pi\lambda}, & t &> 0 \end{aligned}$$

Donde q es el calor por unidad de longitud de la línea fuente.

La solución particular de la Ecuación (1) es la siguiente, [2]:

$$\Delta T(r, t) = -\frac{q}{4\pi\lambda} E_1\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right) \quad (2)$$

La integral exponencial puede expresarse como un desarrollo en serie para valores pequeños de $r^2/4\alpha t$:

$$\Delta T(r,t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left(\ln \left(\frac{4at}{r^2} \right) + \frac{r^2}{4at} + \dots \right) \quad (3)$$

En la práctica, para proporcionar el flujo de calor se requiere reemplazar la línea fuente por un alambre de platino de radio pequeño, el cual es sometido al efecto Joule. Si dicho radio se selecciona de tal manera que el segundo término de la Ecuación (3) sea menor que 0.01% del ΔT , entonces:

$$\Delta T(r_a,t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln \frac{4at}{r_a^2 C} \quad (4)$$

La ecuación anterior es una relación lineal entre y el $\ln t$: $\Delta T = m \ln t + b$.

Así, si experimentalmente se mide el incremento de la temperatura del alambre, ΔT_a , y se grafica contra el logaritmo natural del tiempo, $\ln t$, se obtiene una línea recta cuya pendiente será: $m = q/(4\pi\lambda)$.

La conductividad térmica λ se determina entonces como, [3]:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi m} = \frac{q}{4\pi} \frac{d(\ln t)}{d(\Delta T_a)} \quad (5)$$

Donde q es el calor por unidad de longitud del alambre en Wm^{-1} y $d(\ln t)/d(\Delta T_a)$ está dado en K^{-1} .

2 I PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El esquema de la Figura 2 muestra la instrumentación del hilo caliente. El alambre de platino y el líquido están contenidos en un recipiente o celda de vidrio, estos a su vez se encuentran en un baño termostático que tiene la función de establecer el equilibrio térmico entre el líquido muestra y el alambre de platino. El alambre de platino se conecta a un circuito tipo puente de Wheatstone, la fuente de potencia, Keithley 228A, energiza al alambre. Los multímetros, Agilent 3458A, miden la tensión V_{ab} y la tensión en una resistencia patrón del puente, R_{ref} , estos datos se envían por medio de una tarjeta GPIB a una computadora personal para su análisis.

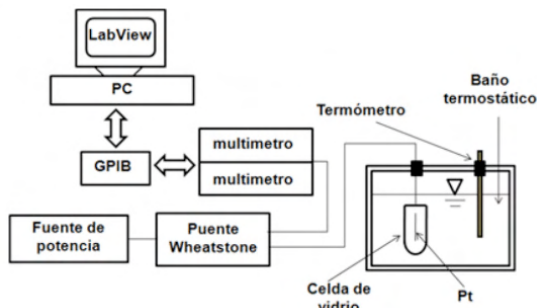


Fig. 2. Esquema de la instrumentación del hilo caliente.

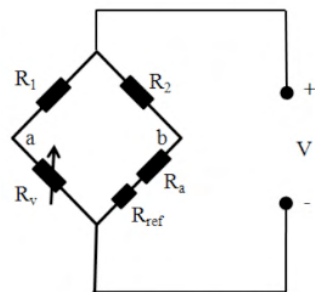


Fig. 3. Puente de Wheatstone.

2.1 Circuito de medición

El incremento de la temperatura del alambre está relacionado con los cambios de su resistencia eléctrica debido al *efecto Joule*. Los aumentos de resistencia eléctrica se determinan con ayuda de un circuito tipo puente de Wheatstone, Figura 3, que consta de dos resistencias fijas R_1 y R_2 , una resistencia variable $R_v=0.001-1000\ \Omega$ y el alambre de platino representado en el esquema de la Figura 3 como R_a . $R_{ref}=0.1\ \Omega$ se utiliza para determinar la corriente eléctrica i_a que pasa por el alambre con la cual se conocerá la energía disipada por unidad de longitud.

2.2 Recipiente del fluido

La Figura 4 muestra un recipiente de vidrio que contiene al fluido de trabajo, cuya longitud y diámetro interno son 300 mm y 18 mm, respectivamente. Este recipiente a su vez puede contener en su interior a un alambre de platino de 120 mm de largo como máximo, con un diámetro de $15\ \mu\text{m}$. En la Figura 5 se muestra la imagen del patrón de conductividad térmica para fluidos simples.



Fig. 4. Celda de vidrio y alambre de platino.

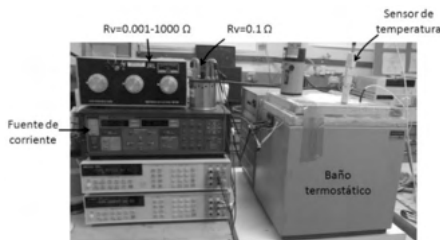


Fig. 5. Patrón de conductividad térmica.

2.3 Procedimiento de medición

Previo al proceso de medición y con el arreglo del esquema de la Figura 2 se mide la resistencia eléctrica del alambre de platino a diferentes temperaturas, se utiliza un termómetro de resistencia platino calibrado para conocer la temperatura del baño termostático.

Realizado lo anterior, el proceso de medición es de la siguiente manera:

1. Establecer el equilibrio térmico entre el alambre, el fluido muestra y el baño termostático.
2. Se aplica el efecto Joule al alambre.
3. Aumenta la temperatura del alambre y aumenta también su valor de resistencia eléctrica.
4. El aumento de resistencia eléctrica se mide por medio del circuito puente de Wheatstone.
5. El incremento de temperatura del alambre se determina por medio de una relación resistencia eléctrica contra temperatura.
6. La conductividad térmica del fluido se determina al conocer la potencia por unidad de longitud y la pendiente del ΔT contra el $\ln t$.

2.4 Resultados iniciales

La Tabla 1 contiene los resultados de la determinación de conductividad térmica para el agua tipo I a 20.0 °C con diferentes valores de energía térmica disipada por el alambre.

2.5 Propagación de incertidumbre

El valor experimental de la conductividad térmica es evaluado por una función que incorpora cantidades de entrada no correlacionadas y que tienen asociada

20,0 °C	
Flujo de calor por unidad de longitud $q/W \text{ m}^{-1}$	Conductividad térmica $\lambda/W \text{ m}^{-1}\text{K}^{-1}$
0,629	0,62
1,12	0,619
1,752	0,626
3,424	0,621
4,477	0,622
7,033	0,624
10,174	0,623

Tabla 1. Conductividad térmica del agua tipo I con diferente flujo de calor.

una incertidumbre, estas contribuirán a la incertidumbre de la medición. La conductividad térmica puede ser representada como:

$$\lambda = \lambda(q, m) \quad (6)$$

Donde q es el calor por unidad de longitud y m es la pendiente, estas cantidades de entrada también tienen otras cantidades de entrada y se representan de la siguiente forma:

$$q = q(i_a, R_{0a}, L_a) \quad (7)$$

$$m = m(t, \Delta T_a) \quad (8)$$

Aquí, i_a es la corriente eléctrica en el alambre, R_{0a} es la resistencia del alambre a la temperatura de equilibrio, L_a la longitud del alambre, t el tiempo y ΔT_a el incremento de temperatura del alambre. Además, la incertidumbre de ΔT_a tiene a R_a como cantidad de entrada:

$$\Delta T_a = \Delta T_a(R_a) \quad (9)$$

Es decir, depende de la relación $\Delta T_a = (R_a - b)/m_c$ con m_c es la pendiente durante la transferencia de energía térmica por conducción. Por último, R_a tiene las siguientes cantidades de entrada:

$$R_a = (R_1, R_2, R_v, V, V_{ab}) \quad (10)$$

R_1 , R_2 son resistencias fijas, R_v es una resistencia variable, V la tensión aplicada al puente de Wheatstone y V_{ab} la diferencia de tensión entre las dos ramas de éste.

La estimación de la incertidumbre será:

$$u^2(\lambda_t) = \sum_{i=1}^N (c_i u(x_i))^2 \quad (11)$$

Donde:

$$c_i = \left[\frac{\partial \lambda}{\partial x_i} \right] \quad (12)$$

Como ejemplo ponemos a la medición realizada a 20 °C del agua tipo I, la corriente eléctrica en el alambre es de 0.0535 A, y la potencia de 1.75 W m⁻¹ dando un valor de conductividad térmica de 0.62 W m⁻¹ K⁻¹.

Se considera que la incertidumbre del tiempo es despreciable, entonces, el valor para cada coeficiente de sensibilidad se muestra en la Tabla 2.

Cantidad	<i>ci</i>	Valor de <i>ci</i>	<i>(ci u(xi))²</i>	Cantidad	<i>ci</i>	Valor de <i>ci</i>	<i>(ci u(xi))²</i>
R_a	$\frac{\partial R_a}{\partial R_1}$	-0.384	1.47×10^{-7}	q	$\frac{\partial q}{\partial I_a}$	65.5	2.1×10^{-5}
	$\frac{\partial R_a}{\partial R_2}$	0.385	1.48×10^{-7}		$\frac{\partial q}{\partial R_{0a}}$	0.033	1.09×10^{-9}
	$\frac{\partial R_a}{\partial R_v}$	1	1×10^{-6}		$\frac{\partial q}{\partial L_a}$	-20.234	1.02×10^{-4}
	$\frac{\partial R_a}{\partial V}$	-0.013	1.69×10^{-8}		$\frac{\partial \lambda}{\partial q}$	0.357	1.57×10^{-5}
	$\frac{\partial R_a}{\partial R_{vab}}$	26.267	6.9×10^{-10}	λ	$\frac{\partial \lambda}{\partial m}$	-2.81	2.09×10^{-4}
ΔT_a	$\frac{\partial \Delta T_a}{\partial R_a}$	4.49	5.14×10^{-3}				

Tabla 2. Coeficientes de sensibilidad.

Aplicando la Ecuación (11) para R_a , ΔT_a , q y λ se obtiene: $u_\lambda= 0.015 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
Su incertidumbre relativa es

$$\frac{u_\lambda}{\lambda}=0.024$$

Con $k=2$: 4.8 %.
Y el resultado final lo muestra la Tabla 3.

Muestra	Temperatura de medición/ $^{\circ}\text{C}$	Conductividad térmica/ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	Incertidumbre relativa expandida ($k=2$)
Agua tipo I	20.0	0.62	5 %

Tabla 3. Resultado final de los valores experimentales.

3 I MEJORA DEL PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, PRIMERA ETAPA

3.1 Efectos de borde y celda de acero inoxidable

La conductividad térmica del fluido se determina midiendo la energía por unidad de longitud que se genera en el alambre, la pendiente del incremento de temperatura y el logaritmo natural del tiempo.
El incremento de temperatura se logra estableciendo el efecto Joule en el alambre, esto ocasiona una transferencia de energía del alambre hacia el fluido. Evidentemente, el

alambre se encuentra unido en sus extremos a soportes de mayor masa, ello ocasiona que no toda la energía generada en el alambre se transmita a través del fluido, una pequeña parte se disipa por medio de los soportes, Figura 6.

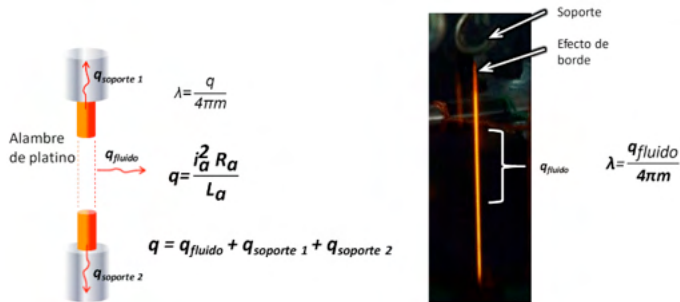


Fig. 6. Efectos de borde.

Como consecuencia de esto, al momento de determinar la conductividad térmica se sobre dimensiona la cantidad de energía por unidad de longitud. Para evitar que los efectos de borde no influyan en la determinación de la conductividad térmica, se utiliza un arreglo de dos alambres similares pero diferentes en longitud [4] originando que solo una porción central del alambre largo (diferencia de longitud entre los dos alambres) se utilice para determinar la conductividad térmica, Figura 7.

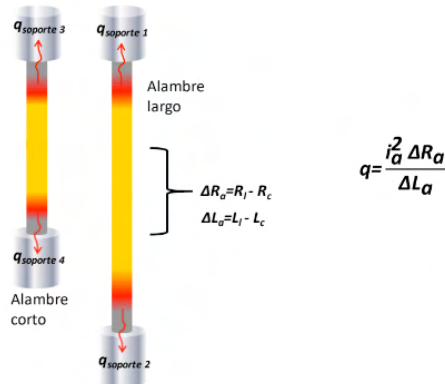


Fig. 7. Diagrama esquemático de dos alambres.

Para utilizar los dos alambres, se diseñó una celda de acero inoxidable la cual contiene en su interior soportes de latón para los alambres de platino Figura 8 [5].

3.2 Puente de wheatstone con dos alambres

Para conocer el incremento de temperatura de esa porción del alambre, es necesario medir el incremento de su resistencia eléctrica por medio de un arreglo diferente del puente de Wheatstone y su respectiva ecuación. Este arreglo se usó para medir al tolueno.

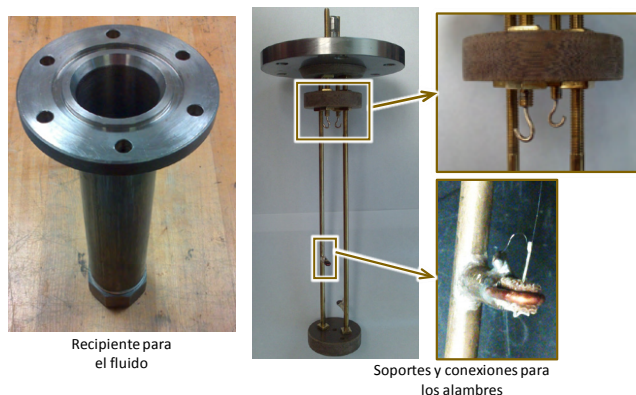


Fig. 8. Celda de acero inoxidable con soportes para los alambres de platino.

El puente de Wheatstone que se utiliza para medir el incremento de resistencia eléctrica de solo una porción del alambre largo se presenta en la Figura 9 [6].

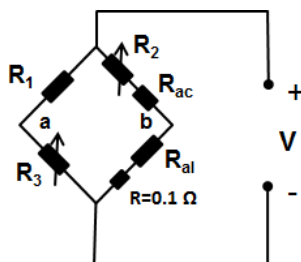


Fig. 9. Puente de Wheatstone.

La resistencia eléctrica se determina con la siguiente ecuación:

$$\Delta R_a = \frac{R_2 \left[1 + \frac{2V_{ab}}{V} + \frac{(R_3 - R_1)}{(R_1 + R_3)} \right]}{1 - \frac{\left(\frac{R_{al}}{R_{ac}} + 1 \right)}{\left(\frac{R_{al}}{R_{ac}} - 1 \right)} \left[\frac{2V_{ab}}{V} + \frac{(R_3 - R_1)}{(R_1 + R_3)} \right]} \quad \frac{R_{al}}{R_{ac}} = 1.7680$$

Y se instrumentó el patrón como el esquema de la figura 2, sustituyendo la celda de vidrio por la celda de acero inoxidable.

3.3 Resultados de la primera etapa

Se realizó una medición al tolueno con el arreglo de dos alambres. La Figura 10 muestra el comportamiento del incremento de temperatura del alambre contra el logaritmo natural del tiempo.

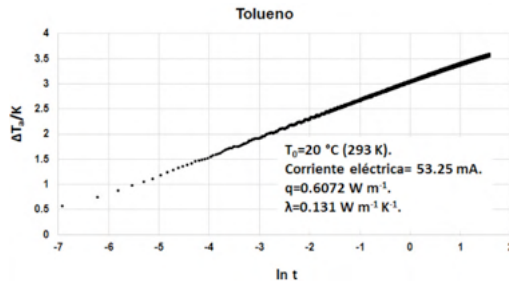


Fig. 10. Medición al tolueno.

4 | MEJORA DEL PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, SEGUNDA ETAPA

4.1 AMPLIACIÓN DEL INTERVALO DE MEDICIÓN Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Como parte final de las mejoras, se realizó la validación del método en el rango de temperatura de 13°C a 64°C para el tolueno por medio de la correlación propuesta por María L. V. Ramirez et al. [7].

4.2 Arreglo experimental

Se utilizó el arreglo del esquema de la Figura 11 para realizar las mediciones al tolueno en el intervalo de temperatura de 13°C a 64°C .

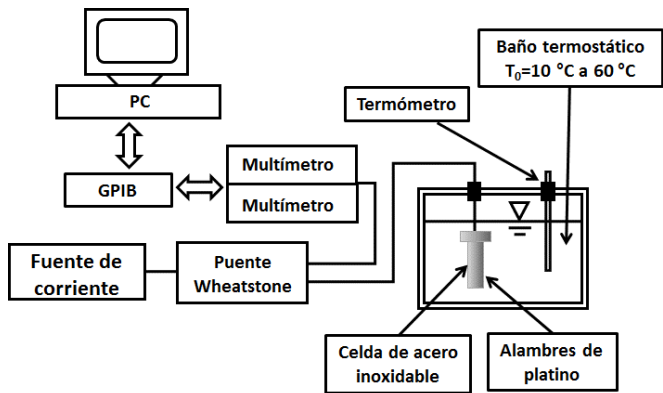


Fig. 11. Diagrama esquemático base para medir tolueno en el intervalo de 13°C a 64°C .

La temperatura de inicio T_0 es la temperatura de equilibrio térmico entre el baño termostático, la celda, el fluido a medir y los alambres de platino. La temperatura de medición o de prueba, T_{prueba} , se determina de la siguiente forma:

$$T_{prueba} = T_0 + \left[\frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \right]$$

Donde ΔT_1 y ΔT_2 se definen como:

$$\Delta T_1 = T_1 - T_0 \quad (13)$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_0 \quad (14)$$

T_1 y T_2 es la temperatura de inicio y final, respectivamente, del modo de transferencia de energía por conducción.

4.3 Correlación

La correlación para el tolueno en el rango de temperatura de -84 °C a 280 °C está expresada en términos de variables adimensionales λ^* y T^* [5]:

$$T^* = \frac{T}{298.15 \text{ K}}$$

Donde T es la temperatura de prueba de la medición,

$$\lambda^* = \frac{\lambda(T)}{\lambda(298.15 \text{ K}, 0.1 \text{ MPa})}$$

$\lambda(298.15 \text{ K}, 0.1 \text{ Mpa}) = 0.13088 \pm 0.000085 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ y es el valor de referencia para el tolueno a temperatura de 298.15 K y presión de 0.1 Mpa, λ^* se obtiene con la ecuación 6 y $\lambda(T)$ es la conductividad térmica a la T_{prueba} .

Los datos experimentales de conductividad térmica están correlacionados con un polinomio en términos de estas variables adimensionales:

$$\lambda^* = \sum_{i=1}^4 b_i T^{*i} \quad (15)$$

$$\lambda^* = 0.420919 + 3.629457T^{*-1} - 5.348298T^{*-2} + 2.8189482T^{*-3} - 0.519700T^{*-4}$$

4.4 Resultados de la segunda etapa

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos experimentalmente y los determinados por medio de la correlación mencionada, cada uno a la misma temperatura de prueba. En la Figura 12 se grafican estos resultados contra la temperatura de prueba T_{prueba} .

Las gráficas de las Figuras 13, 14 y 15 son ejemplos de tres mediciones representativas y muestran el incremento de temperatura de la porción del alambre de platino para diferente temperatura inicial T_0 y diferente temperatura de prueba T_{prueba} .

T_0 °C	T_{prueba} °C	λ_{corr} $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	λ_{exp} $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	T_0 °C	T_{prueba} °C	λ_{corr} $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	λ_{exp} $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
10.01	13.50	0.1345	0.1346	40.02	43.56	0.1255	0.1259
10.01	13.49	0.1345	0.1338	40.02	44.17	0.1253	0.1257
15.01	18.71	0.1330	0.1322	50.02	53.58	0.1225	0.1232
15.01	18.69	0.1330	0.1323	50.02	54.10	0.1223	0.1230
20.00	23.75	0.1314	0.1316	50.02	54.01	0.1224	0.1233
20.00	23.82	0.1314	0.1311	59.98	62.52	0.1199	0.1204
25.01	28.94	0.1299	0.1296	59.98	63.07	0.1197	0.1198
25.01	28.94	0.1299	0.1297	59.98	63.66	0.1195	0.1204
30.00	34.11	0.1283	0.1280	59.98	63.73	0.1195	0.1208
30.01	34.10	0.1283	0.1287				

Tabla 4. Resultados, correlación-experimentales.

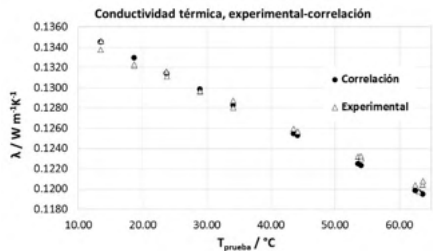


Fig. 12. Gráfica de resultados, correlación-experimentales.

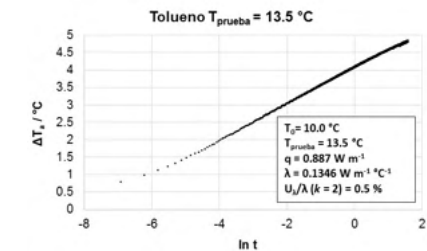


Fig. 13. Conductividad térmica del tolueno a $T_{\text{prueba}} = 13.5$ °C.

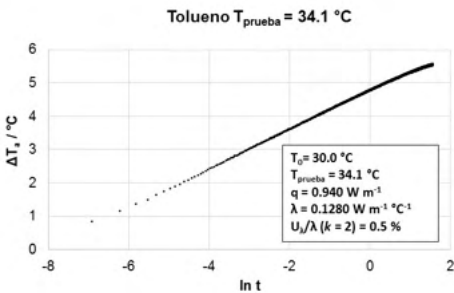


Fig. 14. Conductividad térmica del tolueno a $T_{\text{prueba}} = 34.1$ °C.

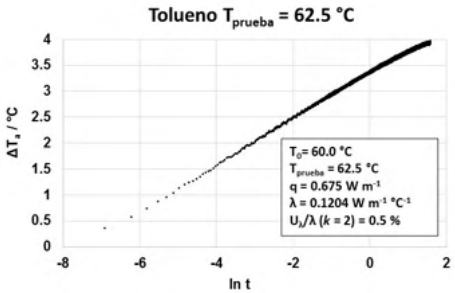


Fig. 15. Conductividad térmica del tolueno a $T_{\text{prueba}} = 62.5$ °C.

La Tabla 5 indica la desviación de los resultados experimentales respecto a los obtenidos por medio de la correlación, además, estos mismos se muestran en orma de gráfica en la Figura 16.

$T_{\text{prueba}} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$((\lambda_{\text{corr}} - \lambda_{\text{exp}}) / \lambda_{\text{corr}}) \times 100$	$T_{\text{prueba}} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$((\lambda_{\text{corr}} - \lambda_{\text{exp}}) / \lambda_{\text{corr}}) \times 100$
13.50	0.06	43.56	0.38
13.49	-0.57	44.17	0.35
18.71	-0.56	53.58	0.61
18.69	-0.48	54.10	0.58
23.75	0.16	54.01	0.76
23.82	-0.24	62.52	0.44
28.94	-0.16	63.07	0.05
28.94	-0.13	63.66	0.76
34.11	-0.20	63.73	1.07
34.10	0.33		

Tabla 5. Desviación.

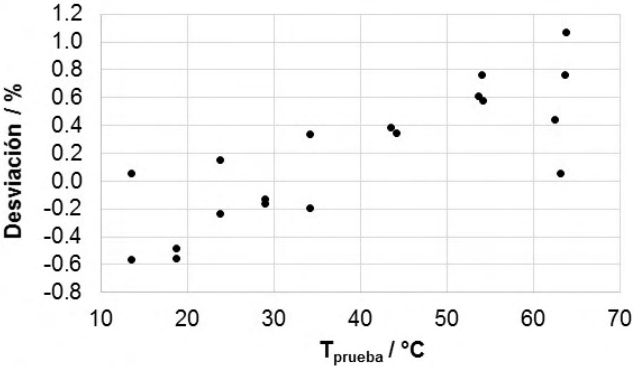


Fig. 16. Desviación de datos experimentales respecto a los obtenidos por medio de la correlación.

4.5 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Para las mediciones se estimó la incertidumbre relativa. La ecuación con la que se determina la conductividad térmica (λ) es la siguiente: $m = q/(4\pi\lambda)$.

La energía por unidad de longitud tiene cantidades de entrada y se determina con la ecuación:

$$q = \left[\frac{V}{R_2 + R_c + R_l} \right]^2 \left[\frac{R_f - R_c}{L_f - L_c} \right], \quad R_{eq} = R_2 + R_c + R_l$$

$$q = \left[\frac{V}{R_2 + (0.0740T + 18.8285) + (0.1303T + 33.3054)} \right]^2 \left[\frac{R_f - R_c}{L_f - L_c} \right]$$

y se representa de la siguiente forma: $q = (V, \Delta R_a, R_{eq}, \Delta L_a)$.

Donde V es la tensión eléctrica aplicada al puente de Wheatstone, ΔR_a es la

resistencia eléctrica de la porción del alambre de platino, R_{eq} es la suma de la resistencia del alambre largo, corto y una resistencia de valor fijo y L_a es la longitud del alambre.

La pendiente y su incertidumbre de calculan por medio del método de mínimos cuadrados.

La estimación de la incertidumbre para la ecuación de la conductividad térmica es:

$$u^2(\lambda_f)=\sum_{i=1}^N (c_i u(x_i))^2, \text{ donde } c_i=\left[\frac{\partial \lambda}{\partial x_i}\right]$$

Es decir,

$$u_{\lambda}=\sqrt{\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial q}\right) u_q\right]^2+\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial m}\right) u_m\right]^2}$$

Y la estimación para q y m es:

$$u_q=\sqrt{\left[\left(\frac{\partial q}{\partial V}\right) u_V\right]^2+\left[\left(\frac{\partial q}{\partial \Delta R_a}\right) u_{\Delta R_a}\right]^2+\left[\left(\frac{\partial q}{\partial R_{eq}}\right) u_{R_{eq}}\right]^2+\left[\left(\frac{\partial q}{\partial \Delta L_a}\right) u_{\Delta L_a}\right]^2}$$

$$u_m=S_{\Delta T} \sqrt{\frac{N}{N \sum_{i=1}^N (\ln t_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^N (\ln t_i)\right)^2}}$$

Por último, la estimación de la incertidumbre para la conductividad térmica se realiza de la siguiente forma:

$$u_{\lambda}=\sqrt{\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial q}\right) u_q\right]^2+\left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial m}\right) u_m\right]^2}$$

A manera de ejemplo, se presentan en la Tabla 6 los resultados del análisis de incertidumbre para una medición realizada al tolueno a temperatura de equilibrio, T_0 , de 20 °C y temperatura de prueba, T_{prueba} , de 23.8 °C.

	c_i	Valor c_i	$(c_i \cdot u(x_i))^2$
q	$\frac{\partial q}{\partial V}$	0.08385	2.53×10^{-9}
	$\frac{\partial q}{\partial \Delta R_a}$	0.0581	1.352×10^{-6}
	$\frac{\partial q}{\partial R_{eq}}$	-0.00548	1.20×10^{-8}
	$\frac{\partial q}{\partial \Delta L_a}$	-12.5325	1.57×10^{-6}
	$u_q / W m^{-1}$		0.001714
	u_m / K		0.00041

	c_i	Valor c_i	$(c_i \cdot u(x_i))^2$
λ	$\frac{\partial \lambda}{\partial q}$	0.1435	6.05×10^{-8}
	$\frac{\partial \lambda}{\partial m}$	0.237	9.596×10^{-9}
	$u_{\lambda} / W m^{-1} K^{-1}$		0.00026
	$\left(\frac{u_{\lambda}}{\lambda}\right) \cdot 100 / \%$		0.2014
	$\left(\frac{u_{\lambda}}{\lambda}\right) \cdot 100 / \%, k=2$		0.403

Tabla 6. Incertidumbre de la medición.

5 | CONCLUSIONES

Se estableció el patrón nacional de conductividad térmica para fluidos simples en el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

Con la implementación de los dos alambres de platino se logró reducir la incertidumbre relativa expandida ($k=2$) de 6 % a 1 %.

Se realizaron diecinueve mediciones al tolueno a temperaturas que van de 13 °C a 64 °C en las cuales se encontró una desviación máxima de 1 % con respecto a los obtenidos con dicha correlación.

Se incrementó el rango de medición del patrón nacional y éste trabaja dentro de las características metroológicas esperadas.

REFERENCIAS

- [1]. C. A. Nieto de Castro, “**Absolute measurements of viscosity and thermal conductivity of fluids**”, JSME International Journal, Series II, Vol. 31, No. 3, 1988.
- [2]. H. S. Carslaw y J. C. Jaeger, “Conduction of heat in solids”, 2nd. Ed., Oxford University Press, 1959.
- [3] F. Morales Cuevas, “**Diseño de un aparato para medir la conductividad térmica de fluidos**”, Tesis, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Cuernavaca, Morelos, Abril 1998.
- [4] J.W. Haarman, “**A contribution to the theory of the transient hot-wire method**”, Physica 52, 605-619 (1971).
- [5] Saúl García Duarte-Leonel Lira-Cortés, “**Mejora del patrón nacional de conductividad térmica para fluidos simples, resultados preliminares**”, Simposio de metrología 2016, 19 al 23 de septiembre.
- [6] R. G. Richard and I. R. Shankland, “**A Transient Hot-Wire Method for Measuring the Thermal Conductivity of Gases and Liquids**”, International Journal of Thermophysics, Vol. 10, No. 3, 1989.
- [7] María L. V. Ramirez, Carlos A. Nieto de Castro, et al; “**Reference data for the thermal conductivity of saturated liquid toluene over a wide range of temperatures**”; J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 29, No. 2, 2000.

ASTRONOMIA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UM ESTUDO DE CASO NO INTERIOR DO PARÁ

Data de aceite: 01/02/2022

Bruno Medeiros Quaresma

Me. em Ensino de Física pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA

Rafael Costa Araújo

Licenciado em Física pela Universidade Federal do Pará

Fernanda Carla Lima Ferreira

Dra em Física pela Universidade Federal de Sergipe, Brasil (2011). Diretora de Pós-Graduação da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará , Brasil em Física UNIFESSPA.

RESUMO: As atuais estruturas do ensino fundamental trazem, na disciplina de ciências, conceitos importantes de Astronomia, o que proporciona um trabalho integrado à outras disciplinas, mas desconexo e difuso, como vemos na pesquisa realizada junto aos 6º e 9º anos do fundamental anos finais. Foi realizado uma avaliação dos materiais didáticos disponíveis, bem como da prática docente em sala de aula. Então, buscando encontrar soluções para a compreensão dos conceitos e abordagem da Astronomia, o objetivo deste trabalho foi identificar juntos aos discentes as suas análises e dificuldade quanto a esse conhecimento. A metodologia foi um questionário sobre seus conhecimentos prévios, suas dificuldades e interesses pela Astronomia. Os resultados foram satisfatórios, indicando que há uma necessidade

de sincronia e continuidade ao longo das séries para que haja um maior interesse e alicerce dos conteúdos, além de uma metodologia eficiente no ensino, o que carece de materiais e espaços apropriados, assim como formação continuada dos professores e alteração curricular na inserção dos conteúdos de Astronomia no decorrer dos anos do ensino de ciências.

PALAVRAS-CHAVE: Ciências, ensino, astronomia.

ASTRONOMY IN ELEMENTARY SCHOOL: A CASE STUDY IN THE INTERIOR OF THE STATE OF PARÁ

ABSTRACT: The current structures of elementary education bring, in the discipline of sciences, important concepts of Astronomy, which provides a work integrated to other disciplines, but disconnected and diffuse, as we see in the research conducted in the 6th and 9th year of the fundamental final years. An evaluation was made of the available didactic materials, as well as of the teaching practice in the classroom. Then, in order to find solutions for the understanding of the concepts and approach of Astronomy, the objective of this work was to identify to the students their analyzes and difficulty in this knowledge. The methodology was a questionnaire about their previous knowledge, their difficulties and interests in Astronomy. The results were satisfactory, indicating that there is a need for synchrony and continuity throughout the series so that there is a greater interest and foundation of the contents, besides an efficient teaching methodology, which lacks appropriate materials and spaces, as well as continuous

training of teachers and curricular change in the insertion of Astronomy contents during the years of science teaching.

KEYWORDS: Science, teaching, astronomy.

1 | INTRODUÇÃO

Reconhecidamente a Astronomia é uma ciência provecta e que desde os primórdios é incessantemente utilizada pela sociedade nas mais diversificadas formas. É possível certificar que as civilizações antigas utilizavam estes conhecimentos astronômicos para nortear suas atividades diárias. Por vários séculos, a compreensão da atuação do universo em nosso planeta representava muito mais do que misticismo ou crenças religiosas, mas também a continuidade e a perpetuação da nossa espécie.

As estações do ano, o sol a cada dia, criando a divisão entre o dia e a noite, o movimento das marés, possibilitaram a elaboração de calendários astronômicos que eram utilizados por muitas civilizações, evidenciando a relação da Astronomia com a vida cotidiana das populações.

Levando em consideração que a transmissão dos saberes ao longo dos tempos transcorreu de uma geração para outra, os conhecimentos astronômicos também sucederam desta maneira, mesmo que muitas das vezes de forma abstrata. Na década de 60, a Astronomia perde o caráter de disciplina específica e com a reforma educacional de 1996 passa a compor a área de Ciências Naturais e com a homologação da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) em 2017 passa ser componente da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias [4].

Para Simões (2008) [1] e Morão (1997) [2], a “Astronomia é a ciência que trata da constituição, da posição relativa e dos movimentos dos astros”. Ela atrai a atenção e desperta à curiosidade das pessoas, independente de possuírem ou não conhecimentos científicos. Esse caráter investigativo que desperta a curiosidade das pessoas, remete a Astronomia como uma importante ferramenta na motivação dos alunos no estudo das disciplinas de Ciências, Física e Biologia.

O estudo do universo e dos astros abriu as fronteiras do mundo da ciência para os seres humanos. Ainda na pré-história, as civilizações primitivas perceberam a existência de mecanismos e ciclos específicos que se refletiam em suas atividades diárias e eram marcados pela posição das estrelas. A posição de determinados agrupamentos de estrelas ao longo do tempo parecia indicar os melhores períodos para plantio e colheita o que garantia a sobrevivência dos primeiros agricultores, dezenas de milhares de anos atrás.

A Astronomia está presente em praticamente todos os ramos do conhecimento científico. Porém, com a divisão do saber em disciplinas ministradas distintamente nas escolas, as noções astronômicas foram dissolvidas, gerando um decréscimo na sua importância para o ensino.

Esses efeitos são evidenciados, quando identificamos que as noções básicas sobre o Sistema Solar são repassadas nas aulas de geografia, o estudo das leis e dos movimentos dos planetas estão na ementa da disciplina física já no ensino médio. Com essa diluição, perde o ensino da Astronomia, perde o aluno e também perde o próprio professor, que se vê sem uma poderosa ferramenta de ensino aprendizagem.

Como relatam os autores Langhi e Nardi (2005) [3]

O docente não preparado para o ensino de Astronomia durante a sua formação promove o seu trabalho educacional com as crianças sobre um suporte instável, onde essa base pode vir das mais variadas fontes, desde a mídia sensacionalista até livros didáticos com erros conceituais, proporcionando uma propagação destas concepções alternativas (Langhi e Nardi, 2005, p.5) [3].

Buscando encontrar soluções para a compreensão dos conceitos e abordagem da Astronomia, o objetivo deste trabalho foi identificar juntos aos alunos do 6º e 9º ano as suas análises e dificuldades quanto a esse conhecimento, Astronomia.

1.1 O ensino de astronomia na e. M. E. F Antônio de oliveira gordo, moju/pa

O ensino de Ciências, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (1998) [4] deve nos mostrar a Ciência como um conhecimento que colabora para a compreensão do mundo e suas transformações, para a compreensão do homem como parte do universo e como indivíduo é a meta que se propõe para o ensino da área na escola fundamental.

Gonzalez et al. (2004) [5] correlaciona os frutos positivos na educação com métodos que despertem no discente o encantamento pelo aprender, onde o aluno faça parte do processo de ensino e não apenas um mero expectador de sua vida acadêmica, para isso se faz necessário que o docente lance mãos de formas inovadoras para o ato de ensinar, formas que impliquem de fato um ensino motivacional, uma vez que o discente aguça sua engenhosidade o professor fatalmente colherá resultados expressivos.

A Escola Municipal de Ensino Fundamental Antônio de Oliveira Gordo dispõe da disciplina Ciências Físicas e Biológicas (C.F.B), com carga horária anual de 80 horas, para o 6º ano do fundamental anos finais e em seu plano de ensino consta para o primeiro bimestre letivo a temática Astronomia particionada nos assuntos: Astros luminosos e astros iluminados, conhecendo os astros, sistema solar, o sol e os planetas dos sistema solar, movimento da Terra, eclipse da lua e eclipse do sol.

Já no 9º ano, a disciplina C.F.B apresenta uma configuração de introdução ao ensino médio nas disciplinas Química e Física e possui uma carga anual de 120 horas, constando em sua ementa para o 3º bimestre os assuntos relacionados à Física divididos em: Estudos dos movimentos, velocidade média, velocidade instantânea, movimento com velocidade variada, aceleração média e tipos de movimentos.

Percebe-se nas ementas uma ligação ao estudo de Astronomia iniciado no 6º ano, contudo, verificou-se com esta pesquisa uma quebra no elo da Astronomia trabalhada no 6º

ano com a física ministrada no 9º ano, dando a ideia de Astronomia física serem disciplinas antagônicas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizou-se na Escola Municipal de Ensino Fundamental Antônio de Oliveira Gordo, localizada na Av. das Palmeiras, Centro, Moju, Estado do Pará. Após a realização de uma visita ao local de estudo com intenção de solicitar as autorizações necessárias para o andamento da pesquisa, foi aplicado um questionário com a intenção de avaliar o conhecimento prévio dos alunos em relação ao estudo de Astronomia, contendo 4 (quatro) perguntas semiestruturadas para 30 alunos do 6º ano em uma faixa etária compreendida entre 11 a 13 anos e 30 alunos do 9º ano na faixa etária de 14 a 15 anos do ensino fundamental anos finais. Para a coleta de dados, aplicou-se o Termo de Assentimento Livre e Esclarecimento (TCLE) com os envolvidos na pesquisa.

Para corroborar foi realizado uma avaliação dos materiais didáticos disponíveis, bem como da prática docente em sala de aula. Os dados coletados por meio dos questionários foram analisados por meio de estatística descritiva e apresentados neste artigo em forma de gráficos com a intenção de auxiliar pesquisas no ensino de Astronomia.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2 Pesquisa com os alunos do 6º ano

Os resultados serão apresentados de 5 (cinco) questões aplicadas aos alunos do 6º ano, de caráter objetivo, a saber: 1) Você estudou sobre Astronomia? 2) Você gostou de estudar Astronomia? 3) Seu professor(a) lhe incentiva a realizar alguma pesquisa sobre Astronomia? 4) O que mais chamou sua atenção ao estudar Astronomia? 5) Na sua opinião o que o professor poderia fazer para melhorar a aula?

No que tange a questão 1, pode-se observar que 97% dos alunos entrevistados estudaram o tema de Astronomia e apenas 3% não recordam de ter estudado em algum momento na escola sobre Astronomia. Diante disso, percebe-se que a maioria dos alunos possuem conhecimento sobre o assunto supracitado.

No que se refere a questão 2, percebe-se que 54% dos alunos entrevistados relataram que gostam de estudar Astronomia e 43% deles relataram que gostam de estudar em parte. A Figura 1 apresenta os resultados da questão que trata se alunos gostam de estudar Astronomia.

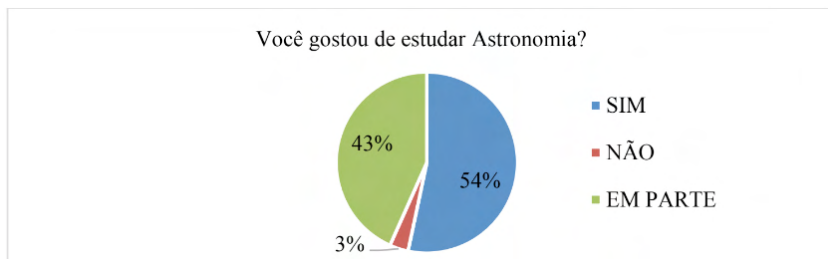


Figura 1: Apresentação dos dados sobre os alunos que gostam de estudar Astronomia.

Diante dos resultados obtidos, pode-se evidenciar que a maioria dos alunos que estão no 6º ano já possuem conhecimentos e que gostam do tema, mesmo não tendo aulas prática para demonstração e que apenas 3% não gostam de estudar sobre Astronomia.

Na questão em que faz a indagação aos alunos se são incentivados sobre pesquisa em Astronomia, 67% dos entrevistados relataram que são incentivados pelos professores e 33% não são incentivados sobre a pesquisa em Astronomia.

A Figura 2 apresenta o percentual de alunos que recebem incentivos para pesquisa sobre Astronomia.

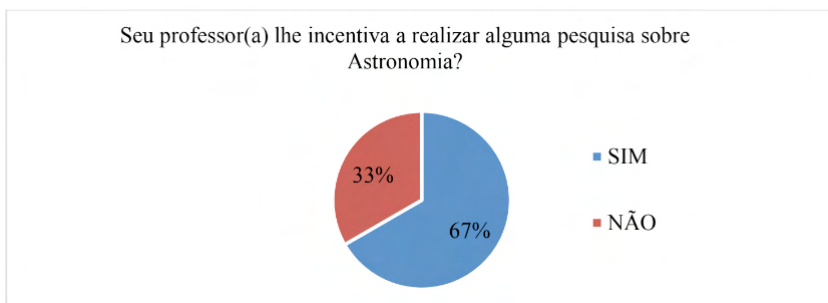


Figura 2: Percentual de alunos que recebem incentivos para pesquisas sobre Astronomia.

Diante disso, percebe-se que os alunos precisam ser incentivados, a partir do sexto ano, a pesquisar sobre Astronomia, apresentando aulas prática, vídeos e também momentos de interação com as universidades para ministrarem palestras sobre Astronomia. Consequentemente, a Universidade mais próxima da escola poderá apresentar ideias que desperte o interesse dos alunos por determinados temas que às vezes acham pouco relevantes.

A Figura 3 apresenta o tema que chama mais atenção ao estudar Astronomia pelos alunos.

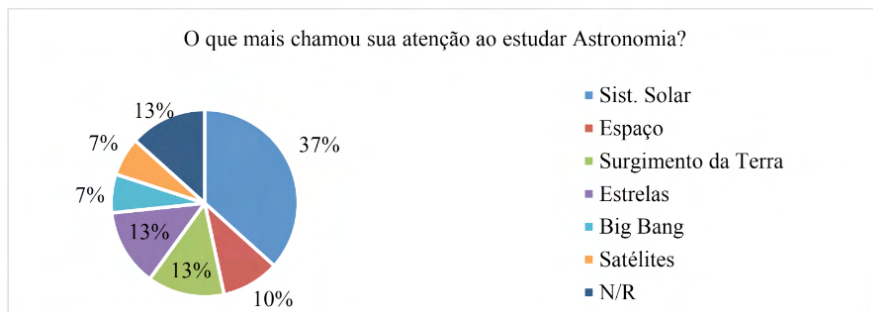


Figura 3: Percentual dos alunos interessados no tema de Astronomia.

Na Figura 3 fornece um resultado diversificado, tais como 37% tem mais interesse no tema sistema solar, 13% no surgimento da terra, 10% sobre o tema espaço, 7% para o Big Bang e satélites e sem resposta foram 13% dos entrevistados. Diante disso, percebe-se que 87% dos entrevistados tiveram uma motivação no tema de Astronomia e acredita-se que a melhor contribuição seria incentivar os alunos a participarem de eventos de Astronomia [6] e de olimpíadas de Astronomia. A Figura 4 apresenta o percentual de sugestões que poderiam melhorar as aulas.



Figura 4: Percentual de sugestões para melhoras as aulas.

Na Figura 4 mostra um resultado ainda mais diversificado, com quatro das respostas nos chamaram mais atenção, foram elas: Liberar mais cedo ou menos aulas (LMCMA) com um total de 33% dos entrevistados; explicar melhor os assuntos (EMA) com 23% dos alunos e tornar as aulas mais divertidas com vídeos (AMDCV) obtendo um resultado de 27% e sem repostas foi 17%.

Fazendo uma análise dos resultados obtidos nas Figuras 1 a 4, observou-se certa contrariedade nas respostas dadas pelos alunos, principalmente nas Figuras 3 e 4.

No princípio das entrevistas com os alunos, percebeu-se que 97% já tinham estudado sobre o tema de Astronomia e 67% dos entrevistados foram estimulados pelo professor, fato este representado na Figura 3 que indica uma variedade de temas abordados e que são de interesse dos alunos, dentre eles, destaca-se “O Sistema Solar” com 37% dos

entrevistados. Porém, um resultado preocupante indica que cerca de 30% responderam que para melhorar a aula, o professor deveria lecionar menos aulas ou liberar os alunos mais cedo.

Pode-se perceber um reflexo das metodologias utilizadas em sala, pois indica que 27% gostariam de ter uma aula mais atrativa e dinâmica com a utilização de computadores, *datashow*, vídeos e até mesmo com o lúdico se fazendo presente nas aulas.

3.3 Pesquisa com os alunos do 9º ano

Os resultados apresentados serão de 5 (cinco) questões aplicadas aos alunos do 9º ano, de caráter objetivo, a saber: 1) Você estudou sobre Astronomia? 2) Você gostou de estudar Astronomia? 3) Seu professor(a) lhe incentiva a realizar alguma pesquisa sobre Astronomia? 4) O que mais chamou sua atenção ao estudar Astronomia? 5) Na sua opinião o que o professor poderia fazer para melhorar a aula?

Para fazer uma análise mais próxima possível da realidade do ensino de Astronomia em séries/anos diferentes, repetiu-se as mesmas cinco perguntas aplicadas aos alunos do 6º ano.

No entanto, percebeu-se que 63% dos alunos entrevistados responderam que não estudaram Astronomia e 37% não estudaram Astronomia. No que tange a pergunta 2, as respostas apresentaram um resultado preocupante apontando que 43% dos alunos entrevistados não gostaram de estudar Astronomia, 30% gostaram em parte, 20% apenas gostaram da disciplina e que 7% não responderam.

No que concerne a pergunta sobre, o seu professor(a) lhe incentiva a realizar alguma pesquisa sobre Astronomia, observou-se que 90% dos entrevistados afirmaram que não são incentivados pelo professor a realização de pesquisas e quanto a pergunta que trata quando sobre o que mais chamou sua atenção ao estudar Astronomia, notou-se que o total de alunos entrevistados 34% tiveram sua atenção para o sistema solar, apenas 3% para o espaço, 23% não tiveram interesse em nenhum assunto abordado, 7% foram atraídos pelas vidas em outros planetas (VEOP) e 33% sem resposta (SR). Quando questionados sobre o que o professor poderia fazer para melhorar a aula, observou-se que 44% dos entrevistados disseram que para melhorar a aula, o professor deveria explicar melhor o conteúdo, 10% gostariam que tivessem aulas mais divertidas, por exemplo com vídeos (AMDCV), 3% indicaram que o uso do celular poderia ter um resultado melhor, 3% indicaram que para melhorar o professor deveria ajudar os alunos que têm mais dificuldades de aprendizagem no conteúdo (AACMD) e 40% não responderam.

Fazendo uma análise da pesquisa realizada com os alunos do 9º ano do ensino fundamental, percebe-se que os alunos não conseguem identificar que a Astronomia está presente nos conteúdos quando 63% informam não terem estudado a disciplina.

Portanto, constatou-se que 73% não gostam ou gostam em parte de estudar sobre Astronomia, um número elevado que talvez possa ser explicado pelo fato que 90% dos

alunos não são estimulados pelo professor a realizar pesquisas e esta falta de incentivo por parte dos professores está produzindo um desgosto pela ciência astronômica, o que poderia ter como ponto de resolução da problemática uma maior interação entre universidade e escola com cursos de aprimoramento.

4 | CONCLUSÃO

A pesquisa realizada na E.M.E.F Antônio de Oliveira Gordo, nos remete a uma reflexão em nossa prática docente sobre o modo de pesquisar, ensinar e incentivar nossos alunos. Os dados aqui apresentados nos mostram claramente a falta de uma compreensão da importância do estudo astronômico como uma ferramenta poderosa no processo de ensino e aprendizagem.

Constatou-se que, mesmo com todo o aparato tecnológico que está a sua disposição, muitos alunos não conseguem identificar, o que é e qual a importância de Astronomia na vida da sociedade, chegando ao inimaginável disparate que alguns alunos recomendaram que para melhorar a temática Astronomia, bastava o docente lecionar uma quantidade menor de aulas ou liberá-los mais cedo, isso pode ser reflexo da metodologia nada atrativa utilizada, fazendo com que os discentes desenvolvam um desinteresse coletivo.

Atestou-se assustadoramente que 44% dos entrevistados identificaram no docente a falta de uma forma de ensino mais acessível, por isso a importância de dispormos de professores cada vez mais preparados e atualizados em constantes formações, é notória que os discentes necessitam serem estimulados para o estudo de astronomia, somando os 44% que indicaram que o docente deve explicar melhor com os 40% que não responderam, por talvez não conseguirem identificar a necessidade do entendimento acerca da temática, chegamos ao espantoso valor de 84% que ratifica uma mudança imediata na forma metodológica a ser utilizada pelos docentes.

Alunos desestimulados, professores com falta ou não uso de equipamentos tecnológicos, falta de incentivo à pesquisa, estão dentre as problemáticas identificadas no ensino de Astronomia na Escola pesquisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, ao MNPEF, à PROPIT/UNIFESSPA pelo apoio nas pesquisas e à Atena Editora por apoiar, incentivar e divulgar a ciência pelo Brasil.

REFERÊNCIAS

1. Simões CC. Elementos de astronomia nos livros didáticos de física [dissertação]. Belo Horizonte (MG): Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais; 2008. 144p.
2. Mourão RRF. Da terra às galáxias: uma introdução à astrofísica. Rio de Janeiro: Editora Vozes; 1997. 403p.

3. Langhi R, Nardi R. Dificuldades Interpretadas nos Discursos de Professores dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental em Relação ao Ensino da Astronomia. *Rev Latino-Americana Ed Astron.* 2005;(2):75-92.
4. Brasil. Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília: MEC/SEF. 1998. 174 p. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/introducao.pdf>>. Acessado em 04 de janeiro de 2022.
5. Gonzalez EAM, Nader RV, Mello AB, Pinto SS, Pereira DNE, Souza E, Campos JSA. Astronomia como ferramenta motivadora no ensino das ciências. In: Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. 2004(2):1-7. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/congrext/Educa/Educa5.pdf>>. Acessado em 04 janeiro 2022.
6. Nogueira S, Canalle JBG. Astronomia: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009; (11) 232 p. (Coleção Explorando o ensino). Disponível em<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=4232colecacaoexplorandoensino-vol11&category_slug=marco-2010-pdf&Itemid=30192>. Acessado em 04 de janeiro de 2022.

GAME DE TABULEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 07/11/2021

Eduardo Toniolo Campos

São Caetano do Sul/SP

<http://lattes.cnpq.br/7527877505343038>

Marcelo Augusto Leigui de Oliveira

UFABC – Universidade Federal do ABC

Santo André/SP

<http://lattes.cnpq.br/0794170311040612>

RESUMO: Nesse trabalho os autores apresentam conceitos básicos de física nuclear, trabalhando-os de forma integrada através de um jogo de tabuleiro no estilo Super Ludo. O jogo é parte de um programa de mestrado, o MNPEF, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, e também integra uma sequência didática onde conceitos mais básicos de física nuclear são inseridos. O jogo tem como objetivo simular um acidente nuclear em uma usina onde um dos reatores entrou em colapso. Os alunos devem resolver o colapso alcançando o reator defeituoso. Para isso precisam enfrentar os infinitos elementos radioativos ao longo do tabuleiro.

PALAVRAS CHAVE: Física nuclear, aprendizagem baseada em jogos, ensino de física.

BOARD GAME TO TEACH NUCLEAR PHYSICS

ABSTRACT: The authors present basic concepts

of nuclear physics in this work. The concepts are worked in an integrated way through a board game in the Super Ludo style. The game is part of a master's program, the MNPEF, a National Professional Master's Degree in Physics Teach, and also integrates a didactic sequence where more basic concepts of nuclear physics are inserted. The game simulates a nuclear accident at a power plant where one of the reactors has collapsed. Students must resolve the breakdown by reaching the faulty reactor. They need to face the infinite radioactive elements along the board.

KEYWORDS: Nuclear physics, game-based learning, physics teaching.

INTRODUÇÃO

A modernização da educação contemporânea indica uma necessidade de adequação dos conteúdos. É necessário que haja uma escolha por assuntos que provoquem engajamento e interesse por parte dos alunos, além de promover uma aproximação entre os conceitos ensinados e o cotidiano do jovem estudante, tão inserido em um mundo tecnológico com demandas específicas. O ensino de física não foge a essa realidade.

Tendo isso em vista, esse trabalho tem como proposta inserir tópicos de física nuclear no ensino médio, alinhado com a nova BNCC que estipula a introdução de assuntos de física moderna na educação básica, onde podemos usar como exemplo a habilidade (EM13CNT103):

Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica. Brasil, BNCC (2018)

Temas como lei do decaimento radioativo, dose absorvida e dose equivalente são trabalhados de forma integrada no decorrer do game. A física nuclear é um tema de extrema importância. Sua relevância se dá em face de sua utilização, ou de seus conceitos, em diversas tecnologias da vida moderna. A física nuclear está presente nos diagnósticos de imagens, em controle de pragas, em técnicas de conservação de alimentos e na obtenção de fontes de energia mais eficientes. Alguns elementos radioativos podem ser encontrados em alimentos comuns do dia a dia, como bananas e leite. Os alunos do ensino médio precisam conhecer com maior profundidade os conceitos da física nuclear, com o fim de quebrar paradigmas e preconceitos que a relacionam somente com perigo, acidentes e bombas atômicas.

O JOGO

O game batizado por Chernothrill pode ser aplicado de forma presencial, ou então por meio de plataformas de sala de aula virtual. O professor deverá dividir a turma em grupos de três a quatro alunos para que as tarefas sejam divididas e a dinâmica do game possa fluir facilmente. O professor deverá preparar os kits de games de acordo com o tamanho de sua turma e sua necessidade. Serão necessários para o jogo a impressão de um tabuleiro, peças que representem os jogadores (facilmente encontrados em casas especializadas em games ou pela internet), um dado de 6 lados e a impressão do diário de bordo dos jogadores.

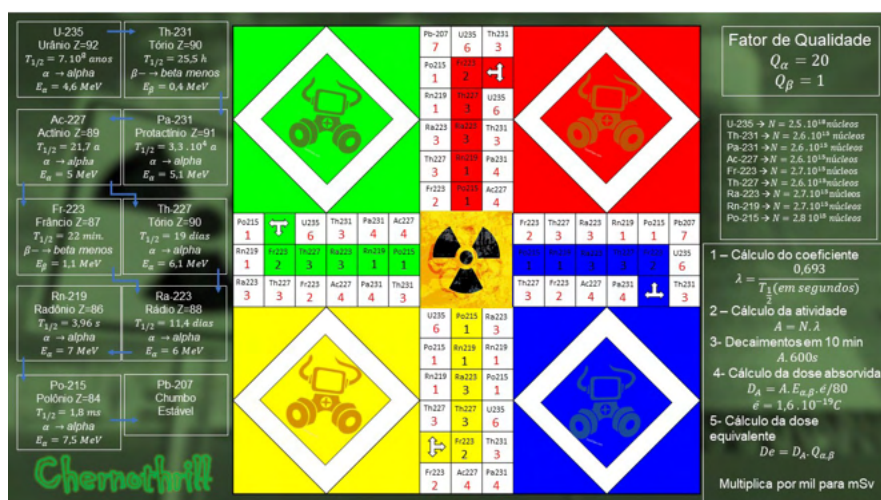


Figura 1 – Tabuleiro do game Chernothrill – Figura do autor.

Os jogadores farão o papel de um operário de uma usina nuclear que acabou de sofrer um acidente em um de seus reatores, espalhando uma série de radionuclídeos pela usina. O tabuleiro do Chernothrill foi baseado no tabuleiro do jogo Mega Ludo, porém, em cada uma de suas casas encontramos representado um elemento radioativo, oriundo da cadeia sequencial de decaimentos radioativos da série do isótopo U-235, utilizado em usinas nucleares. Ao passarem pelas casas, os jogadores devem calcular a dose equivalente sofrida, resultado da exposição de 10 minutos ao elemento encontrado, podendo ou não absorver aquela radiação. O objetivo do jogo é chegar o mais rápido possível ao reator sofrendo a menor dose equivalente possível igualmente.

Uma vez divididos os grupos, cada turma deverá escolher sua cor e sua peça correspondente, assim como ter em mãos o diário de bordo e uma calculadora. Todos os grupos devem se posicionar na casa inicial. A ordem de jogada deve ser feita também por meio de sorteio. O grupo que inicia o game deve jogar o dado e percorrer as casas correspondentes. A peça cairá em uma determinada casa que conterá um elemento radioativo. Se o número obtido no lançamento do dado for menor do que o número probabilístico, posicionado logo abaixo do elemento, significa então que aquele elemento não decaiu enquanto os jogadores estavam em contato com ele, e, portanto, nessa rodada esse grupo não sofre nenhuma dose.

	Fr223 2	Th227 3	Ra223 3	Rn219 1
	Po213 1	Rn219 1	Ra223 3	Th227 3
	Th227 3	Fr223 2	Ac227 4	Pa231 4
1	Ra223 3			

Figura 2 – Indicação do número probabilístico baseado no tempo de meia vida do elemento. Figura do autor.

Mas se porventura o número obtido no lançamento do dado for maior do que o número probabilístico do elemento representado na casa do tabuleiro em questão, então nesse caso, o grupo deve calcular a dose equivalente sofrida na exposição de 10 minutos à radiação do referido elemento. Para simular a característica probabilística dos decaimentos, os elementos com tempo de meia vida mais altos possuem números probabilísticos mais altos, assim como os elementos com tempo de meia vida mais baixos possuem os números probabilísticos mais baixos sucessivamente.

OS CÁLCULOS

O primeiro cálculo é o do coeficiente de desintegração radioativa (λ), onde os alunos devem encontrar o tempo de meia vida do elemento correspondente à casa do tabuleiro em que caíram no canto esquerdo do tabuleiro conforme mostra a figura 3, convertendo sua unidade para segundos, e aplicando-o à fórmula:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}.$$

U-235 Urânio Z=92 $T_{1/2} = 7.10^8 \text{ anos}$ $\alpha \rightarrow \text{alpha}$ $E_{\alpha} = 4,6 \text{ MeV}$	Th-231 Tório Z=90 $T_{1/2} = 25,5 \text{ h}$ $\beta- \rightarrow \text{beta menos}$ $E_{\beta} = 0,4 \text{ MeV}$
Ac-227 Actínio Z=89 $T_{1/2} = 21,7 \text{ a}$ $\alpha \rightarrow \text{alpha}$ $E_{\alpha} = 5 \text{ MeV}$	Pa-231 Protactínio Z=91 $T_{1/2} = 3,3 . 10^4 \text{ a}$ $\alpha \rightarrow \text{alpha}$ $E_{\alpha} = 5,1 \text{ MeV}$
Fr-223 Frâncio Z=87	Th-227 Tório Z=90

Fig. 3 – Tempo de meia vida dos elementos encontrados no tabuleiro. Figura do autor.

O segundo cálculo é o da atividade radioativa, que vamos considerar constante nos 10 minutos de exposição para não aumentar demasiadamente a complexidade dos cálculos, tornando o game pouco dinâmico. Os alunos devem buscar a quantidade partículas encontradas na amostra na tabela encontrada no canto direito superior do tabuleiro conforme mostra a figura 4, multiplicando-o pelo valor do coeficiente previamente calculado, por meio da expressão:

$$R = N. \lambda.$$

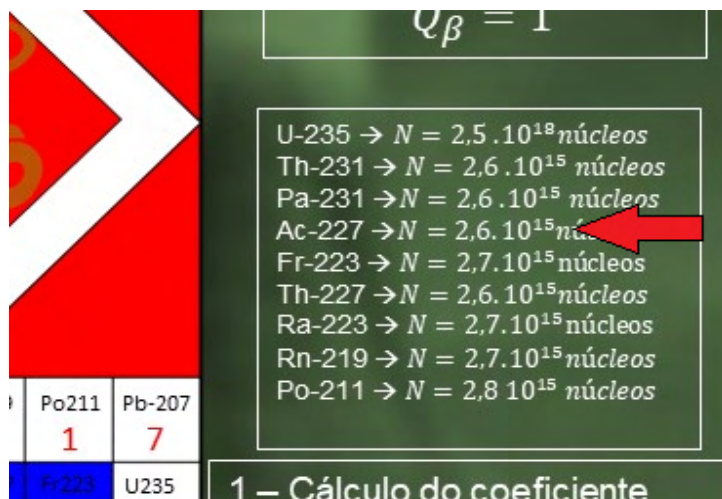


Fig. 4 – Tabela com a quantidade de nuclídeos de cada elemento encontrado no tabuleiro. Figura do autor.

No terceiro cálculo, o valor de atividade instantânea encontrado deve ser multiplicado por 600, representando os 10 minutos de exposição, equivalentes a 600 segundos.

No quarto cálculo, os alunos devem calcular a dose absorvida, multiplicando o último valor encontrado pela energia de decaimento do elemento, encontrada também no canto esquerdo do tabuleiro conforme mostra a figura 5, assim como pelo valor de carga fundamental do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C), para que a unidade de medida do valor final possa ser em joules por quilograma, finalmente dividindo por 80 kg, número esse que representa a massa média dos operários da usina. O valor final pode ser obtido pela expressão:

$$D_{TR} = \frac{N \cdot E_{\alpha,\beta} \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{80}.$$

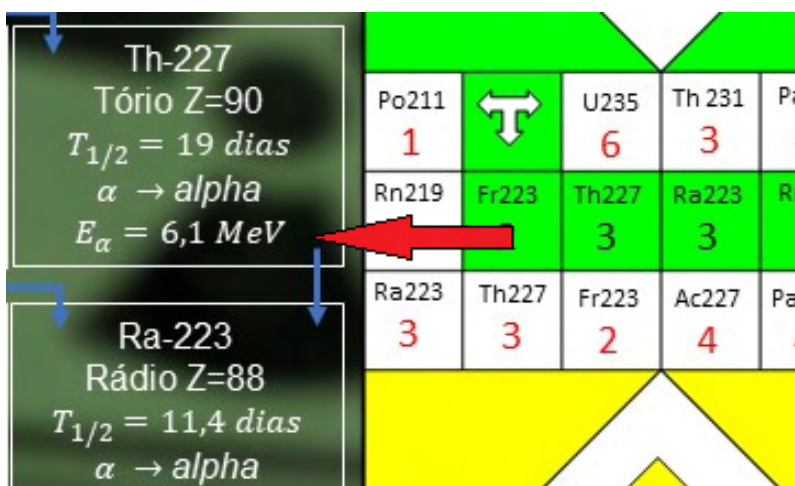


Fig. 5 – Valor de energia de decaimento de cada elemento do tabuleiro. Figura do autor.

No quinto e último cálculo os alunos devem encontrar a dose equivalente multiplicando a dose absorvida pelo fator de ponderação (D_{TR}), encontrado no canto superior direito do tabuleiro conforme mostra a figura 6, onde temos o valor 1 para decaimentos beta, e o valor 20 para decaimentos alfa. Multiplicando o valor final por mil obtemos a dose equivalente em mili sivierts (mSv), utilizando a expressão:

$$H_T = W_R \cdot D_{TR} \cdot 1000 \text{ (mSv)}.$$

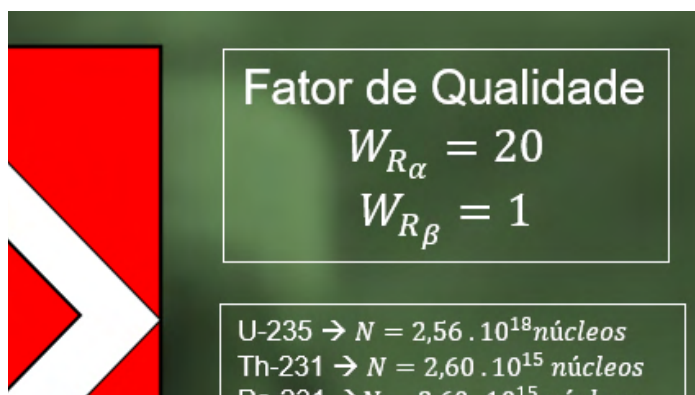


Fig. 6 – Canto superior direito do tabuleiro onde estão os valores de fator de qualidade dos decaimentos alfa e beta. Figura do autor

Os alunos devem apresentar o valor final de dose equivalente encontrados em cada rodada ao professor, esse por sua vez deve conferir o valor das respostas. Caso os alunos acertem o cálculo, a dose equivalente não é computada, porém, se os alunos errarem o valor final a dose equivalente é computada e entra para o cálculo de dose total.

Todos os cálculos devem ser registrados no diário de bordo, assim como os resultados finais de cada rodada, para que possa ser realizada a contagem final de dose equivalente de cada grupo conforme mostram as figuras 7 e 8.

Jogada 1- ELEMENTO RADIOATIVO: _____	
Cálculo de coeficiente de desintegração: $\lambda = \frac{0,693}{\quad} =$	s^{-1}
Cálculo da atividade radioativa: $R = \quad \cdot \quad \cdot 600 =$	
Cálculo da dose equivalente:	
$H_t = \left(\frac{\quad \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{80} \right) \cdot 1000 =$	mSv

Fig. 7 – Representação de uma rodada no diário de bordo dos grupos. Figura do autor.

Jogada 1	Jogada 2	Jogada 3	Jogada 4	Jogada 5	Jogada 6
mSv	mSv	mSv	mSv	mSv	mSv
Jogada 7	Jogada 8	Jogada 9	Jogada 10	Total	
mSv	mSv	mSv	mSv	mSv	

Fig. 8 – Representação dos cálculos finais no diário de bordo dos grupos. Figura do autor.

FIM DO GAME

Ao término do tempo estipulado no início do game devem ser consideradas as seguintes condições:

1 – Caso algum grupo atinja o reator antes do término não tendo errado nenhum cálculo, esse é considerado vencedor e o jogo se encerra.

2 – Caso o tempo tenha efetivamente acabado e alguns grupos tenham chegado ao reator, porém, tendo errado alguns cálculos pelo caminho, ganha o que tiver sofrido menor dose.

3 – Caso o tempo tenha efetivamente acabado e nenhum grupo tenha chegado ao reator, ganha aquele que tiver sofrido a menor dose.

4 – Caso o tempo tenha efetivamente acabado, nenhum grupo tenha chegado ao reator, e nenhum grupo tenha errado algum cálculo, ou seja, todos estão sem dose equivalente, nesse caso ganha o que estiver mais próximo ao reator.

METODOLOGIA

O game Chernothrill foi aplicado pelos próprios autores para uma turma do terceiro ano do ensino médio, com 8 alunos regularmente matriculados, em uma escola privada denominada “Colégio Primo Tapia”, situado na região sudeste da cidade de São Paulo. O produto foi aplicado de forma remota, em virtude da pandemia do COVID-19, por meio da plataforma de vídeo web conferência “Zoom Meetings”, adotado oficialmente pela escola para a realização das aulas virtuais, no decorrer do afastamento social imposto pela pandemia do COVID-19. Os alunos foram divididos em 4 duplas tendo jogado de forma remota com o auxílio de plataformas de dado digital e lousas digitais interativas. Foi estipulado um tempo de 40 minutos para a duração total do game onde cada grupo conseguiu efetuar de 3 a 4 rodadas cada. Como cada rodada demanda 4 cálculos diferentes, cada turma efetuou entre 13 e 16 cálculos. Nos instantes iniciais do encontro o professor aplicador retomou de forma expositiva as principais regras do game, assim como realizou uma jogada teste, com o fim de explicar a dinâmica do jogo e exemplificar os cálculos pretendidos. Posteriormente o professor orientou os alunos e conferiu os cálculos finais utilizando um gabarito previamente preparado.

RESULTADOS

O grupo 1 realizou 4 jogadas com 4 cálculos parciais corretos, porém nenhum cálculo final correto. O grupo 2 realizou 3 jogadas com 3 cálculos parciais corretos e 1 cálculo final igualmente correto. O grupo 3 realizou 3 jogadas com 6 cálculos parciais corretos e 1 cálculo final igualmente correto. O grupo 4 realizou 3 jogadas com 7 cálculos parciais corretos e 1 cálculo final igualmente correto, conforme mostra a figura 53. O game foi encerrado pelo tempo de 40 minutos e o grupo 4 foi o vencedor por ter acertado mais cálculos, além de ter se aproximado mais do reator.

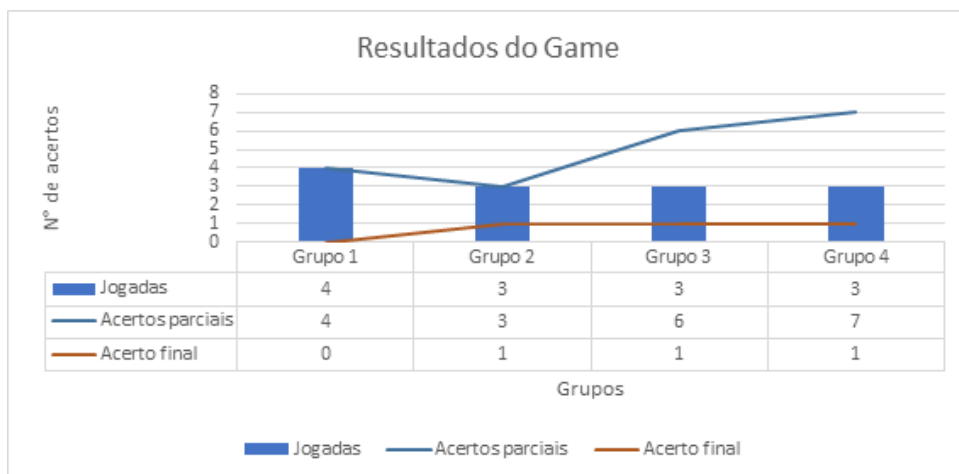


Fig. 9 – Gráfico jogadas x acertos da aplicação do game. Figura do autor.

Os principais motivos dos erros nos cálculos foram:

- Falta de domínio com notação científica
- Cálculo incompleto ou erro de cálculo final
- Não perceber que a amostra decaiu por completo, em virtude de a atividade radioativa da amostra ser muito grande (os alunos acabaram lançando no cálculo uma quantidade de partículas maior que a amostra)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do game defendido em uma dissertação de mestrado (Campos, 2021) nos mostrou que a inserção de conteúdos da física contemporânea na educação básica é possível e viável. Ainda que tivéssemos que contar com a indisposição emocional dos alunos, visto o momento crítico em que aplicação desse produto estava inserido, em virtude da pandemia do Covid-19, mesmo assim houve um considerável engajamento por parte dos participantes. O interesse dos alunos por algo que desperta curiosidade, como é o caso da física nuclear, foi nitidamente percebido durante a atividade, ainda que

permeada por cálculos matemáticos. A mecanização da aprendizagem baseada por game também foi responsável pelo alto nível de engajamento e participação, visto que os alunos movidos pela simples recompensa da vitória buscaram as estratégias para a resolução dos problemas, tanto no tocante aos dados dos cálculos, quanto à organização do grupo de forma colaborativa. É possível obter maiores informações sobre o game assim como fazer download dos formulários e do tabuleiro no site do produto educacional através do link <https://sites.google.com/view/uepsfisicanuclear>.

REFERÊNCIAS

Brasil, *BNCC - Base nacional comum curricular: ensino médio*, Brasília: MEC/Secretaria de educação básica, 2018.

Campos, E.T. - *UEPS para o ensino de física nuclear no ensino médio*, Santo André: UFABC, 2021.

R. A. Serway e J. Jonh W. Jewett, *Princípios de Física - volume 4*, São Paulo: Thomson Learning, 2007.

K. Chung, *Introdução à física nuclear*, Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.

E. Okuno e E. Yoshimura, *Física das radiações*, São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LA INGENIERÍA INVERSA Y EL ABP COMO MEDIOS AUXILIARES PARA EL ESTUDIO Y EL APRENDIZAJE DE LA METROLOGÍA Y LA GENERACIÓN DE DUPLICADOS DE PARTES Y COMPONENTES

Data de aceite: 01/02/2022

Eusebio Jiménez López

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora-
ULSA Noroeste- IIMM

Gabriel Luna-Sandoval

Universidad Estatal de Sonora

Mario Acosta Flores

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Juan José Delfín Vázquez

Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

Lilia Zulema Gaytán Martínez

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora

Baldomero Lucero Velázquez

Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

Luis Andrés García Velásquez

Universidad La Salle Noroeste

RESUMEN: En este trabajo se presentan algunas consideraciones sobre la enseñanza de la Metrología Dimensional de partes y componentes tomando como eje los programas y procedimientos de la Ingeniería Inversa. La calidad de los diseños, rediseños y duplicados de productos está en función de la calidad con que se genera, procesa y utiliza la información geométrica, dimensional y de materiales. Por tal motivo, los alumnos de ingeniería deben conocer y manejar la trayectoria de la información de los productos que se genera por diversas herramientas y métodos, como es el caso de

la Ingeniería Inversa. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) resulta ser una metodología activa que se puede usar para los aprendizajes de la ingeniería, en especial para conocer y aplicar conocimientos de la Ingeniería Inversa dentro del campo de la Metrología Dimensional, debido a que promueve el trabajo en equipo, el autoaprendizaje y la solución de problemas.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje, proyectos, metrología.

ABSTRACT: In this paper some considerations on the teaching of Dimensional Metrology of parts and components are presented, taking as an axis the programs and procedures of Reverse Engineering. The quality of product designs, redesigns, and duplicates is a function of the quality with which geometric, dimensional, and material information is generated, processed, and used. For this reason, engineering students must know and handle the trajectory of product information that is generated by various tools and methods, such as Reverse Engineering. Project Based Learning (PBL) turns out to be an active methodology that can be used for engineering learning, especially to know and apply knowledge of Reverse Engineering within the field of Dimensional Metrology, because it promotes work in team, self-study and problem solving.

KEYWORDS: Learning, projects, metrology.

1 | INTRODUCCIÓN

La enseñanza tradicional de la Metrología en general parte del uso de herramientas de medición tomando en consideración los

conceptos y las definiciones descritos en los libros de texto. Gran parte de su enseñanza se basa en las prácticas del buen medir y no en el proceso global en el que están inmersas las operaciones de medir. Esto hace que los alumnos desconozcan las trayectorias que recorre la información geométrica, dimensional y de manufactura y la importancia que tiene esta información en el diseño, rediseño y en los duplicados de partes, piezas, componentes y máquinas. Del mismo modo, la enseñanza de la Metrología ha seguido los pasos de un proceso centrado en el profesor, por lo que se promueve más su enseñanza que su aprendizaje activo. Debido a que durante décadas la Educación Basada en Competencias (EBC) se ha establecido en Latinoamérica como un enfoque moderno que promueve aquellas estrategias didácticas centradas en el alumno, se han establecido las metodologías activas como un medio auxiliar para impulsar los aprendizajes en los alumnos de ingeniería.

Para poder potenciar la enseñanza de la Metrología es necesario proponer nuevos métodos de estudio que permitan el análisis de las trayectorias de la información, como es el caso la Ingeniería Inversa (Jiménez et al. 2019) y acoplar metodologías activas (Isabel et al. 2018) como por ejemplo el Aprendizaje Basado en Proyectos (Alamri, 2021). Esta unión de métodos permitiría, por un lado, que los alumnos puedan conocer todo el contexto de la información que se extrae y se aplica de componentes físicos o virtuales (Planos de Fabricación) y no solo el uso de las herramientas de medición y, por otro lado, el APB promovería que los alumnos tomen los aprendizajes por sí mismos y que el profesor sea un facilitador y no el centro del conocimiento. De esta forma se lograría formar un ingeniero competente que pueda asimilar conocimientos (saber) y aplicarlos (saber hacer) mediante el trabajo en equipo (ser).

La Ingeniería Inversa se ha usado como método para motivar la enseñanza de la Metrología (Pinto, Ahrens y Schroeter, 2018), (Radharamanan 2004) y (Edinbarough 2020) y el diseño (Wood, Jensen, Bezdek y Otto, 2001). Sin embargo, los trabajos no presentan una sistematización que permita conocer la trayectoria de la información que se genera por medio de las mediciones. Jiménez et al. (2016) presentó una serie de métodos que se usan precisamente para determinar la trayectoria de las mediciones desde un contexto de la Ingeniería Inversa. En este trabajo se presentan una descripción más detallada de dichos métodos y una breve justificación para poder implementar el ABP en la enseñanza de la Metrología.

2 | ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA INVERSA

En este apartado se describen algunas definiciones de la Ingeniería Inversa con el propósito de tener un marco de referencia. En general, no hay una única definición de la Ingeniería Inversa. Para Li et al., (2002) la Ingeniería Inversa es el proceso de medición, análisis y prueba con el cual se crea un modelo digital a partir de un objeto real que es idéntico al original. Para Eilam (2005), la Ingeniería Inversa es el proceso por medio del

cual se destruye una tecnología ya existente para extraer conocimiento de ella. Jiménez et al. (2019) define a la ingeniería inversa como sigue:

“La Ingeniería Inversa es la aplicación sistemática de un proceso analítico-sintético guiado con el que se pretende determinar las características, propiedades y/o funciones de un sistema una máquina o un producto o una parte de un componente o un subsistema. Su objetivo principal es determinar al menos un modelo o característica de un objeto o producto o sistema de referencia cuya información es limitada, incompleta o no existe”.

La definición descrita de la Ingeniería Inversa descrita por Jiménez et al. (2019), permite sistematizar dos tipos de estudios: los analíticos que buscan descomponer el objeto de estudio y los sintéticos que buscan conocerlo. Esto hace posible entonces el diseño de programas y procedimientos con dos enfoques: un conjunto de procedimientos que sean capaces de descomponer analíticamente al producto para conocer sus elementos primitivos y un conjunto de procedimientos relacionados con la síntesis y la guía de la información obtenida.

Por otro lado, existen diversas propuestas de aplicación de la Ingeniería Inversa de partes y componentes. Por ejemplo, Traband, Tillotson y Martin (1996) mencionan que las técnicas de la Ingeniería Inversa pueden utilizarse para crear modelos CAD (Computer Aided Design) de una pieza a partir de los datos detectados adquiridos mediante técnicas de digitalización de posición tridimensional (3-D). En el mismo esquema de la digitalización, Dúbravpík y Kender (2012) describen el clásico proceso de tomar el objeto de referencia, digitalizarlo y pasarlo a un modelo CAD, para posteriormente usar esa información y modelo en aplicaciones de impresión 3D. Jiménez et al. (2013) propone las siguientes fases a seguir en el proceso de la Ingeniería Inversa:

Fase 1: Conocimiento preliminar del objeto de referencia (A).

Fase 2: Diseño de un plan de investigación (P).

Fase 3: Aplicación del plan al objeto de referencia (P(A)).

Fase 4: Síntesis de la información generada por el plan, construir el modelo B y demostrar que B es equivalente a A.

Fase 5: Caracterización del modelo B.

Fase 6: Utilizar B para diversos fines.

La propuesta de fases de La ingeniería Inversa descrita por Jiménez et al. (2013), permite sistematizar en dos grandes procedimientos todo el proceso: 1) Uno general que implica las seis fases y 2) Uno particular: el diseño del plan de investigación. Se puede afirmar que las fases mencionadas anteriormente son generales, es decir, en todo proceso de la Ingeniería Inversa, debido a que no se conoce total o parcialmente el objeto de referencia A (pieza física, sistema, parte o componente de estudio), se requiere extraer la información ya sea manual o por un medio automatizado (por ejemplo, una Máquina de

Medición por Coordenadas), para posteriormente procesarla y representarla, y finalmente darle una aplicación. Sin embargo, la mayor parte de los procesos de la Ingeniería Inversa solo aplican hasta la fase 4), esto es, hasta que demuestran que el modelo B es equivalente al objeto A. Se debe aclarar que el modelo B no necesariamente es digital o información en hojas, este puede ser un producto físico, una pieza impresa o un sistema físico si se trata de una máquina. La caracterización del modelo B después de haberse probado la equivalencia con A es fundamental, ya que, que una vez que B haya cumplido su misión de representar al objeto A según la planeación de la fase 2), este puede ser posteriormente valorado y estudiado con más profundidad debido a que es más valioso que el propio A, para finalmente darle otra utilidad.

La fase 2) debe ser llevada a cabo con sumo cuidado debido a que los programas de investigación que se le van aplicar al objeto de referencia A deben ser cuidadosamente estudiados y seleccionados. Se deben responder las preguntas siguientes: ¿Cuántos programas se requieren? ¿Qué tipo de programas se necesitan? ¿Se cuentan con las herramientas y los instrumentos para los estudios? ¿Qué información se ocupa para decidir cuándo B es equivalente a A? ¿Qué tipo de conocimientos se requieren y con qué personal se cuenta para aplicar el programa de investigación? ¿Cuál es el tiempo de ejecución de los programas? ¿Qué costos se generarán por los estudios?, etc.

3 I PROCEDIMIENTOS DE LA INGENIERÍA INVERSA EN EL ANÁLISIS DIMENSIONAL, GEOMÉTRICO Y DE MATERIALES DE PARTES Y COMPONENTES

La definición y el proceso de la Ingeniería Inversa propuestas por Jiménez et al. (2019), se pueden utilizar para definir las trayectorias de la información geométrica y de manufactura de partes y componentes. El contexto en donde se aplica la Ingeniería Inversa es muy importante, ya que no es lo mismo una necesidad industrial que una académica o una necesidad de investigación. Jiménez et al. (2012) propusieron cinco procedimientos para extraer la información geométrica y dimensional de un objeto de referencia físico. Estos son:

- 1) Del análisis preliminar a la generación de primitivas.
- 2) De la selección de los aparatos de medición al proceso de calibración de los instrumentos.
- 3) Operación de medición.
- 4) Del análisis de los datos a la representación de la información (representación de datos estadísticos).
- 5) Validación de la información.

El primer procedimiento tiene como objetivo estudiar al objeto A de manera general

y contextual (procedencia, estado de la pieza, etc) y realizar un análisis preliminar las geometrías representadas por primitivas. El segundo procedimiento está relacionado con él o los aparatos de medición con los cuales se van a medir las primitivas y sobre todo con la verificación de la calibración del instrumento (describiendo las normas de calibración). El tercer procedimiento está relacionado con la operación de medir, esto es, con la secuencia de acciones que deben realizarse y las repeticiones (de acuerdo con una norma) que deben realizarse entre el instrumento de medición (calibrado) y la pieza (generación de la información dimensional). El cuarto procedimiento se refiere al proceso estadístico de la información obtenida (se procesan los estadísticos más elementales, como las medias o las dispersiones). Finalmente, el quinto procedimiento tiene por objetivo demostrar la validez de la información por medios lógicos o con métodos y estadísticos más especializados.

Los cinco procedimientos descritos anteriormente pueden ser aplicados en términos generales, tanto a procedimientos manuales (uso de vernieres, micrómetros, etc.), como a procedimientos automatizados en donde se usen Scanner o Máquinas de Medición por Coordenadas. Cada procedimiento tiene sus propios pasos y se aplican en forma secuencial. En este sentido la información geométrica (cualitativa) y dimensional (cuantitativa) obtenida al aplicar los procedimientos debe recibir un tratamiento metodológico, de contexto, normativo y estadístico. En el estudio de partes y componentes la Ingeniería Inversa debe de (Delfín et al. 2012):

- Obtener las propiedades geométricas y dimensionales de los componentes y,
- Determinar las propiedades (mecánicas, eléctricas, térmicas, durabilidad, resistencia a la corrosión, entre otras), así como las características micro estructurales de los materiales.

El requerimiento de esta información implica la propuesta de nuevos procedimientos orientados al estudio de los materiales y a la caracterización de los procesos de manufactura del objeto de referencia A:

- 6) Procedimiento para la identificación y caracterización de los materiales.
- 7) Procedimiento para identificación y caracterización de las operaciones de manufactura.

Para el procedimiento 6) se requiere definir qué tipo de propiedades se deben identificar de manera directa o de manera indirecta, esto es, por pruebas de laboratorio o por consulta de manuales. Las pruebas de dureza, la metalografía y la generación de las curvas esfuerzo-deformación son utilizadas generalmente para identificar propiedades mecánicas de los materiales de los que está constituido el objeto de referencia (generalmente son pruebas cualitativas). Delfín et al. (2012), realizaron un estudio mecánico a una pieza didáctica, en donde se obtuvieron: La dureza promedio en Brinell, la gráfica esfuerzo-deformación y el módulo de elasticidad, y una fotografía para hacer análisis metalográfico. El procedimiento 7) se refiere a la identificación de los procesos de manufactura en la pieza

origen, el cual se realiza generalmente de forma cualitativa bajo a la experiencia o bien por métodos de análisis superficiales. Este procedimiento da como resultado los tipos de operaciones de manufactura que se le hicieron a la pieza y las secuencias de operación, entre otra información.

Los cinco procedimientos usados para obtener la información geométrica y dimensional y los dos usados para tener la información de los materiales y procesos de manufactura, representan en general a dos familias generadoras de información en el diseño y la manufactura de partes y componentes. Esta información puede utilizarse para diversos propósitos que definen su trayectoria, por ejemplo, para generar modelos de primitivas de manufactura, planos de fabricación, información que alimenta a sistemas convencionales de maquinado o a sistemas automatizados como el CAD, CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering), RP (Rapid Prototype) CAPP (Computer Aided Process Planning). De hecho, la información geométrica, dimensional y de materiales es la base de los sistemas altamente automatizados como CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Para el caso de la generación de planos de fabricación Jiménez et al. (2016), proponen dos procedimientos:

- 8) De la interpretación de la información validada a la generación de primitivas geométricas.
- 9) De las primitivas geométricas a la normalización de la información en planos de fabricación.

El procedimiento 8) parte del hecho de que la información geométrica, dimensional y de manufactura ya fue obtenida y validada, y su objetivo es generar primitivas geométricas de valor y primitivas de manufactura (representaciones combinan información geométrica y de manufactura). Este procedimiento une la información obtenida del objeto de referencia para generar representaciones funcionales con las cuales se pueden construir diversos modelos, como los planos de fabricación, modelos del producto, etc. El procedimiento 9) básicamente se refiere a generar planos de fabricación de la información sistematizada considerando todas las normatividades de dibujo y representación. Los planos de fabricación representan el corazón del diseño en términos de manufactura y debe ser generados tomando las consideraciones siguientes (Jiménez et al. 2019):

- 1) La información geométrica y no geométrica (de manufactura, costos, etc), debe ser clara y lo más explícita posible.
- 2) La información debe ser objetiva (Esencialidad, grado de importancia de la información, otros).
- 3) La información debe estar completa, finita y bien definida.
- 4) La información debe estar normada.
- 5) La información debe estar libre de vaguedades y ambigüedades.

Los planos de fabricación pueden representar un modelo B, ya que muchos proyectos de ingeniería requieren de los dibujos técnicos. Sin embargo, en general lo que se busca es generar un duplicado del objeto de referencia A y los planos de fabricación sirven para generarlos, por lo que es posible definir dos procedimientos más (Jiménez et al. 2016);

10) De la interpretación de los planos de fabricación a la generación del duplicado.

11) De la interpretación del duplicado a las pruebas de equivalencia.

El procedimiento 10) implica un proceso de interpretación de los planos de fabricación, el cual representa un desafío si es que no se tiene la experiencia de hacerlo. La información geométrica, dimensional, de materiales y de manufactura impresa en los planos de fabricación deben ser suficientes para generar un duplicado funcional el cual puede ser realizado mediante un proceso convencional (plano-máquinas convencionales) desarrollado una hoja de proceso o un proceso automatizado, esto es, usando una integración CAD/CAM o CAD/ RP. Este procedimiento debe dar como resultado un duplicado real o virtual (B) del objeto de referencia (A). El procedimiento 11) implica probar si el duplicado cumple con las referencias, es decir, si B es un modelo representativo de A, o bien si B es equivalente a A. Definir las referencias para diseñar las equivalencias (de forma, de manufactura, de tolerancias, etc.) que determinan cuando B es un modelo representativo de A, es crucial para poder ponerle límites a la Ingeniería Inversa.

4 I ASPECTOS IMPORTANTES DE LA ENSEÑANZA DE LA METROLOGÍA

En la actualidad las áreas del conocimiento de la ingeniería se han especializado, en particular la Metrología Dimensional, por lo que es necesario discutir la pertinencia de seguir con los modelos de la enseñanza tradicionales o bien analizar si es necesario proponer un nuevo enfoque para estar acorde con las exigencias del mundo actual. Como bien se describió en la sección 3 de este trabajo, la información geométrica, dimensional, de materiales y de manufactura de piezas, partes y componentes sigue diversas trayectorias y toca muchas áreas del conocimiento, por lo que es necesario el trabajo en equipo en los alumnos, la promoción de competencias de investigación, un pensamiento crítico, capacidad de manejar información relevante y resolver problemas prácticos.

De acuerdo con Pinto, Ahrens y Schroeter (2018), la enseñanza de la ingeniería debe incluir un conjunto de experiencias de aprendizaje que permitan a los estudiantes construir un conocimiento conceptual profundo, desarrollar la capacidad de aplicar las habilidades técnicas y profesionales, y participar en auténticos proyectos de ingeniería. La Metrología Dimensional y sus aplicaciones trabaja verdaderos proyectos de ingeniería, tanto en las universidades, como en las industrias, por lo que es necesario promover el desarrollo de competencias. La Educación Basada en Competencias (EBC) es una metodología que se centra en dotar a los estudiantes de las habilidades que exigen las industrias y los evalúa en cuanto a lo que son capaces de hacer (Hernández de Menéndez y Morales,

2016). De acuerdo con (Sushchenko et al. 2020) la capacidad de utilizar la información y los conocimientos en la práctica debe formarse en los futuros especialistas durante el período de formación, por lo que la cuestión de la aplicación de la Educación Basada en la Competencia para los estudiantes como futuros especialistas es pertinente y oportuna.

La EBC utiliza diversos métodos para lograr sus objetivos, como por ejemplo las metodologías activas. La metodología activa es un concepto educativo que fomenta procesos de enseñanza-aprendizaje críticos-reflexivos, en los que los alumnos participan y se comprometen con su aprendizaje. El método propone la elaboración de situaciones didácticas que promuevan el pensamiento crítico de los alumnos respecto a la realidad; una reflexión sobre problemas que generen curiosidad y planteen retos; la provisión de recursos para la investigación de problemas y soluciones; la identificación y organización de las soluciones hipotéticas más adecuadas a la situación dada, y la aplicación de dichas soluciones (Díaz y Pereira, 2007). Las metodologías activas potencian el trabajo autónomo del estudiante, favoreciendo un mayor nivel de compromiso y responsabilidad, así como propicia el desarrollo de competencias para aprender a aprender (Rué, 2007). Se consideran dentro de estas metodologías las siguientes: Análisis de casos, Aprendizaje basado en problemas (ABPr), Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), Aula Invertida, Aprendizaje basado en equipos, Aprendizaje y Servicio (A+S), juego de roles, debates, entre otras (Silva y Maturana, 2017).

El ABP es una metodología activa que por sus características se apega más a la ingeniería y sus aplicaciones. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es un método de enseñanza basado en la indagación que involucra a los alumnos en la construcción de conocimientos haciendo que realicen proyectos significativos y desarrollen productos del mundo real (Krajcik y Shin, 2014). De hecho, el ABP se ha utilizado en la enseñanza de la Metrología y la Ingeniería Inversa (Pinto, Ahrens y Schroeter, 2018), Jiménez et al. (2019) promueve el uso del APB para la enseñanza de la Ingeniería Inversa, el diseño y la Metrología. Harris (2013) usa el ABP para la enseñanza práctica de la Metrología.

5 | DISCUSIÓN

La Metrología Dimensional juega un papel muy importante en el diseño, re-diseño de componentes y en la generación de duplicados. La asistencia de la ingeniería inversa a la Metrología permitió generar 11 procedimientos que, aplicados de manera sistemática, dan como resultado información confiable y duplicados reales y virtuales representativos útiles para las aplicaciones. Los primeros cinco procedimientos son claves en todo el proceso, debido a que se obtiene con ellos la información geométrica y dimensional de las piezas de referencia. Los procedimientos relacionados con la caracterización de materiales y operaciones de manufactura complementan la información no geométrica y, junto con los cinco primeros procedimientos, conforman la base para la generación de los planos de

fabricación y, estos a su vez, son usados para generar modelos de primitivas y duplicados. Aunque los 11 procedimientos no agotan toda la trayectoria de la información, si muestran a groso modo la cantidad de métodos, herramientas, teorías y procesos que deben aplicarse para el duplicado de partes y componentes.

Por otro lado, el reto, la complejidad, la multidisciplinaridad, el manejo y la administración de la información geométrica y de manufactura de partes y componentes, y la necesidad de dar formar un ingeniero actualizado acorde a las exigencias del mundo productivo, hace que deba considerarse un cambio en el enfoque educativo de la ingeniería, particularmente en aquellas ingenierías que están asociadas en el diseño, la manufactura y la producción de piezas. Este enfoque debe ser adecuado a los actuales enfoques como es la EBC y con estrategias didácticas activas como es el caso de ABP. El diseño y el re-diseño de partes y componentes requieren de la creación de conocimiento, investigación, reflexión, autoaprendizaje, trabajo en equipo, administración, contexto y aplicaciones prácticas, y dar soluciones reales, por lo que es necesaria la formación de competencias en los alumnos que les permitan dominar aquellos campos del saber necesarios para su desempeño profesional.

6 | CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito la importancia que tiene el uso de la Ingeniería Inversa como método para conocer y sistematizar las trayectorias que sigue la información geométrica, dimensional, de materiales y de procesos de manufactura extraída y caracterizada de objetos de referencia, y al mismo tiempo, se ha discutido la necesidad de implementar las metodologías activas en la enseñanza de la Metrología. Las principales conclusiones se resumen a continuación:

El estudio de las trayectorias que sigue la información geométrica y no geométrica (de manufactura) obtenida mediante la aplicación de la Ingeniería Inversa de piezas, partes y componentes, es de suma importancia para las aplicaciones en diseño, re-diseño y la generación de duplicados, pues muestra que desde la recolección de la información hasta la generación de modelos representativos o duplicados existen diversas metodologías y procedimientos que se tienen que aplicar para lograr los objetivos deseados. Esta diversidad de métodos aplicados y la cantidad de información que se genera, producto de los procedimientos de la Ingeniería Inversa, exige que la formación de los ingenieros tome en cuenta métodos didácticos activos, como es el caso del Aprendizaje Basado en Proyectos, en el contexto de la Educación Basada en Competencias. Los 11 procedimientos descritos en este trabajo muestran tal solo uno de los muchos caminos que sigue la información obtenida de los procedimientos metroológicos aplicados a piezas y componentes. Entre más sistematización exista en el estudio de la Metrología en términos de procedimientos, como los presentados en este trabajo, mayor será la oportunidad de aprendizaje de los

alumnos, pues podrán seguir paso a paso todo el proceso de la extracción, documentación y procesamiento de la información geométrica y no geométrica de partes y componentes. Se puede concluir que la Ingeniería Inversa es una metodología que auxilia a la Metrología y que es fundamental para el aprendizaje activo de la ingeniería.

REFERENCIAS

Alamri, M.M. (2021). Using Blended Project-Based Learning for Students' Behavioral Intention to Use and Academic Achievement in Higher Education. *Educ. Sci.* 2021, 11, 207. <https://doi.org/10.3390/educsci11050207>.

Díaz J, y Pereira AM. (2007). *Estratégias de ensino-aprendizagem*. 28ª ed. Petrópolis: Vozes.

Dúbravpík M y Kender S. (2012) Application of reverse engineering techniques in mechanics system services, *Procedia Engineering*, 48, pp. 96 – 104

Edinbarough I. (2020). Rapid manufacturing of Critical Industrial Parts: A Method based on Reverse Engineering, Rapid prototyping, and Coordinate Metrology. American Society for Engineering Education, ASEE's Virtual Conference. June 22-26.

Eilam, E. (2005). *Reversing: Secrets of Reverse Engineering* (2005) 3-4.

Harris, G. L. (2013), *Incorporating Adult Learning Methods and Project Based Learning in Laboratory Metrology Courses* Paper presented at 2013 ASEE Annual Conference & Exposition, Atlanta, Georgia. 10.18260/1-2--19742

Hernández de Menéndez M, y Morales R. (2016). Current Trends in Competency Based Education, *World Journal of Engineering and Technology*, 4, 193-199. doi: 10.4236/wjet.2016.43D023.

Isabel L, De la Torre T, Huelmo J, Llamazares, M. C, Ruiz E ; Prieto C, Palmero C, Jiménez A. (2018). Active methodologies and teaching performance: a necessary relationship in the field of education. 4th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'18) Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HEAd18.2018.8134>

Jiménez E, Acosta M, Luna G, Lucero B, Delfín J.J. y Velásquez L.A. (2019). Reverse Engineering and Straightforward Design as Tools to Improve the Teaching of Mechanical Engineering. In: Abdulwahed M., Bouras A., Veillard L. (eds), *Industry Integrated Engineering and Computing Education*, Springer, Cham, pp. 93- 188.

Jiménez, E., García, L., Delfín, J., Lucero, B., & Martínez, V. (2016). Trayectoria de las mediciones de la ingeniería inversa de partes y componentes. Simposio de Metrología. CENAM. 19 al 23 de septiembre. Qro, Querétaro.

Jiménez E, Luna G, Uzeta C, García L, Ontiveros S, Martínez V, Lucero B, y Pérez P. (2013). Forward design process and reverse engineering considerations. In W. Aung et al. (Eds.), *iNEER special volume: Innovations 2013 – world innovations in engineering education and research* (pp. 197–207). Potomac: INEER.

Jiménez E, García L, Longorio R, Luna A, Luna G, Martínez V, Delfín J. J, y Ontiveros S. (2012). Development procedures for the systematic measurement of parts and components, from an analytical programs of reverse engineering perspective. In *XII International Conference on Engineering and Technology Education* (pp. 37–41), March 11–14. Dili.

Krajcik, J. S., y Shin, N. (2014). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.). *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 275–297). (2nd ed.) . <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.018>

Li, L., Schemenauer, X., Peng, Y. and Gu, P. (2002). A reverse engineering system for rapid manufacturing of complex objects, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 18, Issue 1, 2002, pp. 53-67, ISSN 0736-5845, [http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845\(01\)00026-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845(01)00026-6).

Pinto T, Ahrens C, y Schroeter R. (2018). Project based learning for metrology education using reverse engineering, XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018), doi:10.1088/1742-6596/1065/2/022003.

Radharamanan R. (2004). Design, Manufacturing, Measurement, and Reverse Engineering in Undergraduate Engineering Education, ASEE Southeast Section Conference 2004.

Wood K, Jensen D, Bezdek J, y Otto K. (2001). Reverse Engineering and Redesign: Courses to Incrementally and Systematically Teach Design. *Journal of Engineering Education*, pp. 363-374.

Rué, J. (2007). Enseñar en la universidad. El EEES como reto para la educación superior. Madrid, ES: Narcea.

Silva S, y Maturana D. (2017). Una propuesta de modelo para introducir metodologías activas en educación superior, *Innovación Educativa*, vol. 17, número 73, pp. 117-131.

Sushchenko O, Trunina I, Stryzhak O, y Sushchenko S. (2020). Implementing Competency-Based Education for the Engineering Specialties' Students, 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240850).

Traband M. T., Tillotson F. W., y Martin J. D. (1996). Reverse and reengineering in the DOD organic maintenance community: Current status and future direction,” Tech. Rep. 96-060, Appl. Res. Lab, Pennsylvania State Univ., University Park.

SOBRE A ORGANIZADORA

SABRINA PASSONI MARAVIESKI - Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2010) e mestrado em PPG Ciências/ Física pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2013). Foi professora adjunta por oito anos e meio no Centro de Ensino Superior de Campos Gerais (CESCAGE) e atualmente é professora adjunta na Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR-PG). Ministra as disciplinas de: Mecânica dos Fluidos I e II, Fenômenos de Transporte, Transferência de Calor e Massa, Hidráulica Aplicada, Mecânica Aplicada, Resistência dos Materiais, Eletricidade Básica e Unidades de Medidas, Física Atômica e Nuclear, Eletricidade e Magnetismo, Teoria Eletromagnética, Ressonância Magnética, Medicina Nuclear, Resistência dos Materiais, Mecânica dos Sólidos, Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, Termodinâmica (Engenharias e Tecnologia em Radiologia), Física das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes (Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) e Física e Instrumentação Aplicada a Engenharia Biomédica (Pós-Graduação em Imagenologia). Possui experiência com Ensino Médio e Fundamental (Física e Robótica). Possui experiência como professora conteudista e disciplinas em EAD.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 2, 31, 35, 36, 38, 46, 56

Astronomia 3, 4, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37

C

Ciências 1, 29, 30, 31, 37, 58

Conductividad térmica 4, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Controle de qualidade 2, 4, 1, 13

E

Ensino 2, 3, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 46, 56, 58

ENSINO 4, 38

Ensino de física 4, 38, 46

F

Física nuclear 3, 4, 38, 39, 45, 46

Fluidos simples 2, 4, 14, 17, 28

J

Jogos 38

P

Puente de Wheatstone 14, 16, 17, 18, 19, 22, 26

R

Radiologia diagnóstica 1

T

Técnica del hilo caliente 14

Tomografia computadorizada 2, 4, 1, 13

A Newton's cradle with five silver spheres hanging from thin wires against a dark gray background. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others.

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

A Newton's cradle with five spheres. One sphere on the left is dark blue and in motion, having just struck or about to strike the others. The other four spheres are light blue and stationary. The background is a solid orange color.

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br