

A Newton's cradle with five spheres. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others. 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 grey background. The spheres are arranged in a line, with one on the left and two on the right. The lighting creates highlights and shadows on the spheres, giving them a three-dimensional appearance.

# 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-Não-Derivativos 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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 [botanica.org](http://botanica.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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
APLICABILIDADE DE UMA METODOLOGIA PARA TESTES SEMANAIS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	
Laura Larré Godolfim	
Janine Hastenteufel Dias	
Mirko Salomón Alva Sánchez	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224021">https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224021</a>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA FLUIDOS SIMPLES CNM-PNE-20-2015	
Leonel Lira Cortés	
Saúl García Duarte	
Jesús Arce Landa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224022">https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224022</a>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
ASTRONOMIA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UM ESTUDO DE CASO NO INTERIOR DO PARÁ	
Bruno Medeiros Quaresma	
Rafael Costa Araújo	
Fernanda Carla Lima Ferreira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224023">https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224023</a>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
GAME DE TABULEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR	
Eduardo Toniolo Campos	
Marcelo Augusto Leigui de Oliveira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224024">https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224024</a>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224025">https://doi.org/10.22533/at.ed.2472224025</a>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>58</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>59</b>

# 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>

### **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 (CROP 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 specification
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 C 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 453<sup>13</sup>, 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 specification

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 C 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.

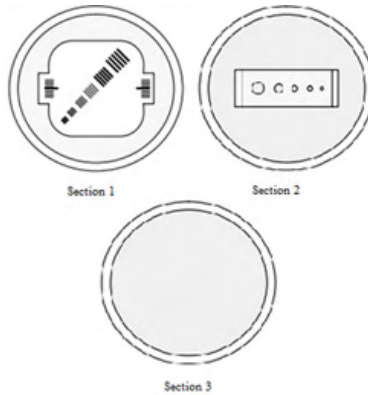


Figure 1. Sections of the GE phantom: Section 1 is used to access high scale resolution, contrast scale, slice thickness and laser precision. Section 2 is used to access low contrast resolution and Section 3 is used to access noise and uniformity.

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

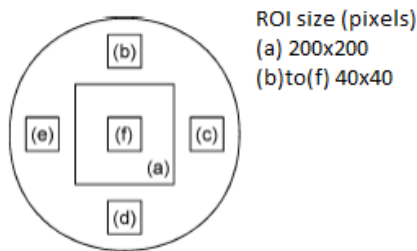


Figure 2. Section of the Toshiba phantom: the scheme shows the performing of the noise, uniformity, and CT number tests. "Noise and mean CT are evaluated based on the mean TC and standard deviation in the ROI placed in the center of the water spectrum display image. Uniformity is assessed based on differences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

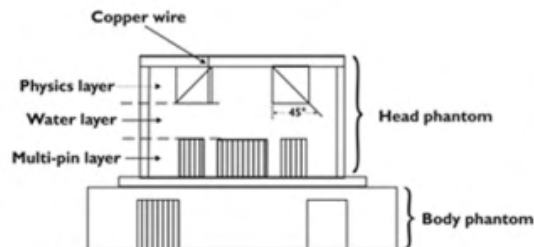


Figure 3. Structure of the Philips phantom: The physics section is used to access the impulse response and the section thickness; the water section is used to access the noise and the multi-pin layer used to access the contrast scale.

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).

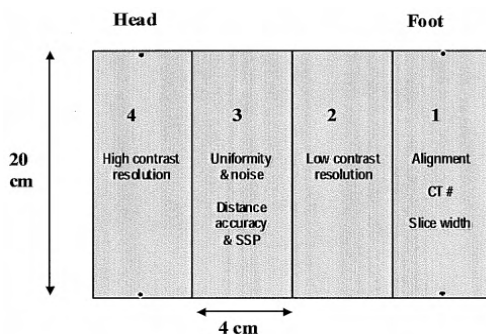


Figure 4. Sections of the Gammex 464.

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:

$$U = CT_{per} - CT_{central} \quad (1)$$

CT<sub>per</sub> is the average CT number from one of the four edges ROIs, and CT<sub>central</sub> 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:

$$N (\%) = (\sigma_{ROI} / 1000) \cdot 100 \quad (2)$$

where  $\sigma_{ROI}$  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<sub>nominal</sub>, for water and air (0 and 1000, respectively) from the average CT number of the central ROI (CT<sub>central</sub>), according to equation 3:

$$A = CT_{central} - CT_{nominal} \quad (3)$$

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  $\pm 5$  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.

## 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



# Física:



Produção de conhecimento  
relevante e qualificado

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

# Física:

Produção de conhecimento  
relevante e qualificado

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