

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

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



# Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Milson dos Santos Barbosa

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem / Organizador Milson dos Santos Barbosa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0422-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.224220408>

1. Ciências exatas - Estudo e ensino. I. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). II. Título.

CDD 507

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

A coleção “Ciências exatas e da terra: Conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem” é um e-book que tem o intuito de fornecer *insights* sobre metodologias educacionais e aplicações tecnológicas para fomentar e desenvolver processos e produtos inovadores. O volume reúne estudos teóricos e práticos (revisões bibliográficas, relatos de casos, pesquisas científicas, entre outros) envolvendo cálculos matemáticos e afins para solucionar problemas e beneficiar diretamente a sociedade.

Neste contexto, a obra apresenta de maneira objetiva e didática estudos desenvolvidos por docentes e discentes de diferentes instituições de ensino e pesquisa do país. Os artigos englobam desenvolvimentos recentes no campo das tecnologias, energias renováveis, modelagens e simulações computacionais, algoritmos e softwares, bem como máquinas e equipamentos. Outra direção importante fomentada no e-book é abordagem utilizada para difundir os conhecimentos pedagógicos e o ensino científico nas ciências exatas e da terra.

Questões relevantes para a sociedade moderna são, portanto, debatidas a partir de uma perspectiva crítica, trazendo discussões de temáticas da área e propiciando um conhecimento específico e aprofundado para discentes, docentes e pesquisadores. Deste modo, a obra composta por capítulos que abordam múltiplos temas e com conceitos interdisciplinares da área de ciências exatas e da terra. Diante dessa oportunidade de aprendizagem, convido todos os leitores para usufruírem das produções da coletânea. Tenham uma ótima leitura!

Milson dos Santos Barbosa



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**


#### **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E O ENSINO DE CIÊNCIAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA**

Micheline Soares Costa Oliveira

Letícia Martins Nunes

Letícia de Araújo Rodrigues

Hemilly Sales Alburquerque

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204081>

### **CAPÍTULO 2..... 6**

#### **DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE COMO AÇÃO DE EXTENSÃO: RELATO DE EXPERIÊNCIA**


Luis Fernando Meneghel Benatto

Daniela de Freitas Guilhermino Trindade

Carlos Eduardo Ribeiro

Renata Alfredo

José Reinaldo Merlin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204082>

### **CAPÍTULO 3..... 13**

#### **A CONCEPÇÃO DOS PROFESSORES DE QUÍMICA EM RELAÇÃO À CONTRIBUIÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS ALUNOS**

Tatiana Medeiros Ibiapina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204083>

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **O ENSINO DE QUÍMICA E CULTURA: CONCEPÇÕES PRESENTES NA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua


Rafael Martins Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204084>

### **CAPÍTULO 5..... 48**

#### **CLASSROOM COMO RECURSO TECNOLÓGICO PARA A EDUCAÇÃO EM MATEMÁTICA**

Mauricio da Silva Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204085>

### **CAPÍTULO 6..... 74**

#### **PRÁTICAS EXPERIMENTAIS SOBRE POLUIÇÃO SONORA**

Maria Lúcia Grillo

Luiz Roberto Perez Lisbôa Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204086>


**CAPÍTULO 7..... 83**

**ANÁLISE DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA APLICADOS À CLASSIFICAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ**

Igor Garcia Lube

Gustavo Maia de Almeida

Fidelis Zanetti de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204087>

**CAPÍTULO 8..... 94**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS ORGÂNICOS E FLEXÍVEIS MECANICAMENTE**

Ana Carolina da Silva Mota


Cleber Lourenço Izidoro

Vagner da Silva Rodrigues

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204088>

**CAPÍTULO 9..... 106**

**SIMULAÇÃO DE ALGORITMOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA APLICADOS A PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS COM CONVERSOR CC-CC SOB SOMBREAMENTO PARCIAL**

Ana Carolina da Silva Mota

Vagner da Silva Rodrigues

Cleber Lourenço Izidoro

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204089>

**CAPÍTULO 10..... 120**

**IDENTIFICAÇÃO E MODELAGEM DE PLUMAS GASOSAS NA COLUNA D'ÁGUA ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS DE ALTA RESOLUÇÃO**

Jorge Fiori Fernandes Sobreira


Carlos Eduardo Borges de Salles Abreu

Esmeraldino Aleluia Oliveira Júnior

Marcelo Rocha Peres

Marco Ianniruberto

Luciano Emídio da Fonseca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040810>

**CAPÍTULO 11..... 135**

**NUMERICAL SIMULATION OF A CONNECTED-PIPE TEST RAMJET MOTOR**

Douglas Carvalho Cerbino

Olexiy Shynkarenko


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040811>

**CAPÍTULO 12..... 149**

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E O CAMPO CONCEITUAL DAS ESTRUTURAS ADITIVAS

Grazielle Jenske

Verônica Gesser


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040812>

**CAPÍTULO 13..... 162**

INFLUENCE OF NON-LINEAR DAMPING ON NON-LINEAR STRUCTURES VIBRATIONS

Thiago R. Carvalho

Zénon J. Guzman N. Del Prado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040813>


**CAPÍTULO 14..... 168**

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM NOSSA SENHORA DA GLÓRIA/SE

José Batista Siqueira

Edson Magalhães Bastos Júnior

José Antônio Pacheco Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040814>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 182**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 183**

## INFLUENCE OF NON-LINEAR DAMPING ON NON-LINEAR STRUCTURES VIBRATIONS

*Data de aceite: 01/08/2022*

**Thiago R. Carvalho**

School of Civil and Environmental Engineering,  
Federal University of Goiás Avenida  
Universitária  
Goiás/Goiânia, Brazil

**Zénon J. Guzman N. Del Prado**

School of Civil and Environmental Engineering,  
Federal University of Goiás Avenida  
Universitária  
Goiás/Goiânia, Brazil

**ABSTRACT:** The study of linear and non-linear dynamic behavior of structures is an area that has received constant attention in recent decades, due to the fact that the structures have become increasingly light and slender, causing vibration problems to be taken into account during the project. Many studies have been developed to try to understand the nonlinear response of structural systems, especially chaotic vibrations considering different types of nonlinearities in systems with gain or loss of stiffness. In this sense, many studies have been developed considering linear damping, but in many applications, it is necessary to consider non-linear damping, such as drag forces or vibration isolation, which mainly affect the non-linear dynamic response of systems. This work aims to study the role of non-linear damping in non-linear oscillations of a discrete system with a degree of freedom. It is considered a discrete system of a degree of freedom and subjected to variable loads over time considering three

types of damping (linear, quadratic and cubic). Resonance curves are obtained for various load and damping values in order to observe their influence on the dynamic instability of the system.

**KEYWORDS:** Nonlinear damping, nonlinear dynamics, structures.

### 1 | INTRODUCTION

The study of linear and non-linear dynamic behavior of structures is an area that has received constant attention in recent decades, due to the fact structures have become increasingly light and slender, causing vibration problems to be taken into account during the project. Many investigations have been developed to try to understand the non-linear response of structural systems, especially chaotic vibrations considering various types of nonlinearities in systems with gain or loss of stiffness.

Among the various parameters of the structures, damping plays a fundamental role with regard to phenomena of loss of stability and in the order of magnitude of oscillations, but as the correct determination of damping is still a great difficulty, the right choice of this parameter is of great scientific interest.

In this sense, the study of the value of damping is justified, because it defines the limits of stability or instability. In addition, many studies have been developed considering linear damping, but in many applications, it is

necessary to consider nonlinear damping, such as drag forces or vibration isolation, which mainly affects the non-linear dynamic response of systems.

In the literature it is possible to find several studies related to the effect of non-linear damping and non- classical damping on non-linear vibrations of dynamic systems, where chaotic, near-periodic vibrations, attraction, and escape basins as well as multiple resonance and coupling phenomena were studied [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

This work aims to study the role of non-linear damping (linear, quadratic and cubic) in the non-linear oscillations of dynamic systems governed by the Duffing equation. It is intended to develop a study to evaluate the non-linear oscillations of rigid bars considering geometric nonlinearity as well as non-linear damping when subjected to variable external loads over time.

## 2 | MATHEMATICAL FORMULATION

It is considered a rigid bar of length  $L$ , density  $r$  and cross section  $A$ , fixed at the base by an elastic rotational spring with linear stiffness ( $k_1$ ), quadratic ( $k_2$ ) and cubic ( $k_3$ ), with linear damping ( $C_1$ ), quadratic ( $C_2$ ) and cubic ( $C_3$ ), subjected to axial ( $P_2 \sin(Wt)$ ) and lateral ( $P_1 \cos(Wt)$ ) harmonics with frequency  $W$  acting at the top and with  $q$  rotation at the base as seen in Figure 1.

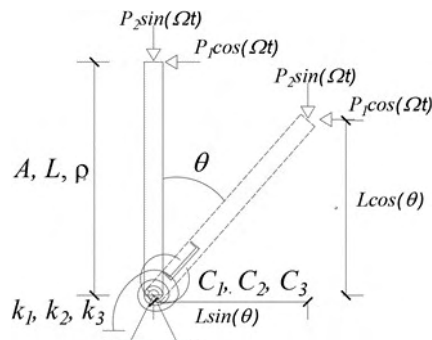


Figure 1 – Rigid bar model.

To obtain the dynamic equilibrium equation of the system the deformation energy ( $U$ ) of the system is given by:

$$U = \frac{1}{2} k_1 \theta^2 + \frac{1}{3} k_2 \theta^3 + \frac{1}{4} k_3 \theta^4 \quad (1)$$

The work ( $W$ ) of external forces is given by:

$$W = -P_1 \cos(\Omega t) L \sin(\theta) + P_2 \sin(\Omega t) L [1 - \cos(\theta)] \quad (2)$$

The work of non-conservative forces can be written as:

$$W_{nc} = \frac{1}{2} C_1 \theta^2 + \frac{1}{3} C_2 \theta^3 + \frac{1}{4} C_3 \theta^4 \quad (3)$$

The kinetic energy ( $T$ ) of the system is obtained from the kinetic energy of a different element of mass  $dm$ , located at a distance  $r$  from the base as well:

$$T = \int_M \frac{1}{2} r^2 dm = \frac{1}{6} \rho AL^3 \dot{\theta}^2 \quad (4)$$

The Lagrangian ( $f$ ) function can be written as:

$$f = T - U + W \quad (5)$$

Replacing the Eq. (1), (2) and (3) in eq. (4), one comes to:

$$f = \frac{1}{6} \rho AL^3 \dot{\theta}^2 - \left( \frac{1}{2} k_1 \theta^2 + \frac{1}{3} k_2 \theta^3 + \frac{1}{4} k_3 \theta^4 \right) + P_1 \cos(\Omega t) L \sin(\theta) + P_2 \sin(\Omega t) L [1 - \cos(\theta)] \quad (6)$$

Applying the Hamilton principle given by Eq. (7)

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial f}{\partial \theta} = - \frac{\partial W_{nc}}{\partial \theta} \quad (7)$$

You will find the non-linear dynamic equilibrium equation of the system given by:

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \rho AL^3 \ddot{\theta} + C_1 \dot{\theta} + C_2 \dot{\theta} |\dot{\theta}| + C_3 \dot{\theta}^3 + k_1 \theta + k_2 \theta^2 + k_3 \theta^3 \\ = P_1 \cos(\Omega t) L \cos(\theta) + P_2 \sin(\Omega t) L \sin(\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

### 3 I RESULTS

For the development of analyses of the dynamic behavior of the rigid bar of Figure 1, the following numerical properties were used:  $k_1 = 1.0$ ;  $k_2 = 0$ ;  $k_3 = 1.0$ ;  $L = 1.0$ ;  $P_1 = 0.002$ ;  $P_2 = 0$ ;  $r = 1.0$ . While the parameters  $C_1$ ,  $C_2$  and  $C_3$  were varied for different numerical values to evaluate the influence of damping on the nonlinear dynamic behavior of the bar.

The resonance curves of the system were obtained by adopting as a parameter the frequency of lateral load, obtained by applying the crude force method and the numerical integration of the Runge-Kutta method, considering incremental values of linear, quadratic and cubic damping coefficients. Resonance curves aim to evaluate the influence of the type of damping on the dynamic instability of the system.

Figure 2 presents the resonance curves considering only incremental values of viscous linear damping  $C_1$ , varying its value in the range of  $10^{-2}$  to  $10^{-5}$ . As can be seen in Fig. 2 (a), for high damping values, the curve presents linear behavior but, as the damping value is reduced, the curves exhibit hardening behavior of resonance. For low values of the damping coefficient, the point of dynamic instability is increasing.

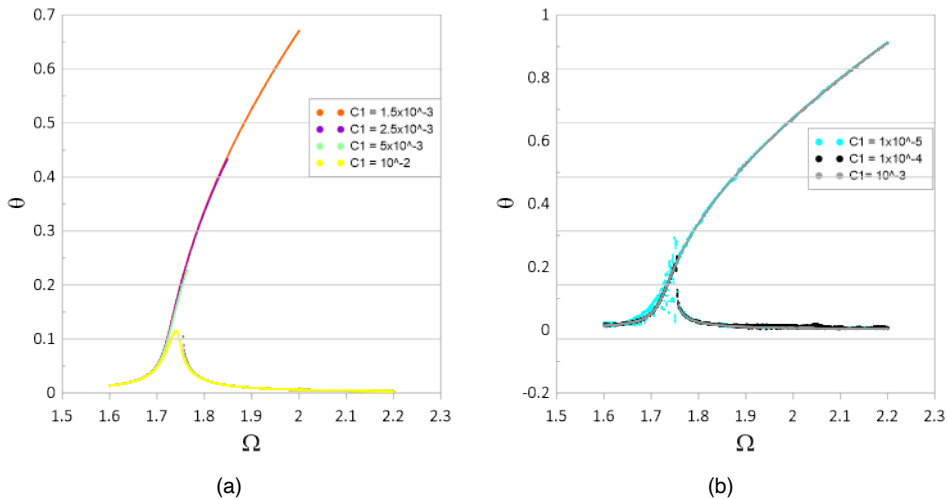
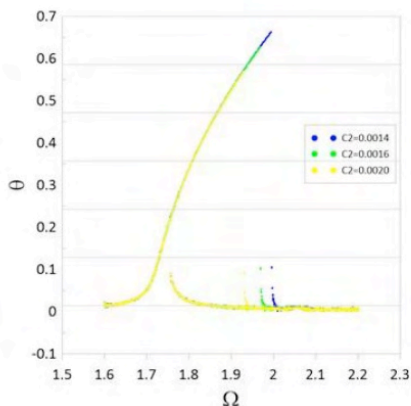


Figure 2 - Parametric analysis of isolated linear damping.

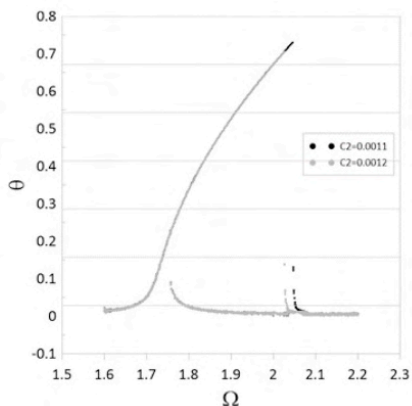
Figure 3 presents the resonance curves considering only incremental values of quadratic damping with intensity variation of the damping parameter  $C_2$  in the range of  $2.0 \times 10^{-3}$  to  $1.2 \times 10^{-3}$ . As can be observed, all curves show hardening type behavior without *presenting* linear behavior and the point of dynamic instability (jump) is quite similar for all values of  $C_2$ . It is also possible to observe that, as the damping value is increased, there is the appearance of a new branch of instability around  $\Omega = 2.0$ , a phenomenon that was not observed when considering viscous linear damping.

Figure 4 presents the resonance curves considering only incremental values of cubic damping with intensity variation of the damping parameter  $C_3$  in the range of  $1.0 \times 10^{-2}$  to  $1.3 \times 10^{-3}$ . As can be seen, the curves again exhibit hardening behavior, but this time it is possible to observe more clearly the effect of damping on the non-linear vibrations of the system. As the value of the cubic damping coefficient is reduced, the resonance curves present incremental values in the displacement and point of greater dynamic instability. It can also be observed that there is the emergence of a new branch around  $\Omega = 2.0$  as well as in the region of small amplitude vibrations, the amplitudes are variable depending on the value of the damping.

The resonance curves presented describe the great influence of damping on nonlinear dynamic behavior, and allow us to observe that depending on the damping chosen, the system may present new branches of dynamic instability.

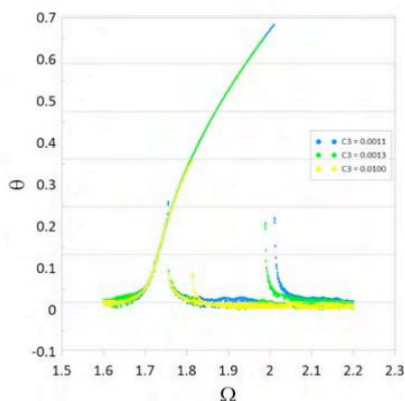


(a)

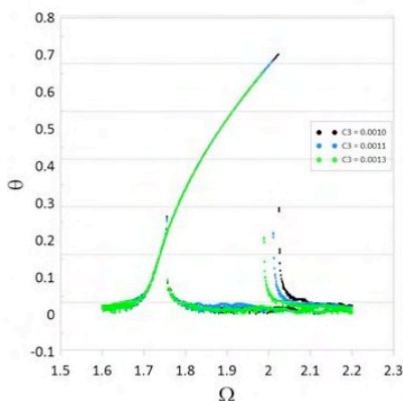


(b)

Figure 3 - Parametric analysis of quadratic non-linear damping isolated.



(a)



(b)

Figure 4 - Parametric analysis of cubic damping isolated for higher numerical values.

## 4 | CONCLUSIONS

In this work, the influence of linear, quadratic and cubic damping on the nonlinear dynamic behavior of a system with geometric cubic nonlinearity was studied when submitted to harmonic load action.

Resonance curves were obtained for incremental values of damping coefficients and, in all cases, hardening behavior was observed, which is typical for structures with non-linear cubic stiffness.

The first immediate and natural effect observed is the abatement of the curve, as the damping factor increases, both for cases of vibration with linear damping and with non-linear. Thus, it is possible to observe that the value of the linear or non-linear damping coefficient is sufficiently significant to the point of changing the order of magnitude of the



maximum deflections calculated for the structure.

When linear damping is considered, resonance curves are typical and for low damping values, the point of instability presents large amplitude vibrations. On the other hand, when quadratic or cubic damping is considered, the resonance curves present the emergence of a new branch of vibrations, suggesting a new bifurcation point in the region of small amplitude vibrations. Another characteristic due to nonlinear damping is that the region of small amplitude vibrations presents distinct amplitudes for distinct damping values.

## THANKS

This work was carried out with the financial support of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

## DECLARATION OF AUTHORSHIP

The authors confirm that they are solely responsible for the authorship of this work, and that all material included herein as part of this work is the property (and authorship) of the authors or has the permission of the owners to be included here.

## REFERENCES

J. C. Sprott, W. G. Hoover. Harmonic Oscillators with Nonlinear Damping. International, *Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 27, No. 11, 2017.

D. Andersen, Y. Starosvetsky, A. Vakakis, L. Bergman. Dynamic instabilities in coupled oscillators induced by geometrically nonlinear damping. *Nonlinear Dynamics*, 67:807–827, 2012.

J. Baltanás, J.L. Trueba, M.A.F. San Juan. Energy dissipation in a nonlinearly damped Duffing oscillator. *Physica D* 159, 22–34, 2001.

V. Monwanou<sup>1</sup>, C. H. Miwadinou, C. Ainamon and J. B. Chabi Orou. Hysteresis, Quasiperiodicity and Chaoticity in a Nonlinear Dissipative Hybrid Oscillator. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 7 (1), 1-7, .2018.

Z.K. Peng, G. Meng, Z.Q Lang, W.M. Zhang, F.L. Chu, Study of the effects of cubic nonlinear damping on vibration isolations using Harmonic Balance Method. *International Journal of Non-Linear Mechanics* 47, 1073–1080, 2012.

L. Ruzziconi, G. Litak, Stefano Lenci. Nonlinear oscillations, transition to chaos and escape in the Duffing system with non-classical damping. *Journal of Vibroengineering*. V. 13 (1). 2011

M. S. Siewe, H. Cao, and M. A. F. San Juan, "Effect of nonlinear dissipation on the basin boundaries of a driven two-well Rayleigh–Duffing oscillator," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 39, no. 3, pp. 1092–1099, 2009.

Taylor, John R. *Classical Mechanics*. Porto Alegre: Bookman, 2013.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmos 83, 106, 154

Ambientes acadêmicos 74, 75

Aprendizagem 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 71, 72, 76, 77, 78, 82, 150, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 160

### C

Café 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Campo conceitual aditivo 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Ciência da computação 6, 7

Ciências exatas 22, 158

Comunidade 6, 11

Covid-19 1

### D

Desenvolvimento 6, 7, 8, 11, 12, 16, 17, 19, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 62, 64, 75, 76, 95, 104, 107, 119, 150, 151, 160, 168, 169, 182

Docente 17, 18, 19, 23, 31, 32, 34, 38, 39, 40, 44, 47, 49, 63, 156, 159, 182

### E

Ecologia 41, 42, 45, 47

Educação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 61, 63, 64, 71, 72, 76, 156, 157, 158, 159, 182

Educação científica 4, 19

Energia solar 94, 95, 96, 107

Ensino 1, 3, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 75, 76, 81, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Estruturas aditivas 149, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 161

Experimentação no ensino 13, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 26, 31, 32, 33

Extensão 6, 7, 11, 12, 168, 172, 179

### F

Fluidodinâmica computacional 136

### M

Máquina 83, 85

Matemática 18, 19, 29, 30, 31, 32, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 77, 120, 121, 149, 151, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Meio ambiente 6, 7, 11, 23, 29, 94, 95

Métodos geofísicos 120, 121

Modelagem 22, 30, 94, 96, 105, 107, 108, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 133, 160, 175, 177

Motor ramjet 135

## **N**

Non-linear damping 162, 163, 166

## **P**

Painéis fotovoltaicos 94, 106, 107

Poluição ambiental 75

Poluição sonora 74, 75, 76, 78, 81, 82

Professor 14, 18, 19, 38, 49, 50, 51, 53, 54, 62, 64, 65, 68, 76, 77, 79, 80, 81, 149, 151, 152, 155, 159, 160, 182

## **Q**

Química 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 135

## **R**

Recurso tecnológico 48, 51, 71, 72

Relato de experiência 6, 24, 32

## **S**

Simulação 24, 32, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 118, 133, 135, 136, 146

Software 2, 6, 7, 8, 9, 11, 75, 89, 94, 95, 96, 99, 106, 107, 110, 139, 140, 141, 158

Structures vibrations 162

Sustentabilidade 104, 119





## **T**

Tecnologia 1, 2, 5, 17, 30, 31, 32, 33, 35, 49, 50, 75, 96, 104, 107, 158

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



 [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](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

  
Ano 2022

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos  
e o ensino-aprendizagem



 [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](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

  
Ano 2022