

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Jorge González Aguilera  
Alan Mario Zuffo  
(Organizadores)



**Jorge González Aguilera**

**Alan Mario Zuffo**

(Organizadores)

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 3)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-474-0 DOI 10.22533/at.ed.740191107  1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario  CDD 509.81
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 3*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 23 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ACURÁCIA TEMÁTICA DE DADOS GEOESPACIAIS CONFORME A ET-CQDG	
Rodrigo Wanderley de Cerqueira Ana Cláudia Bezerra de Albuquerque Borborema de Andrade Alex de Lima Teodoro da Penha Fábio Dayan Soares de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
UM PANORAMA GERAL SOBRE A CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO PIZOELETRICOS	
Flávio Roberto Faciolla Theodoro Maria Luisa Colucci da Costa Reis Carlos D'Andrade Souto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>20</b>
ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS	
Rafaela Pereira Segantim Mara Lúcia Martins Lopes Fábio Roberto Chavarette	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RIP: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O ASPECTO DE SEGURANÇA NO RIPV2	
Charles Hallan Fernandes dos Santos Lucivânia da Silva Souza Felipe Sampaio Dantas Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
ANÁLISES DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E ESQUEMAS DE PINTURAS EM CHAPAS DE AÇO ASTM A242 E AÇO CARBONO SAE 1020	
Rafaela Vale Matos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>45</b>
APLICAÇÃO DE ESFERAS DE QUITOSANA E ESFERAS DE QUITOSANA MODIFICADA COM NANOPÁRTÍCULA MAGNÉTICA (MAGNETITA) EM ANÁLISE DE ADSORÇÃO PARA O ÍON METÁLICO CROMO (VI)	
Andréa Claudia Oliveira Silva Maria José de Oliveira Pessoa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911076</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>55</b>
AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Rodrigo Rodrigues Nascimento Zampilis	
Marcelo Britto Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>62</b>
AXIOMAS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL PARA O MÉTODO DA IMPEDÂNCIA ELETROMECCÂNICA	
Caio Henrique Rodrigues	
Guilherme Silva Bergamim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>75</b>
VISÃO CEGA	
Vitoria Camargo da Silva	
Erinaldo Sanches Nascimento	
Fabiana Calisto Trevisan	
José Roberto Parra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>86</b>
CÉU ACESSÍVEL: APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	
Ana Carolina Sampaio Frizzera	
Danielli Veiga Carneiro Sondermann	
Athyla Caetano	
Giovana Dewes Munari	
Caroline Azevedo Rosa	
Péricles José Ferreira	
Ronaldo Leffler	
Gabriel Barcellos Kretli Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>97</b>
DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO TEMPO DE ACELERAÇÃO EM 30 METROS PARA UM VEÍCULO BAJA SAE A PARTIR DO PRINCÍPIO DO IMPULSO	
Daiane Sampaio Fernandes	
Mateus Coutinho de Moraes	
Miguel Ângelo Menezes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110711</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
DILATAÇÃO DE VEÍCULOS TANQUE RODOVIÁRIO	
Luciano Bruno Faruolo	
Edisio Alves de Aguiar Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110712</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>110</b>
EFEITO DA VARIAÇÃO DO VALOR DA DENSIDADE LATERAL RELACIONADA À SEPARAÇÃO GEOIDE-QUASEGEOIDE NA REGIÃO DE PORTO ALEGRE RS – ESTUDO DE CASO	
Roosevelt De Lara Santos Jr.	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>118</b>
ELECTROCHEMICAL SENSING OF OH RADICALS AND RADICAL SCAVENGERS BASED ON POLY(METHYLENE BLUE)-MODIFIED ELECTRODE	
Maurício Hilgemann	
Marcelo Barcellos da Rosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>131</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICRO GERAÇÃO RESIDENCIAL EM UM AMBIENTE MICRO REDE, CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS	
Luiz Guilherme Piccioni de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>141</b>
EXPRESSÃO GRÁFICA E OFICINAS PEDAGÓGICAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA BÁSICA	
Alessandra Assad Angieski	
Heliza Colaço Góes	
Davi Paula da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>155</b>
LOGÍSTICA DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SAÚDE DOS PRINCIPAIS HOSPITAIS DE ARACAJU/SE	
Ana Lúcia Oliveira Filipin	
Cleverton dos Santos	
Izabel Cristina Gomes de Oliveira	
Ana Sophia Oliveira Filipin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>161</b>
LUNAPPTICO: SOFTWARE DE TECNOLOGIA ASSISTIVA UTILIZADO NA COMUNICAÇÃO DE CRIANÇAS AUTISTAS DO ESTADO DO RN	
Elizeu Sandro da Silva	
Alyson Ricardo De Araújo Barbosa.	
Joêmia Leilane Gomes de Medeiros	
Welliana Benevides Ramalho	
Andrezza Cristina da Silva Barros Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110718</b>	



<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>180</b>
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MÓVEL COLABORATIVO PARA DEFICIENTES FÍSICOS	
Sivoney Pinto Dias Helder Guimarães Aragão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>194</b>
MODELAGEM E PROGRAMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE STEWART	
Rodolfo Gabriel Pabst Roberto Simoni Maurício de Campos Porath Milton Evangelista de Oliveira Filho Antônio Otaviano Dourado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110720</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>207</b>
SISTEMA DE NOTIFICAÇÕES POR MENSAGENS DE CELULAR PARA MONITORAMENTO EM ATIVOS DE REDE	
César Eduardo Guarienti Igor Breno Estácio Dutra de Oliveira Thiago H. da C. Silva Raphael de Souza Rosa Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110721</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>213</b>
MONTAGEM DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA	
Ernando Silva Ferreira Ricardo Macedo Borges Boaventura Juan Alberto Leyva Cruz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110722</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>225</b>
O NOVO (E ATUAL) SI E O SEU IMPACTO NA METROLOGIA ELÉTRICA NO BRASIL	
Regis Pinheiro Landim Helio Ricardo Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110723</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>

## ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS

**Rafaela Pereira Segantim**

UNESP – Universidade Estadual Paulista

Ilha Solteira – São Paulo

**Mara Lúcia Martins Lopes**

UNESP, Departamento de Matemática

Ilha Solteira – São Paulo

**Fábio Roberto Chavarette**

UNESP, Departamento de Matemática

Ilha Solteira – São Paulo

**RESUMO:** A aplicação de sistemas imunes artificiais no estudo e análise da integridade estrutural tem-se, atualmente, tornado um método muito eficaz e benéfico por auxiliar no processo de inspeção de estruturas a fim de identificar falhas e evitar possíveis acidentes. Dessa forma, o objetivo desse projeto é a aplicação de sistemas inteligentes para monitoramento da integridade estrutural em um edifício de dois andares. Logo, para a representação da estrutura predial utilizou-se um modelo matemático de equações diferenciais ordinárias, por meio das quais foi desenvolvido o algoritmo de seleção negativa, que é responsável pela análise e identificação das falhas estruturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Inteligentes, Detecção de Falhas Estruturais, Sistema Imunológico Artificial, Algoritmo de seleção

negativa.

### ANALYSIS OF STRUCTURAL INTEGRITY THROUGH ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

**ABSTRACT:** The application of artificial immune systems in the study and analysis of structural integrity has now become a very effective and beneficial method to assist in the process of inspecting structures in order to identify failures and to avoid possible accidents. Thus, the objective of this project is the application of intelligent systems for monitoring the structural integrity in a two-story building. Therefore, a mathematical model of ordinary differential equations was used to represent the building structure, through which the negative selection algorithm was developed, which is responsible for the analysis and identification of structural failures.

**KEYWORDS:** Intelligent Systems, Detection of Structural Failures, Artificial Immune System, Negative Selection Algorithm.

### 1 | INTRODUÇÃO

Apesar do avanço tecnológico no desenvolvimento dos materiais metálicos e de construção, tem-se observado um grande número de edificações recém-construídas

apresentando falhas de toda forma. Isto se deve ao uso inadequado de materiais, falta de cuidados na execução e mesmo adaptações quando do seu uso, tudo isto somado à falta de manutenção, tem criado despesas extras aos condomínios de edifícios que até com menos de cinco anos de idade tem que consumir recursos financeiros em reparações de falhas que poderiam ser evitadas (Palaia, 2007).

De acordo com (Almusallam, 2001) as estruturas prediais na sua maioria, apresentam maior gravidade de falhas nas estruturas de concreto armado. O risco a integridade da estrutura está ligado a armadura do concreto, que é constituída de aço, e geralmente apresenta falhas como: corrosão e fissuras.

Dessa forma, é necessário a implementação de novas ferramentas para a análise da integridade dessas estruturas, de tal modo a evitar que possíveis acidentes/catástrofes ocorram.

Assim, a utilização dos Sistemas Imunológicos Artificiais (SIA) na detecção e identificação de falhas torna-se viável, uma vez que o mesmo se constitui num conjunto de ferramentas e de algoritmos inteligentes inspirados nos mecanismos de funcionamento do sistema imunológico biológico (Castro, 2001). Vale destacar que, o sistema imunológico é o principal sistema responsável pelo bom funcionamento do corpo humano, uma vez que ele possui mecanismos aptos a defender e renovar as suas estruturas, podendo o organismo ser capaz de distinguir entre as células próprias do corpo, chamadas de próprio, e os agentes patogênicos, chamados de não-próprio, além de dispor de memória imunológica.

Sendo assim, cabe ao sistema imunológico artificial detectar as “patologias” de uma estrutura utilizando-se para isso de algoritmos computacionais, no caso, o algoritmo de seleção negativa, o qual funciona criando detectores capazes de identificar elementos não pertencentes ao sistema estudado e que se pretende proteger, trabalhando como um processo seletivo, similar ao que ocorre no corpo humano que identifica antígenos por meio de anticorpos.

O objetivo deste artigo é desenvolver um sistema inteligente baseado em sistemas imunológicos artificiais, mais precisamente o algoritmo de seleção negativa com a finalidade de identificar e caracterizar falhas estruturais de um edifício de dois andares.

## **2 | APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE SELEÇÃO NEGATIVA NA DETECÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS**

O sistema de análise da integridade estrutural utiliza como ferramenta de estudo os sistemas imunes artificiais, mais precisamente, o algoritmo de seleção negativa. A metodologia proposta é composta por três módulos principais: a aquisição de dados, o sensoriamento e o monitoramento do algoritmo de seleção negativa.

## 2.1 Sistemas Imunes Artificiais

O estudo dos SIA ganhou destaque a partir de 1996 e teve como principais pesquisadores Dasgupta, Forrest e Castro. Assim, muitos trabalhos foram apresentados e algumas definições surgiram para o SIA:

**Definição 1:** “Os sistemas imunológicos artificiais são compostos por metodologias inteligentes, inspiradas no sistema imunológico biológico, para a solução de problemas do mundo real” (DASGUPTA, 1998).

**Definição 2:** “Um sistema imunológico artificial é um sistema computacional baseado em metáforas do sistema imunológico natural” (Timmis, 2000).

Os SIA vêm sendo aplicados em diversas áreas, sendo que as principais delas são: reconhecimento de padrões, análise de dados e clusterização, segurança computacional, memórias associativas, programação e computação evolutiva, detecção de falhas e anomalias, otimização de processos, controle, robótica e aprendizagem de máquina (de Castro, 2001).

## 2.2 Algoritmo de seleção negativa

O algoritmo de seleção negativa (ASN) foi desenvolvido em 1994, por Forrest *et al.* O algoritmo consiste na criação de detectores capazes de identificar elementos não pertencentes à classe dos elementos que se deseja estudar, ou seja, capazes de distinguir entre os elementos próprios e não-próprios do sistema. Este algoritmo consiste de duas fases: sensoriamento e monitoramento. (AMARAL, 2006).

**1ª fase:** Sensoriamento – são definidos os detectores incapazes de identificar cadeias próprias. A seguir destacam-se os passos principais para a primeira fase.

- a. definir o conjunto de cadeias próprias (S), de tamanho limitado, que se deve proteger;
- b. gerar cadeias aleatoriamente ( $R_0$ );
- c. avaliar a afinidade (*match*) entre cada uma das cadeias geradas aleatoriamente ( $R_0$ ) e as cadeias próprias (S);
- d. se a afinidade for maior que um determinado limiar pré-estabelecido significa que houve um reconhecimento do conjunto próprio e, então, é preciso rejeitar a cadeia. Entretanto, se não houver similaridade entre as cadeias, essas serão armazenadas em um conjunto de detectores (R) (AMARAL, 2006).

**2ª fase:** Monitoramento – detecção das cadeias não-próprias pelos detectores gerados pela 1ª fase.

- a. definir o conjunto de cadeias (S) no qual se deseja proteger;

- b. avaliar a afinidade (match) entre cada uma das cadeias do conjunto próprio (S) e o conjunto de detectores criados na primeira fase (R);
- c. se a afinidade for superior a um limiar pré-estabelecido, então, um elemento não-próprio foi identificado, ou seja, uma anomalia ocorreu (AMARAL, 2006).

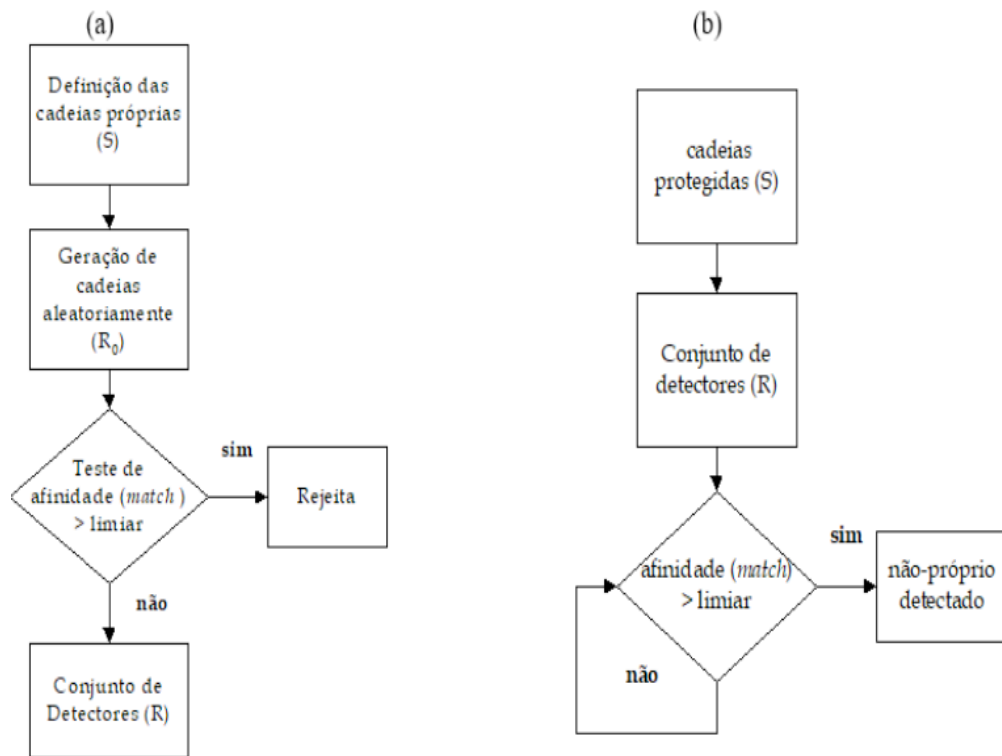


Figura 2.1: Fluxograma do Algoritmo de Seleção Negativa: Fase de Censoriamento (à esquerda) e Fase de Monitoramento (à direita).

Na Figura 2.1 é feita uma descrição das fases de sensoriamento e monitoramento executadas no algoritmo de seleção negativa.

### 2.3 Aquisição de dados

Para a implementação do algoritmo de seleção negativa é preciso inicialmente obter-se um conjunto de dados que representem as condições do sistema nas condições normais (*base-line*) e anormais (falha estrutural). Logo, para a representação dessas condições para um edifício de dois andares utilizou-se um modelo matemático formado por um sistema de equações diferenciais ordinárias. E para a resolução do sistema e obtenção do conjunto de dados empregou-se o integrador numérico Runge Kutta de quarta ordem.

Além disso, a ocorrência de falha na estrutura é representada pela variação das massas ( $M_1$  e  $M_2$ ) dos andares da estrutura.

A Figura 2.2 ilustra o modelo dinâmico do edifício de dois andares em questão, no qual se derivam as equações do movimento para um pórtico plano simples, levando em consideração o encurtamento das barras devido à deflexão das mesmas, sob excitação na direção vertical, provocando uma não linearidade geométrica.

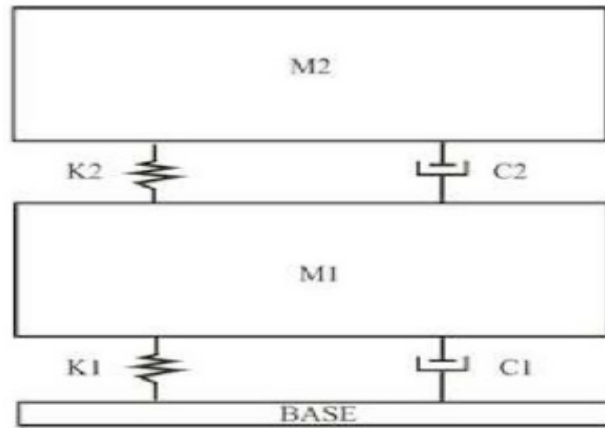


Figura 2.2: Modelo dinâmico (PEGAIANE, 2014)

A equação (1) representa o sistema de equações diferenciais ordinárias, as quais são utilizadas no integrador numérico Runge Kutta possibilitando a geração do conjunto de dados.

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = -\omega_1^2 x_1 + \frac{k_2}{m_1} x_3 - \frac{c_1}{m_1} x_2 - S$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = \omega_2^2 (x_1 - x_3) + \frac{c_2}{m_2} (x_2 - x_4) - S$$

sendo

$S$  : excitação periódica;

$m_1, m_2$  : massas do primeiro e segundo andar, respectivamente;

$c_1, c_2$  : amortecimentos;

$x_1, x_2$  : deslocamento e velocidade do primeiro andar, respectivamente;

$x_3, x_4$  : deslocamento e velocidade do segundo andar, respectivamente;

$\omega_1, \omega_2$  : frequências;

$k_1, k_2$  : rigidez;

$A$  : constante;

$t$  : frequência de excitação.

Os valores dos parâmetros iniciais utilizados no modelo matemático estão descritos na Tabela 1, e foi aplicado o integrador *Runge Kutta* de quarta ordem na equação (1) para as condições iniciais  $x_1=0,01$ ;  $x_2=0,01$ ;  $x_3=0,01$  e  $x_4=0,01$  no tempo

considerando amostras de 0 a 200s.

Parâmetros	Valores
$m_1$	7 kg
$m_2$	7 kg
$c_1$	0,6
$c_2$	0,7 N.s/m
$x_1$	0,01 m
$x_2$	0,01 m
$x_3$	0,01 m
$x_4$	0,01 m
$\omega_1$	1 rad/s
$\omega_2$	2 rad/s
$K_2$	0,8 N/m
$S$	$A \cos(\tau t)$
$A$	$10^{-5}$
$\tau$	1

Tabela 1 - Parâmetros do Modelo Matemático (PEGAIANE, 2014)

### 3 | RESULTADOS

O sistema de Monitoramento da Integridade Estrutural (SHM) a ser desenvolvido, baseado no algoritmo de seleção negativa, é dividido em três módulos, sendo: aquisição de dados, o sensoriamento e o monitoramento. Tais fases podem ser observadas na Figura 3.1.

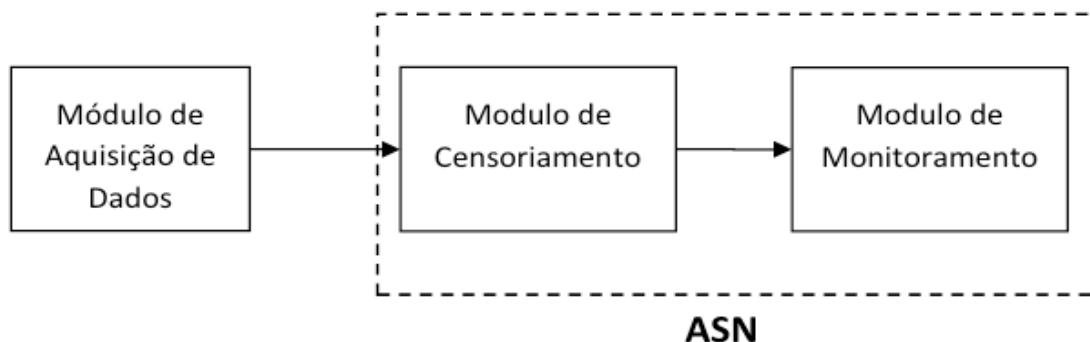


Figura 3.1: Sistema de Análise da Integridade da Estrutura de um prédio de dois andares.

Para averiguar a eficácia da aplicação de sistema imunes artificiais na análise da integridade estrutural, fez-se necessária a realização de vários testes para comprovar que o algoritmo de seleção negativa consegue de forma robusta classificar os dados entre próprio e não-próprio.

Assim, o primeiro módulo foi executado, visto que o primeiro passo é a aquisição dos dados para posteriores comparações entre eles. Dessa forma, sinais foram criados por meio da resolução das equações diferenciais ordinárias. O conjunto de

dados próprios (normais) foram obtidos quando as massas  $M_1$  e  $M_2$  são iguais a 7 kg, e os dados não-próprios (anormais) foram obtidos quando houve uma variação nas massas dos andares. Sendo assim, a quantidade de sinais gerados foi obtida ao alterar a massa  $M_1$  de 8 até 9 com variação de 0,5 e a  $M_2$  de 1 até 7 com variação de 0,5.

Vale salientar, também, que os dados anormais podem ser obtidos pela variação somente da massa do primeiro andar, somente da massa do segundo andar ou variando-se as massas dos dois andares ao mesmo tempo. Assim, foram gerados no total 2 vetores de sinais próprios e 38 vetores de sinais não-próprios.

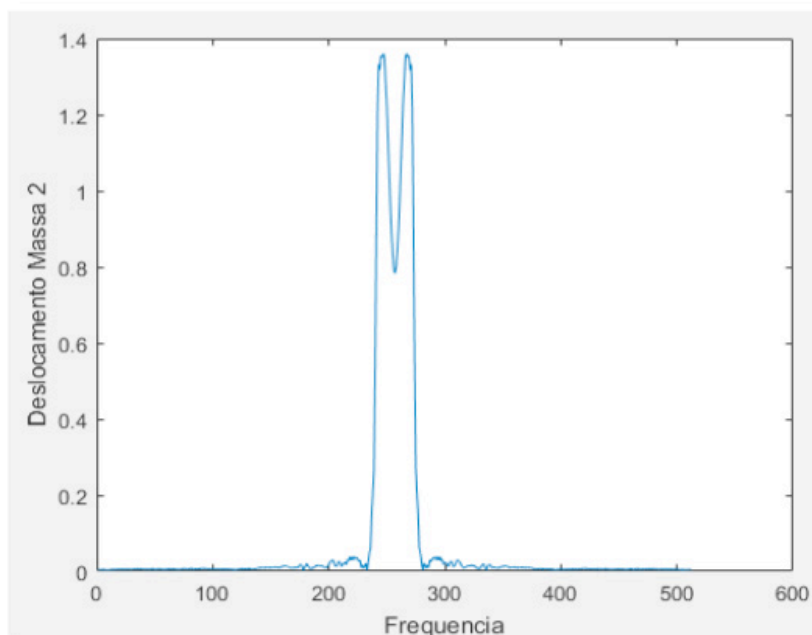


Figura 3.2: Sinal de condição normal

As Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 representam os sinais em sua condição normal, condição de falha no primeiro andar e condição de falha no segundo andar, respectivamente.

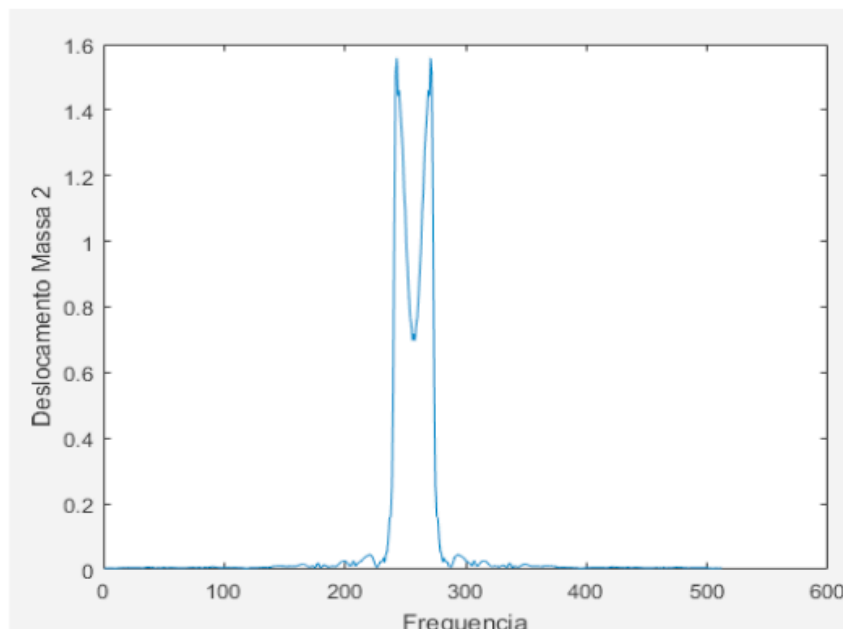




Figura 3.3: Sinal de condição de falha no primeiro andar

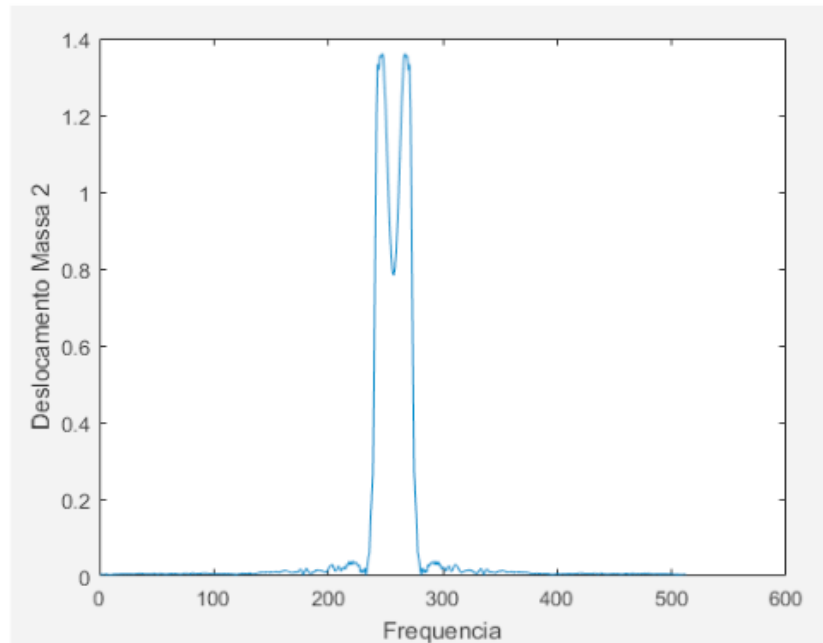


Figura 3.4: Sinal de condição de falha no segundo andar

Logo após a aquisição dos sinais deu-se início ao segundo módulo (censoriamento), momento em que é criado o conjunto de detectores, os quais serão incapazes de identificar cadeias próprias. Para isso, adotou-se uma taxa de afinidade de 66,66%, tal taxa é importante para provar a semelhança entre as cadeias, utilizando-se o critério conhecido como casamento (combinação), o qual pode ser perfeito ou parcial. No caso, utilizou-se um casamento parcial, pois neste nem todas as posições dos padrões precisam possuir os mesmos valores, ou seja, apenas uma quantidade de posições definidas previamente precisa ser igual para confirmar o casamento (LIMA et al., 2014).

Além disso, para a criação dos detectores, também, levou-se em consideração o critério proposto por (FORREST et al., 1994), que afirma que é necessário utilizar apenas 30% dos dados para a geração do conjunto de detectores para que o processo se torne mais próximo do real, uma vez que no sistema biológico a quantidade de detectores distribuídos pelo organismo representa 30% de todos os agentes infecciosos presentes no corpo.

Por fim, o terceiro módulo (monitoramento) é executado, o qual consiste na detecção das cadeias não-próprias do sistema pelos detectores gerados na fase anterior. Assim, cada sinal gerado na fase de aquisição de dados é comparado com cada detector gerado na fase de censoriamento, de tal forma que os sinais em falhas são detectados por meio da avaliação e verificação do casamento com o conjunto de detectores, realizando-se a detecção de sinais em falha com base na discriminação próprio/não-próprio, ainda utilizando-se de uma taxa de afinidade de 66,66% para tais combinações.

Para a verificação da eficácia do método vários testes com o algoritmo implementado foram realizados e com os resultados obtidos fez-se uma média aritmética, na qual obteve-se para o programa uma taxa de acerto de 100% na classificação dos sinais. Logo os resultados obtidos para os testes realizados são satisfatórios e comprovam que o algoritmo de seleção negativa é eficiente no processo de diagnóstico

## 4 | CONCLUSÃO

O trabalho reflete a importância da implementação de novas ferramentas para o processo de inspeção de estruturas a fim de identificar falhas e evitar possíveis acidentes. Logo, a aplicação de sistemas imunes artificiais no estudo e análise da integridade estrutural tem-se destacado como uma nova técnica para o monitoramento de falhas, uma vez que o mesmo apresenta resultados precisos e robustos.

Assim, com os testes realizados com o algoritmo pode-se averiguar que o programa realiza de forma correta a discriminação próprio/não-próprio apresentando, portanto, uma taxa de acerto de 100% na classificação dos sinais.

Além disso, outra vantagem que pode ser observada na execução do método é o tempo de processamento que é bastante reduzido, o que proporciona rapidez no reconhecimento dos sinais.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da Fapesp – Processo Fapesp N° 2017/20082-2

## REFERÊNCIAS

- Amaral, J. L. M. **Sistemas imunológicos artificiais aplicados à detecção de falhas**, 2006. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8236/8236\\_4.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8236/8236_4.PDF)>. Acesso em: 4 de janeiro de 2018.
- Almusallam, A. A. “**Effect of Degree of Corrosion on the Properties of Reinforcing Steel Bars**”, Construction and Building Materials. Vol. 15, pp. 361-368, 2001.
- Dasgupta, D.; Forrest, F. **Artificial Immune Systems in Industrial Applications**. Disponível em: <<https://www.cs.unm.edu/~forrest/publications/dasgupta.pdf>>. Acesso em: 3 de março de 2018.
- de Castro, L. N. **Engenharia Imunológica: desenvolvimento e aplicação de ferramentas computacionais inspiradas em sistemas imunológicos artificiais**. Campinas, 2001. Disponível em: <[http://www.dca.fee.unicamp.br/~vonzuben/research/lnunes\\_dout/tese/cap\\_0.pdf](http://www.dca.fee.unicamp.br/~vonzuben/research/lnunes_dout/tese/cap_0.pdf)>. Acesso em: 3 de março de 2018.
- Forrest, S. A.; Perelson, A. L.; Cherukuri, R. “**Self-nonsel Self Discrimination in a Computer**”, In: Proceedings of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland: IEEE, pp. 202-212, 1994.
- Lima, F. P. A.; Silva J. C.; Lima, A. P. A.; Minussi, C.R. **Reconhecimento de caracteres manuscritos utilizando sistemas imunológicos artificiais**. 2014.

Palaia, L. “**Structural Failure Analysis of Timber Floors and Roofs in Ancient Buildings at Valencia (Spain)**”, International Conference on Mechanical Behaviour and Failures of the Timber Structures, Florence, pp. 1-11, 2007.

Pegaiane, M. G. R. dos Reis “**Minimizando Vibrações de um Sistema Dinâmico através de Controle Híbrido**”, Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 70f., 2014.

Timmis, J. I. “**Artificial Immune Systems: A Novel Data Analysis Technique Inspired by the Immune Network Theory**”, Tese (Doctor of Philosophy of the University of Wales) - Department of Computer Science, University of Wales, Aberystwyth, 2000.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Jorge González Aguilera:** Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: [jorge.aguilera@ufms.br](mailto:jorge.aguilera@ufms.br)

**Alan Mario Zuffo:** Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: [alan\\_zuffo@hotmail.com](mailto:alan_zuffo@hotmail.com)

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-474-0

