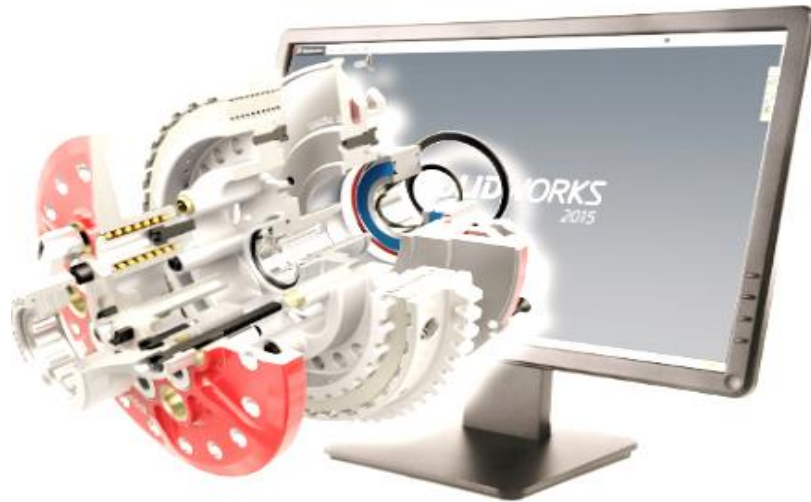




ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**



## **Curso E-Learning de Sistemas Multicorpo (Multibody Systems) para Engenheiros Mecânicos**

**JOÃO PAULO BRITO DA LUZ CLARA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Doutor Rui Pedro Chedas de Sampaio

Júri:

Presidente: Doutor Joaquim Infante Barbosa

Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Doutor Rui Pedro Chedas de Sampaio

**Dezembro 2015**



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

## **Curso E-Learning de Sistemas Multicorpo (Multibody Systems) para Engenheiros Mecânicos**

**JOÃO PAULO BRITO DA LUZ CLARA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Doutor Rui Pedro Chedas de Sampaio

Júri:

Presidente: Doutor Joaquim Infante Barbosa

Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Doutor Rui Pedro Chedas de Sampaio

**Dezembro 2015**



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família. Aos meus pais, Francisco da Luz Clara e Cidália da Luz Clara e à minha irmã, Alexandra da Luz Clara, por todo o apoio que me deram durante a minha formação escolar, académica e a educação dada durante todo o meu crescimento como pessoa.

Dedico especialmente à minha namorada Cristina Alves, que me apoiou durante todo este percurso e deu-me ânimo nos momentos menos bons durante o desenvolvimento deste trabalho.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Professor Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio, pela disponibilidade, o aconselhamento, as informações necessárias e úteis para o desenvolvimento deste trabalho, o meu sincero obrigado.

Agradeço ainda a todos, os amigos e colegas de curso (ISEL) que participaram e colaboraram de uma forma ou de outra neste trabalho de projeto.

A todos, o meu grande e sincero obrigado!



LUZ CLARA, J. **Curso E-Learning de Multibody Systems para Engenheiros Mecânicos**, Trabalho de Projeto – Curso de Engenharia Mecânica, Área Departamental de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.

## RESUMO

Este trabalho destaca um projeto focado na modelação de sistemas multicorpo com o intuito de apresentar aos Engenheiros Mecânicos o *software* mais apropriado para realizar funções de modelação e análise do movimento de corpo rígido, utilizando o *e-learning* como uma base pedagógica para a formação.

A criação de um curso *e-learning* foi o método escolhido para apresentar as lições teórico-práticas (módulos), as quais apresentam um modelo de estudo *online*, ou seja, um modelo de ensino não presencial suportado por tecnologia em vídeo, tendo à disposição as capacidades da internet para a comunicação, a informação e a partilha de conteúdos.

A conceção e a estrutura do curso foi definida de maneira a englobar os programas de modelação de sistemas multicorpo, isto é, foram apresentados exemplos simples para ilustrar as potencialidades de cada *software*.

O *e-learning* tem ganho nos últimos anos, a par do aumento de velocidade da internet e do desenvolvimento de novas aplicações, uma importância crescente como plataforma de oferta formativa, o qual oferece vantagens, no que diz respeito à aprendizagem e no ensino, quer para o formador (professor), quer para o formando (aluno).

A conceção de um *website* promoveu a visualização do curso (em vídeo). Também a criação de um inquérito online serviu para avaliar a opinião dos utilizadores.

**Palavras-Chave:** Multibody Systems; E-learning; Ensino à distância; Software 3D e 2D; SolidWorks; MSC Adams; Working Model; Algodoo; Análise de movimento e cálculo computacional.



## ABSTRACT

This work focuses on a project that represents a modeling of multibody systems in order to present to Mechanical Engineers the most appropriate software for modeling and analysis functions of the rigid body motion, using *e-learning* as an educational basis for training.

The creation of an *e-learning* course was the method chosen to present the theoretical and practical lessons (modules), which presents online study model, ie, a non-classroom teaching model supported by video technology and availability of the capabilities of the Internet for communication, information and content sharing.

The design and structure of the course was defined to encompass the multibody systems modeling programs, i.e., simple examples were presented to illustrate the potential of each *software*.

In recent years e-learning has gained, along with the increase of web speed and the development of new applications, an increasing importance as training supply platform, which offers advantages in regard to learning and teaching, for the teacher, and the student.

The design of a website promoted the view of the course (in video). The creation of an online survey was also used to assess the feedback from users.

**Keywords:** Multibody Systems; E-learning; Distance learning; Software 3D e 2D; SolidWorks; MSC Adams; Working Model; Algodoo; Motion analysis and computacional calculation.



# ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. Sistemas Multicorpo .....	5
2.1.1. Softwares e Modelos de Sistemas Multicorpo. ....	9
2.2. E-Learning .....	22
2.2.1. Vantagens e Desvantagens no <i>e-learning</i> .....	30
2.2.2. Materiais Pedagógicos .....	31
3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS.....	33
3.1. Software 3D e 2D de Modelação Multicorpo .....	33
3.1.1. SolidWorks – <i>Motion Analysis</i> .....	33
3.1.2. MSC Adams.....	35
3.1.3. Working Model 2D .....	36
3.1.4. Algodoo .....	38
3.2. Ferramentas de E-Learning.....	39
3.2.1. NCH Software – Debut Video Capture .....	39
3.2.2. Windows Live Movie Maker .....	40
3.2.3. Microsoft PowerPoint .....	40
3.2.4. Microsoft Excel.....	41
3.2.5. Microsoft OneNote .....	42
3.2.6. PTC Mathcad .....	43
3.2.7. Autodesk SketchBook.....	44
4. ESTRUTURA DO CURSO .....	47
4.1. Objetivos do Curso .....	47
4.2. Módulos do Curso.....	47
4.2.1. Descrição do Curso .....	48

4.3. Exemplos apresentados.....	50
4.3.1. Princípios básicos no SolidWorks (Módulo 1).....	50
4.3.2. Pêndulo simples (Módulo 4).....	51
4.3.3. Modelos Quatro cilindros e Massa-Mola (Módulo 5). ....	56
4.3.4. Comportamento do bloco num plano inclinado, Exemplo 2 (Módulo 7)....	61
4.3.5. Exemplo de cálculo da resposta de um veículo para diferentes suspensões (Módulo 7).....	65
4.4. Avaliação do Curso .....	68
4.5. Website .....	69
5. CONCLUSÕES .....	71
6. SUGESTÕES FUTURAS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
Anexo 1 – Avaliação do Curso (Inquérito Online).....	87
Anexo 2 – Respostas ao inquérito realizado.....	89
Anexo 3 – <i>Website</i> para promover o Curso <i>e-learning</i> de <i>Multibody Systems</i> . ....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de um movimento de manivela (embolo e haste). .....	6
Figura 2. Movimento vertical do êmbolo do motor.....	6
Figura 3. Articulação de um Cardan. Fonte: Garcia de Jalón e Bayo (1994).....	7
Figura 4. Mecanismo de uma manivela.....	8
Figura 5. Velocidade da cabeça do pistão (m/s).....	8
Figura 6. Aceleração da cabeça do pistão (m/s <sup>2</sup> ).....	8
Figura 7. Binário na biela (N/m). .....	9
Figura 8. Condição imposta (motor) para gerar o movimento no modelo. ....	10
Figura 9. Simulação do movimento e cálculo das forças na biela.....	10
Figura 10. Haste submetida à análise de elementos finitos (FEA).....	11
Figura 11. Representação de um mecanismo (à esquerda) e representação de uma estrutura (à direita).....	11
Figura 12. Análise de um modelo de uma suspensão.....	12
Figura 13. Estudo do movimento da lança da máquina escavadora no <i>Motion Analysis (SolidWorks)</i> . .....	13
Figura 14. Análise da deformação efetuada no <i>Motion Analysis (SolidWorks)</i> . .....	13
Figura 15. Modelo criado no SolidWorks. ....	14
Figura 16. Mecanismo (motor) utilizado para gerar movimento ao veio do motor. ....	14
Figura 17. Parametrização do mecanismo (motor).....	14
Figura 18. Aplicações típicas e simulação dos modelos. ....	15
Figura 19. Modelos de Sistemas Multicorpo.....	16
Figura 20. Exemplos de desenhos no MSC Adams. Fonte: Fraile, A.H. (2011).....	16
Figura 21. Análise de tensões (Von Mises) no componente da suspensão de um veículo. ....	17
Figura 22. Análise de tensões (Von Mises) no modelo de quatro cilindros.....	17
Figura 23. Desenho de um rolamento no MSC Adams. ....	18
Figura 24. Comparação entre os modelos. ....	19
Figura 25. Análise de um modelo com aplicação do método dos elementos finitos.....	19
Figura 26. Caso de estudo de um corpo circular a deslizar num plano inclinado criado no <i>Working Model 2D</i> . ....	20
Figura 27. Caso de estudo de um corpo (bloco) num plano inclinado criado no <i>Working Model 2D</i> . ....	21

Figura 28. <i>E-learning</i> . .....	25
Figura 29. Ensino eletrônico (e-learning). Fonte: Leal e Amaral (2004). .....	27
Figura 30. Interface gráfica do <i>SolidWorks</i> 2013. ....	34
Figura 31. Interface gráfica do <i>MSC Adams</i> 2013 ( <i>Adams View</i> ). ....	36
Figura 32. Interface gráfica do <i>Working Model</i> 2005. ....	38
Figura 33. Interface gráfica do <i>Algodoo</i> 2014. ....	39
Figura 34. Interface do <i>Microsoft PowerPoint</i> . ....	41
Figura 35. Imagem do ambiente de trabalho principal do <i>Microsoft Excel</i> . ....	42
Figura 36. Interface da <i>Microsoft OneNote</i> . ....	43
Figura 37. Interface do <i>Mathcad</i> . ....	44
Figura 38. Ilustração em <i>Autodesk SketchBook</i> . ....	45
Figura 39. Modelação da Base (Part1). ....	50
Figura 40. Torno Mecânico. ....	50
Figura 41. Pêndulo simples .....	51
Figura 42. Opções cálculo e definições a partir do “Mass Properties” e da Árvore de Operações ( <i>SolidWorks</i> ). ....	52
Figura 43. Decomposição do ângulo e medidas do pêndulo simples. ....	52
Figura 44. Número de amostragens 75 (Frames Per Second). ....	55
Figura 45. Número de amostragens 150 (Frames Per Second). ....	56
Figura 46. Modelo Quatro Cilindros criado no <i>SolidWorks</i> . ....	56
Figura 47. Análise de movimento (deslocamento linear) do componente selecionado (biela). ....	57
Figura 48. Cabeça do pistão nº4. ....	57
Figura 49. Modelo Massa-Mola criado no <i>SolidWorks</i> . ....	58
Figura 50. Modelo 4 Cilindros (ficheiro .adm exportado para <i>Adams View</i> ). ....	59
Figura 51. Plano inclinado com o bloco a deslizar sobre o plano inclinado. ....	61
Figura 52. Simulação no <i>Working Model 2D</i> do corpo no plano inclinado (ponto A, em repouso). ....	63
Figura 53. Simulação no <i>Working Model 2D</i> do corpo a deslizar sobre o plano inclinado, até ao ponto B. ....	64
Figura 54. Resultados da aceleração do bloco. ....	64
Figura 55. Suspensão de ¼ veículo. ....	65
Figura 56. Modelo submetido a simulação no <i>Working Model</i> . ....	65
Figura 57. Comando « <i>Pause Control</i> » no <i>Working Model</i> . ....	66

Figura 58. Amplitude de pico a pico da Roda (pneu) (harmónica). .....	66
Figura 59. Amplitude de pico a pico do Chassis, (harmónica).....	66
Figura 60. Representação gráfica do deslocamento vertical da Roda (pneu).....	67
Figura 61. Representação gráfica do deslocamento vertical do Chassis. ....	67
Figura 62. Cabeçalho do inquérito online do Curso <i>e-learning</i> . ....	87
Figura 63. Questões do inquérito online (Estrutura do curso).....	88
Figura 64. Questões do inquérito online (Posicionamento do curso).....	89
Figura 65. Resultados obtidos na pergunta nº17 do inquérito. ....	98
Figura 66. Resultados obtidos na pergunta nº20 do inquérito. ....	99
Figura 67. <i>Home page</i> do <i>Website</i> .....	101
Figura 68. Página com a apresentação da Estrutura do curso. ....	101
Figura 69. Página para a Avaliação do Curso. ....	102
Figura 70. Breve introdução dos programas 3D e 2D (ferramentas computacionais), utilizados na construção do curso. ....	102



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Distribuição, por continente, das instituições de ensino e formação à distância (1984 – 1989). Fonte: Correia e Pinheiro (2012). .....	24
Quadro 2. Comparação entre as novas tecnologias e as tecnologias tradicionais. Fonte: Correia e Pinheiro (2012). .....	30
Quadro 3. Vantagens e Desvantagens na aplicação do <i>e-learning</i> enquanto modalidade de ensino e de formação. Fonte: Silva (2004). .....	31
Quadro 4. Ferramentas e funcionalidades do PTC <i>Mathcad</i> . .....	44
Quadro 5. Estrutura do curso. ....	48
Quadro 6. Comparação dos resultados obtidos. ....	64
Quadro 7. Resultados do inquérito online. ....	89
Quadro 8. Classificação média das perguntas do inquérito. ....	93



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ferramentas utilizadas com maior frequência. Fonte: Magano <i>et al</i> (2008).	29
Gráfico 2. Distribuição diária dos acessos. Fonte: Magano <i>et al</i> (2008).....	29
Gráfico 3. Resposta do pêndulo simples (Deslocamento Ang. vs Tempo). .....	53
Gráfico 4. Deslocamento angular (deg) vs Tempo (seg).....	53
Gráfico 5. Velocidade angular (deg/s) vs Tempo (seg).....	54
Gráfico 6. Aceleração angular (deg/s <sup>2</sup> ) vs Tempo (seg).....	54
Gráfico 7. Energia cinética do sistema. ....	54
Gráfico 8. Energia potencial do sistema. ....	55
Gráfico 9. Deslocamento linear do componente (biela). ....	57
Gráfico 10. Energia cinética do componente (cabeça de pistão n <sup>o</sup> 4). ....	58
Gráfico 11. Deslocamento linear do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do Motion Analysis – SolidWorks (valor máximo de 164 mm). ....	58
Gráfico 12. Energia Cinética do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do Motion Analysis – SolidWorks (valor de 0,27 Joules).....	59
Gráfico 13. Deslocamento linear do componente (biela). ....	59
Gráfico 14. Energia cinética do componente (cabeça de pistão n <sup>o</sup> 4). ....	60
Gráfico 15. Determinação do deslocamento linear do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do ADAMS View (valor máximo de 164 mm).....	60
Gráfico 16. Energia Cinética do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do ADAMS View (valor de 0,27 Joules). ....	61
Gráfico 17. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 1 do inquérito. ....	94
Gráfico 18. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 2 do inquérito. ....	94
Gráfico 19. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 3 do inquérito. ....	94
Gráfico 20. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 4 do inquérito. ....	95
Gráfico 21. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 5 do inquérito. ....	95
Gráfico 22. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 6 do inquérito. ....	95
Gráfico 23. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 7 do inquérito. ....	96
Gráfico 24. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 8 do inquérito. ....	96
Gráfico 25. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 9 do inquérito. ....	96
Gráfico 26. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 10 do inquérito. ....	97
Gráfico 27. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 11 do inquérito. ....	97
Gráfico 28. Resultados obtidos na pergunta n <sup>o</sup> 12 do inquérito. ....	97

Gráfico 29. Resultados obtidos na pergunta nº13 do inquérito. ....	97
Gráfico 30. Resultados obtidos na pergunta nº14 do inquérito. ....	98
Gráfico 31. Resultados obtidos na pergunta nº15 do inquérito. ....	98
Gráfico 32. Resultados obtidos na pergunta nº16 do inquérito. ....	98
Gráfico 33. Resultados obtidos na pergunta nº18 do inquérito. ....	99
Gráfico 34. Resultados obtidos na pergunta nº19 do inquérito. ....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

$\alpha$ – Aceleração da gravidade ( $\cong 9,81 \text{ m/s}^2$ ) (Working Model 2D)	$F_{AT_D}$ – Força de atrito (dinâmico)
$g$ – Aceleração da gravidade ( $\cong 9,81 \text{ m/s}^2$ )	$F$ – Força (em Newton)
$\alpha$ - Aceleração angular	$F_R$ – Força resultante
$h_{m\acute{a}x.}$ – Altura	$FPS$ – Frames per second (Nº de amostragens)
$Y$ – Amplitude de pico	$f$ – Frequência
$AVI$ – Audio Video Interleave	$GIF$ – Graphics Interchange Format
$ESINE$ – Centro de Estudos Técnicos Empresariais	$GDL$ – Grau de Liberdade
$\mu_D$ – Coeficiente de atrito (dinâmico)	$deg$ – Graus
$CAD$ – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)	$deg/s$ – Graus por segundo
$CAE$ – Computer Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)	$deg/s^2$ – Graus por segundo quadrado
$L$ – Comprimento da barra	$Hz$ – Hertz
$\pi$ – Constante Pi ( $\cong 3,14159$ )	$IBM$ – International Business Machines
$cos$ – Coseno	$IFB$ – Instituto de Formação Bancária
$\theta$ – Deslocamento angular	$JPEG$ – Joint Photographic Experts Group
$E_{m\acute{a}x.}$ – Energia cinética máxima	$LMS$ – Learning Management System
$P_{m\acute{a}x.}$ – Energia potencial máxima	$MCAE$ – Mechanical Computer Aided Engineering (Engenharia Mecânica assistida por Computador)
$E_{mec.}$ – Energia mecânica	$mm$ – Milímetros
$EUA$ – Estados Unidos da América	$mm/s$ – Milímetros por segundo
$FEA$ – Finite Element Analysis (Análise de Elementos Finitos)	$I$ – Momento de inércia
$FFT$ – Fast Fourier Transform	$MPEG$ – Moving Picture Expert Group
$FEM$ – Finite Element Method (Método de Elementos Finitos)	$MP3$ – MPEG Audio Layer-3
$FLV$ – Flashvideo	$MP4$ – MPEG Audio Layer-4
$F(y)$ – Força em função do eixo do y	$MBS$ – Multibody Systems (Sistemas Multicorpo)
	$T$ – Período

***P*** – Peso

***P<sub>X</sub>*** – Peso no eixo do X

***P<sub>Y</sub>*** – Peso no eixo do Y

***PNG*** – Portable Network Graphics

***PTC*** – Product & Service Advantage (PTC Mathcad)

***MOV*** – Quicktime Video

***r*** – Raio

***rad*** – Radiano

***rad/s*** – Radiano por segundo

***rad/s<sup>2</sup>*** – Radiano por segundo quadrado

***N*** – Reação Normal

***RA*** – Real Audio

***RPM*** – Rotações por minuto

***sen*** - Seno

***tgθ*** – Tangente do ângulo

***TIC*** – Tecnologias de informação e comunicação

***t*** – Tempo em segundos

***URL*** – Uniform Resource Locator (Localizador Padrão de Recursos).

***UNESCO*** – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas da Educação, Ciência e da Cultura)

***UA*** – Universidade de Aveiro

***θ̇*** – Velocidade angular

***WAV*** – Waveform Audio

***www*** – World Wide Web (*Rede de Alcance Mundial*)

# 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretende introduzir o conhecimento prático sobre a modelação de sistema multicorpo através elaboração de um curso *e-learning*.

A utilização de ferramentas computacionais de modelação 3D e 2D permite mostrar algumas das potencialidades da modelação de corpos rígidos, essencialmente, através de simulações dinâmicas.

O *SolidWorks* permite o desenho de uma peça, ou conjunto de peças, de forma rápida, simples e facilmente alterável, baseado principalmente em três ambientes: peça, designado por “*part*”, montagem, a que chamamos “*assembly*” e por último, o desenho 2D, assinalado pelo nome de “*drawing*”.

O *Motion Analysis* está preparado para criar e construir corpos rígidos (componentes), através dos mais variadíssimos tipos de forma e dimensão, com a particularidade de poder realizar montagens que designamos por “*mates*” e/ou “*joints*” (articulações). Para além desta possibilidade de combinação entre corpos rígidos e de definir o contacto entre eles, podemos ainda criar simulações dinâmicas. O *Motion Analysis*<sup>1</sup> é um módulo incorporado no *SolidWorks*, conhecido como uma ferramenta muito sofisticada de modelação 3D para a análise de mecanismos através do cálculo de movimentos (deslocamentos, velocidades e acelerações) e excitações (forças e momentos).

Neste trabalho vão ser utilizados dois programas de modelação dinâmica 2D, conhecidos por *Working Model*<sup>2</sup> e *Algodoos*<sup>3</sup>. Estes programas, tal como o *Motion Analysis* são capazes de criar simulações dinâmicas que respeitam a 2<sup>a</sup> Lei de Newton, através de desenhos de mecanismos e de corpos rígidos. A definição de forças atuantes e observação dos movimentos, interação entre corpos, assim como o cálculo de forças, momentos, forças de atrito, velocidades, e acelerações, etc, são algumas das possibilidades destes programas.

O ensino à distância procura a introdução de novas tecnologias para utilizações pedagógicas. Segundo Correia e Pinheiro (2012) essa procura encontra-se na flexibilização da aprendizagem, no que concerne ao tempo e espaço. Para além disso, a metodologia da aprendizagem pode comportar duas áreas completamente distintas, a tecnologia e a pedagogia.

---

<sup>1</sup> Módulo incorporado no software *SolidWorks*, preparado para simulação e análise de movimento de corpos rígidos.

<sup>2</sup> Software da *Design Simulation Technologies*. Programa preparado para estudar simulações de movimento dinâmico 2D.

<sup>3</sup> Software original da *Algoryx Simulation AB*.

De um lado podemos falar sobre a tecnologia que nos dias de hoje encontra-se muito avançada, pois a maior parte das pessoas, principalmente estudantes, conseguem ter em casa um computador com acesso à Internet. O avanço da tecnologia traduz-se na flexibilidade de obter informação e dados que possam ser úteis para o suporte de aprendizagem.

Do outro lado temos a pedagogia, que insere-se no campo do ensino em torno da educação e da formação, visando aperfeiçoar e estimular as capacidades das pessoas, quer seja presencial (professor e aluno) ou não presencial (ensino à distância).

O desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação (TIC), trouxe vantagens ao ensino e à aprendizagem, pois os métodos disponibilizados da parte do formador (pedagogo ou professor) são uma mais-valia para o formando (aluno) organizar a sua base de estudo, ou seja, um regime de autoaprendizagem.

No conceito *e-learning* existem vias de comunicação que podem ser utilizadas entre o formador e o formando, sendo a comunicação efetuada por intermédio de plataformas, fóruns, correio eletrónico (*e-mail*), janela de conversa (*chat*), entre outros, permitindo a disponibilização da matéria lecionada e a troca de informação.

Para o caso de existência de uma dúvida existe a possibilidade de recorrer a meios de comunicação com maior facilidade do que antigamente, pois eram utilizados os meios mais tradicionais como o correio e mais tarde o telefone.

Uma das características que distingue o *e-learning* é a possibilidade do aluno poder estudar, aprender e interagir à distância, recorrendo a meios de comunicação interativos (Internet), meios eletrónicos (computadores) e ferramentas de trabalho (programas/*software*).

Silva (2004) refere que o ensino à distância proporcionado através do *e-learning* é considerado um dos campos mais promissores face às inúmeras ofertas de utilizações pedagógicas no mundo eletrónico e digital.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar as potencialidades da modelação de corpos rígidos na resolução de problemas de engenharia mecânica.

A criação de um curso *e-learning*, como forma de demonstração das diferentes ferramentas de modelação, é a via adequada mostrar a componente computacional, que por outro lado, permite a aquisição de conhecimentos numa área em franco progresso e muito útil para a organização de formação contínua, quer seja no ensino (escolas, faculdades, etc), quer seja no trabalho (empresa).

No curso *e-learning* pretende-se apresentar no *software SolidWorks*<sup>4</sup> de uma forma simples, a simulação de exemplos de mecanismos, mas também serão utilizados outros tipos de programas 3D e 2D.

Este trabalho encontra-se dividido em sete capítulos.

No segundo capítulo é realizada uma descrição do estado da arte sobre sistemas multicorpo (*multibody systems*) e *e-learning*.

No terceiro capítulo descrevem-se as ferramentas computacionais nos sistemas multicorpo e no *e-learning*.

No capítulo seguinte descreve-se a estrutura do curso, a sua divisão (sete módulos) e a descrição do curso (exemplos).

No quinto capítulo apresenta-se o resultado da avaliação efetuada ao curso através de um inquérito aos utilizadores, descreve-se a sua estrutura e apresenta-se o site onde reside.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões finais do trabalho presente.

No sétimo capítulo são apresentadas as sugestões para trabalho futuro.

---

<sup>4</sup> *Software da Dassault Systemes. Software que permite a modelação 3D e simulação de corpos rígidos.*



## **2. ESTADO DA ARTE**

### **2.1. Sistemas Multicorpo**

Segundo Schiehlen (1997) a dinâmica nos sistemas mecânicos foi assinalada pela primeira vez por Isaac Newton em 1687. O mesmo autor menciona que a dinâmica nos sistemas multicorpo baseia-se na mecânica clássica.

De acordo com Shabana (2005) os sistemas multicorpo são componentes interligados entre vários corpos rígidos. Muitos dos sistemas mecânicos, como por exemplo, os veículos, máquinas industriais e robôs são constituídos por componentes submetidos a deslocamentos de translação e rotação.

Um sistema multicorpo é definido por ser constituído por vários corpos associados a um sistema de componentes ou estruturas. O movimento dos componentes pode ser restrito, devido aos diferentes constrangimentos (articulações) que possam existir no sistema com os movimentos de rotação e translação.

Os graus de liberdade dos componentes em translação e rotação, podem ser facilmente adicionados ou subtraídos, bem como os mecanismos podem ser criados através de articulações.

Bento e Farinha (2004) mencionam que um sistema de corpo rígido é constituído por um conjunto de pontos materiais que mantêm as suas posições relativas constantes durante o movimento. Por outro lado, Becker (2009) refere que a definição de corpo rígido está associada a um conjunto de infinitas partículas de massa infinitesimal.

Durante o movimento de translação, se as trajetórias dos pontos são definidas por linhas retas, estamos perante um movimento de translação retilíneo. O movimento de translação torna-se curvilíneo se as trajetórias dos pontos são curvas.

Considera-se o movimento de rotação de um corpo rígido se os pontos materiais desse corpo descrevem trajetórias circulares com raios diferentes em planos paralelos e com o centro no eixo de rotação (figura 1).

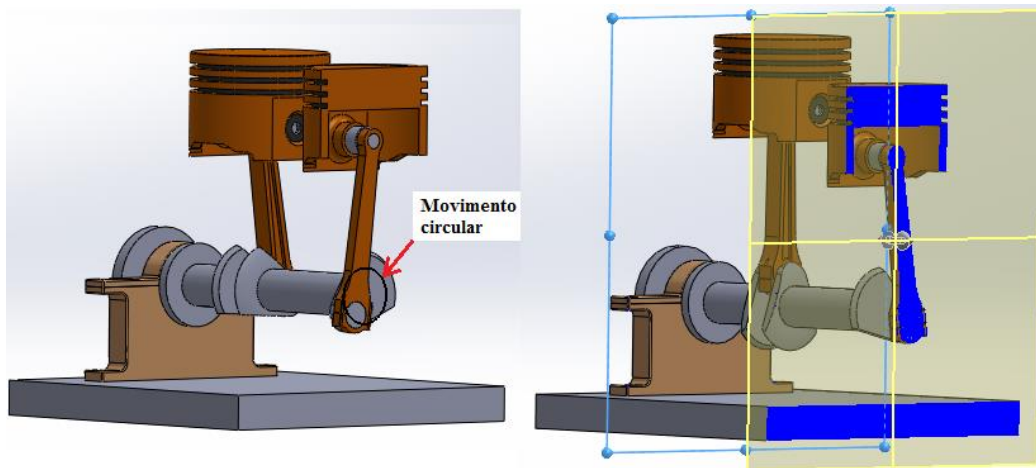


Figura 1. Exemplo de um movimento de manivela (embolo e haste).

Chedas de Sampaio (2013) refere que o movimento de translação e rotação estão relacionados com a determinação da posição de todas as partes que compõem o sistema em qualquer instante do tempo e o número mínimo de coordenadas independentes necessárias para a determinação do movimento. A este fator designamos por *grau de liberdade*.

Um exemplo simples para evidenciar esta condição, é o movimento de um êmbolo, que descreve uma trajetória vertical, sendo a coordenada Y suficiente para descrever o movimento.

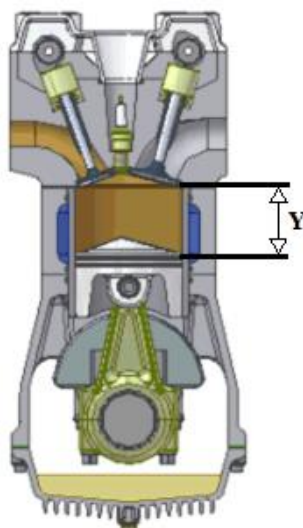


Figura 2. Movimento vertical do êmbolo do motor<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Êmbolo do motor [Consultado a 14 de Julho de 2015]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Pist%C3%A3o\\_do\\_motor](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pist%C3%A3o_do_motor)

De acordo com Garcia de Jalón e Bayo (1994) mencionam que se deve entender a importância que tem a aplicação de uma articulação a um sistema de corpo rígido. Ao aplicar a articulação estamos a impedir ou apenas a restringir o movimento. Vejamos o exemplo apresentado na figura 3.

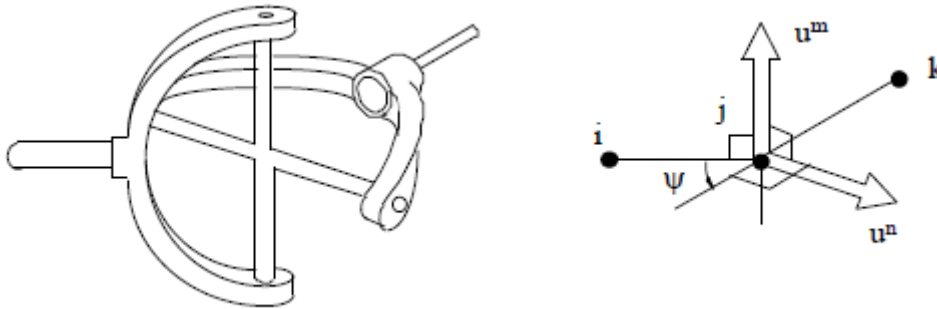


Figura 3. Articulação de um Cardan. Fonte: Garcia de Jalón e Bayo (1994).

A figura 3 apresenta o desenho de um Cardan que constitui uma articulação, utilizando as coordenadas de referência do sistema. Caso o ângulo entre os dois eixos seja fixo, a articulação ficará limitada e só permitirá a existência de um grau de liberdade, restringindo cinco graus de liberdade.

Sabendo que à partida um corpo tem seis graus de liberdade, significa que um corpo quando se desloca livremente no plano possui três graus de liberdade na translação ao longo de três eixos e três graus de liberdade na rotação em torno de três eixos.

Flores e Ambrósio (2004) evidenciam um caso de estudo de um mecanismo de uma manivela que desliza na horizontal (figura 4). O modelo é constituído por quatro corpos rígidos, duas articulações e uma articulação que liga o corpo 3 ao corpo 4, constituindo o movimento deslizante entre a biela e a cabeça do pistão.

A análise dinâmica do modelo pode ser efetuada quando as condições iniciais impostas ao mecanismo estiverem idealmente corretas, nomeadamente as configurações coincidentes entre os corpos.

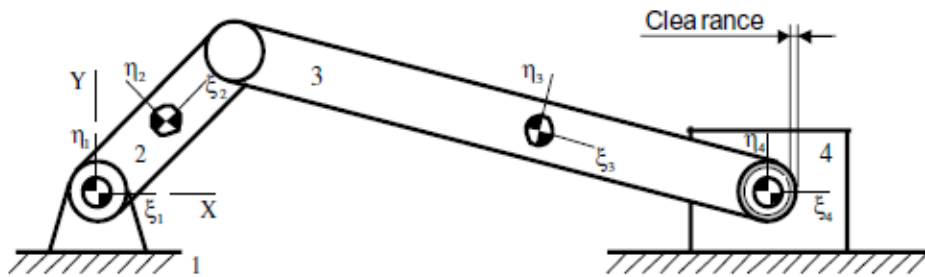


Figura 4. Mecanismo de uma manivela.

Através deste conjunto de corpos rígidos pode-se determinar a resposta dinâmica do mecanismo a partir da análise de movimento com a obtenção dos valores da velocidade e aceleração da cabeça do pistão (corpo 4), e ainda o binário exercido no excêntrico por intermédio do valor da velocidade angular definido em RPM.

As figuras seguintes mostram os resultados obtidos após a análise do movimento do conjunto apresentado na figura 4.

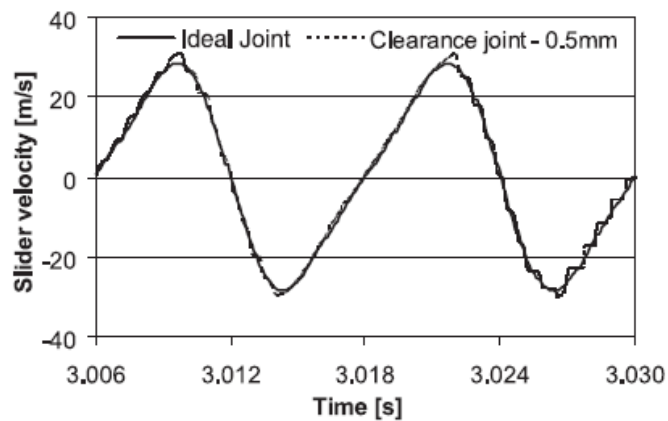


Figura 5. Velocidade da cabeça do pistão (m/s).

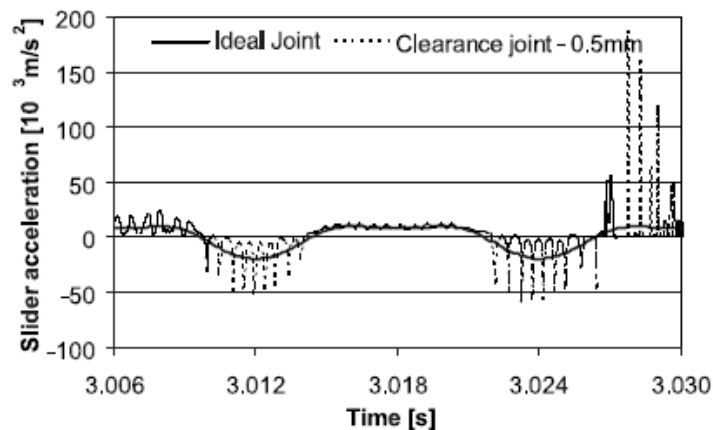


Figura 6. Aceleração da cabeça do pistão (m/s<sup>2</sup>).

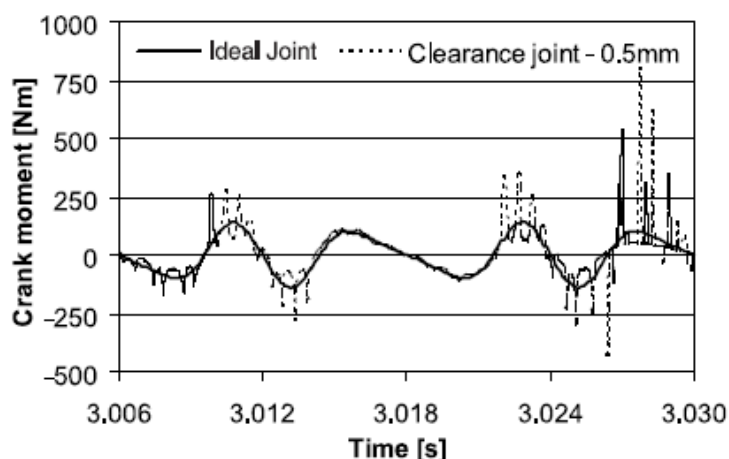


Figura 7. Binário na biela (N/m).

### 2.1.1. Softwares e Modelos de Sistemas Multicorpo.

Na Engenharia os processos computacionais são importantes, sobretudo quando são utilizados para obter uma solução mais exata do problema através da programação em computador e simulação no *software* mais adequado.

Carvalho e Farinha (2010), mencionam que a utilização das ferramentas computacionais para o desenvolvimento da indústria de sistemas multicorpo tem vindo a proporcionar um lançamento crescente, essencialmente no ramo automóvel e no ramo da metalomecânica.

Schiehlen (1997) refere que atualmente as potencialidades das novas ferramentas de cálculo permitem efetuar estudos de projetos avançados, como por exemplo, o estudo dinâmico no ramo automóvel, protótipos de robôs na área da mecatrónica e robótica, assim como nas estruturas mecânicas utilizando o método de elementos finitos.

No presente trabalho apresenta-se alguns exemplos de modelos de corpos rígidos desenvolvidos através de programas de modelação que conseguem garantir os estudos de comportamentos dinâmicos e resultados otimizados.

As ferramentas computacionais que destacamos neste trabalho para a análise do comportamento de sistemas multicorpo em três dimensões (3D) são: o *SolidWorks* e o *MSC Adams*.

As potencialidades do programa *SolidWorks – Motion Analysis* permitem analisar o movimento dos corpos rígidos com a introdução de variáveis de modo a alterar o comportamento do sistema. A figura 8 ilustra um modelo de quatro cilindros que

através da introdução de um motor com uma velocidade constante de 100 RPM foi possível analisar o movimento rotativo do sistema. Salienta-se ainda que foram selecionados alguns mecanismos para obter os resultados.

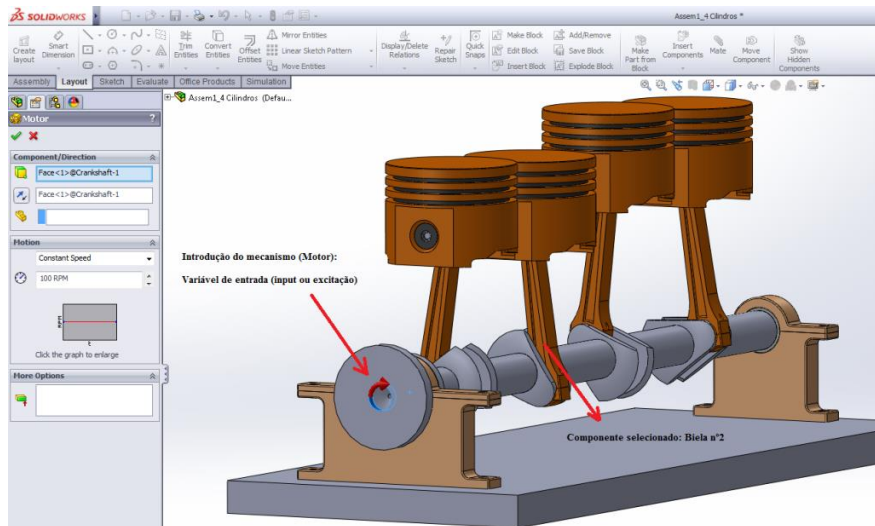


Figura 8. Condição imposta (motor) para gerar o movimento no modelo.

A figura 9 apresenta um mecanismo de uma manivela criado no *SolidWorks* que permite simular o movimento de um pistão e determinar as tensões máximas na haste de ligação através do *Motion Analysis*.

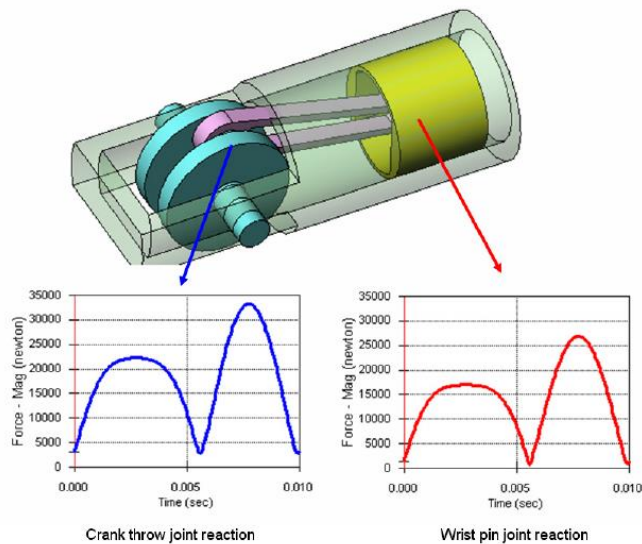


Figura 9. Simulação do movimento e cálculo das forças na biela<sup>6</sup>

<sup>6</sup> *Understanding Motion Simulation – Dassault Systèmes SolidWork Corp. pp. 1 – 16. [Online] [Consultado em 29 de Julho de 2015].*

O exemplo seguinte, figura 10, apresenta a análise de elementos finitos (FEA) realizada no componente designado por haste, permitindo a determinação de deformações e tensões.

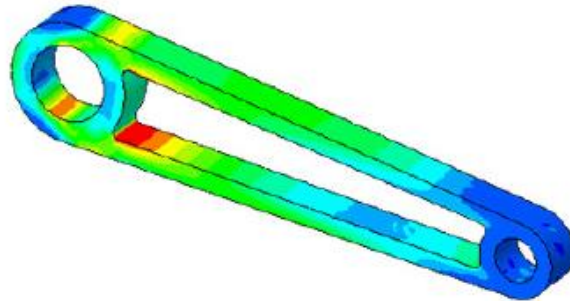


Figura 10. Haste submetida à análise de elementos finitos (FEA)<sup>7</sup>.

A figura 11 apresenta um mecanismo (à esquerda) de um braço a rodar livremente sem deformação. A adição de uma mola altera a natureza da estrutura concebida à direita, pois o braço não pode mover-se sem deformar a mola.

Neste mecanismo podem ser realizadas simulações de movimento, permitindo as análises de tensões em qualquer componente.

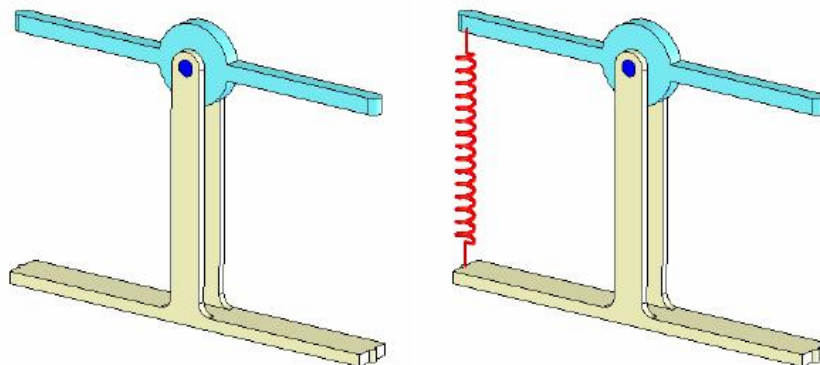


Figura 11. Representação de um mecanismo (à esquerda) e representação de uma estrutura (à direita)<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> *Understanding Motion Simulation* – Dassault Systèmes SolidWork Corp. pp. 1 – 16. [Online] [Consultado em 29 de Julho de 2015].

<sup>8</sup> *Understanding Motion Simulation* – Dassault Systèmes SolidWork Corp. pp. 1 – 16. [Online] [Consultado em 29 de Julho de 2015].

A figura 12 representa um modelo de uma suspensão, o qual pode ser submetido a uma simulação de movimento para analisar o comportamento parcial (componentes) ou global da suspensão.

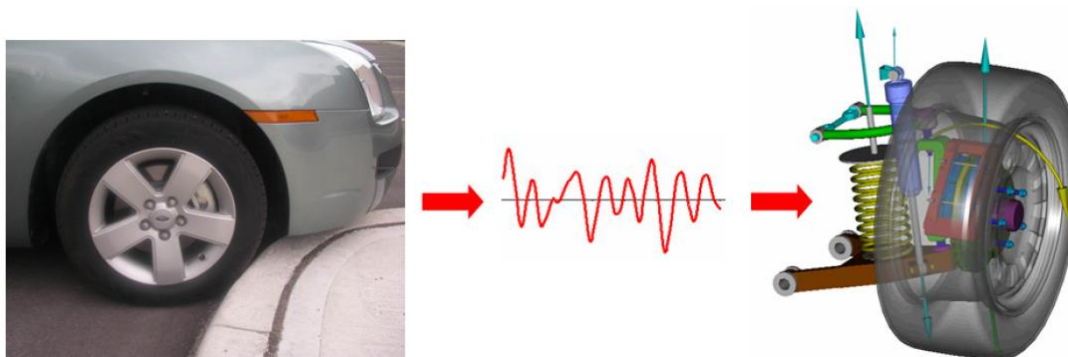


Figura 12. Análise de um modelo de uma suspensão<sup>9</sup>.

A utilização do *software* adequado para a modelação de corpos rígidos permite desenvolver o estudo do movimento do sistema através da definição dos parâmetros e da introdução das restrições (constrangimentos) que viabiliza a simulação do conjunto do sistema.

Segundo Schiehlen (1978) quanto mais complexo for o sistema multicorpo, mais complexas se podem tornar as equações diferenciais que constituem a análise do movimento, assim como a baixa precisão do cálculo em função do tempo. A restrição aplicada no sistema do corpo rígido pode originar uma complexidade na otimização do movimento do sistema, e para isso, deve-se definir com rigor todos os parâmetros.

Na figura 13 é apresentado um exemplo de um modelo que se pode realizar o estudo do movimento da lança da máquina escavadora. Na mesma figura é possível visualizar o traço a preto que representa a trajetória do balde da escavadora. O traço a preto pode ser definido através da função “*Trace Path*”.

---

<sup>9</sup> *Understanding Motion Simulation – Dassault Systèmes SolidWork Corp. pp. 1 – 16. [Online] [Consultado em 29 de Julho de 2015].*

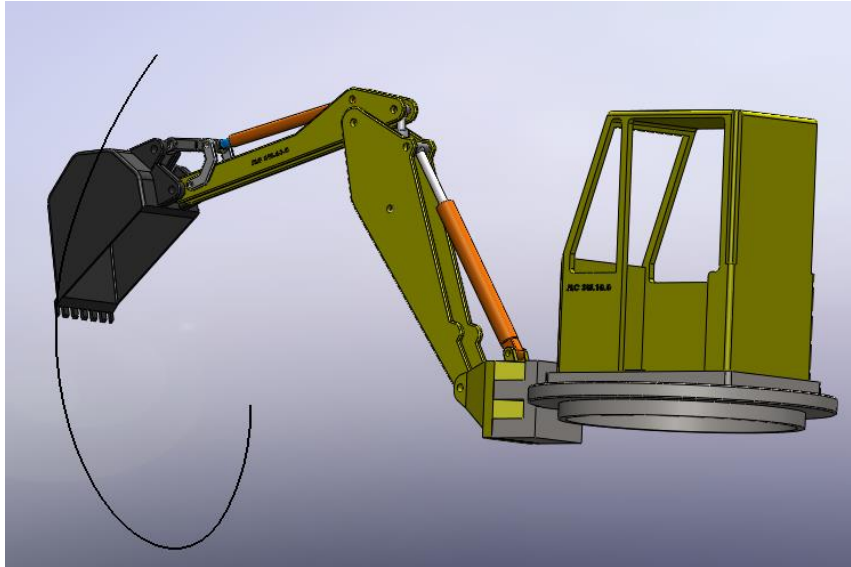


Figura 13. Estudo do movimento da lança da máquina escavadora no *Motion Analysis* (*SolidWorks*).

A figura seguinte evidencia a análise da deformação de um pneumático pertencente à lança da máquina escavadora, efetuada no *Motion Analysis*.

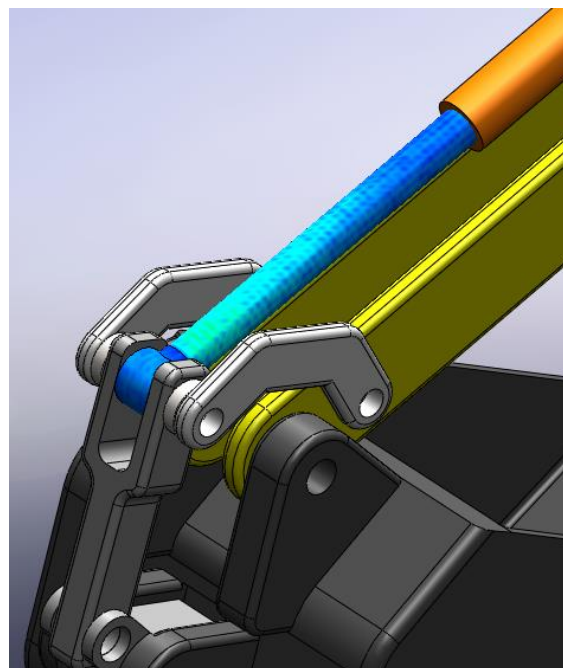


Figura 14. Análise da deformação efetuada no *Motion Analysis* (*SolidWorks*).

A figura 15 ilustra o funcionamento de um motor elétrico. A figura 16 apresenta um mecanismo que faz gerar o movimento rotativo do veio do motor, enquanto a figura 17 evidencia a parametrização dos regimes de velocidade e aceleração do motor ao longo do tempo.

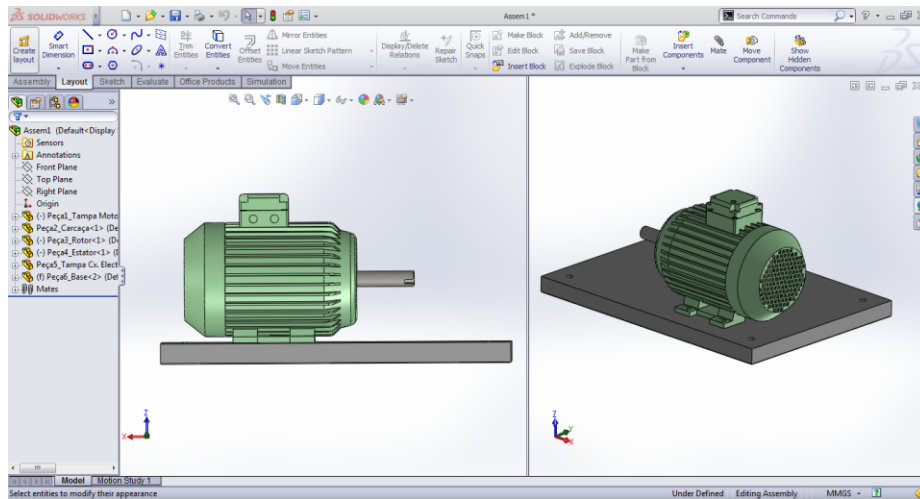


Figura 15. Modelo criado no SolidWorks.

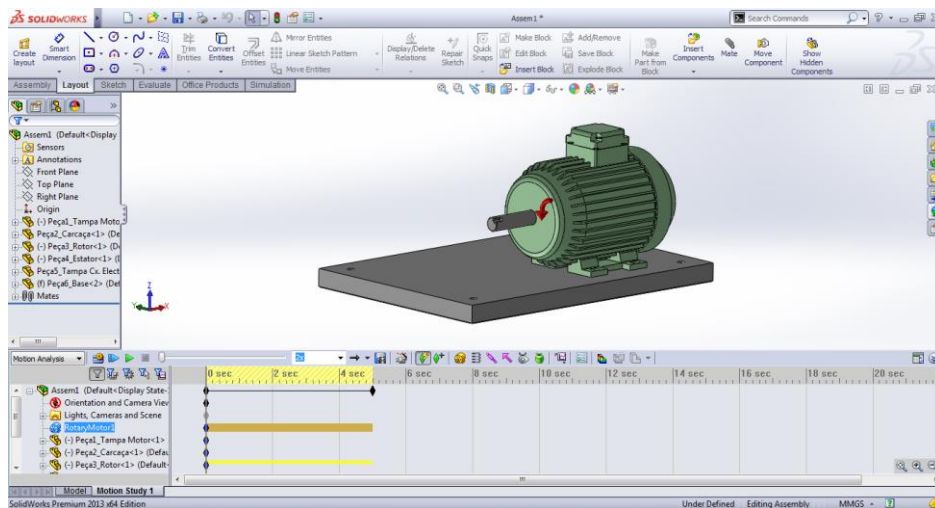


Figura 16. Mecanismo (motor) utilizado para gerar movimento ao veio do motor.

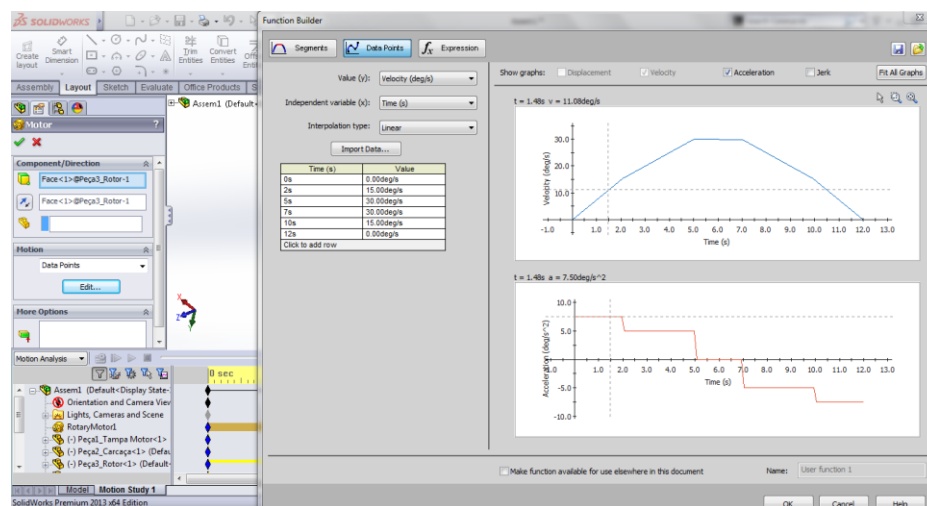


Figura 17. Parametrização do mecanismo (motor).

Ryan (1990) menciona que há trinta anos atrás não existiam ferramentas computacionais capazes de desenvolver e avaliar os fatores cinemáticos e dinâmicos dos sistemas mecânicos.

Atualmente os *softwares* permitem efetuar os estudos do comportamento de um veículo na estrada, do deslocamento do braço robot, bem como do movimento de máquinas da indústria de diversos setores, entre outros.

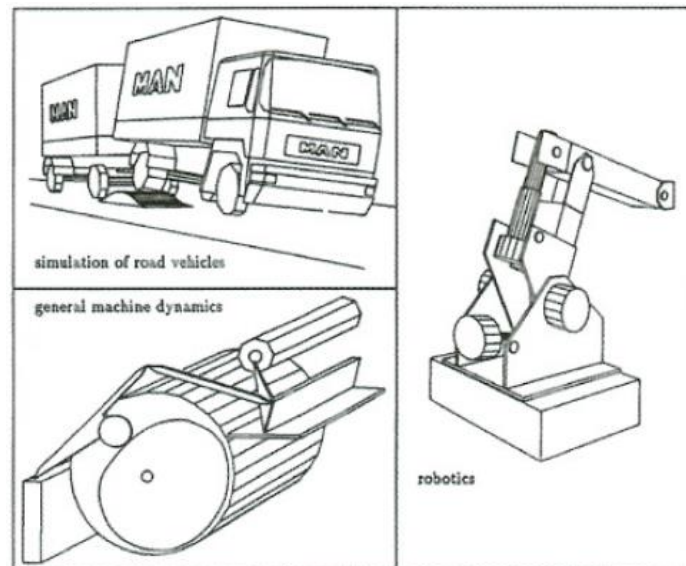


Figura 18. Aplicações típicas e simulação dos modelos.

O mesmo autor refere que antes de construir qualquer protótipo toda a idealização do projeto deve passar por um *software* MCAE (*mechanical computer aided engineering*), como por exemplo o *MSC Adams*, que integra um papel fundamental para a análise dos sistemas de corpo rígido, permitindo realizar a simulação para avaliar o desempenho do sistema.

A figura 19 mostra alguns dos modelos de sistemas multicorpo que representam o comportamento de sistemas reais. Por exemplo, a figura apresenta um jato que efetua ejeção do piloto/cadeira, podendo assim analisar-se o comportamento dinâmico do conjunto.

Outro exemplo, é a análise da suspensão do veículo que pode ser realizada para entender o comportamento dos componentes associados ao movimento da suspensão.

Por outro lado, a máquina escavadora pode ser analisada para determinar a capacidade de carga necessária quando se efetua o movimento de elevação.

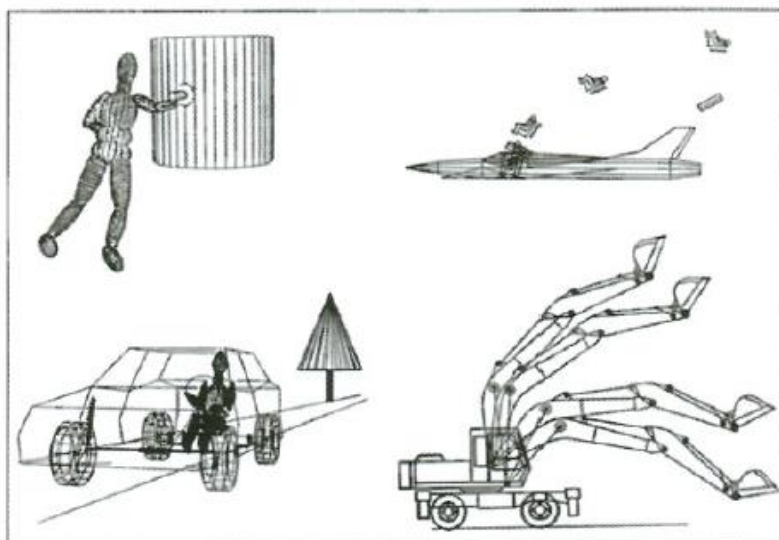


Figura 19. Modelos de Sistemas Multicorpo.

Mostramos alguns exemplos de modelos que podem ser concebidos e analisados a partir do programa *MSC Adams*.

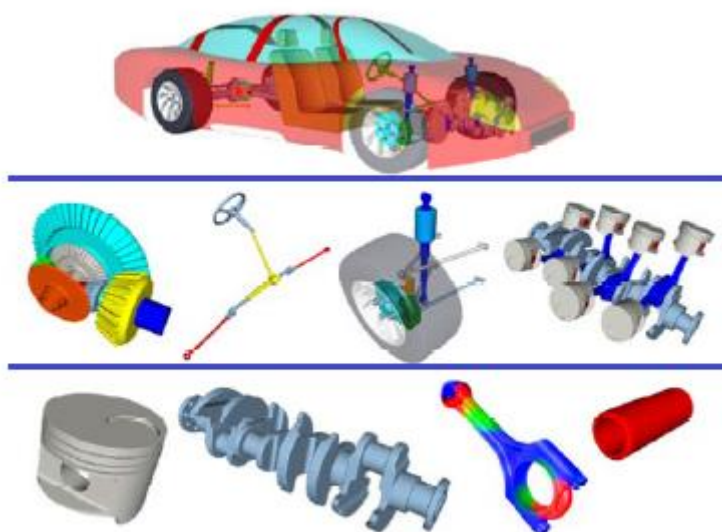


Figura 20. Exemplos de desenhos no MSC Adams. Fonte: Fraile, A.H. (2011)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Fonte: Fraile, A.H. (2011). *Proyecto Fin de Carrera – Modelado, Simulación y Análisis con MSC Adams. Aplicación a rodamientos con defectos en una pista de rodadura. Universidad Carlos III de Madrid; Leganés, 05 de Septiembre de 2011. pp. 1 – 208. [Online] [Consultado em 30 de Julho de 2015].*

O *MSC Adams* permite realizar a análise de tensões a todos os componentes existentes numa suspensão de um veículo. Neste caso o estudo pode ser efetuado no componente designado por braço triangular, como mostra a figura.

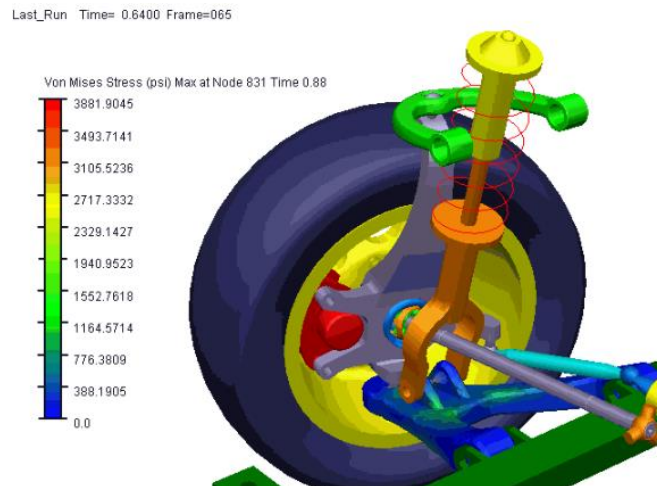


Figura 21. Análise de tensões (Von Mises) no componente da suspensão de um veículo<sup>11</sup>.

A figura seguinte apresenta o estudo nas bielas de um motor, sendo possível analisar as tensões.

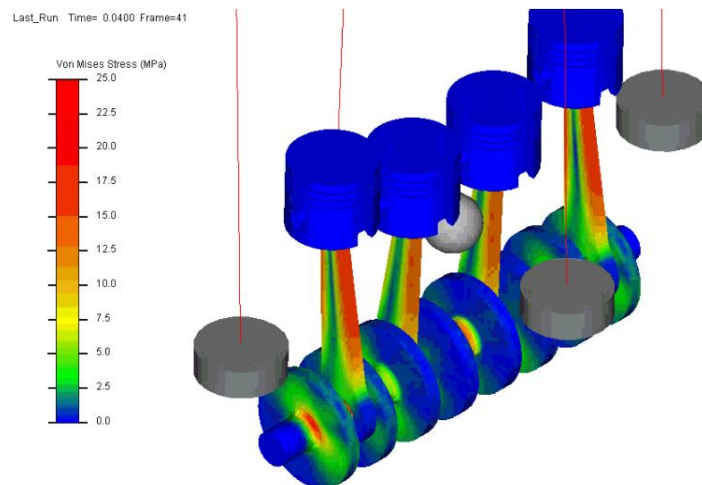


Figura 22. Análise de tensões (Von Mises) no modelo de quatro cilindros<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Componente da suspensão de um veículo [Consultado a 14 de Julho de 2015]. Disponível em: <http://www.mscsoftware.com/product/adams>

<sup>12</sup> Modelo de quatro cilindros [Consultado a 14 de Julho de 2015]. Disponível em: <http://www.mscsoftware.com/product/adams>

O programa permite construir vários corpos rígidos no mesmo desenho e analisá-lo quanto ao comportamento dinâmico. A figura ilustra um rolamento com casquilho de agulhas.

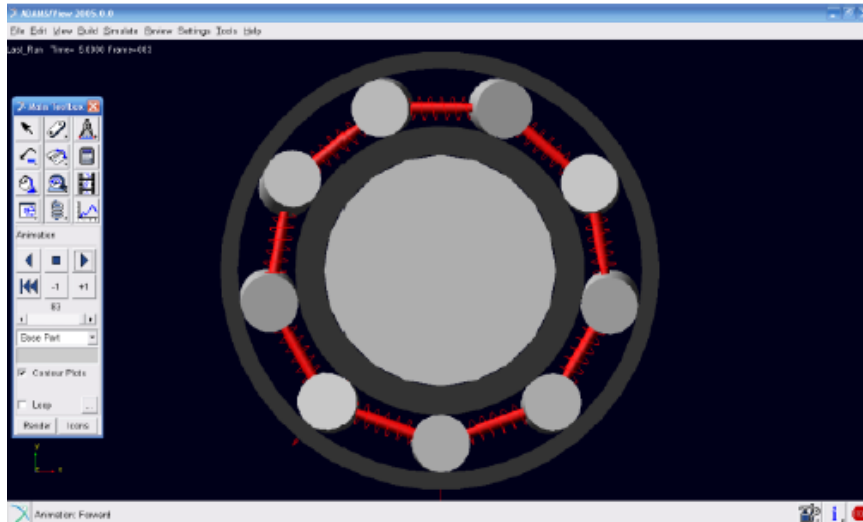


Figura 23. Desenho de um rolamento no MSC Adams<sup>13</sup>.

Os estudos realizados a partir de programas MCAE (Engenharia Mecânica assistida por Computador) permitem modelar, analisar, simular e otimizar o movimento dos corpos rígidos do sistema.

Os programas estão preparados para proporcionar estudos de sistemas reais, tais como, o comportamento de máquinas, o comportamento dinâmico de veículos ou componentes associados a veículos, a otimização da estabilidade, do conforto e da eficiência, entre outros<sup>14</sup>.

Outro tipo de estudo que se pode realizar é o método de elementos finitos (*MEF*) que difere dos sistemas multicorpo ao assumir que os corpos se deformam.

Pode-se definir que o método de elementos finitos constitui a divisão dos elementos discretos que são deformáveis. Este estudo é capaz de desenvolver o cálculo matemático e desenvolver procedimentos que aproximam os resultados da realidade<sup>15</sup>.

<sup>13</sup> Fonte: Fraile, A.H. (2011). *Proyecto Fin de Carrera – Modelado, Simulación y Análisis con MSC Adams. Aplicación a rodamientos con defectos en una pista de rodadura*. Universidad Carlos III de Madrid; Leganés, 05 de Septiembre de 2011. pp. 1 – 208. [Online] [Consultado em 30 de Julho de 2015].

<sup>14</sup> Fonte: *Sistemas multicorpo* [Consultado a 29 de Julho de 2015]. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Multibody\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Multibody_system)

<sup>15</sup> Fonte: *Definição de MEF* [Consultado a 31 de Julho de 2015]. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Finite\\_element\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method)

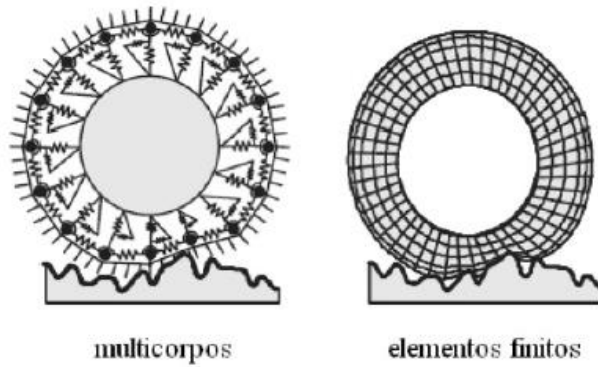


Figura 24. Comparação entre os modelos<sup>16</sup>.

Muitos exemplos podem ser estudados no campo da Engenharia Mecânica e Civil, tais como, componentes e equipamentos mecânicos (compressores, motores, etc.) e as estruturas (vigas, treliças, paredes, sólidos, etc.). Através da interface gráfica do *software* é possível desenvolver os problemas e efetuar a interpretação dos resultados obtidos.

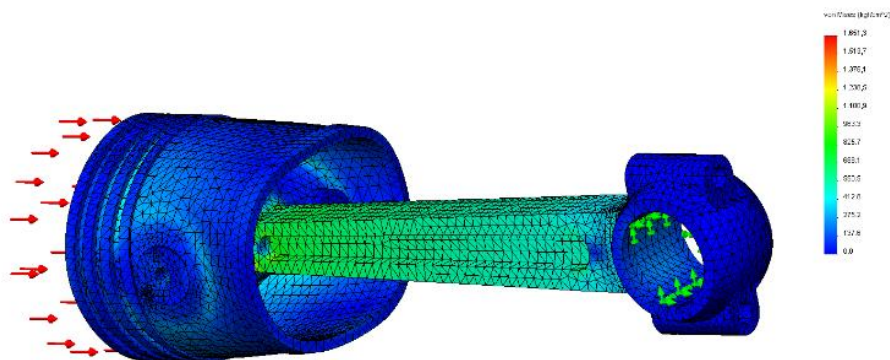


Figura 25. Análise de um modelo com aplicação do método dos elementos finitos<sup>17</sup>.

O modelo da figura 25 encontra-se sujeito a um plano de forças aplicadas (a cor vermelha), assim como o encastramento dos pontos definidos (a cor verde), resultando após a simulação, a apresentação de uma malha constituída por  $N$  elementos finitos quadriláteros, sendo cada um deste elementos compostos por nós. A deformação representada na malha é devido à ação das forças aplicadas nos componentes mecânicos (cabeça de um pistão e biela).

<sup>16</sup> Fonte: Nunes, M.A. (2012). *Aplicação da Técnica Multicorpos Aplicado a Engenharia*. Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia. Universidade de Brasília. Novembro 2012, pp. 1 – 45.

<sup>17</sup> Fonte: *Aplicação do MEF* [Consultado a 20 de Junho de 2015]. Disponível em: <http://www.datuopinion.com/elementos-finitos>

No que diz respeito à utilização do método de elementos finitos num sistema multicorpo quando simulado no *software*, este método exige as condições de fronteira de maior complexidade, especialmente nas parametrizações do modelo, obrigando a associar no mesmo um maior número de graus de liberdade, que tem como consequência uma análise mais prolongada, em comparação à simulação dinâmica do mesmo modelo.

Relativamente às ferramentas computacionais que integram o estudo de sistemas multicorpo em duas dimensões (2D), podemos indicar os programas *Working Model 2D*, *Algodoos* e *Physim*.

O *software 2D* permite desenvolver problemas associados à mecânica, definir os parâmetros, mecanismos e variáveis nos corpos rígidos, tal como o *software 3D*.

Os programas podem proporcionar o estudo da aplicação das *Leis Newtonianas* em sistemas multicorpo e apresentar os resultados por intermédio de gráficos de velocidade em função do tempo ou posição, a energia cinética ou potencial e o trabalho realizado pelo sistema das forças aplicadas.

No *Working Model 2D* pode ser criado o exemplo de um modelo de um corpo a deslizar sobre a superfície de um plano inclinado e determinar o valor da aceleração, como mostra a figura 26.

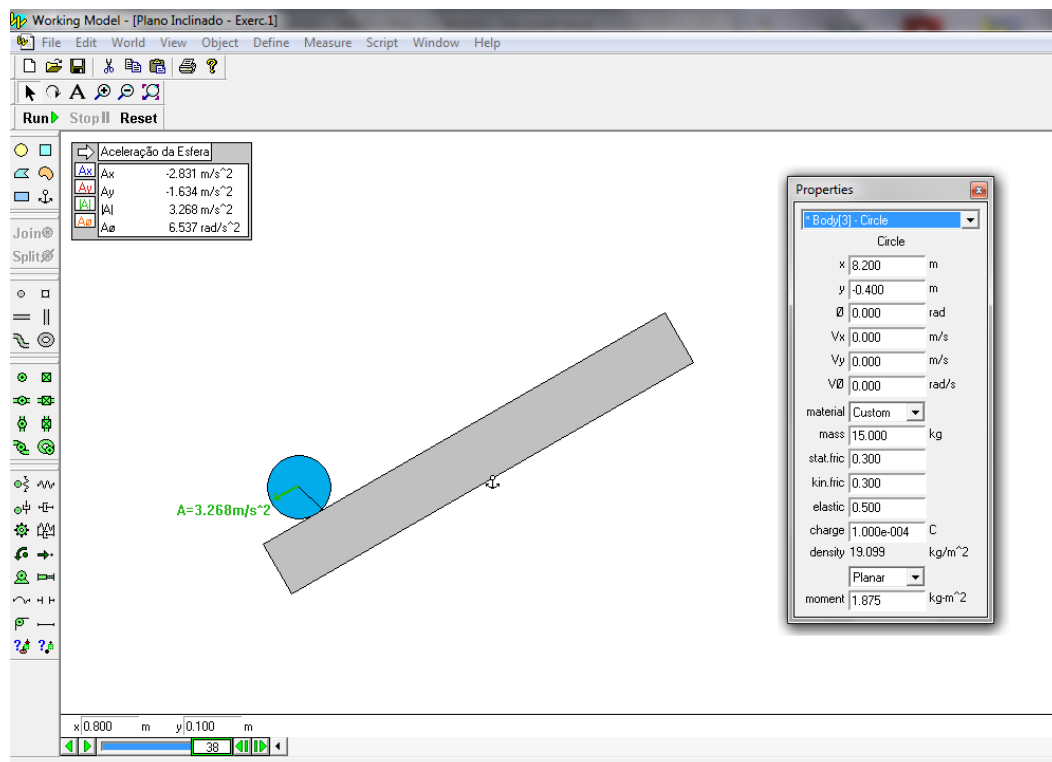


Figura 26. Caso de estudo de um corpo circular a deslizar num plano inclinado criado no *Working Model 2D*.

Outro exemplo que se pode criar neste *software*, é um corpo (bloco) a deslizar sobre a superfície de um plano inclinado e determinar o valor da aceleração e do coeficiente de atrito. Quando o corpo está a deslizar encontra-se sob a ação de quatro forças: peso ( $P_y$ ), de direção ( $P_x$ ), reação normal ( $N$ ) e de atrito ( $F_{at}$ ).

Estes programas têm a capacidade de mostrar os resultados da análise do movimento, através de gráficos, valores de velocidade, de aceleração, de energia e de trabalho, em função do tempo ou da posição.

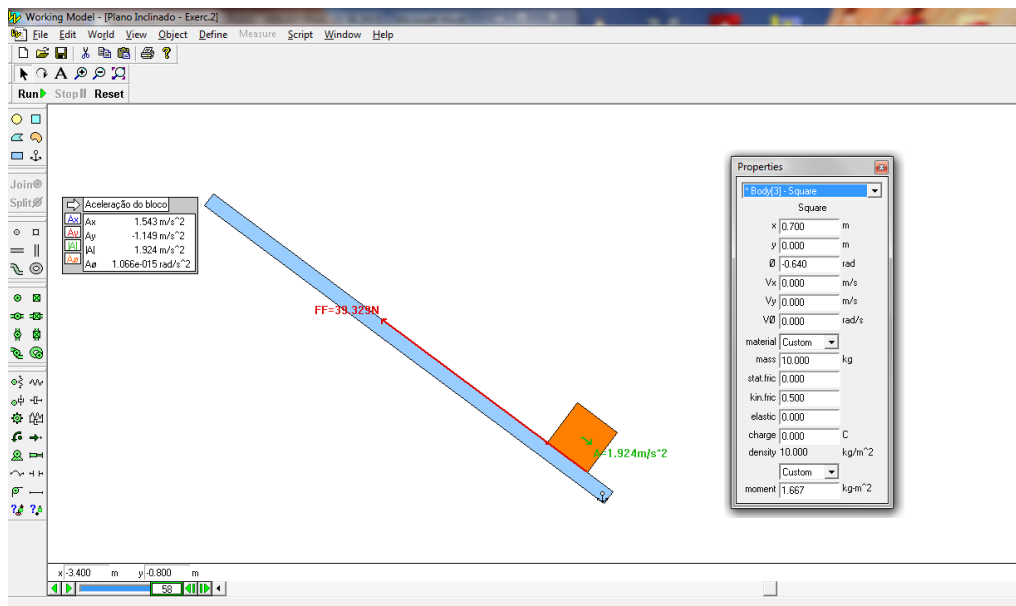


Figura 27. Caso de estudo de um corpo (bloco) num plano inclinado criado no *Working Model 2D*.

Vidaurre *et al* (2002) referem que os utilizadores que pretendem resolver problemas através de programas computacionais têm a vantagem de poder aprender e conhecer as capacidades dos programas, assim como, a obtenção dos resultados.

As capacidades que os programas podem oferecer ao utilizador são: a determinação das variáveis e a influência em torno do problema; a visualização através da simulação virtual pode trazer uma melhor compreensão dos resultados.

Assim, podemos afirmar que um estudo baseado neste tipo de programas, seja qual for, pode proporcionar um melhor enquadramento dos processos de simulação e uma perceção da metodologia de cálculo perante o problema proposto para resolver.

## 2.2. E-Learning

Nesta secção pretende-se mostrar um retrato histórico do *e-learning* na Europa e outros Continentes, descrevendo as formas de acesso à educação e à formação, referindo ainda as formas de ensino à distância tradicionais e as metodologias mais inovadoras, como é o caso da utilização do computador e da internet (*World Wide Web*).

Martins e Jorge (2014), indicam que o ensino à distância tornou-se nas últimas décadas uma modalidade de aprendizagem, em que o aluno e o professor podem estar geograficamente em pontos diferentes estabelecendo a interação com recurso a metodologias especiais.

Conforme citado por Silva (2004), sobre os primeiros passos no ensino à distância: “*the history of distance education started some hundred years ago. The purpose was to offer the possibility to learn to remote regions and groups of populations with limited access to ordinary educational services...*”.

Se recuarmos algum tempo, em 1843, é lançado o primeiro curso por correspondência no Reino Unido, e mais tarde vem a ser utilizado em Berlim, em 1866, surgindo a primeira escola de línguas por correspondência.

Em 1892, criou-se a repartição de ensino por correspondência, destacado apenas para o ensino superior na Universidade de Chicago.

Correia e Pinheiro (2012) consideram a correspondência como um procedimento pioneiro do ensino à distância que durante anos, pela forma de via postal, trouxe benefícios no que toca à flexibilidade, à mobilidade e à acessibilidade da aprendizagem e do conhecimento.

Silva (2004) refere que a aprendizagem e o ensino nessa altura não tinham bases muito sólidas na sociedade em que se vivia, obrigando ao desenvolvimento de uma nova forma de aprendizagem, que passou pelo ensino por correspondência. Este método de ensino à distância veio trazer a nível de ordem social, profissional e cultural, uma maior desenvoltura nos acessos onde não se pensaria atingir, tal como, o desenvolvimento dos meios de comunicação, nomeadamente, o correio. Esta modalidade de ensino veio proporcionar alterações marcantes na educação, pois facilitou a aprendizagem das pessoas que se encontravam impossibilitadas de se deslocar por razões geográficas.

Ao longo dos anos, no século XX, foram realizados estudos sobre os métodos de ensino e verificou-se um aumento significativo na implementação de novos cursos nas instituições, bem como uma adesão aos cursos.

Correia e Pinheiro (2012) referem que em Portugal, nos meados do século XX, surgiram os primeiros cursos por correspondência: no Instituto Português de Contabilidade, em 1947, no Ensino e Comércio de Eletrónica (Eurorádio), em 1960, e no Centro de Ensino Técnico e Profissional à Distância, em 1965.

Os mesmos autores indicam que durante a *Primeira Guerra Mundial* desencadearam-se novas formas de ensino à distância através da comunicação via rádio e mais tarde através da televisão<sup>18</sup>, veio assumir um papel relevante no sistema de ensino-aprendizagem, mas apenas foi útil para colaborar com os sistemas de ensino da telescola.

Correia e Pinheiro (2012) mencionam que a evolução no sector militar e industrial, na *Segunda Guerra Mundial*, o período no qual se verificou uma ampliação nas tecnologias audiovisuais e educativas, ficou marcada com as teorias behavioristas<sup>19</sup> e cognitivas<sup>20</sup>. Nessa altura o recurso às tecnologias eletrónicas de comunicação trouxe benefícios à educação e começaram a ganhar força no campo da investigação, com o objetivo de proporcionar um maior apoio educacional.

De acordo ainda com os autores, a década de 1960 ficou marcada por dois acontecimentos relacionados com o ensino à distância: 1) o aparecimento do curso Telescola focado para o ensino secundário; 2) o início da educação e formação no ensino superior.

A partir de 1969, no Reino Unido foram constituídas novas modalidades de educação e formação no ensino superior com a criação da *Open University* e os serviços ligados a estudos científicos. Também em Espanha e na antiga Republica Federal da Alemanha, entre 1972 e 1974, criaram a Universidad Nacional de Educación a Distancia e a Fern Universitar, respetivamente.

Mais tarde, nos anos 80, verificou-se um crescimento significativo do número de instituições de ensino à distância, que resultou num crescimento significativo, o que levou a concluir que este método encontrava-se em expansão.

---

<sup>18</sup> A televisão surge nos meados do século XX, após a Segunda Guerra Mundial, devido aos avanços tecnológicos surgidos com as próprias necessidades da guerra.

<sup>19</sup> Teoria Behaviorista – trata-se da psicologia associada à aprendizagem e ao comportamento humano, onde as reações humanas estão em volta do recebimento de estímulos. Como é citado por (Santos et al, 2014), “se uma criança desempenha um comportamento, e leva uma recompensa, ela tenderá a repetir esse comportamento”.

<sup>20</sup> Teoria Cognitiva – interpreta os diferentes comportamentos do ser humano, desde a fase de descoberta do comportamento do cérebro até à modelação de processos durante a aprendizagem, (Santos et al, 2014).

Continentes	Países		Instituições IEFD		IEFDES
	n	%	n	%	%
<b>África</b>	24	24	43	5	5,1
<b>América do Norte</b>	2	2	203	26	27,0
<b>América Latina</b>	22	22	77	9	16,9
<b>Ásia</b>	22	22	106	13	10,7
<b>Europa</b>	25	25	336	41	28,1
<b>Oceânia</b>	4	5	50	6	11,2
<b>Org. Transnacionais</b>	-	-	2	-	1,1
<b>Total</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>817</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Quadro 1. Distribuição, por continente, das instituições de ensino e formação à distância (1984 – 1989). Fonte: Correia e Pinheiro (2012).

Alguns países começaram por investir na educação com objetivo de proporcionar o desenvolvimento este sector, viabilizando um crescimento económico. No entanto, nem todos tiveram a possibilidade de investir, como referem Correia e Pinheiro (2012), pois alguns países com muita de população, como o Brasil, China, Índia, e outros, tinham dificuldades a nível financeiro para oferecer uma melhor formação na área do ensino, seja básico, secundário ou superior. Para conseguirem obter uma base educacional sustentável alguns destes países recorreram ao apoio financeiro para desenvolver a sua própria estrutura de ensino através de instituições poderosas, como a UNESCO, o Banco Mundial, a Comissão Europeia, entre outros. Mais tarde, o *e-learning* viria a ser inserido no ensino.

Em Portugal o ensino à distância surgiu tardiamente, tendo mesmo dificuldade em impor-se como uma forma de aprendizagem devido à inexistência de lugares para o ensino. Com o aparecimento da televisão, conseguiram fazer com que o ensino crescesse em algumas regiões mais isoladas do país, nomeadamente com o surgimento da telescola<sup>21</sup>. A telescola veio reduzir os atrasos educacionais que se faziam sentir no país através da implementação da escolaridade obrigatória e novos postos de trabalho nas zonas rurais e também nas cidades.

Martins e Jorge (2014) mencionam que a primeira instituição criada em Portugal para o ensino à distância, foi em 1988 designada por *Universidade Aberta*. Esta organização

<sup>21</sup> Sistema de ensino via televisão que arrancou em Portugal a 06 de Janeiro de 1965, com programação produzida nos estúdios da Radiotelevisão Portuguesa, no Porto.

foi concebida para desenvolver novos programas para o ensino à distância, com novas alterações no método pedagógico e introdução de novas tecnologias, nomeadamente no ensino superior.

Os mesmos autores mencionam que esta modalidade de ensino é um objetivo a atingir nas instituições de ensino superior pois tem vindo a verificar-se um crescente interesse na formação e desenvolvimento de programas e novos cursos.

A definição de *e-learning* inclui diversos temas e conteúdos que podemos referir, mas vamos simplesmente focar-nos na essência e mencionar a relação que existe entre o *e-learning* e o ensino, bem como os processos de aprendizagem e as tecnologias associadas.



Figura 28. *E-learning*<sup>22</sup>.

De acordo com Santos *et al* (2014) o termo *e-learning* é constituído por “e” de eletrónico, e “learning”, de aprendizagem, o que significa que existe um processo de aprendizagem em torno de um meio eletrónico.

Silva (2004) indica que existem diferentes termos para a definição de *e-learning*, nomeadamente, o “ensino à distância”, a “educação à distância” e a “aprendizagem à distância”, entre outros, compreendido num leque no método de ensino não presencial.

Neste tipo de processo educacional e de formação, designado por ensino à distância, existe entre o formador e formando uma separação física, cujo único objetivo é a disponibilização de recursos e técnicas para o formando poder implementar o regime de estudo, o que podemos designar por auto-aprendizagem.

Como é citado por este autor, “*É bem conhecida a diferença entre o “ensino” e “aprendizagem”.* O termo “ensino” diz respeito ao ato de transmissão de

---

<sup>22</sup> *E-learning* [Consultado a 15 de Fevereiro de 2015]. Disponível em: <http://www.charitylearning.org/why-elearning/>

*conhecimentos pelo professor, ...a “aprendizagem está relacionada com o esforço do aprendiz em organizar o conhecimento a partir da informação disponibilizada”.*

Correia e Pinheiro (2012) mencionam que o ensino à distância destaca-se com o trabalho individual do formando efetuado fora da sala de aula e longe da presença do formador, o que significa que este tipo de aprendizagem obriga o formando a criar e a definir o seu método de aprendizagem, recorrendo ao material pedagógico disponibilizado. Este procedimento resulta num ambiente direcionado para a construção de uma aprendizagem eficaz e o ato contínuo nas interações com o formador, através das vias de comunicação mais recentes.

Silva (2004) refere que nos dias hoje assiste-se a uma nova geração de pessoas com preferência ou até mesmo dependentes do uso das tecnologias informáticas (meios digitais), onde se tem vindo a difundir com escolas, institutos, universidades, com o desenvolvimento de cursos com o acesso à Internet, proporcionando aulas interativas, quer sejam assíncronas ou síncronas, viabilizando os processos de ensino e de aprendizagem mais inovadores.

O mesmo autor indica que o uso da internet na metodologia de ensino e de aprendizagem passou a ter um forte índice de utilização na educação, onde podemos referir ainda a citação do autor, “...*tornou-se mesmo uma inevitabilidade*”.

Os suportes digitais (DVD e CD-ROM) e a internet, que tem expandido de uma forma crescente, estão associados às tecnologias de informação e comunicação (TIC).

De acordo com Gomes (2005), as modalidades de ensino à distância e a utilização das tecnologias de informação e comunicação complementam-se com as competências da formação e da educação, no qual cada uma delas tem uma especificidade própria, podendo surgir um cenário de ensino.

Com o aparecimento do novo conceito *e-learning* e a utilização das tecnologias na educação e formação, surgiram apreciações muito diversificadas em torno deste tema.

Gomes (2005) refere que se pode encontrar muita informação disponível (conteúdos) com a utilização de meios eletrónicos (Internet) e digitais (CD-ROM), sabendo que a nível tecnológico houve um crescimento elevado de tal ordem, que as bibliotecas destinadas à consulta de livros, transformaram-se também em mediatecas. A consulta de uma simples folha de papel de um livro passou a ser consultada através de um ecrã de um computador.

A internet consegue assegurar o tratamento de conteúdos associados ao *e-learning* na forma como informa, expõe as ideias e disponibiliza sítios para argumentação, nomeadamente, fóruns, correio eletrónico, etc.

Os autores Leal e Amaral (2004) referem que o fato da interação que existe entre o formador e o formando poderá ser feita de três diferentes formas:

1. A interação assíncrona: baseada no apoio ao correio eletrónico.
2. A interação síncrona: baseada em sessões de chat ou videoconferência, sendo uma interação em tempo real.
3. Interação presencial: baseada no modelo de ensino presencial, com o formador e o formando no mesmo espaço físico e temporal.

Podemos então afirmar que estas duas formas de ensino à distância, criaram uma interação entre o formador e o formando permitindo uma maior motivação a nível de aprendizagem. O estatuto do aluno passa a ser de maior responsabilidade, pois a sua assimilação e compreensão da matéria (ou o tema de investigação), passa pela fase de auto-aprendizagem, onde pode obter um maior conhecimento. Com a ausência do formador cada vez mais acentuada nestes cursos de *e-learning*, passou a ser partilhada a informação e as dúvidas, com o recurso às mais variadíssimas e modernas aplicações e tecnologias que existem nos dias hoje, atravessando completamente as barreiras do tempo e do espaço que eram uma das dificuldades neste método de ensino à distância.










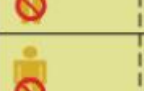




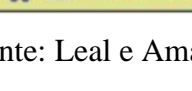
e-Learning (Quanto à interação "professor"- aluno)			
[1Ai1] Ensino On-line Assíncrono			
[1Ai2] Ensino On-line Síncrono			
[1Ai3] Sessões Presenciais			
[1Aii] Sem professor			
[1Bii] Sem professor			

Figura 29. Ensino eletrónico (e-learning). Fonte: Leal e Amaral (2004).

A internet consegue oferecer aos utilizadores (formandos) os ambientes mais diversificados para a aquisição de uma base de aprendizagem, através de páginas de internet com textos elaborados e imagens que ajudam a potencializar o conhecimento sobre qualquer tema ou assunto.

Santos *et al* (2014) cita a seguinte frase do autor Collins (1996): “*Three important motivation features of the WWW are its hiperlinks, its potential for attractive use of images and layout, and its consistency and easy learnability*”.

A acessibilidade ao mundo da *World Wide Web*<sup>23</sup> tornou mais flexível a aprendizagem e as metodologias de ensino, através variadíssimas funcionalidades e soluções pedagógicas para a criação de uma estrutura educacional com aplicações informáticas.

Vidaurre *et al* (2002) defendem que a utilização do computador e aplicação de programas de simulação é a experiência máxima que se pode ter no ensino, pois pode-se conjugar o material pedagógico e as novas tecnologias. Podemos dizer que a relação entre a utilização do computador e a aquisição de novos conhecimentos, beneficia na aplicação de diferentes processos de formação, podendo mesmo garantir um método de ensino e de aprendizagem mais eficaz.

A forma mais simples e eficiente do formando construir, compreender e interpretar a solução de um problema prático, é utilizar o meio de comunicação mais adequado.

Os meios de comunicação que encontram-se ligados ao ensino e à aprendizagem nos dias de hoje, são: o correio eletrónico, fóruns, plataformas, chat, etc, onde o formando pode tirar partido da informação recebida.

A utilização de meios de comunicação e programas capazes de proporcionar a criação de textos, expressões matemáticas, gráficos, diagramas, imagens, vídeos e animações (3D e 2D), viabiliza a aprendizagem integrando o *e-learning* no processo educativo.

O estudo realizado por Magano *et al* (2008) evidencia os resultados obtidos através do gráfico que apresenta as ferramentas utilizadas com maior frequência na maior do público em geral.

Os resultados obtidos mostram que as ferramentas mais utilizadas são o correio eletrónico e *web browser* com um nível de regularidade alto (> 75%).

---

<sup>23</sup> *World Wide Web* – a tradução para português é “rede de alcance mundial” que serve para criar acesso a um arquivo comum através da interligação de computadores (solução encontrada pelo cientista Tim Berners-Lee [Consultado a 15 de Fevereiro de 2015; Disponível em <http://www.publico.pt/tecnologia/noticia/world-wide-web-faz-25-anos-1627909>].

Verifica-se um domínio na implementação do *e-learning* a nível do uso da internet e as suas funções complementares, podendo englobar nos termos profissionais e educacionais.

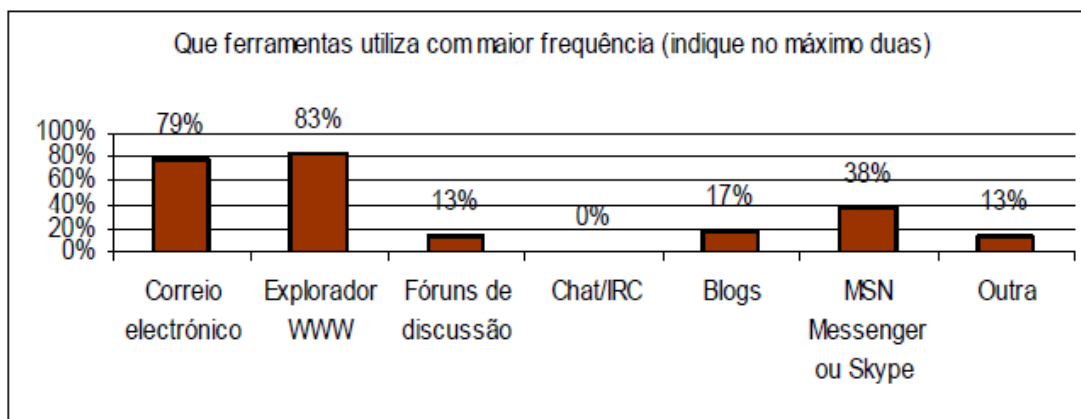


Gráfico 1. Ferramentas utilizadas com maior frequência. Fonte: Magano *et al* (2008).

Segundo Magano *et al* (2008) o gráfico 2 indica os valores com os números de acessos diários, onde o horário pós-laboral é predominante. A utilização das ferramentas assíncronas e síncronas está sobretudo integrada no processo educativo e formativo, implementando o *e-learning*.

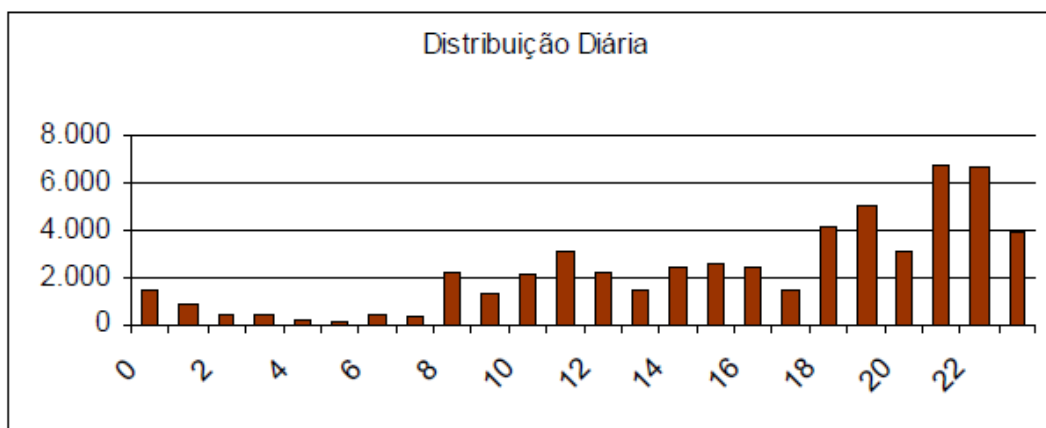


Gráfico 2. Distribuição diária dos acessos. Fonte: Magano *et al* (2008).

O quadro 2 retrata a comparação entre os métodos e tecnologias tradicionais com as novas tecnologias de informação e comunicação, de forma a obter-se uma percepção concreta da evolução deste tema.

<b>Década</b>	<b>Tecnologias novas</b>	<b>Tecnologias tradicionais</b>	<b>Suportes funcionais da aprendizagem</b>
<b>1970</b>	Computadores interativos	Escrita	Novo meio/recurso para fixar e articular ideias.
	Discos duros e disquetes	Papel	Armazenamento local do utilizador.
<b>1980</b>	Interfaces WIMP	Conteúdos, índices, páginas numeradas	Equipamentos facilitadores do acesso aos conteúdos.
	Internet	Impressão	Produção massiva e distribuição de conteúdos.
	Multimédia	Fotografia, som e filme	Formas elaboradas de apresentação de conteúdos.
<b>1990</b>	<i>World Wide Web</i>	Bibliotecas	Acesso alargado a conteúdos múltiplos.
	Computadores portáteis	Livros publicados	Acesso portátil e pessoal aos canais de difusão.
	Correio eletrónico	Serviços postais	Difusão massiva de mensagens de comunicação.
	Motores de pesquisa	Serviços bibliográficos	Acesso fácil a conteúdos múltiplos.
	Banda larga	Redes de comunicação, telefones	Seleção de conteúdos elaborados e comunicação imediata.
<b>2000</b>	Telemóveis de 3ª geração	Livros	Acesso a conteúdos elaborados a baixo custo.
	Blogues	Panfletos	Publicação pessoal e massiva.

Quadro 2. Comparação entre as novas tecnologias e as tecnologias tradicionais. Fonte: Correia e Pinheiro (2012).

### 2.2.1. Vantagens e Desvantagens no *e-learning*.

No quadro 3 são apresentadas as vantagens e desvantagens no *e-learning*, de uma forma mais sintetizada.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Acessibilidade, disponibilidade permanente de informação e conteúdos e flexibilidade de horários.	O principal defeito neste tipo de ensino à distância, é a ausência de contato humano.
Ambiente de aprendizagem centrado no formando.	Limitações tecnológicas, para alguns casos a dificuldade de acesso à Internet, impossibilitando a realização de <i>e-learning</i> .
Variação das necessidades do formando em torno do ensino.	Para o sucesso de determinados cursos <i>e-learning</i> , deverá ter um acompanhamento frequente do formador para com o formando, questões de carácter técnico.

Redução de custos em recursos logísticos e administrativos.	O custo elevado para a implementação e desenvolvimento da estrutura de um programa <i>e-learning</i> , bem como o tempo necessário para a produção e planeamento de conteúdos, para a base de soluções e sucesso do curso.
Possibilidade de formação de um grande número de pessoas, bem como a integração dos formandos com dificuldades (de aprendizagem e de locomoção).	Necessidade de um maior esforço e aplicação dos formandos.
Interatividade assegurada com o acesso a conteúdos e acompanhamento dos formandos.	Otimização de plataformas. Por vezes, as dificuldades de adaptação as ferramentas e ao ambiente digital, nem sempre são eficazes, pois este tipo de sistema deverá apresentar sempre um design otimizado e apelativo, para que os utilizadores (formadores, formandos e pessoas em geral), possam recorrer a este topo de estrutura com melhor qualidade.

Quadro 3. Vantagens e Desvantagens na aplicação do *e-learning* enquanto modalidade de ensino e de formação. Fonte: Silva (2004).

### 2.2.2. Materiais Pedagógicos

No ensino à distância podem ser utilizados materiais pedagógicos que auxiliam e realçam os processos de ensino e aprendizagem. Segundo Santos *et al* (2014) referem que os conteúdos pedagógicos são elementos importantes para o método de aprendizagem. Os mesmos autores designam os elementos pedagógicos por *e-conteúdos*, pela simples razão de que os conteúdos formativos podem ser constituídos por áudio, texto, imagens, animações e vídeo, os quais podem trazer um nova acessibilidade e facilitar a divulgação da informação ao formando.

- **Conteúdo Script:** é o conteúdo adquirido através da divulgação de texto ou imagem, sendo o método mais utilizado. Os formatos de imagens mais conhecidos podem ser suportados com os conteúdos formativos, tais como, JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), PNG (*Portable Network Graphics*) e GIF (*Graphics Interchange Format*).

- **Conteúdo Áudio:** este tipo de conteúdo é adquirido através do som, sendo uma ferramenta muito forte no que toca à transmissão do conhecimento e estimulação da atenção do utilizador. Os formatos disponíveis são: WAV (*Waveform Audio*), MP3 (*MPEG Audio Layer-3*), MP4 (*MPEG Audio Layer-4*) e o RA (*Real Audio*).
- **Conteúdo Vídeo:** este tipo de conteúdo permite ao utilizador adquirir o conhecimento através da sua visão, tendo a possibilidade de ver imagens em movimento, despertando um maior interesse e garantindo uma motivação extra do utilizador. Os diversos formatos de vídeo são: AVI (*Audio Video Interleave*), MOV (*QuickTime Movie*), MPEG (*Moving Pictures Expert Group*), FLV (*Flashvideo*). Existe ainda um conjunto de ferramentas pós-produção de vídeo, como por exemplo, o Windows Movie Maker e NCH Software – Debut Video.
- **Conteúdo Multimédia:** este tipo de conteúdo é constituído por uma agregação de vários tipos de conteúdos que podem ser apresentados em áudio, texto, imagem e vídeo. A adaptação deste conteúdo à metodologia da aprendizagem é válida, mas deverá ser bem direccionada para proporcionar uma comunicação simples e eficaz aos formandos ou utilizadores.

### 3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS

#### 3.1. Software 3D e 2D de Modelação Multicorpo

Atualmente existe uma grande variedade de sistemas CAD/CAE que permitem usufruir das potencialidades do sistema para realizar simulações e analisar o movimento de um ou mais corpos rígidos. Existem no mercado ferramentas versáteis que podem efetuar um tratamento de dados (cálculos computacionais) e simulações de sistemas 3D e 2D.

As ferramentas computacionais que vão ser apresentadas e utilizadas para a realização de estudos relacionados com a área da Engenharia são: o *SolidWorks*, o *MSC Adams*, o *Working Model* e o *Algodoo*.

##### 3.1.1. SolidWorks – Motion Analysis

O *SolidWorks* é uma ferramenta que pertence à *Dassault Systèmes*<sup>24</sup>, considerada a número um na criação do *software* de prototipagem 3D, desenho 3D e outros programas CAD<sup>25</sup>.

Segundo Portal e Madeira (2014) este *software* pode proporcionar projetos mecânicos automatizados e desenhos baseados em operações paramétricas de modelação de sólidos (multicorpos rígidos) e, por sua vez, permite uma aprendizagem acessível através da interface gráfica do Windows.

O utilizador pode criar modelos sólidos 3D com ou sem restrições, podendo tirar partido dos mecanismos e defini-los de forma a alcançar os objetivos de projeto.

Referem ainda os mesmos autores que um modelo criado no *SolidWorks* pode ser associado na sua totalidade aos desenhos e conjuntos que o referenciam, ou seja, existe a possibilidade de efetuar as alterações diretamente no desenho ou conjunto, sabendo que essas alterações vão ser refletidas no modelo (conjunto ou *assembly*).

O *SolidWorks* trata-se de um *software* de “*Computer Aided Design*” que significa desenho auxiliado por computador (CAD). Este tipo de programa tem utilidade nas áreas de projeto, de engenharia (desenho técnico), de arquitetura e entre outros.

As vantagens deste *software* são: a possibilidade visualizar toda a constituição do modelo, tanto por fora como por dentro (aspeto transparente), a forma pormenorizada de toda a sua composição, permitindo as correções de possíveis erros ou falhas efetuadas

---

<sup>24</sup> *Dassault Systemes, empresa que comprou a SolidWorks.*

<sup>25</sup> *CAD – Computer Aided Design.*

no início do desenho ou modelação, assim como a facilidade de alteração do tamanho do modelo ou componente em muito pouco tempo.

Neste *software* existem três fases iniciais distintas que fazem parte da concepção do modelo no *SolidWorks*. A primeira fase baseia-se na execução de vários componentes em ficheiros separados, designados por *parts*. A segunda fase é a montagem dos mesmos componentes num novo ficheiro, designado por *assembly*. Por último, a terceira fase diz respeito à criação das vistas de desenho em 2D dos vários componentes e da montagem, o qual chamamos *drawing*.

As formas (*design*) que são criadas nos artigos para consumo, como por exemplo, uma garrafa de Coca-Cola e outros artigos semelhantes, podem ser concebidos por intermédio desta ferramenta eficiente e preparada para desenvolver o desenho em formato 3D.

O *SolidWorks* tem um módulo incorporado, designado por *Motion Analysis*, conhecido como uma ferramenta de modulação 3D para a análise de movimento muito sofisticada e preparada para determinar variadíssimos parâmetros de projeto, como por exemplo, velocidades, acelerações, forças, momentos, etc. Nesta nova interface pode-se compreender conceitos básicos associados ao comportamento do mecanismo do corpo rígido<sup>26</sup>.

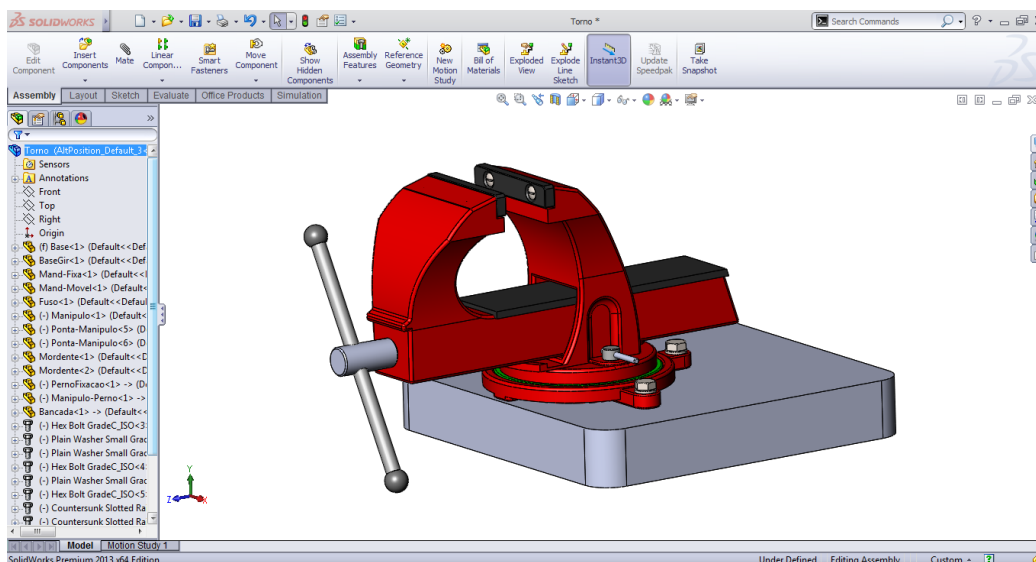


Figura 30. Interface gráfica do *SolidWorks* 2013.

<sup>26</sup> *SolidWorks Education. Na Introduction to Motion Analysis Applications with SolidWorks Motion – Instructor Guide. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Document Number: PME0319-ENG.*

### 3.1.2. MSC Adams

O *MSC Adams* é uma ferramenta computacional com capacidades de desenho em três dimensões que se baseia no estudo da cinemática e da dinâmica de multicorpos de modelos virtuais aplicáveis na área da Engenharia.

De acordo com Silva e Nunes (2014) nesta ferramenta computacional podemos encontrar todas as potencialidades para realizar o estudo dos corpos rígidos, como por exemplo, os módulos de análise (*plug ins*), os comandos que permitem efetuar os estudos dinâmicos com o objetivo de criar e otimizar o desempenho do sistema de modelação.

Refere-se ainda que o *MSC Adams* é um tipo de programa que incorpora a física real e está preparado para resolver as equações de cinemática, estática e dinâmica, pois o utilizador pode definir uma gama de ambientes e operações (distribuição de forças e constrangimentos) no sistema multicorpo.

Uma das particularidades que completa este *software* é a possibilidade de receber os modelos construídos por outro *software* CAD, facilitando assim a passagem do modelo virtual através de uma simples exportação de informação na base de ficheiros (ficheiros adm.).

O *MSC Adams* integra módulos que possibilitam a realização de estudos pelo método de elementos finitos, assim como a criação de simulações no módulo de Adams/Machinery onde se consegue efetuar estudos com engrenagens, correntes, correias, rolamentos e motores. Este programa encontra-se direcionado para o ramo automóvel, nomeadamente, no que diz respeito a estudos de comportamento dinâmico e estático, simulações de componentes mecânicos (suspensão, pneus, chassis, etc.) e ainda a criação de protótipos de veículos. Tudo isto é possível efetuar através dos módulos Adams/Car, Adams Driveline, Adams/Chassis, Adams/Flex, Adams/PostProcessor, Adams/Solver e o Adams/View, os quais se definem como sendo ferramentas extremamente úteis para o estudo a nível da engenharia, bem como a apresentação de soluções e otimizações do modelo.

O Adams/View consegue ser um dos mais poderosos ambientes de modelação e simulação associado à engenharia mecânica, pois permite construir e simular os mais diversos modelos de sistemas mecânicos.

Assim e, encarando o que foi descrito sobre o *MSC Adams*, podemos afirmar que é uma ferramenta CAE (*Computer Aided Engineering*) muito utilizada no mundo por engenheiros, permitindo projetar e estudar as partes móveis envolvidas no sistema mecânico de vários corpos rígidos, como é o caso da utilização para projeto de simulação numa das maiores marcas prestigiadas de automóveis, a Volkswagen<sup>27</sup>, que em 2014 garantiu a prestação dos serviços da *MSC Software Corporation* para estudos e simulações associados ao comportamento dinâmico dos componentes.

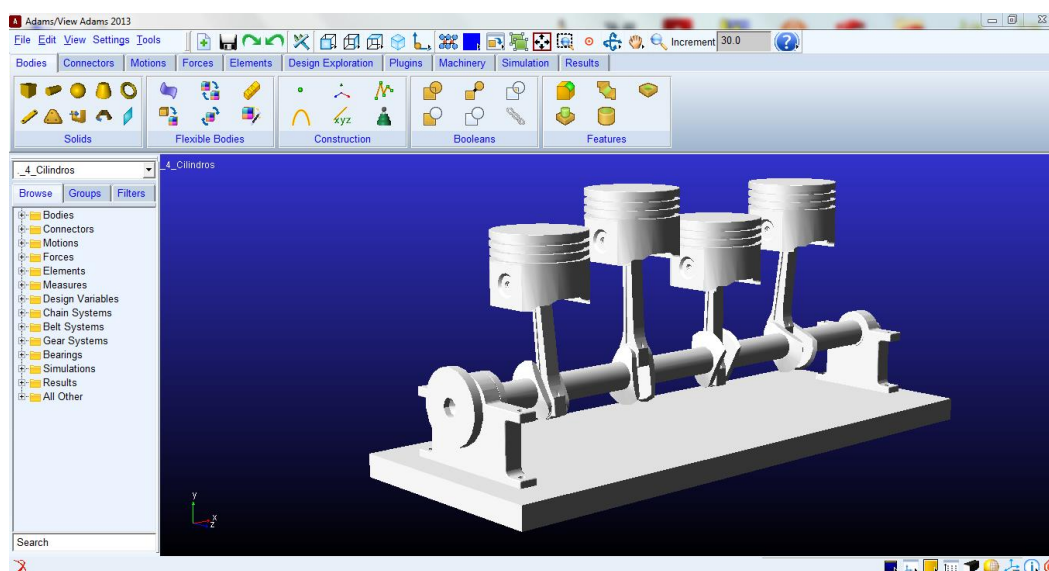


Figura 31. Interface gráfica do *MSC Adams 2013 (Adams View)*.

### 3.1.3. Working Model 2D

A ferramenta que também é muito utilizada por engenheiros, é o *Working Model 2D*, um *software* de desenho 2D que tem a particularidade de realizar estudos de sistemas mecânicos com intuito de otimizar o desempenho do modelo criado. No entanto este programa foi projetado desde o início para otimizar o desempenho nos sistemas operativos Windows 2000 / XP.

É um *software* capaz de criar exemplos de simulação associados às *Leis Newtonianas*, através de desenhos de mecanismos e de corpos rígidos. A definição de forças atuantes, a observação dos movimentos com a interação entre os corpos e o cálculo de forças,

---

<sup>27</sup> A Volkswagen como marca prestigiada na gama de automóveis associou-se à MSC Software Corporation, em 2014, líder global nos métodos aplicados à engenharia, apresentando como solução as simulações dinâmicas e estudos de avaliação de desempenho e comportamento de sistema mecânicos. Fonte: <http://www.mscsoftware.com/news/volkswagen-ag-selects-msc-software-adams-machinery>.

momentos, forças de atrito, velocidade, acelerações, etc, é uma das mais-valias deste programa.

A facilidade de construir e definir os mecanismos dos corpos quanto ao tipo de propriedade, é uma das características evidenciadas nesta ferramenta computacional, pois o utilizador pode aplicar nos corpos rígidos (círculo, quadrado, polígono, retângulo e outros) restrições/constrangimentos.

Para além destes mecanismos, este programa integra uma classe de quatro tipos de constrangimentos, os quais são designados por constrangimentos lineares, rotacionais, forças/binário e articulações, que por sua vez vão restringir o movimento dos corpos, limitando os graus de liberdade pelo movimento de translação e rotação.

A aplicação de mecanismos, como a mola, o amortecedor, a engrenagem, o motor, o atuador, e outros, permitem modelar e conectar com os corpos rígidos garantindo a dinâmica do modelo.

A execução de simulações reais, tais como, de contato, de colisão, de atrito e de vibração, são outras das capacidades de estudo que este programa é capaz de realizar, podendo obter resultados através de gráficos.

O *Working Model 2D* permite melhorar a conceção mecânica e o controlo das propriedades dos corpos rígidos, bem como a validação de resultados, a par do *software* Excel e *Mathcad*.

O *Working Model 2D* tem sido aplicado nos ramos industriais como sendo uma mais-valia na construção de sistemas mecânicos dinâmicos mais complexos, ou seja, na realização de estudos nos componentes do ramo automóvel e mecanismos de máquinas industriais. Também se podem verificar estudos realizados no ramo da Medicina através da criação de modelos relacionados com a biomecânica.

Tomazini *et al* (2012) refere que a locomoção ou marcha humana e a animal podem ser também analisadas com a conceção de multicorpos num sistema musculoesquelético. Isto significa, que os sistemas multicorpo podem proporcionar estudos matemáticos aplicados à bioengenharia, biomecânica e engenharia biomédica.

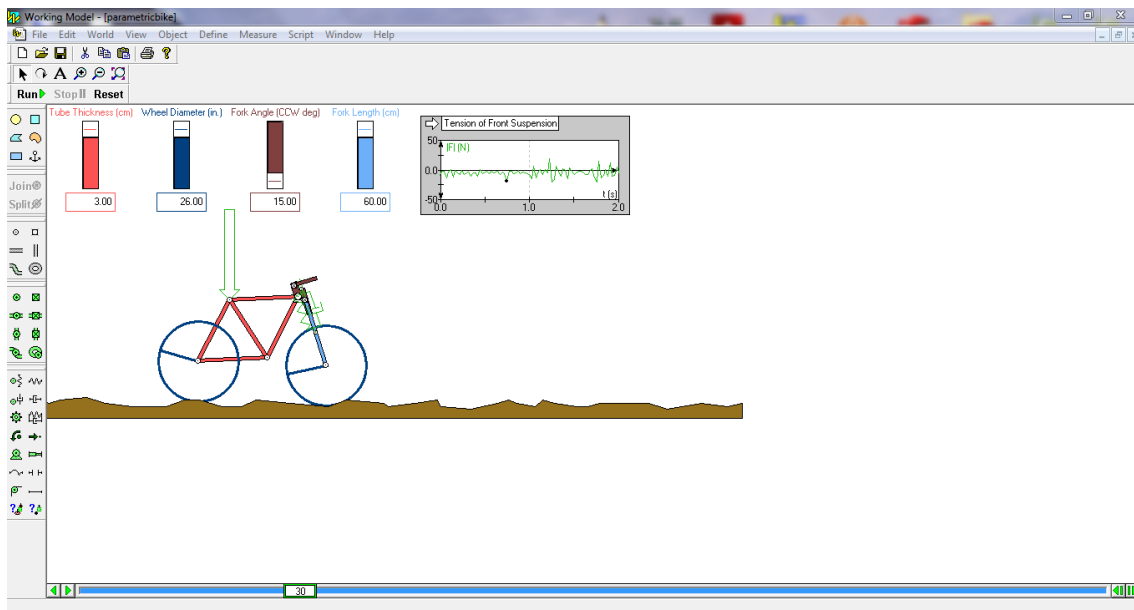


Figura 32. Interface gráfica do Working Model 2005.

### 3.1.4. Algodoo

Continuando no contexto da utilização de *software* destinado a realizar desenhos em 2D, o Algodoo é um programa habilitado para desenhos e simulações utilizando as *Leis de Newton*. O programa *Algodoo (Algoryx Simulation AB)* destaca-se ainda ao basear-se nas mais recentes tecnologias de simulação multifísica interativa, incluindo integradores mecânicos e métodos numéricos de alta performance<sup>28</sup>. Considera-se que esta ferramenta computacional está preparada para construir corpos rígidos e sistemas de fluidos com a particularidade de definir as suas propriedades, como a gravidade, o atrito, a aplicação de forças, molas, amortecimento e entre outros. Para uma visualização melhor da aplicação das propriedades no sistema e obtenção de resultados conclusivos, é possível usufruir da constituição de gráficos nas coordenadas XY.

O *Algodoo* é o programa perfeito para aprender e explorar a interface gráfica através dos seus comandos acessíveis que permitem criar cenas interativas, realizar desenhos muito simples e comprovar teorias ligadas à 2ª *Lei de Newton*, ou seja, é considerado também um *software* educativo e divertido.

As vantagens que se destacam são: o incentivo do utilizador para a criação e alargamento das capacidades ao construir desenhos; a existência de tutoriais que podem

<sup>28</sup> *Algodoo – Algoryx Simulation AB*, [Consultado a 15 de Março de 2015]. Disponível em: <http://www.algodoo.com/what-is-it/>

ser elucidativos para iniciar a aprendizagem e exploração deste programa e ainda, a sua aquisição gratuita e disponível para várias versões Windows.

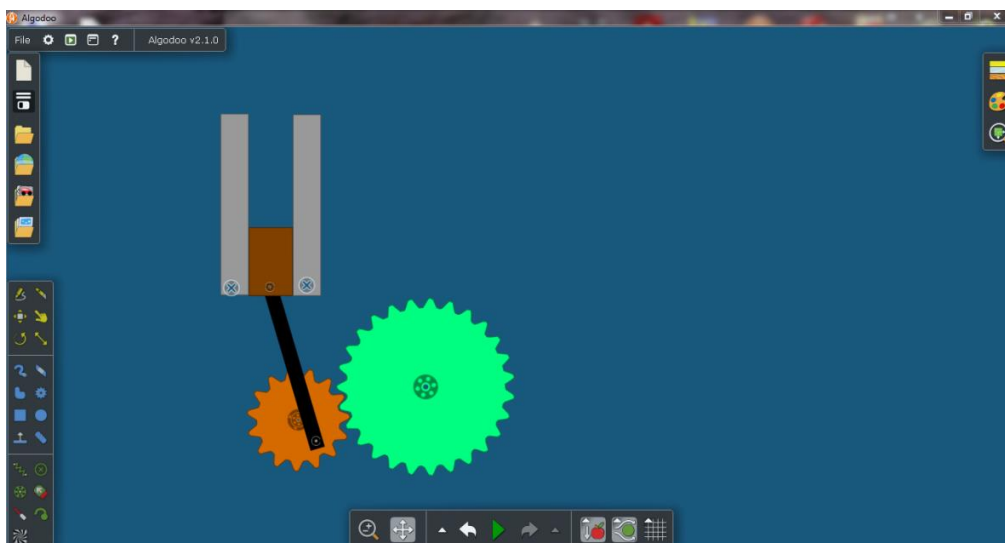


Figura 33. Interface gráfica do Algodoo 2014.

### 3.2. Ferramentas de E-Learning

Desde o tempo do correio por correspondência até aos dias de hoje, verificou-se uma evolução muito grande no que diz respeito aos meios e tecnologias utilizadas, nomeadamente as ferramentas de apoio pedagógico que são consideradas úteis para a construção da maioria dos cursos.

O recurso às tecnologias computacionais, como por exemplo, os programas de captação de imagem, áudio, vídeo, apresentações de textos e gráficos, assim como as folhas de cálculo automatizadas e a criação de blocos de anotações, são uma mais-valia para o ensino.

#### 3.2.1. NCH Software – Debut Video Capture

A utilização de ferramentas de captação de imagem (vídeo), tem vindo a ser muito utilizada para a criação de cursos à distância na área educacional.

Esta ferramenta tem a possibilidade de realizar a gravação de vídeos em diferentes formatos, tais como, AVI, WMV, FLV, MPG, MP4, MOV, entre outros. O recurso ao microfone do computador é outra possibilidade para realizar a gravação de áudio.

Uma forma básica de utilizar este programa e obter uma gravação passa pela captação de imagem a partir da *webcam* do computador, disponibilizando no ambiente de

trabalho uma janela com a imagem do utilizador. Outra maneira de captar a imagem é através da opção da funcionalidade dos diferentes tamanhos de janela (telas de gravação). O utilizador pode definir a imagem ampliando ou reduzindo a mesma. Existem ainda as funções e configurações para efeitos de vídeos, como por exemplo, a criação de uma ou mais fotografias instantâneas a partir de um vídeo, a alteração de cores, o ajuste de resolução e a colocação de legendas (textos) no vídeo.

Este programa é capaz de efetuar a gravação de um vídeo *streaming*<sup>29</sup> a partir das janelas ou telas de gravação definidas no computador.

### **3.2.2. Windows Live Movie Maker**

O programa *Windows Live Movie Maker* é um tipo de aplicação incorporada no *software* Windows no computador. Esta ferramenta permite criar vídeos e apresentações no computador com um aspeto profissional, recorrendo a funcionalidades e configurações. As funcionalidades e configurações viabilizam a criação de novos efeitos na imagem e no vídeo, com a utilização de títulos e a integração de música durante a atuação do vídeo.

O programa disponibiliza as principais áreas de trabalho, tais como, os *painéis de tarefas*, o *guião gráfico*, a *linha de tempo* e o *monitor de pré-visualização*. Para cada uma destas áreas, o utilizador pode ter um acesso de fácil manuseamento e escolher a funcionalidade que pretende. Podemos definir ainda as áreas de trabalho, como áreas de criação e edição de projetos.

Este programa tem a capacidade de importar um vídeo, bem como as imagens e o áudio já definido. Tem a possibilidade de realizar o corte, reorganizar e copiar os clips de vídeo e de áudio importados, como também, a permissão para adicionar transições, efeitos ao projeto de vídeo e títulos ao projeto de vídeo.

### **3.2.3. Microsoft PowerPoint**

O Microsoft PowerPoint é um programa que está incorporado no Office da Microsoft e está preparado para realizar apresentações gráficas eficazes com um aspeto totalmente profissional e equipado com ferramentas simples. A forma como pode proporcionar

---

<sup>29</sup> *Streaming* – Tecnologia que envia informações, dados ou conteúdos multimídia através da transferência, utilizando os computadores de forma a tornar as ligações mais rápidas. A utilização da Internet é a responsável por existir este fluxo de dados, como é o caso do Youtube, que transmite vídeos em tempo real, e ainda, a transmissão de jogos de futebol utilizando a tecnologia “live streaming, ou seja, a transmissão ao vivo.

apresentações gráficas, dispendo de áreas para processamento de textos, tabelas, gráficos, vídeos, animações, desenhos, e muito mais, faz deste tipo de programa um dos mais utilizados para apresentações em cursos, escolas, faculdades e até mesmo em empresas, com o propósito de exibir as apresentações criadas pelo utilizador.

O *PowerPoint* passou a ser mais utilizado com a inovação da tecnologia permitindo a projeção de apresentações nas salas de aula a partir de dispositivos eletrônicos mais sofisticados, substituindo a máquina com um feixe de luz através da emissão de uma lâmpada e a película transparente contendo o texto. Esta máquina designa-se por retroprojeto<sup>30</sup>.

A aparência da interface deste programa à primeira vista pode-se considerar acessível, pois dispõe de barras de formatação, menus, ferramentas e separadores com diferentes opções das quais o utilizador pode assimilar com muita facilidade.

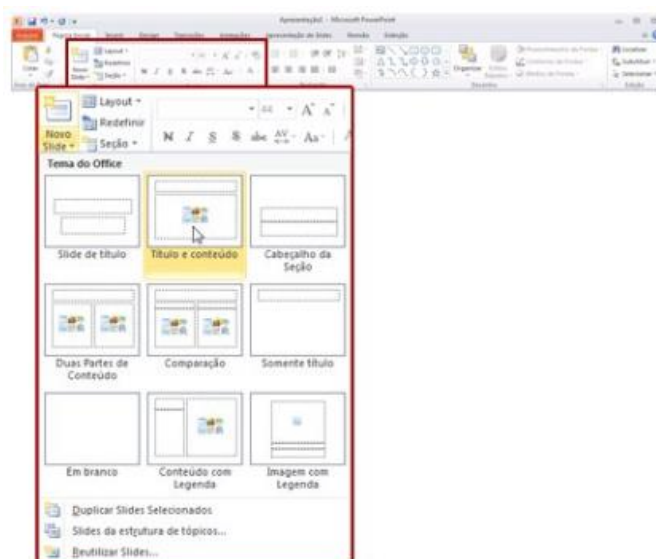


Figura 34. Interface do Microsoft PowerPoint.

### 3.2.4. Microsoft Excel

O *Microsoft Excel* é também um programa que pertence à Microsoft Office e permite criar documentos, folhas de cálculo e apresentações.

O *Excel* é um programa que permite também criar tabelas, calcular e analisar dados e, por esse motivo é denominado por folha de cálculo. A criação de tabelas e a introdução

<sup>30</sup> Retroprojeto [Consultado a 10 de Fevereiro de 2015]. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Retroprojeto>

de valores é uma das funcionalidades mais utilizadas, pois possibilita o cálculo automático de totais de valores numéricos, bem como a realização de esquemas ou gráficos provenientes dos valores introduzidos para uma apresentação mais atrativa e profissional.

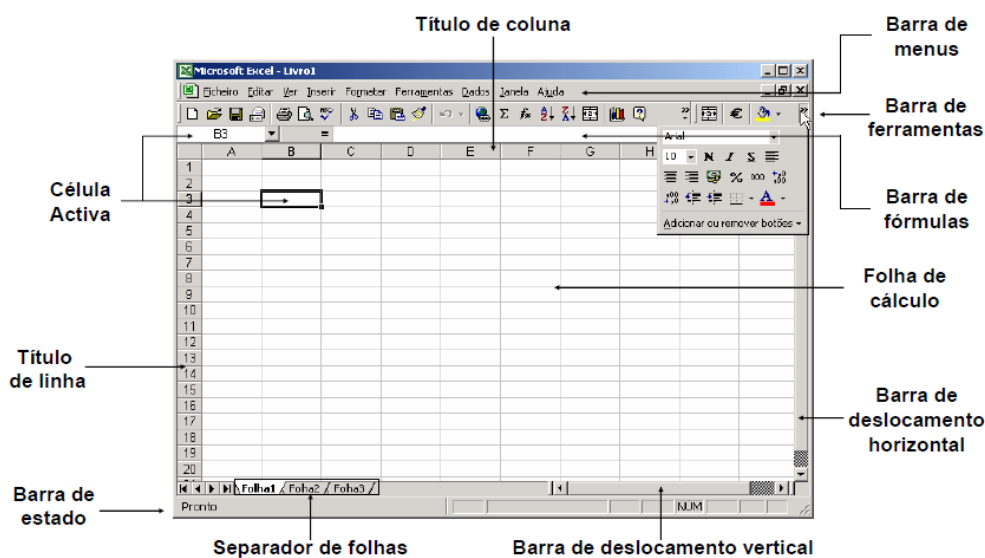


Figura 35. Imagem do ambiente de trabalho principal do Microsoft Excel.

A figura 35 representa o ambiente de trabalho do programa *Excel* onde são identificadas as diferentes barras que utilizador tem disponíveis para criar o documento ou folha de cálculo.

A aparência da interface deste programa à primeira vista pode-se considerar acessível, no entanto dispõe de barras de formatação, menus, ferramentas e separadores com diferentes opções das quais o utilizador pode não assimilar com facilidade.

### 3.2.5. Microsoft OneNote

O *Microsoft OneNote* é um programa que funciona como um bloco de anotações, fácil de usar no processamento de textos, imagens, vídeos e áudio.

O *OneNote* é uma ferramenta integrada no *Microsoft Office*, permitindo organizar textos, realizar anotações, enviar e-mails, criar tabelas, criar desenhos e inserir imagens, assim como a partilha de informação desenvolvida no documento.

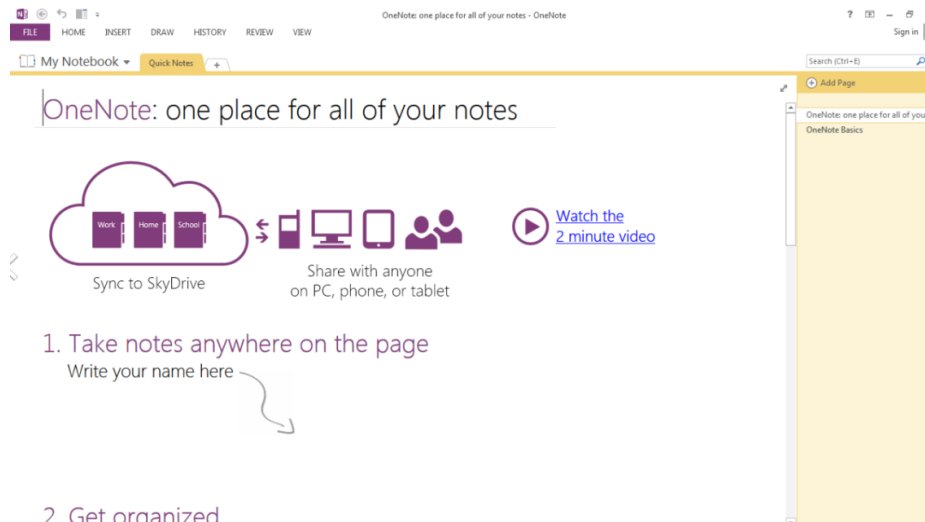


Figura 36. Interface da Microsoft OneNote.

### 3.2.6. PTC Mathcad








O *Mathcad* é uma ferramenta computacional preparada para desenvolver o cálculo e oferecer todas as capacidades de resolução necessárias para a manipulação de dados nos trabalhos e/ou projetos associados à Engenharia.

Este *software* de matemática pura permite resolver os mais variados problemas e analisar os cálculos efetuados com um nível de apresentação de funções e menus acessíveis para qualquer utilizador.

Segundo *Sylvain Routeau* (Chefe de Departamento de Estruturas de Submarinos)<sup>31</sup>, menciona que a utilização do *PTC Mathcad* permite realizar o cálculo de uma forma mais rápida, pois o tempo de cálculo tomado no *Mathcad* é três vezes inferior ao que é tomado no Excel, afirmando que existe um ganho de produtividade na utilização do *Mathcad*.

Na interface do *Mathcad* podemos tirar partido do próprio espaço de trabalho (folha inicial “Untitled”), através da realização de cálculos simples, definição de variáveis, gráficos, etc. Para isso, o utilizador tem acesso a um conjunto de ícones (quadro 4), disponível na barra de ferramentas na interface principal.

<sup>31</sup> *PTC Mathcad* [Consultado a 20 de Março de 2015]. Disponível em: <http://www.ptc.com/product/mathcad>

Ícone	Opções de Ferramentas
	<b>Calculator:</b> Operações aritméticas
	<b>Graph:</b> Gráficos de dois e três dimensões; Opções de gráficos.
	<b>Matrix:</b> Operações de matrizes e vetores.
	<b>Evaluation:</b> Avaliação e definições de sinais de igualdade.
	<b>Calculus:</b> Derivadas, integrais, limites, somas e produtos de iterações.
	<b>Boolean:</b> Expressões Booleanas (Operações Comparativas e Lógica)
	<b>Greek:</b> Letras Gregas.

Quadro 4. Ferramentas e funcionalidades do PTC *Mathcad*.

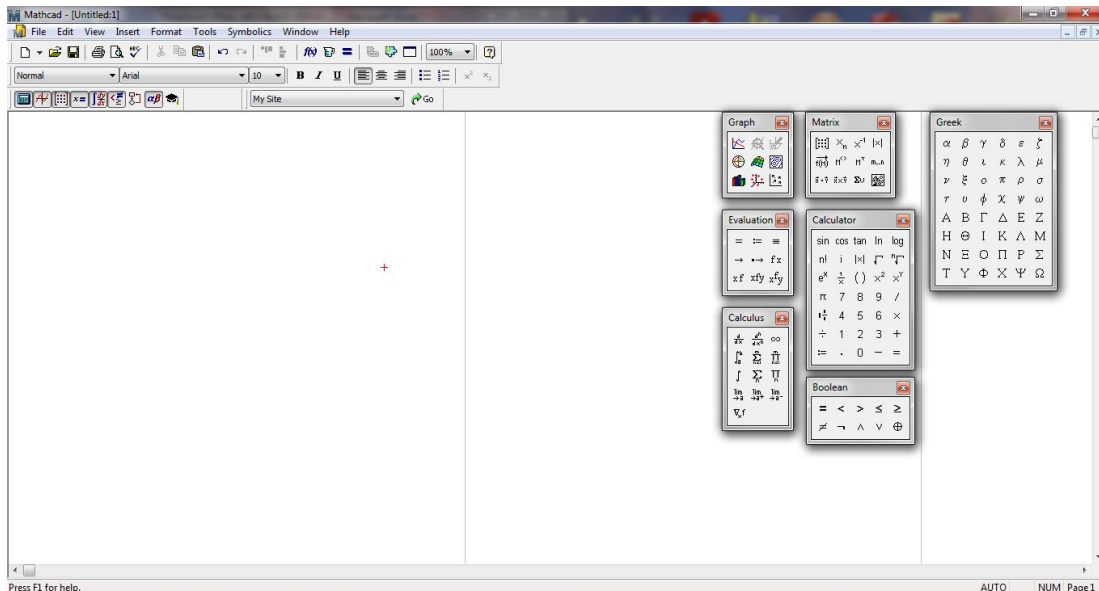


Figura 37. Interface do *Mathcad*.

### 3.2.7. Autodesk SketchBook

O SketchBook do Autodesk é um programa de nível profissional para desenhadores e ilustradores também profissionais, permitindo a partir do computador a criação de desenhos digitais com a utilização de ferramentas de ilustração virtual (lápis, pincel, caneta, etc.).

Os menus existentes na interface do programa são muito intuitivos, pois é possível obter desenhos a partir do esboço ou da delimitação de traços (figura 38) permitindo mostrar as capacidades do *software* na construção de desenhos.



Figura 38. Ilustração em Autodesk SketchBook<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> Autodesk SketchBook [Consultado a 12 de Abril de 2015]. Disponível em: <http://www.autodesk.com/products/sketchbook-pro/features/all/gallery-view>



## 4. ESTRUTURA DO CURSO

### 4.1. Objetivos do Curso

Este curso foi criado com o objetivo de mostrar a importância da modelação multicorpo nos *softwares* 3D e 2D. A utilização das ferramentas computacionais de *e-learning* proporcionou o desenvolvimento de vários vídeos.

O vídeo foi a forma escolhida e o suporte ideal para mostrar a modelação multicorpo através dos *softwares*: *SolidWorks*, *MSC Adams*, *Working Model 2D* e *Algodo*.

A criação de modelos simples para cada módulo do curso viabiliza uma separação de matérias de forma a facilitar a interpretação, a aprendizagem e conhecimento de cada tema, recorrendo às potencialidades do *e-learning*.

### 4.2. Módulos do Curso

O quadro 5 apresenta os módulos do curso *e-learning* de sistemas multicorpo.

<b>MÓDULO 1 – INTRODUÇÃO AO SOLIDWORKS</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"><li>○ Apresentação do programa.</li><li>○ Interface gráfica (Menus, barras de ferramentas e árvore de operações).</li><li>○ Propriedades dos materiais.</li><li>○ Inserção de componentes e montagem.</li><li>○ Montagem e relação entre os componentes.</li><li>○ Graus de Liberdade.</li><li>○ Exemplo prático.</li></ul>	Duração: 30 minutos
○ <b>Vídeo Extra</b>	Duração: 02 minutos
<b>MÓDULO 2 – INTRODUÇÃO AO MOTION ANALYSIS</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"><li>○ O que é o <i>Motion Analysis</i> ?</li><li>○ Ativação do <i>Motion Analysis</i>. Iniciar o <i>Motion Analysis</i>.</li><li>○ Introdução dos tipos de comandos.</li><li>○ Funções dos comandos e Opções.</li><li>○ Gráficos e Propriedades.</li><li>○ Possíveis erros no mecanismo.</li><li>○ Vantagens e Desvantagens/Criticas.</li></ul>	Duração: 40 minutos
<b>MÓDULO 3 – MECANISMOS NO MOTION ANALYSIS</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"><li>○ Caracterização dos tipos dos mecanismos/comandos.</li><li>○ Apresentação de exemplos práticos.</li><li>○ Projeto Mecânico – Projeto de um Mecanismo (<i>Porta de um veículo</i>).</li></ul>	Duração: 30 minutos

<b>MÓDULO 4 – CÁLCULOS E GRÁFICOS NO MOTION ANALYSIS</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Apresentação de um exemplo prático (Pêndulo simples).</li> <li>○ Tipologia de gráficos.</li> <li>○ Cálculo matemático.</li> <li>○ Comparação dos resultados obtidos no <i>Motion Analysis</i>.</li> <li>○ Utilização do ficheiro EXCEL como ferramenta de apoio.</li> </ul>	Duração: 30 minutos
<b>MÓDULO 5 – SOLIDWORKS (MOTION ANALYSIS) E MSC ADAMS</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Exportação de ficheiro <i>SolidWorks</i> para o <i>software MSC Adams</i>.</li> <li>○ Noções básicas da interface gráfica do <i>software MSC Adams</i> (Menus e barras de ferramentas).</li> <li>○ Validação de resultados no <i>MSC Adams</i>.</li> </ul>	Duração: 35 minutos
<b>MÓDULO 6 – SOFTWARE 2D</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Apresentação dos programas <i>Working Model</i> e <i>Algodo</i>.</li> <li>○ Introdução à interface gráfica de cada um dos programas (Menus e barras de ferramentas).</li> <li>○ Construção/Montagem dos componentes.</li> <li>○ Exemplos práticos simples.</li> </ul>	Duração: 60 minutos
<b>MÓDULO 7 – CÁLCULOS E GRÁFICOS NO WORKING MODEL</b>	
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Apresentação de dois exemplos práticos – Ensino de Física (<i>Plano Inclinado</i>).</li> <li>○ Projeto Mecânico – <i>Suspensão de ¼ veículo</i>.</li> <li>○ Tipologia de gráficos e cálculos.</li> </ul>	Duração: 30 minutos

Quadro 5. Estrutura do curso.

#### 4.2.1. Descrição do Curso

O curso é constituído por sete (7) módulos e a cada módulo foi atribuído um tema diferente.

O módulo nº1 apresenta uma introdução ao *SolidWorks* e as funcionalidades que o utilizador tem à disposição na interface gráfica do programa de forma a construir um modelo multicorpo.

Foi apresentado um modelo com a finalidade de mostrar as funcionalidades do *software* e o movimento dos corpos rígidos do modelo, através do ícone «*Configuration Manager*» existente na árvore de operações.

A exposição das diferentes vistas, a desmontagem (“*animate explode*”) e montagem (“*animate collapse*”) em modo automático estão disponíveis neste programa.

O módulo nº2 aborda o assunto sobre a Introdução ao *Motion Analysis* onde são identificadas as potencialidades dos mecanismos. Os tipos de mecanismos apresentados são: o motor, a mola, o amortecedor, a força e entre outros.

O módulo nº3 apresenta vários exemplos de desenhos criados no *SolidWorks* e que por sua vez, no *Motion Analysis* são identificados os mecanismos, os quais são utilizados para analisar o movimento dos corpos rígidos.

No módulo nº3 foi construído um projeto de um mecanismo integrado a uma porta traseira de uma pick-up. A abertura e fecho da porta são efetuados em automático a partir de um motor.

O módulo nº4 apresenta um exemplo prático de um pêndulo simples com o objetivo de apresentar o cálculo matemático do sistema. São apresentados os dados do modelo e são efetuados os cálculos analíticos. Para validar os mesmos foram utilizadas as ferramentas computacionais, o *Motion Analysis* e o *Excel*.

O módulo nº5 mostra como se pode explorar a interface do *Motion Analysis*, por intermédio da apresentação de dois exemplos, *4 cilindros* e *Massa-mola*, desenhados no *SolidWorks*.

Foi realizada a análise do movimento nos dois modelos e foram determinadas as respostas dos componentes do sistema.

Para validar os resultados obtidos foram exportados os ficheiros dos dados referentes aos modelos para o *software MSC Adams*.

O módulo nº6 expõe as instruções de como utilizar o *software Working Model 2D*. A realização de uma introdução sobre a interface gráfica permite introduzir alguns exemplos simples de modelos (corpos rígidos) com o objetivo de mostrar os mecanismos existentes no programa. O mesmo acontece com o *software Algodoo*, que permite realizar as simulações após o desenho ou construção de corpos rígidos em 2D.

No módulo nº7 são apresentados exemplos simples com a aplicação das *Leis Newtonianas*, utilizando o programa *Working Model 2D*.

Neste módulo são apresentados dois modelos onde se pretende a determinação da aceleração e da aceleração no centro de massa do corpo. Pretende-se também calcular a aceleração do bloco (corpo) no plano inclinado e a determinação do coeficiente de atrito dinâmico entre o corpo e o plano inclinado.

Por último, é apresentado um projeto mecânico realizado no *Working Model 2D*, sendo realizada uma simulação de um ensaio na máquina de teste da suspensão de um veículo. Através deste programa 2D é possível determinar o movimento que é submetido por



### 4.3.2. Pêndulo simples (Módulo 4).

O modelo criado representa um pêndulo e permite, ao criar a animação, obter uma aproximação à frequência natural, energia cinética e potencial do pêndulo real.

Os cálculos efetuados são uma forma de validar o modelo em alternativa à observação do pêndulo real.

- Cálculo da Frequência:  $f = \sqrt{\frac{g}{L}}$

Sendo:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  e  $L = 0,22 \text{ m}$

$$f = 6,67 \text{ rad/s}$$

Sabendo que  $1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s} (2\pi)$ , então sabe-se que,  $6,67 \text{ rad/s} \rightarrow 1,06 \text{ Hz}$ .

O Período é calculado através da expressão:  $T = \frac{1}{f}$

Logo:  $T = 0,94 \text{ s}$

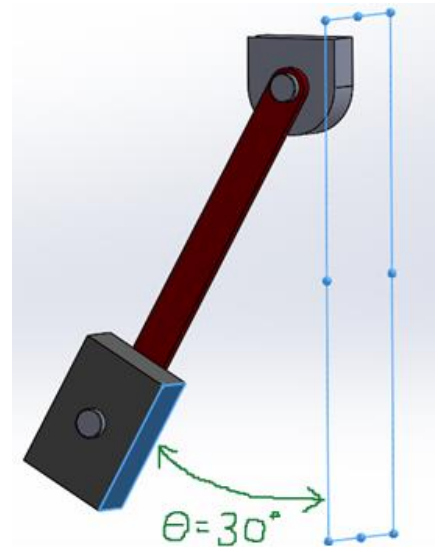


Figura 41. Pêndulo simples

Propriedades do movimento do pêndulo:

- Deslocamento angular:  $\theta = \theta_0 \cdot \cos(ft)$
- Velocidade angular:  $\dot{\theta} = -\theta_0 \cdot \text{sen}(ft)$
- Aceleração angular:  $\ddot{\theta} = -\theta_0 \cdot f^2 \cdot \cos(ft)$

Considerando as Amplitudes Máximas:

$$\theta_{m\acute{a}x.} = \theta_0 \text{ rad} \qquad \theta_{m\acute{a}x.} = 0,523 \text{ rad} \qquad \rightarrow \approx 30 \text{ deg}$$

$$\dot{\theta}_{m\acute{a}x.} = \theta_0 \cdot f \text{ rad/s} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_{m\acute{a}x.} = 3,488 \text{ rad/s} \quad \rightarrow \approx 200 \text{ deg/s}$$

$$\ddot{\theta}_{m\acute{a}x.} = \theta_0 \cdot f^2 \text{ rad/s}^2 \qquad \ddot{\theta}_{m\acute{a}x.} = 26,23 \text{ rad/s}^2 \quad \rightarrow \approx 1500 \text{ deg/s}^2$$

- Cálculo da Energia Cinética:

$$E_{m\acute{a}x.} = \frac{1}{2} \times I \times (\dot{\theta}_{m\acute{a}x.})^2$$

Onde:  $I = m \times L^2$

A massa do pêndulo ( $m$ ) determina-se através da opção existente no *SolidWorks*, designada por “Mass Properties”, resultando um valor de 0,0918 Kg.

O comprimento da barra ( $L$ ) é de 0,22 metros.

Assim:  $I = 0,044 \text{ Kg/m}^2$ .

Substituindo os valores:  $E_{m\acute{a}x.} = \frac{1}{2} \times 0,044 \times (3,488)^2 = 0,026 \text{ Joules}$

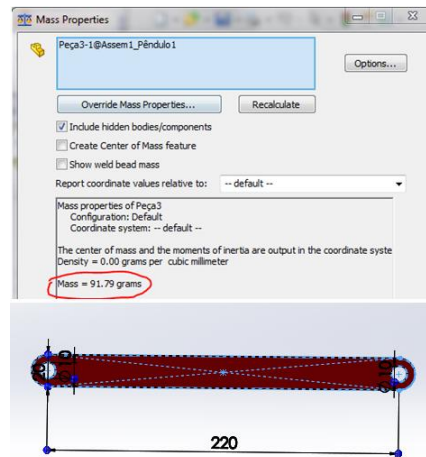


Figura 42. Opções cálculo e definições a partir do “Mass Properties” e da Árvore de Operações (*SolidWorks*).

- Cálculo da Energia Potencial:

$$P_{m\acute{a}x.} = m \times g \times h_{m\acute{a}x.}$$

Onde:  $h = L \times (1 - \cos\theta)$

Sabe-se que o ângulo é  $\theta = 30^\circ$ .

Então:  $P_{m\acute{a}x.} = 0,0918 \times 9,81 \times (1 - \cos(30))$

$\Leftrightarrow P_{m\acute{a}x.} = 0,029 \text{ Joules}$

Sabe-se que a Energia Mecânica:

$$E_{mec.} = E_{cin.} + E_{pot.} \Rightarrow 0 = E_{cin.} + E_{pot.}$$

$$\Leftrightarrow -E_{pot.} = E_{cin.}$$

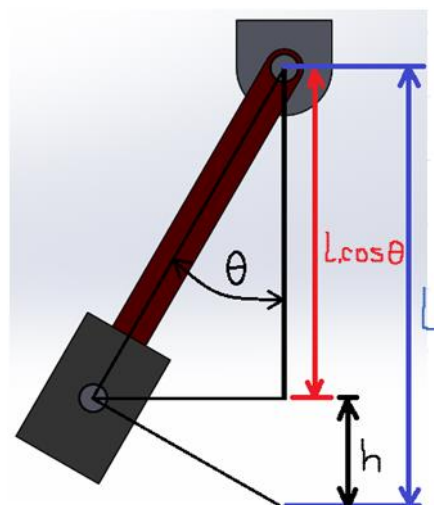


Figura 43. Decomposição do ângulo e medidas do pêndulo simples.

- Determinação dos resultados a partir do *software* (*Motion Analysis – SolidWorks*):

O gráfico representa a resposta (harmónica) do pêndulo quando este é colocado em movimento, iniciando o seu deslocamento com um ângulo de  $30^\circ$  com o plano vertical.

A linha de cor vermelha indica o valor correspondente a 1 ciclo, ou seja, 0,94 seg.

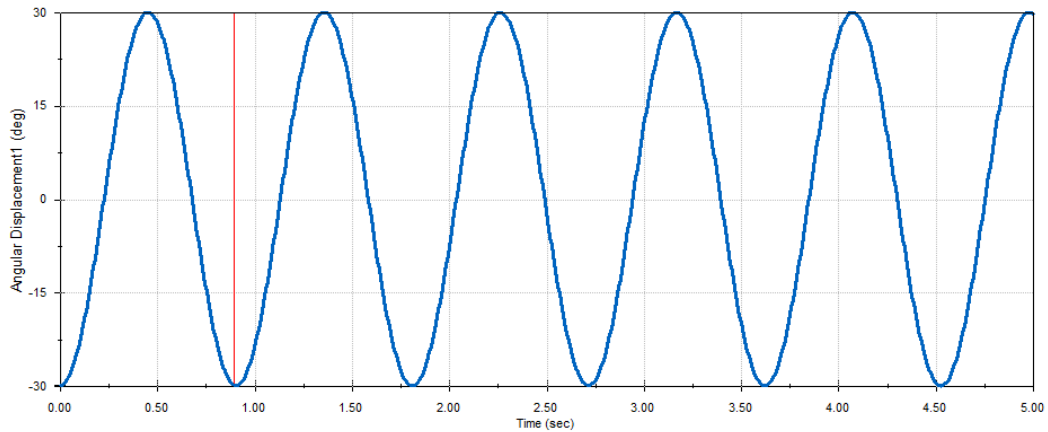


Gráfico 3. Resposta do pêndulo simples (Deslocamento Ang. vs Tempo).

Os gráficos seguintes representam os valores determinados referente ao deslocamento angular, à velocidade angular e à aceleração angular.

Deslocamento angular: 30 deg.

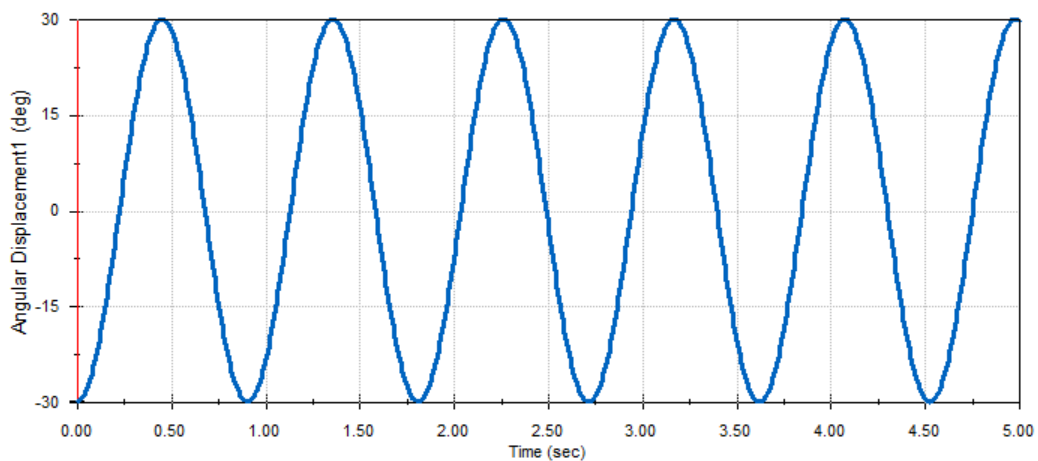


Gráfico 4. Deslocamento angular (deg) vs Tempo (seg).

Velocidade angular: 209 deg/s

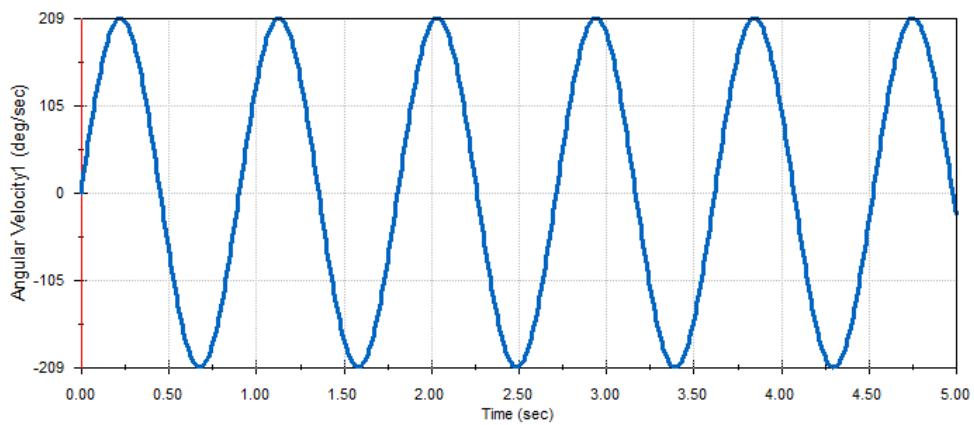


Gráfico 5. Velocidade angular (deg/s) vs Tempo (seg).

Aceleração angular: 1428 deg/s<sup>2</sup>

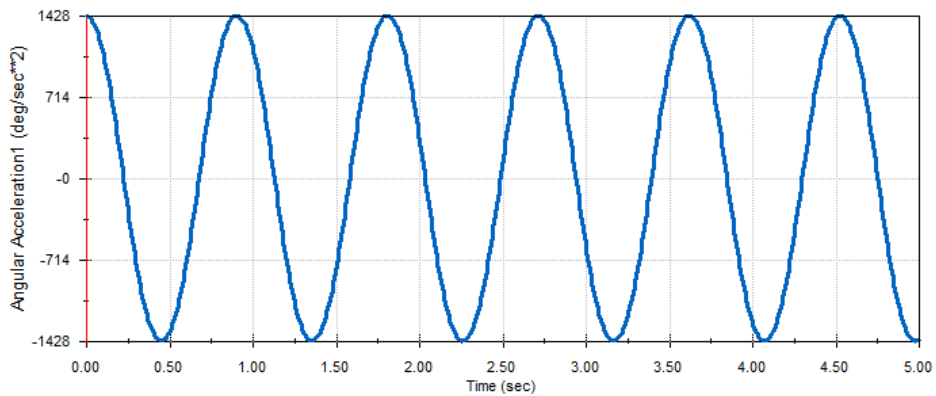


Gráfico 6. Aceleração angular (deg/s<sup>2</sup>) vs Tempo (seg).

Energia Cinética: 0,025 Joules

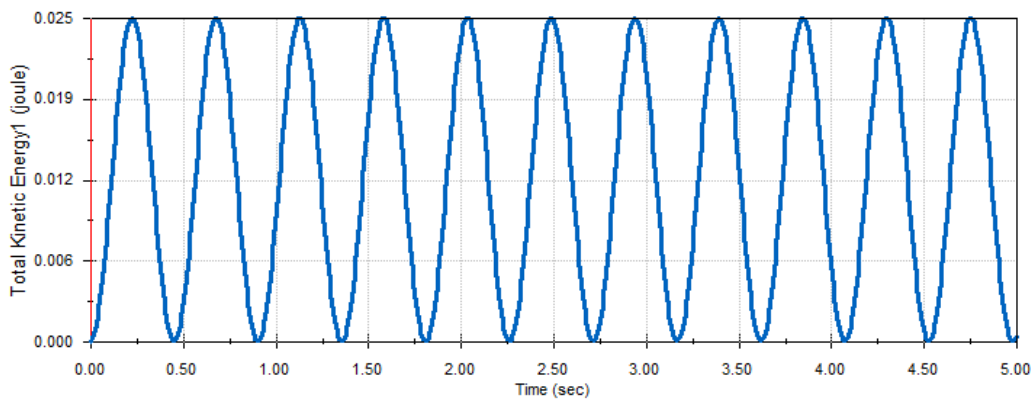


Gráfico 7. Energia cinética do sistema.

Energia Potencial: 0,029 Joules

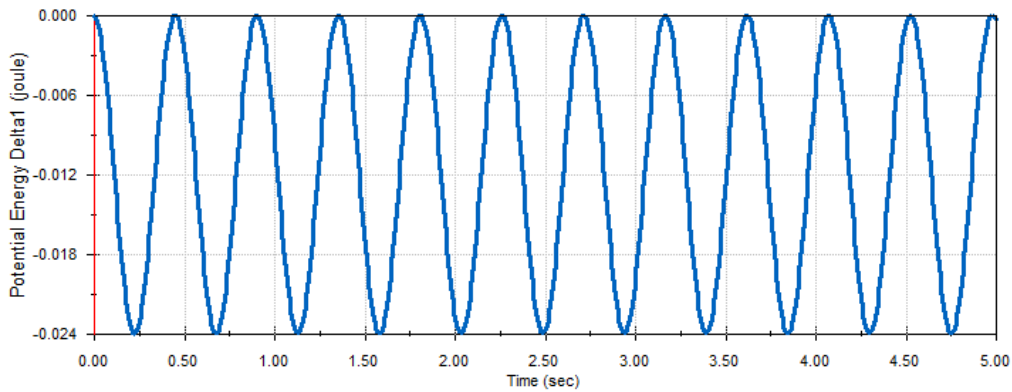


Gráfico 8. Energia potencial do sistema.

Verifica-se que os cálculos analíticos, anteriormente apresentados, estão muito aproximados dos valores determinados através do *software SolidWorks – Motion Analysis*. Assim sendo, podemos afirmar que as condições iniciais consideradas para o desenvolvimento do cálculo no modelo do pêndulo simples, quer seja a parte analítica, quer seja a parte de cálculo gráfico estão corretas.

- Comparação de resultados (Propriedades do movimento no *Motion Analysis*):

As figuras 44 e 45 apresentam os valores alcançados após a realização da simulação efetuada no *Motion Analysis*. A introdução do número de amostragem estabelecido para a simulação permite mostrar e comparar o comportamento do pêndulo.

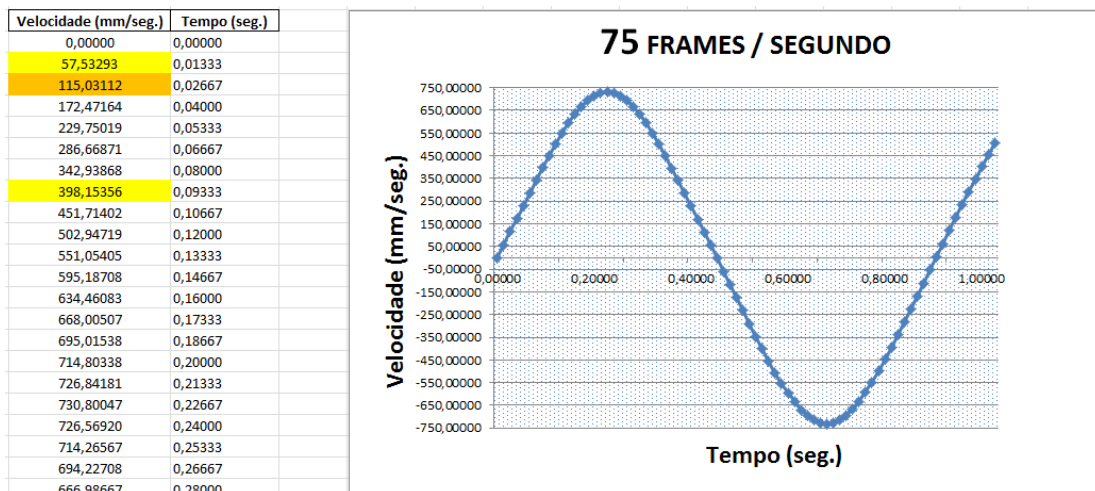


Figura 44. Número de amostragens 75 (Frames Per Second).

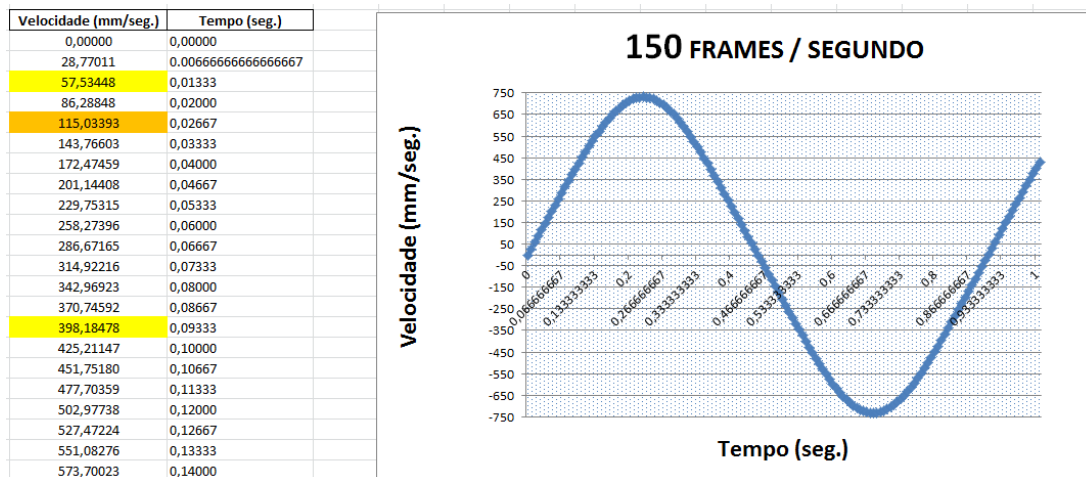


Figura 45. Número de amostragens 150 (Frames Per Second).

### 4.3.3. Modelos Quatro cilindros e Massa-Mola (Módulo 5).

A criação da animação de um modelo de Quatro cilindros, como apresenta a figura 46, permite obter uma aproximação do modelo real. A determinação das respostas dos componentes do sistema e a exportação dos dados são as formas de validação do modelo.

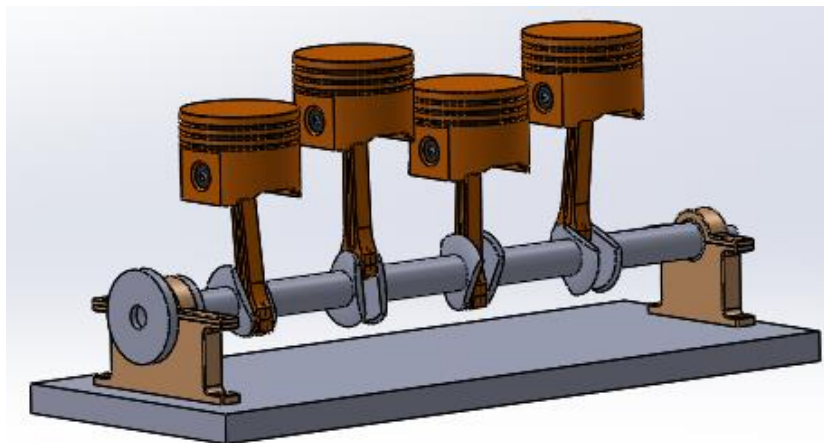


Figura 46. Modelo Quatro Cilindros criado no *SolidWorks*.

Selecionou-se componentes deste modelo de forma a simular o comportamento dinâmico a partir do *software* anteriormente indicado.

Biela do cilindro nº3:

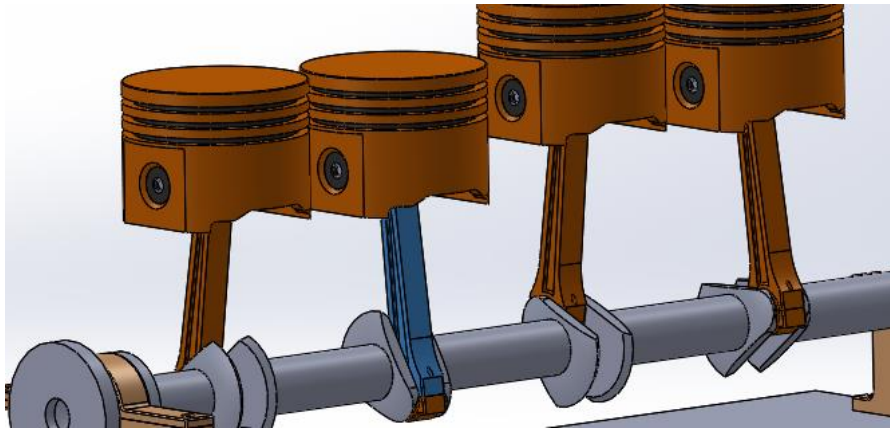


Figura 47. Análise de movimento (deslocamento linear) do componente selecionado (biela).

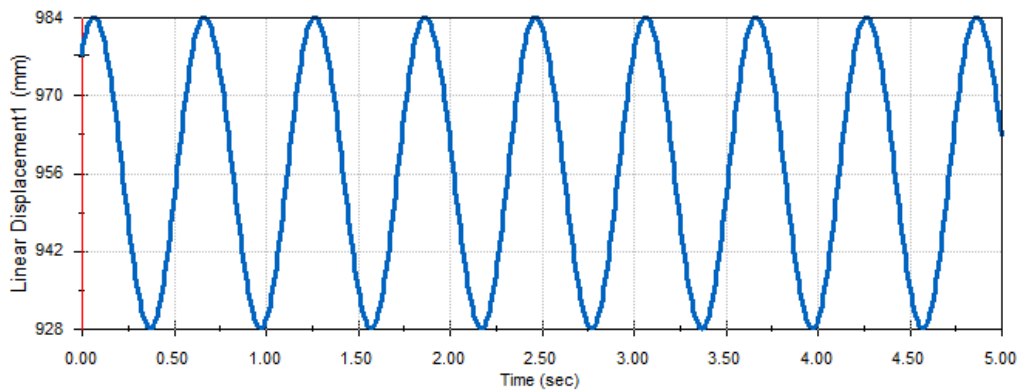


Gráfico 9. Deslocamento linear do componente (biela).

Cabeça do pistão nº4:

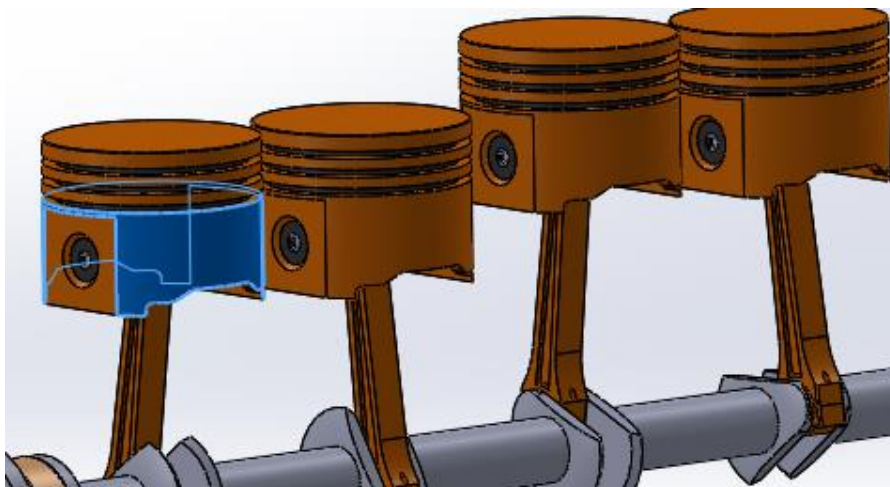


Figura 48. Cabeça do pistão nº4.

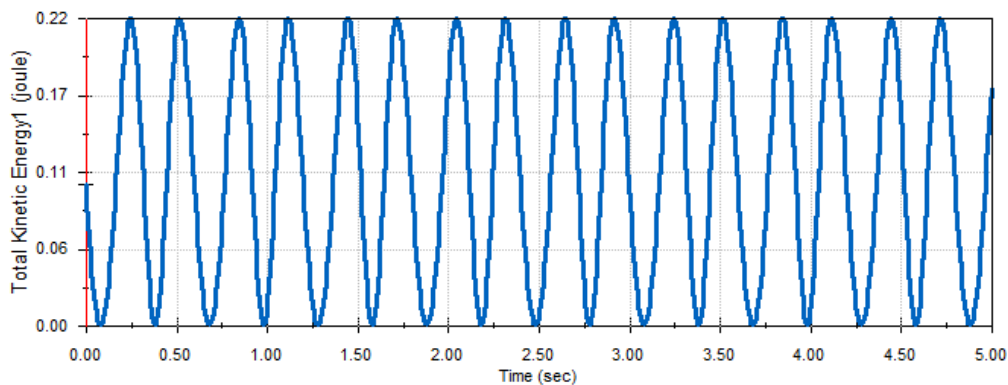


Gráfico 10. Energia cinética do componente (cabeça de pistão nº4).

O modelo Massa-Mola, como se apresenta na figura 49, tem como objetivo validar os resultados obtidos a partir dos programas *Motion Analysis* e *Adams View*. A determinação da resposta do componente do sistema (Massa) e a exportação dos dados são as formas de validação do modelo.

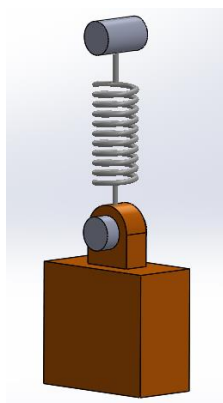


Figura 49. Modelo Massa-Mola criado no *SolidWorks*.

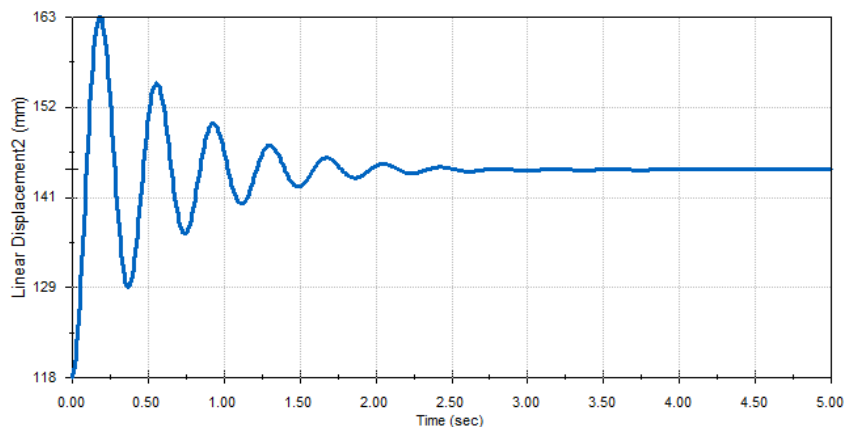


Gráfico 11. Deslocamento linear do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do *Motion Analysis* – *SolidWorks* (valor máximo de 164 mm).

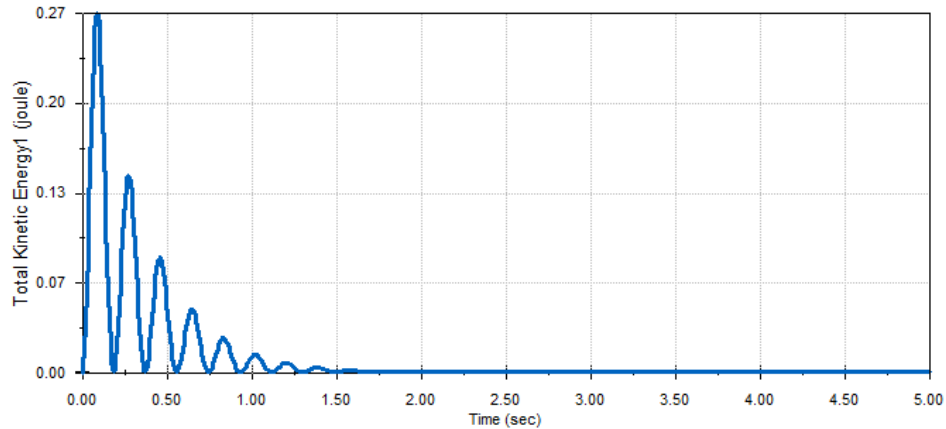


Gráfico 12. Energia Cinética do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do Motion Analysis – SolidWorks (valor de 0,27 Joules).

A figura 50 representa o modelo de Quatro cilindros na interface do programa *Adams View*. Este software permite realizar a simulação para analisar e comparar os resultados obtidos no *Motion Analysis*.

Os resultados obtidos no *Adams View* encontram-se apresentados nos gráficos 13 e 14.

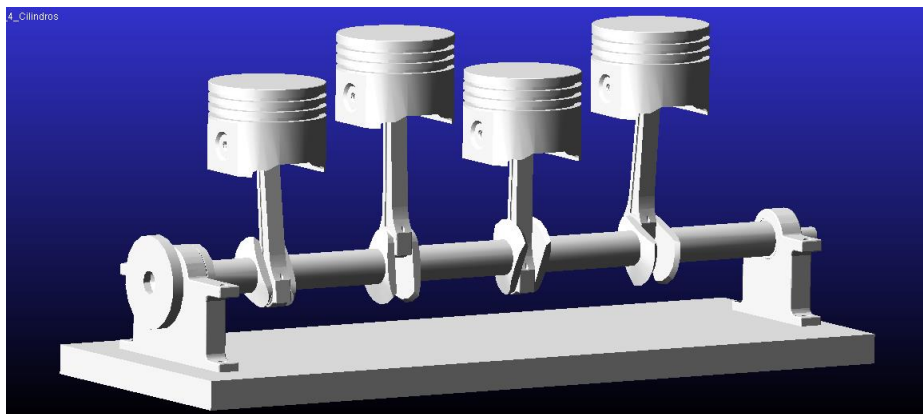


Figura 50. Modelo 4 Cilindros (ficheiro .adm exportado para *Adams View*).

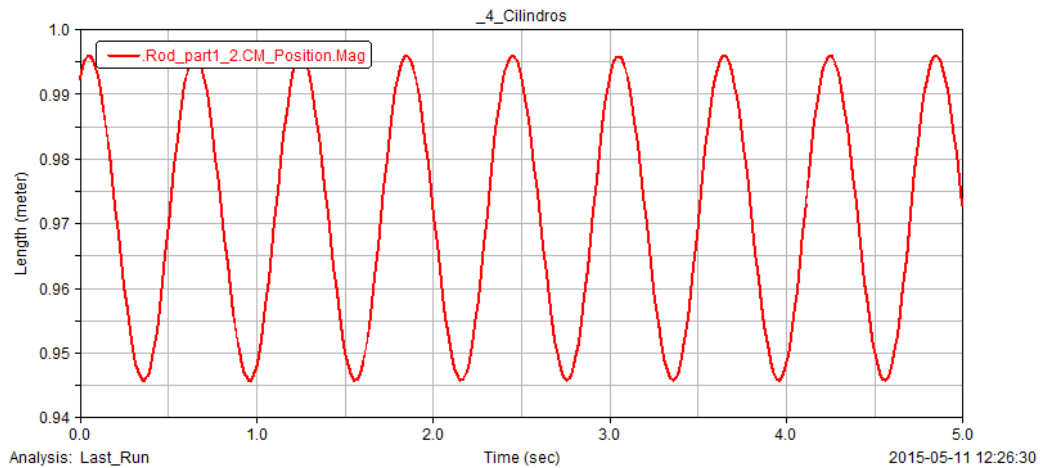


Gráfico 13. Deslocamento linear do componente (biela).

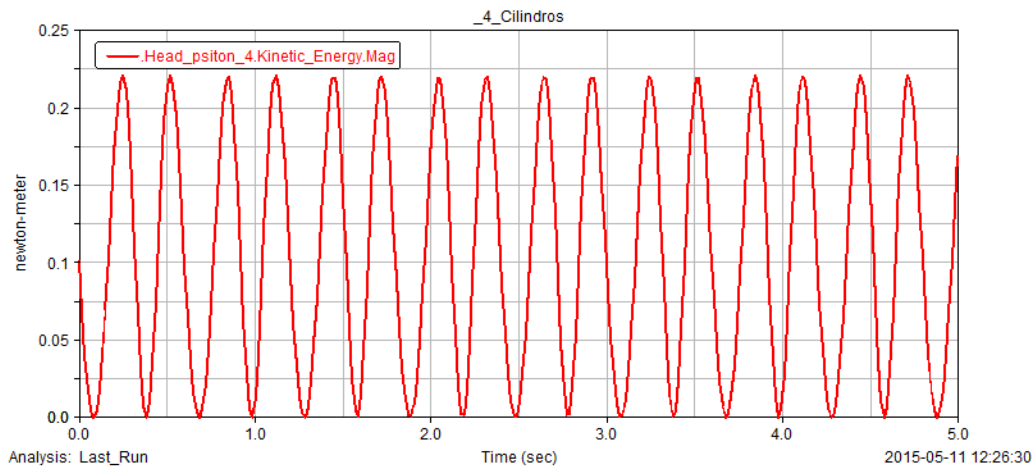


Gráfico 14. Energia cinética do componente (cabeça de pistão nº4).

Os resultados obtidos através do *Adams View* são iguais aos resultados determinados através do *Motion Analysis*.

A razão pela qual os resultados apresentam valores iguais é pelo fato de ser considerado o mesmo número de amostragens no *Adams View* e no *Motion Analysis*.

No modelo *4 Cilindros* foram considerados os 300 pontos, enquanto o modelo *Massa-Mola* foram inseridos 150 pontos. O número de amostragens dá-nos a possibilidade obter uma maior precisão nos valores e resultados fidedignos.

Os gráficos seguintes mostram os resultados obtidos no programa *Adams View* e no *Motion Analysis*, e uma vez mais, se comprova que os resultados obtidos são iguais.

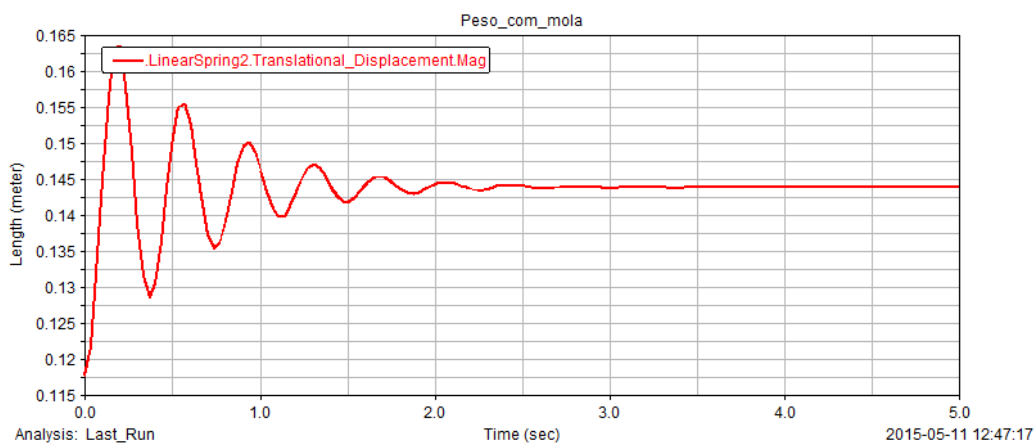


Gráfico 15. Determinação do deslocamento linear do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do ADAMS View (valor máximo de 164 mm).

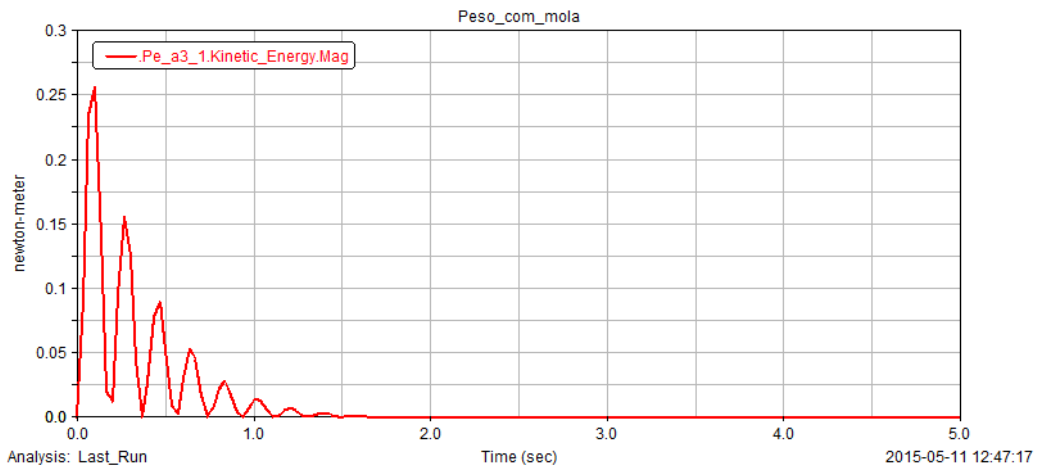


Gráfico 16. Energia Cinética do modelo Massa-Mola, com amortecimento, a partir do ADAMS View (valor de 0,27 Joules).

#### 4.3.4. Comportamento do bloco num plano inclinado, Exemplo 2 (Módulo 7).

A figura 51 ilustra um plano inclinado com um bloco (corpo) colocado no ponto A em repouso. O bloco ao deslizar atinge o ponto B.

Sabendo que coeficiente de atrito dinâmico é de  $\mu_D = 0,5$ . Pretende-se determinar:

- a aceleração do corpo (bloco).
- a força de atrito entre o corpo e o plano inclinado.

Sabe-se que, a aceleração da gravidade é de  $9,81 \text{ m/s}^2$  e a influência da resistência do ar é considerada desprezável.

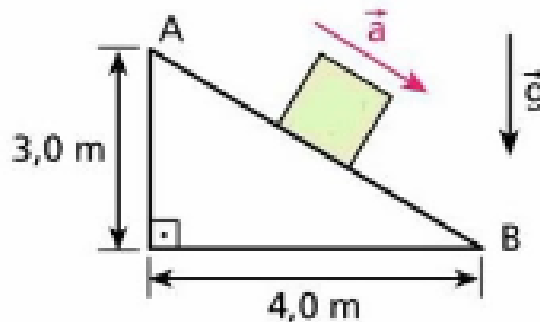
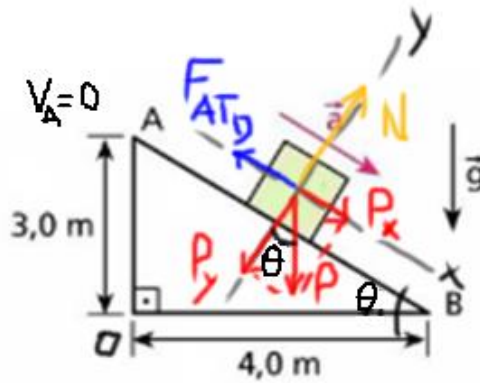


Figura 51. Plano inclinado com o bloco a deslizar sobre o plano inclinado.

- Decomposição das forças existentes no corpo (bloco) a deslizar sobre o plano inclinado:



$$P_x = P \times \text{sen}\theta$$

$$P_y = P \times \text{cos}\theta$$

$$P_y = N \Rightarrow N = P \times \text{cos}\theta$$

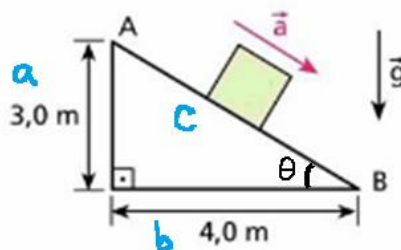
- Cálculo do ângulo  $\theta$ :

$$\text{tg}\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \Rightarrow \text{tg}\theta = \frac{AO}{OB} = \frac{3}{4} \Rightarrow \text{tg}\theta = 0,75$$

$$\text{tg}\theta = 0,75 \Rightarrow \theta = 36,87^\circ$$

Cálculo de AB (Hipotenusa):

$$c^2 = b^2 + a^2 \Leftrightarrow c = 5 \text{ m}$$



- Força Resultante:

$$F_r = m \times a \Rightarrow P_x - F_{AT_D} = m \times a$$

$$\Leftrightarrow P \times \text{sen}\theta - \mu_D \times N = m \times a \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow m \times g \times \text{sen}\theta - \mu_D \times m \times g \times \text{cos}\theta = m \times a \Leftrightarrow$$

Substituindo os valores:

$$\Leftrightarrow 9,81 \times \frac{3}{5} - 0,5 \times 9,81 \times \frac{4}{5} = a \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow a = 1,962 \text{ m/s}^2$$

- Cálculo da força de atrito:

$$P_Y = N \Rightarrow N = P \times \text{cos}\theta \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N = m \times g \times \text{cos} = 10 \times 9,81 \times \text{cos}(36,87^\circ) = 78,48 \text{ N}$$

Assim,

$$F_{AT_D} = \mu_D \times N = 0,5 \times 78,48 \Leftrightarrow F_{AT_D} = 39,24 \text{ N}$$

- Simulação no *Working Model 2D*.

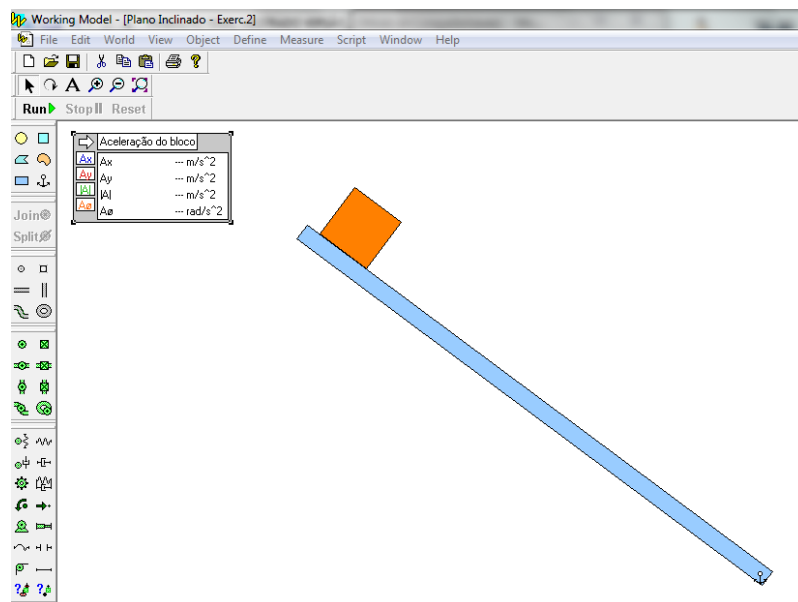


Figura 52. Simulação no *Working Model 2D* do corpo no plano inclinado (ponto A, em repouso).

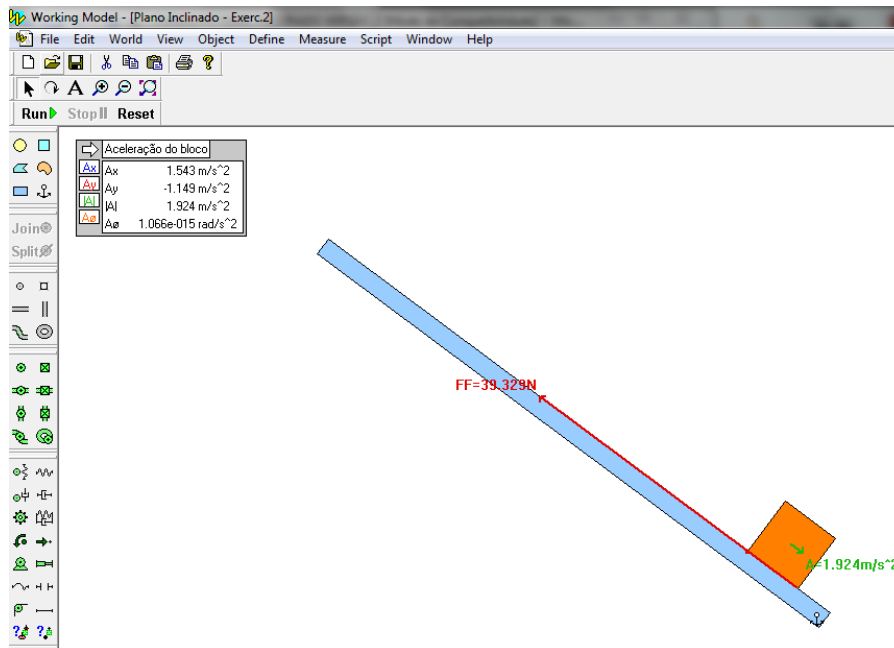


Figura 53. Simulação no *Working Model 2D* do corpo a deslizar sobre o plano inclinado, até ao ponto B.

Aceleração do bloco	
Ax	1.543 m/s <sup>2</sup>
Ay	-1.149 m/s <sup>2</sup>
A	1.924 m/s <sup>2</sup>
Aθ	1.066e-015 rad/s <sup>2</sup>

Figura 54. Resultados da aceleração do bloco.

O quadro seguinte apresenta os resultados obtidos nos cálculos analíticos efetuados e os cálculos determinados através da simulação no *Working Model 2D*.

	Cálculos Analíticos	Simulação no <i>Working Model</i>
<b>Aceleração (bloco)</b>	1,962 m/s <sup>2</sup>	1,924 m/s <sup>2</sup>
<b>Força de atrito</b>	39,24 N	39,329 N

Quadro 6. Comparação dos resultados obtidos.

#### 4.3.5. Exemplo de cálculo da resposta de um veículo para diferentes suspensões (Módulo 7).

O projeto mecânico da suspensão de ¼ veículo tem como objetivo perceber como são efetuados os estudos aos componentes mecânicos que fazem parte da suspensão de um veículo. No *Working Model 2D* foi desenhado o modelo com a aplicação de corpos rígidos e constrangimentos, de forma a realizar a simulação.

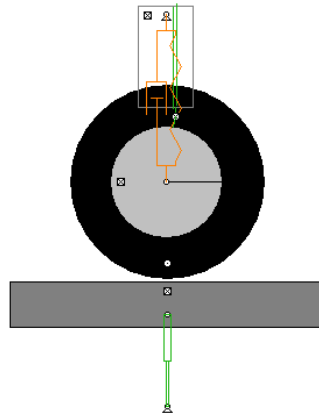


Figura 55. Suspensão de ¼ veículo.

A figura 56 apresenta o modelo de um veículo completo para o leitor ter a percepção de como é efetuada a análise da suspensão.

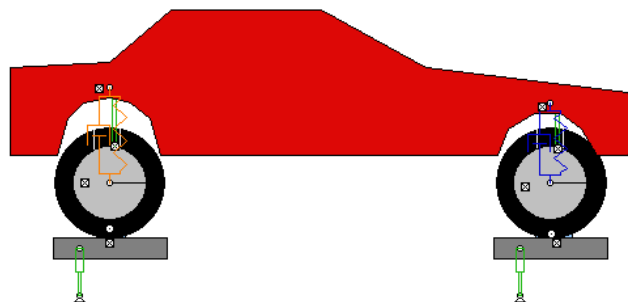


Figura 56. Modelo submetido a simulação no *Working Model*.

O atuador que se encontra aplicado na plataforma (componente cinzento associado ao pneu traseiro do veículo) vai proporcionar um movimento oscilatório (vertical) na roda (pneu) e no chassis do veículo. O movimento foi gerado por uma força introduzida nas propriedades do atuador constituída por:

$$F(y) = Y \times \text{sen}(\omega.t) \Leftrightarrow F(y) = 70 \times \text{sen}(7,5.t)$$

O tempo (t) definido para a simulação do modelo foi de 20 segundos, como mostra a figura 57, que evidencia o comando «*Pause Control*».

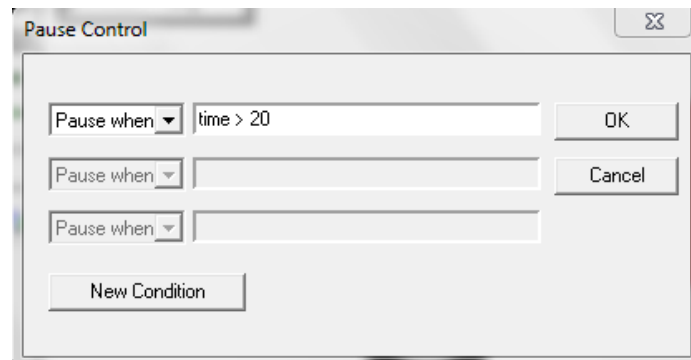


Figura 57. Comando «*Pause Control*» no *Working Model*.

Respostas dos componentes desenhados no *Working Model*:

- Roda (pneu)

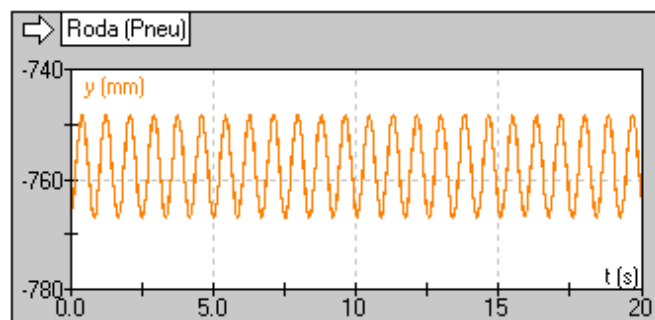


Figura 58. Amplitude de pico a pico da Roda (pneu) (harmónica).

- Chassis

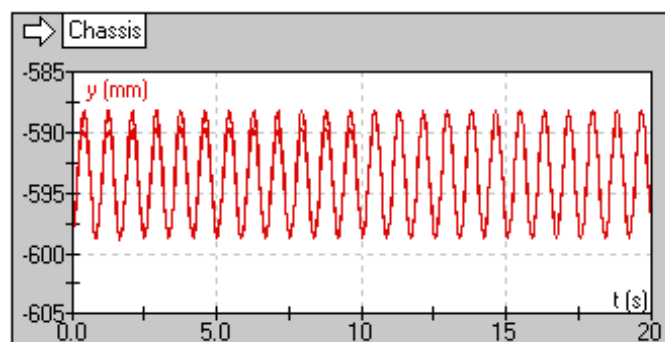


Figura 59. Amplitude de pico a pico do Chassis, (harmónica).

- Análise do movimento imposto na suspensão:

Foi efetuada a exportação dos dados do modelo para o programa *PTC Mathcad* para determinar a amplitude pico (deslocamento) entre os dois componentes, ou seja, o movimento imposto à suspensão do veículo.

Foram determinados os gráficos de forma a obter as amplitudes de pico de cada componente com o auxílio da função «Trace»:

Roda (pneu):

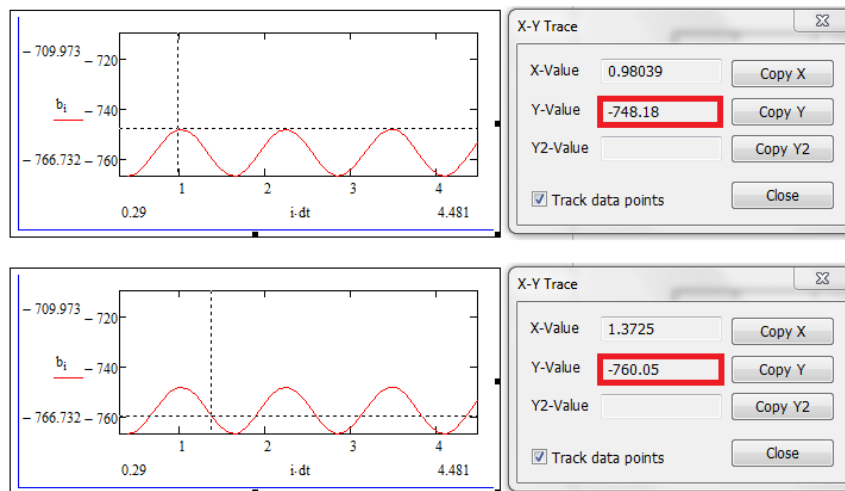


Figura 60. Representação gráfica do deslocamento vertical da Roda (pneu).

✓  $Amplitude\ de\ pico = 760,05 - 748,18 = 11,87\ mm$

Chassis:

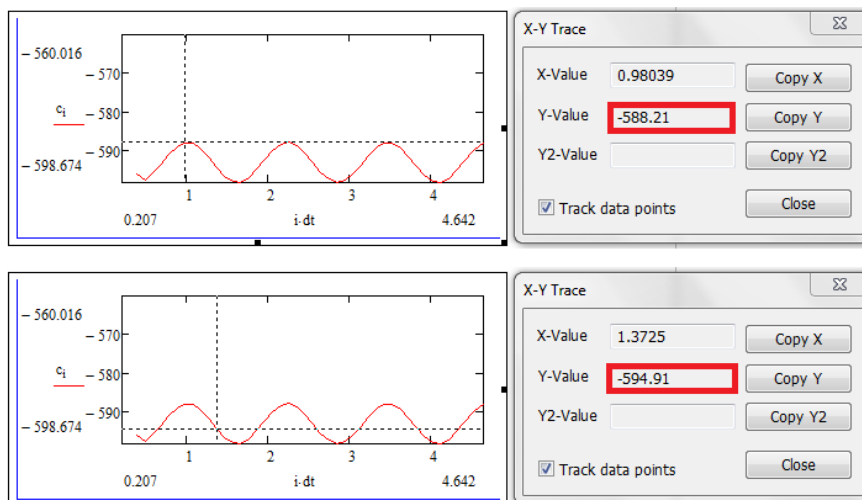


Figura 61. Representação gráfica do deslocamento vertical do Chassis.

✓  $Amplitude\ de\ pico = 594,91 - 588,21 = 6,70\ mm$

A divisão do deslocamento de pico do chassis pelo deslocamento de pico imposto à roda/pneu corresponde à redução de movimento que a suspensão impõe, ou seja, esta relação pode ser definida por transmissibilidade.

- Se o valor da transmissibilidade for menor que um (1), a suspensão está a isolar.
- Se o valor da transmissibilidade for maior que um (1), a suspensão está a amplificar.

$$\frac{Amp_{\cdot Chassis}}{Amp_{\cdot Roda/pneu}} = \frac{6,70}{11,87} = 0,56 \Rightarrow 56\%$$

Uma vez que o valor da divisão entre as amplitudes de pico do Chassis e da Roda/pneu, resulta num valor inferior a um (1), considera-se que a suspensão encontra-se a isolar e conforme.

- Os valores superiores a 50%, significa que as suspensões estão conformes.
- Os valores inferiores a 50%, significa que as suspensões não estão conformes.

#### **4.4. Avaliação do Curso**

Para avaliar este curso *e-learning* foi criado um inquérito para os formandos e público em geral.

As questões do inquérito encontram-se direcionadas para classificar quanto à estrutura e o posicionamento do curso. Relativamente à estrutura entende-se que a sua avaliação deve ser feita quanto ao conteúdo de cada módulo, à aplicação dos exemplos práticos, às ferramentas computacionais aplicadas, à qualidade de vídeo, entre outros temas, num grau de avaliação de medíocre a excelente (Anexo 1).

No que diz respeito ao posicionamento do curso, colocam-se as questões sobre a classificação na sua globalidade, desde a probabilidade de recomendação do curso a alguém (um colega, um amigo ou um familiar), à escolha do *software* 3D e 2D para modelação multicorpo para elaboração de um projeto.

#### 4.5. Website

Foi criado um *website* através do *Google sites* que disponibiliza o curso e o inquérito online, sendo possível a sua visualização através de: <https://sites.google.com/site/courselearningmultibodysystems/> (Anexo 3).

O *website* apresenta na primeira página uma introdução do tema *e-learning* e das ferramentas computacionais utilizadas, assim como as ferramentas computacionais para modelação multicorpo.

A segunda página mostra a estrutura do curso por módulos que permite aceder e visualizar os vídeos de uma forma rápida. Cada vídeo está associado a uma hiperligação (ou *URL*) que encaminha para a página do *Youtube*.

O inquérito online encontrou-se disponível no *website* com a designação de *Avaliação do Curso*, durante um determinado período, com o objetivo de avaliar o curso.

Por último, a página *Multibody Systems* apresenta a introdução de cada um dos *softwares* utilizados na modelação multicorpo neste curso.



## 5. CONCLUSÕES

O trabalho final de mestrado teve como objetivo apresentar as ferramentas computacionais adequadas para desenvolver modelos simples de sistemas multicorpo (*multibody systems*) para Engenheiros Mecânicos, a partir de apresentações e com o recurso a ferramentas *e-learning*. Podemos afirmar que foram alcançados e cumpridos os objetivos delineados, e para além disso, foi atingido também o objetivo de criar um curso *e-learning* didático e formativo.

A estrutura do curso foi constituída por módulos, sendo cada módulo composto por diversos temas, os quais se podem designar por sub-capítulos.

Iniciou-se o curso com uma introdução ao programa *SolidWorks* com o objetivo de mostrar as funcionalidades dos menus e as barras de ferramentas disponíveis na interface gráfica. Após serem apresentadas algumas das potencialidades deste *software* foi desenvolvido um desenho simples composto por dois elementos ou corpos rígidos. Para além desta construção multicorpo deu-se ênfase aos constrangimentos (*mates*) aplicados no modelo pois restringiam as funções relativamente ao movimento.

Seguiram-se os módulos nº2 e nº3, onde se destacou através de exemplos simples, a importância das funcionalidades dos menus, barras de ferramentas, tipos de comandos e opções no *SolidWorks – Motion Analysis*. Os vários tipos de comandos (motor, mola, amortecedor, gravidade, etc.) permitiram parametrizar e introduzir variáveis de maneira a proporcionar a análise de movimento do modelo, bem como a observação a partir de gráficos (*plots*).

No módulo nº3 elaborou-se também um projeto mecânico desenhado no *SolidWorks* e posteriormente analisado em *Motion Analysis*. O projeto consistiu na introdução de um mecanismo (motor) num dos corpos rígidos do desenho com a finalidade de abrir e fechar, em modo automático, uma porta traseira de um veículo (*pick-up*).

No módulo nº4 foram apresentados os cálculos analíticos de um modelo de um pêndulo simples e compararam-se com os resultados obtidos pelo *Motion Analysis*. Podemos concluir que os cálculos efetuados da frequência, período, deslocamento angular, velocidade angular, aceleração angular, energias cinética e potencial foram realizados com sucesso.

Recorreu-se à ferramenta computacional, Excel, com o objetivo de verificar os valores obtidos a partir da simulação decorrida no *Motion Analysis* e confirmar o número de amostragens (*frames per second*). Para comparar os dados exportados para o Excel

foram efetuadas duas simulações com o número de amostragem de 75 FPS e de 150 FPS. A diferença verificada com a alteração do valor da amostragem foi a velocidade pois verificou-se que o movimento do pêndulo ficou mais lento. Na simulação de 150 FPS foi verificado um maior número de leituras, o que significa que o aumento do número de amostragens pode ser muito útil para obter uma maior precisão de valores e resultados fidedignos no estudo.

No módulo seguinte foram desenvolvidos dois modelos distintos no *SolidWorks*. Em ambos os modelos foi realizada a análise do movimento no *Motion Analysis* com o objetivo de demonstrar o funcionamento dos modelos (*4 Cilindros* e *Massa-mola*) e determinar as respostas através da introdução de variáveis e/ou mecanismos.

No primeiro modelo foi realizada a análise do movimento e determinou-se o deslocamento linear do corpo (biela), o qual resultou uma resposta representada por uma harmónica com uma amplitude de pico igual a 984 mm.

Foi selecionado outro corpo (cabeça do pistão nº4) para determinar a energia cinética, onde se obteve um valor de 0,22 Joules.

No segundo modelo foram determinados os valores do deslocamento linear com amortecimento e a energia cinética.

Foi calculado o valor de deslocamento linear máximo da *Massa* com amortecimento (164 mm). O valor da energia cinética da *Massa* foi de 0,27 Joules. Foi também destacada a diminuição das amplitudes ao longo do tempo (gráficos 11 e 12).

O programa *SolidWorks* permitiu efetuar a tarefa de exportação de ficheiros de dados para serem avaliados no *MSC Adams (Adams View)*. A tarefa de exportação dos dois modelos (*4 Cilindros* e *Massa-mola*) teve o objetivo de validar os resultados obtidos no *SolidWorks – Motion Analysis*.

No *MSC Adams* foram realizadas as simulações da análise do movimento e constatou-se que o número de amostragens é um fator importante para a execução das simulações e para a obtenção de resultados aproximados ou até mesmo idênticos. Assim podemos afirmar que os resultados foram validados com sucesso através deste *software*.

Para além destas ferramentas computacionais 3D, também foram utilizadas ferramentas computacionais 2D para modelação de corpos rígidos, nomeadamente o *Working Model 2D* e o *Algodo*. Uma vez mais a opção de exemplos simples foi o critério tomado para demonstrar as capacidades e funcionalidades de cada *software*, embora seja possível a execução de modelos mais complexos.

O módulo nº6 teve como objetivo apresentar alguns conceitos associados às leis *Newtonianas*, tais como a gravidade (aceleração da gravidade igual a  $9,807 \text{ m/s}^2$ ), a resistência do ar ( $\text{Kg/m}^2$ ), a massa do corpo ( $\text{Kg}$ ), as velocidades segundo os eixos das abcissas (X) e das ordenadas (Y). Para isso foi desenvolvido o modelo de um corpo em queda livre no *Working Model 2D*, onde foi possível apresentar também os gráficos de posição e de velocidade.

O segundo modelo apresentado foi o modelo de 1 Grau de Liberdade em vibração livre desenvolvido no *Working Model 2D*, onde se parametrizou o corpo quanto à sua massa ( $\text{Kg}$ ), rigidez ( $\text{N/m}$ ) e amortecimento ( $\text{N.s/m}$ ). Ao adicionar e definir as variáveis da mola-amortecedor verificou-se a existência de oscilação no sistema.

Foram realizadas três simulações para verificar o comportamento do sistema relativamente ao valor do coeficiente de amortecimento. Foram verificados os sistemas superamortecido ( $\zeta > 1$ ), com amortecimento crítico ( $\zeta = 1$ ) e subamortecido ou com amortecimento ( $\zeta < 1$ ).

Posteriormente foi determinado a frequência natural do sistema e o cálculo do fator de amortecimento para os três sistemas através de uma ferramenta computacional, designada por *PTC Mathcad*. Este *software* ofereceu capacidades de resolução, quer no cálculo numérico, quer na representação gráfica e até mesmo nas suas funcionalidades que podemos classificá-las de acessíveis.

Os modelos desenvolvidos no *Working Model 2D*, o *mecanismo de transporte* e os *diferentes regimes de velocidade de um cilindro* foram realizados com o objetivo de evidenciar os controladores input/output, menus, barras de ferramentas e todas as funcionalidades disponíveis na interface deste programa, assim como as funções IF e AND utilizadas para parametrizar e simular o sistema.

Por último, utilizou-se o programa *Algodo* que podemos designá-lo como sendo um programa perfeito para criar desenhos simples, cenas interativas entre corpos rígidos de diferentes dimensões, permitindo gerar dinâmica entre eles e analisar o movimento. Podemos concluir que é um *software* desenvolvido para ser educativo e também divertido.

No módulo nº7 foram apresentados dois exercícios de física, os quais foram desenhados no *Working Model 2D*. Desenvolveram-se os exercícios adotando o plano inclinado como referência para a apresentação do cálculo analítico e computacional. Primeiramente foram realizados os cálculos analíticos de cada exercício e determinou-se a aceleração angular, a aceleração do corpo (centro de massa) e o coeficiente de atrito dinâmico. Após a criação dos corpos rígidos para cada exercício foram definidas as variáveis necessárias para a obtenção dos cálculos computacionais. Após este procedimento foram efetuadas as simulações e analisados os comportamentos dos corpos rígidos. No fim, constatou-se que os cálculos analíticos e os computacionais se encontravam aproximados.

Simulou-se ainda no mesmo *software* o modelo de uma suspensão de ¼ veículo com a finalidade de perceber como são efetuados os estudos aos componentes mecânicos que fazem parte da suspensão de um veículo.

O modelo foi submetido a uma análise devido à oscilação vertical provocada por um atuador na roda traseira e no chassis do veículo.

O movimento foi gerado por uma força introduzida nas propriedades do atuador constituída por:

$$F(y) = Y \text{ sen}(\omega t) \Leftrightarrow F(y) = 70 \text{ sen}(7,5 t)$$

No que diz respeito à representação gráfica foram apresentadas as amplitudes de pico a pico da roda e do chassis do veículo, resultando as respostas (harmónicas) ao longo do tempo. A análise prosseguiu com a exportação dos ficheiros de dados para o *Mathcad*, onde se determinou a amplitude de pico (deslocamento) entre os dois componentes, isto é, o movimento imposto à suspensão do veículo. A utilização da função *Trace* foi uma mais-valia para a definição dos valores de deslocamento (em mm) e para a realização dos cálculos das amplitudes de pico.

Determinou-se o valor da relação entre o deslocamento de pico do chassis e da roda, resultando um valor de 56%, o qual concluímos que a suspensão encontrava-se ainda a isolar e conforme.

Podemos concluir que o *SolidWorks* apresenta algumas diferenças quanto ao *MSC Adams* a nível de interface gráfica, pois encontra-se preparado para oferecer uma fácil aprendizagem com o campo de menus, barras de ferramentas de fácil manuseamento e

compreensão para o utilizador. A outra vantagem deste *software* encontra-se na fácil alteração dos desenhos a qualquer instante.

O *MSC Adams* é um pouco mais complexo, poderia estar mais organizado quanto à distribuição dos menus, à definição de variáveis (input) e à definição dos corpos rígidos. Este programa foi utilizado para a validação de resultados e também para realizar algumas simulações.

Podemos afirmar ainda que a modelação 3D pode tornar mais difícil a conceção do corpo ou sólido, devido ao desenho ser representado na interface com três eixos (x, y e z) e se considerar as três dimensões em simultâneo (comprimento, largura e altura).

O programa *SolidWorks* pode realizar também o desenho 2D, pois tem integrado o módulo *drawing* que permite desenvolver desenhos 2D a partir dos desenhos 3D. Este programa encontra-se preparado para conceber componentes mecânicos, realizar as simulações dinâmicas e ainda a possibilidade de definir o tempo de simulação, o que poderá traduzir num bom desempenho da análise do projeto.

As desvantagens são poucas a apontar, mas consideráveis, sendo relevante indicar os dois pontos negativos e mais notórios na realização deste projeto: (1) a complexidade do sistema criado faz com que a execução do cálculo da simulação seja mais demorada, podendo chegar ao ponto de originar erros no programa; (2) as placas gráficas com pouca memória e velocidade de processamento baixo, resulta num mau desempenho da simulação e do próprio computador ou portátil.

Os programas *SolidWorks* e *MSC Adams* (CAD/CAE) podem comportar valores de aquisições elevados, o que traduz numa desvantagem para a sua aquisição. No que diz respeito ao investimento destes programas em termos individuais será extremamente difícil suportar o custo. Quanto às empresas que necessitam deste tipo de programa para projetos de modelação paramétrica de sólidos terão que investir milhares de euros na sua aquisição.

Relativamente aos programas de modelação 2D utilizados neste projeto podemos indicar que as suas funcionalidades acessíveis são uma vantagem.

No *Working Model* 2D foi possível desenhar, projetar modelos e simulá-los com o objetivo de comprovar a 2ª *Lei da Newton*.

No *Algodo* foram realizados desenhos para testar o comportamento de alguns corpos sólidos e líquidos, mas numa vertente direcionada para a educação (didático).

Nos programas de modelação 2D encontram-se limitações na produção do desenho, restringindo a sua aplicação somente nos eixos X e Y. Para algumas aplicações esta representação 2D é suficiente, não sendo necessárias as informações volumétricas (eixo Z).

Contudo, os desenhos dos projetos podem ser desenvolvidos neste tipo de representação 2D, sendo também facilmente alteráveis.

Foi criado um inquérito online com o objetivo de obter uma avaliação dos formandos e público em geral. Foi também criado um *website* através do *Google sites* que disponibiliza o curso e o inquérito online.

Relativamente às perguntas elaboradas no inquérito é importante referir que as mesmas foram preparadas com o intuito de proporcionar uma classificação geral deste projeto, ou seja, uma ideia da estrutura e posicionamento do curso na sua globalidade.

As primeiras perguntas do inquérito fazem referência ao conteúdo de cada módulo do curso, enquanto as perguntas seguintes fazem referência desde o tipo de ferramentas computacionais utilizadas, à qualidade de áudio e de imagem utilizada nos vídeos. As questões seguintes encontram-se inseridas no posicionamento do curso, quanto à sua avaliação global.

A utilização deste curso no futuro (pergunta 16 do inquérito) pode ser uma realidade, apesar de se considerar que existem aspetos a serem melhorados. Contudo os resultados obtidos em torno desta questão foram satisfatórios, apresentando um valor de 7,18 numa pontuação de 0 a 10 (cálculo do valor médio).

Na pergunta 17 as respostas mais evidentes recaem na qualidade do áudio, embora tenha sido utilizada uma ferramenta conhecida no mercado (*NCH Software*), mas a sua qualidade ficou um pouco aquém das expectativas, devido à forma como foi efetuada a captação do som (sem microfone). O som foi captado através da placa de som incorporada no portátil.

Outro ponto a salientar é o fato dos vídeos terem sido longos e foi sugerido pelos inqueridos a realização de vídeos mais curtos, à semelhança de tutorial.

Relativamente à pergunta 19, verificou-se um valor médio de 7,64 numa pontuação de 0 a 10. Podemos considerar uma classificação satisfatória, tendo em conta o desempenho, a dedicação, o número de horas despendidas (cerca de 1500 horas em 10 meses) neste projeto, assim como a aprendizagem efetuada para obter novos conhecimentos sobre as ferramentas computacionais 3D e 2D.

No que diz respeito à pergunta 20 constatou-se com as respostas apresentadas um índice notório na opção do *software SolidWorks* como escolha para realizar um projeto de modelação multicorpo, devido ao fato de ser uma ferramenta de utilização universal, fácil de manusear, compreender os menus e muito completo.

Para finalizar o assunto sobre o inquérito, podemos indicar que o número de respostas apresentadas foram inferiores às expectativas (11 respostas), proporcionando resultados pouco conclusivos, principalmente por existir um número baixo de respostas e ainda as mais variadas classificações atribuídas. Todavia, o inquérito esteve disponível aos formandos do ISEL e ao público em geral, durante um período de 60 dias (Anexo 1).

Apesar de se ter obtido os valores médios num nível satisfatório (consultar o quadro 9, no Anexo 2) reconheceu-se que o curso ainda não reúne as condições para ser lançado no ensino pelo que achamos que deverá ser submetido a uma melhoria geral.

Este projeto tomou como base principal a modelação de sistemas multicorpo com o objetivo de projetar modelos e analisar o movimento dos corpos rígidos.

Foram aplicados conceitos fundamentais da Dinâmica e da Estática, permitindo uma melhor compreensão das funções de modelação, do cálculo computacional e das simulações realizadas nos modelos multicorpo, utilizando ainda o *e-learning* como uma base de divulgação e de formação.

Com a realização deste projeto pode-se concluir que as capacidades de execução de determinados sistemas multicorpo modelados nos vários programas computacionais tornaram possíveis os testes e avaliações durante as simulações.

É importante destacar que a experiência obtida após a realização deste projeto foi assegurada, pois a oportunidade de trabalhar com quatro ferramentas computacionais distintas para a modelação multicorpo 3D e 2D e outras ferramentas úteis para complementar a criação do curso em vídeo enriqueceu ainda mais o conhecimento em torno do tema do projeto, assim como o desenvolvimento deste projeto permitiu adquirir novos conhecimentos em determinadas áreas, nomeadamente no campo da Engenharia Mecânica.

De forma a validar os estudos realizados (simulações) foram efetuados cálculos analíticos e exportações de ficheiros de dados (transferência de informação) de um *software* para o outro *software*, e posteriormente foram verificados os resultados adquiridos. A transferência de informação (dados) de um programa para o outro, considerou-se um método bastante válido para comprovar os resultados obtidos.

Ao longo deste projeto foram encontradas dificuldades, tais como, a definição e a criação dos modelos multicorpo, a apresentação dos conteúdos através do som e vídeo, assim como a agregação de todos os conteúdos no vídeo.

Por último, a conclusão mais importante a destacar neste trabalho foi o método escolhido para desenvolver os modelos de estudo. Sabendo que o objetivo principal passaria pela apresentação de modelos multicorpo, os mesmos seriam avaliados a partir da análise de movimento (cinemática e dinâmica), assim como a apresentação dos cálculos computacionais e analíticos.

Partiu-se do princípio que a definição de modelos simples e perceptíveis pudessem oferecer uma interpretação e um grau de aprendizagem suficientemente adequado para os engenheiros mecânicos, incluindo o público em geral.

Deste modo, a simplicidade dada aos modelos de estudo ajudou o executante a definir a estrutura e metodologia do curso. O recurso a tecnologias computacionais, tais como, os programas de captação de imagem, áudio, vídeo, apresentações de textos e gráficos, bem como as folhas de cálculo automatizadas e a criação de blocos de anotações facilitaram e garantiram uma melhor construção do *e-learning*.

## 6. SUGESTÕES FUTURAS

Sugere-se uma melhoria contínua no curso *e-learning*, de forma a beneficiar a parte didática, o método da auto-aprendizagem e de um modo global o curso, seguindo o mesmo modelo de estudo.

Seria interessante, caso futuros colegas de curso pretendam continuar a desenvolver este trabalho com o objetivo de comprovar que as ferramentas computacionais no mercado encontram-se preparadas para proporcionar projetos deste tipo.

Pretende-se que futuro os programas de modelação multicorpo 3D e 2D façam parte do novo projeto. A utilização de programas de áudio, texto, vídeo e, entre outros, vai permitir a visualização dos conteúdos elaborados através destas ferramentas computacionais.

Assim sendo, as sugestões que são indicadas são as seguintes:

O primeiro ponto será melhorar o som que é emitido ao ouvinte com um programa de captação de áudio mais sofisticado, bem como a possibilidade de utilizar um microfone para gravação de voz.

O segundo ponto será a adoção de uma metodologia mais correta de narrar e explicar o funcionamento dos programas a utilizar, dando o conhecimento de uma maneira mais concisa e coerente a quem assiste o vídeo.

A terceira sugestão está ligada com a sugestão anterior, o que poderá passar por um aumento do número de módulos e conseqüentemente uma diminuição do número de tópicos por módulo, oferecendo uma melhor apresentação a cada módulo.

Os vídeos poderão tornar-se mais curtos (género tutorial) para uma fácil visualização e aprendizagem de algo concreto de um tema específico.

O quarto ponto passa por assegurar uma continuidade do conteúdo de módulo para módulo ou vídeo para vídeo.

Por último, o quinto ponto passará pela sugestão de utilizar um ou mais *softwares* para validar os valores determinados no *SolidWorks – Motion Analysis* (partindo do pressuposto que o projeto partirá da criação de modelos desenvolvidos a partir do *SolidWorks*). Existem outras ferramentas computacionais que poderão ser utilizadas, como por exemplo, o *Maplesoft* ou o *Catia*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, M. (2009), *Cinemática Cinética de Corpos Rígidos* (Aula 13). Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo (Brasil). pp. 1 – 67.

BENTO, M.F. e FARINHA, J. (2004), *Mecânica Física – Cinemática do corpo rígido* (Capítulo 2). Sebenta de apoio ao aluno. Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (Portugal). pp. 23 – 38.

CARVALHO, M. e FARIA, M. (2010), *Análise por elementos finitos de mangas de eixos de suspensão automotiva sob carregamento cíclico*. Paraíba, Brasil, 18 a 21 Agosto de 2010. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. pp. 1 – 10.

CHEDAS DE SAMPAIO, R.P. (2013), *Técnicas de Controlo de Condição – Vibrações* [2013]. 124 slides a preto e branco.

CORREIA, L. e PINHEIRO, B. (2012), *E-Learning: perspetiva histórica de um processo em curso*. *Revista da FLUP Porto, IV série, vol. 2*. pp. 195-216.

FLORES, P. e AMBRÓSIO, J. (2004), *Revolute joints with clearance in multibody systems*. ELSEVIER. *Computers & Structures* 82 (2004). pp. 1359 – 1369.

FRAILE, A.H. (2011), *Proyecto Fin de Carrera – Modelado, Simulación y Análisis con MSC Adams. Aplicación a rodamientos con defectos en una pista de rodadura*. Universidad Carlos III de Madrid; Leganés, 05 de Septiembre de 2011. pp. 1 – 208. [Online] [Consultado em 30 de Julho de 2015].

GARCIA DE JALÓN, J. & BAYO, E., (1994), *Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems: The Real-Time challenge*. ISBN 0-387-94096-0, pp. 440. Springer-Verlag, New York.

GOMES, M. J., (2005), *E-Learning: Reflexões em torno do conceito*. In DIAS, Paulo; FREITAS, Cândido Varela de (Orgs.), *Atas da IV do Conferência Internacional de Tecnologia de Informação e Comunicação na Educação – Challenges '05*, Braga. Centro de Competências da Universidade do Minho. pp. 229-236.

LEAL, D. e AMARAL, L., (2004), *Do ensino em sala ao e-Learning*. [Online] [Consultado a 15 de Fevereiro de 2015]. Disponível em [http://www.campusvirtual.uminho.pt/uploads/celda\\_av04.pdf](http://www.campusvirtual.uminho.pt/uploads/celda_av04.pdf)

MAGANO, J., CASTRO, A. V. & VAZ DE CARVALHO, C. (2008), *O e-Learning no Ensino Superior: um caso de estudo*. In *Educação, Formação & Tecnologias*; vol. 1(1), pp. 79-92. Disponível em <http://eft.educom.pt>.

MARTINS, D., & JORGE, I. (2014). *Um estudo para identificação das áreas de investigação em ensino à distância consideradas prioritárias em Portugal*. *Educação, Formação & Tecnologias*, 7 (1), 61-79 [Online], disponível a partir de <http://eft.educom.pt>

NUNES, M.A. (2012). *Aplicação da Técnica Multicorpos Aplicado a Engenharia*. Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia. Universidade de Brasília. Novembro 2012, pp. 1 – 45.

PORTAL, R.. e MADEIRA, J., (2014), Curso Modelação Geométrica 3D (SolidWorks) - *Início à Modelação 3D* (Módulo 1), pp. 1-35.

RYAN, R. (1990), *ADAMS – Multibody Systems Analysis Software*. W. Schiehlen (ed.), *Multibody Systems Handbook*. Springer – Verlag Berling Heidelberg, 1990. pp- 361 – 362. [Online] [Consultado a 11 de Julho de 2015]. Disponível em: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-50995-7\\_21](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-50995-7_21)

SANTOS. Arnaldo; MOREIRA, Lúcia; PEIXINHO, Filipe (2014). *Projetos de e-Learning: Inovação, Implementação e Gestão*. LIDEL – Edições Técnicas, Lda.

SHABANA, A., (2005), *Dynamics of Multibody Systems*. Terceira Edição; pp. 1 – 27. [Online – Cambridge University Press] [Consultado a 11 de Julho de 2015]. Disponível em: <http://ebooks.cambridge.org/chapter.jsf?bid=CBO9780511610523&cid=CBO9780511610523A006&tabName=Chapter&imageExtract=true>.

SCHIEHLEN, W. (1978), *Symbolic Computerized Derivation of Equations of Motion*. K. Magnus (ed.), *Dynamics of Multibody Systems*. Springer – Verlag Berling Heidelberg, 1978. pp. 290 – 291. [Online] [Consultado a 12 de Julho de 2015]. Disponível em: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-86461-2\\_24](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-86461-2_24)

SCHIEHLEN, W. (1997), *Multibody System Dynamic: Roots and Perspectives*. 1997 Kluwer Academic Publishers. pp. 149 – 150. [Online] [Consultado a 10 de Julho de 2015]. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1009745432698>

SILVA, J. (2004), *E-Learning: o estado da arte*. [Online] [Consultado em Janeiro de 2015]. Disponível em <http://nautilus.fis.uc.pt/el>.

SILVA, R. e NUNES, M. (2014). *MSC ADAMS: Guia prático de Utilização*. Editora Edgard Blucher, 2014.

SOLIDWORKS EDUCATION. *An Introduction to Motion Analysis Applications with SolidWorks Motion – Instructor Guide*. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Document Number: PME0319-ENG, pp.1-26. [Online] [Consultado em Fevereiro de 2015].

TOMAZINI, J.E., MARTINS, M.S., e CORTEZ, P.J., (2012). *Multibody modeling of the Musculoskeletal System*. Revista Ciência em Saúde, Vol.2, Nº4, pp. 1-8.

UNDERSTANDING MOTION SIMULATION – *Dassault Systèmes SolidWork Corp*. pp. 1- 16. [Online] [Consultado em 29 de Julho de 2015].

VIDAURRE, A., RIERA, J., GIMÉNEZ., e MONSORIU, A., (2002). *Contribution of Digital Simulation in Visualizing Physics Processes*. Dpto. Física Aplicada, Universidad Politécnica de València, P.O. Box 22012, E-46071, València, Spain. pp. 45-49.

## **WEBSITES CONSULTADOS:**

ALGODOO by Algoryx [Consultado a 07 de Fevereiro de 2015]. Disponível em: <http://www.algodoo.com/what-is-it/>;

AUTODESK SKETCHBOOK [Consultado a 12 de Abril de 2015]. Disponível em: <https://www.sketchbook.com/>;

CATIA – DASSAULT SYSTEMES [Consultado a 28 de Maio de 2015]. Disponível em: <http://www.3ds.com/products-services/catia/>;

DESIGN SIMULATION TECHNOLOGIES – *Working Model 2D* [Consultado a 31 de Janeiro de 2015]. Disponível em: <http://www.design-simulation.com/wm2d/>;

MSC SOFTWARE SIMULATING REALITY, DELIVERING CERTAINTY – *MSC Adams (Adams View)* [Consultado a 17 de Janeiro de 2015]. Disponível em: [http://www.mssoftware.com/product/adams](http://www.mssoftware.com/product/adams;);

PRODUCT & SERVICE ADVANTAGE – *PTC Mathcad* [Consultado a 20 de Março de 2015]. Disponível em: <http://www.ptc.com/product/mathcad>;

SOLIDWORKS – DASSAULT SYSTEMES [Consultado a 05 de Outubro de 2014]. Disponível em: <http://www.solidworks.com/>.

## ANEXOS



## Anexo 1 – Avaliação do Curso (Inquérito Online).

A criação de um inquérito online serviu para avaliar a opinião dos utilizadores, assim como avaliar o curso *e-learning*.

# Avaliação do Curso E-learning de Multibody Systems para Engenheiros Mecânicos

Os formandos tiveram a oportunidade de de ver, em vídeo, o Curso e-learning de Multibody Systems para Engenheiros Mecânicos.

A informação obtida através das respostas dos formandos do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e do público em geral, servirá para uma recolha de informação e criação de dados, para fins conclusivos.

As questões da "Estrutura do Curso" e do "Posicionamento do Curso" devem ser classificadas mediante da visualização dos módulos do Curso. Todas as questões vão ao encontro da melhoria contínua do Curso e-learning.

<Assinale a opção escolhida>

\*Obrigatório

**1. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº1 do Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**2. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº2 do Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**3. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº3 do Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**4. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº4 do Curso ?\***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

Figura 62. Cabeçalho do inquérito online do Curso *e-learning*.

**5. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº5 do Curso ?\***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**6. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº6 do Curso ?\***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**7. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº7 do Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**8. Clareza do conteúdo do Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**9. Aplicação dos exemplos práticos no Curso ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**10. Ferramentas computacionais utilizadas - software 3D e 2D para modelação multicorpo ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**11. Ferramentas computacionais utilizadas - Word, Excel, Power Point, OneNote, Mathcad, Autodesk SketchBook, etc) ? \***  
(Estrutura do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

Figura 63. Questões do inquérito online (Estrutura do curso).

**17. Onde poderíamos melhorar ? \***

(Posicionamento do Curso)



**18. A probabilidade de recomendar o Curso a um colega ? \***

(Posicionamento do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Extremamente improvável           Extremamente provável

**19. Como classifica na globalidade o Curso e-learning de Multibody Systems para Engenheiros Mecânicos ? \***

(Posicionamento do Curso)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Medíocre           Excelente

**20. Qual o software (3D e 2D) de modelação multicorpo que escolheria para elaborar / criar um projeto ? E porquê ? \***

(Posicionamento do Curso)




Figura 64. Questões do inquérito online (Posicionamento do curso).

**Anexo 2 – Respostas ao inquérito realizado.**

<b>Registo de data/hora</b>	<b>Pergunta nº1</b>	<b>Pergunta nº2</b>	<b>Pergunta nº3</b>	<b>Pergunta nº4</b>	<b>Pergunta nº5</b>	<b>Pergunta nº6</b>	<b>Pergunta nº7</b>	<b>Pergunta nº8</b>	<b>Pergunta nº9</b>
22-04-2015 09:58	10	10	10	10	10	10	10	10	10
22-04-2015 10:49	9	9	9	9	9	9	9	9	9
23-04-2015 22:23	9	9	10	9	8	10	10	9	9
07-05-2015 12:17	8	8	8	8	7	6	8	9	9
15-05-2015 12:28	7	7	7	7	7	7	7	6	4
15-05-2015 19:43	6	6	6	6	6	6	6	5	5
18-05-2015 22:08	10	10	10	10	10	10	10	9	10
18-05-2015 23:21	7	6	7	7	8	7	8	8	7
21-05-2015 21:26	8	8	8	7	8	7	7	8	9
22-05-2015 13:28	10	10	10	10	10	10	10	10	10
06-06-2015 17:14	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Quadro 7. Resultados do inquérito online.

<b>Pergunta nº10</b>	<b>Pergunta nº11</b>	<b>Pergunta nº12</b>	<b>Pergunta nº13</b>	<b>Pergunta nº14</b>	<b>Pergunta nº15</b>	<b>Pergunta nº16</b>
10	10	8	7	9	10	10
8	8	8	7	8	9	9
9	9	9	8	8	9	9
8	8	6	7	7	8	7
7	7	6	6	7	7	7
7	7	8	6	6	6	4
10	10	10	9	9	10	9
7	7	6	7	7	6	7
8	9	10	10	9	7	6
10	10	10	9	10	10	10
5	5	9	8	8	5	1

Quadro 8. Resultados do inquérito online (continuação)

<b>Pergunta nº17</b>
No áudio.
A qualidade do áudio poderia ser melhorada (ou software, utilizado), mas não deixa de ser perceptível.
No áudio; Nos módulos sobre o <i>SolidWorks</i> poderia ter sido mostrado um exemplo de desenho 2D.
Mais instruções sobre as ferramentas
Exemplos práticos
Tornar os vídeos mais curtos. Eventualmente separar em módulos mais concretos. Torna mais fácil de visualizar um módulo para aprender algo concreto para uma necessidade específica.
Nada a apontar
Exemplos mais específicos
Vídeos mais curtos dividindo por mais tópicos.
Qualidade do vídeo (áudio)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Um curso <i>e-learning</i> é mais que vídeos tutoriais.</li> <li>- Vídeos pouco atrativos e demasiado extensos.</li> <li>- A estrutura de um <i>curso e-learning</i> visa que haja um progresso contínuo, neste momento posso começar pelo Módulo 7 e nada me garanta que saiba ou tenha avaliação positiva nos módulos anteriores, o que não valida o meu conhecimento contínuo.</li> </ul>

Quadro 8. Resultados do inquérito online (continuação).

Pergunta nº18	Pergunta nº19	Pergunta nº20
10	10	Não sei
9	9	<i>SolidWorks</i> . Julgo que seja o mais completo.
9	9	O <i>software</i> que escolheria para elaborar um projeto seria o <i>SolidWorks</i> . Parece ser um tipo de <i>software</i> bastante completo na parte 3D, para modelação de corpos rígidos, com a hipótese de obter desenho em 2D, tal como foi mencionado no curso.
9	8	<i>Solidworks</i> -é de utilização mais universal
7	6	Sem comentário
5	5	<i>SolidWorks</i> , pela sua facilidade de aprendizagem.
10	10	2D
8	7	CATIA. Potencial do <i>software</i> .
7	7	Não sei.
10	10	Não sei.
1	3	2D – <i>Working Model, MatLab, MathCad, Maple</i> 3D - <i>Adams, SolidWorks Motion, Ansys Multibody Dynamics</i>

Quadro 8. Resultados do inquérito online (continuação).

Estes são os resultados obtidos do inquérito efetuado aos formandos do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e público em geral durante o período de 60 dias.

O quadro 9 mostra a classificação dos valores médios determinados de cada pergunta do inquérito.

<b>Perguntas</b>	<b>Classificação Média</b>
<b>1.</b>	8,09
<b>2.</b>	8,00
<b>3.</b>	8,18
<b>4.</b>	8,00
<b>5.</b>	8,00
<b>6.</b>	7,91
<b>7.</b>	8,18
<b>8.</b>	8,00
<b>9.</b>	7,91
<b>10.</b>	8,09
<b>11.</b>	8,18
<b>12.</b>	8,18
<b>13.</b>	7,64
<b>14.</b>	8,00
<b>15.</b>	7,91
<b>16.</b>	7,18
<b>17.</b>	Resposta escrita
<b>18.</b>	7,73
<b>19.</b>	7,64
<b>20.</b>	Resposta escrita

Quadro 8. Classificação média das perguntas do inquérito.

Os gráficos seguintes apresentam a classificação de medíocre a excelente, quanto à estrutura do curso, constituída por catorze (14) perguntas.

Da pergunta 15 até à pergunta 20, a classificação foi efetuada quanto ao posicionamento do curso com a classificação, de extremamente improvável a extremamente provável, com a possibilidade de resposta aberta (escrita) para indicar os melhoramentos que se podem fazer no curso e quais as ferramentas computacionais que utilizaria para elaborar um projeto para modelação 3D 2e 2D.

**1. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº1 do Curso ?**

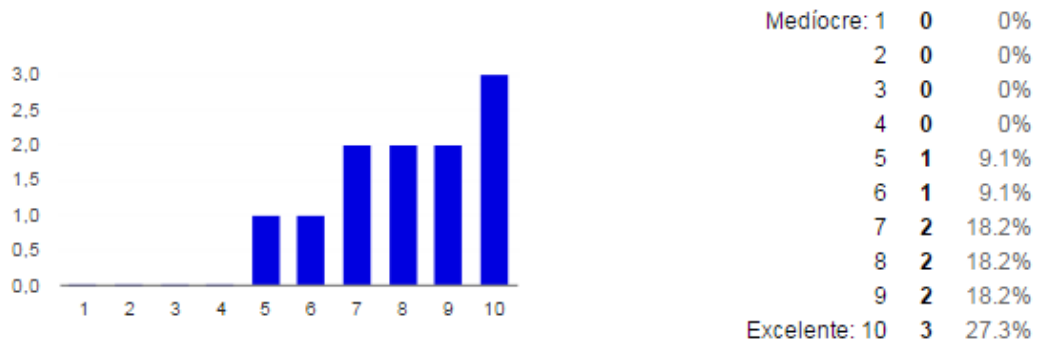


Gráfico 17. Resultados obtidos na pergunta nº1 do inquérito.

**2. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº2 do Curso ?**

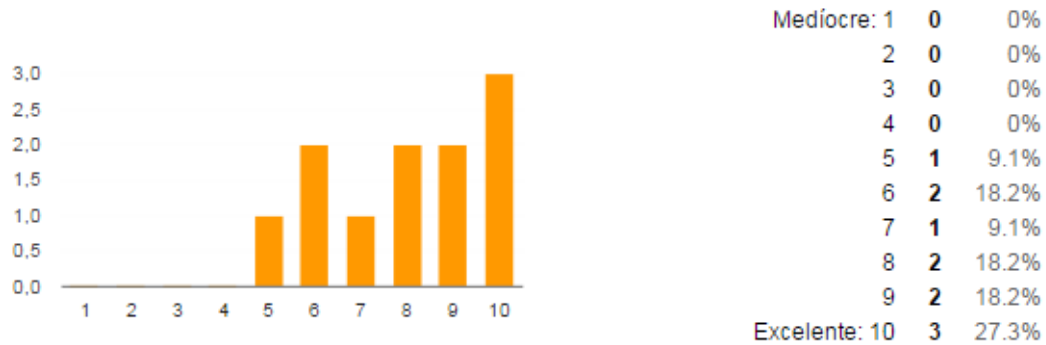


Gráfico 18. Resultados obtidos na pergunta nº2 do inquérito.

**3. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº3 do Curso ?**

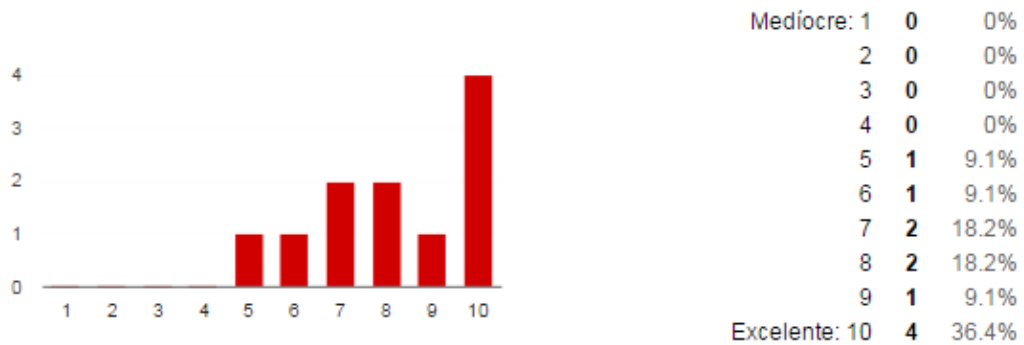


Gráfico 19. Resultados obtidos na pergunta nº3 do inquérito.

**4. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº4 do Curso ?**

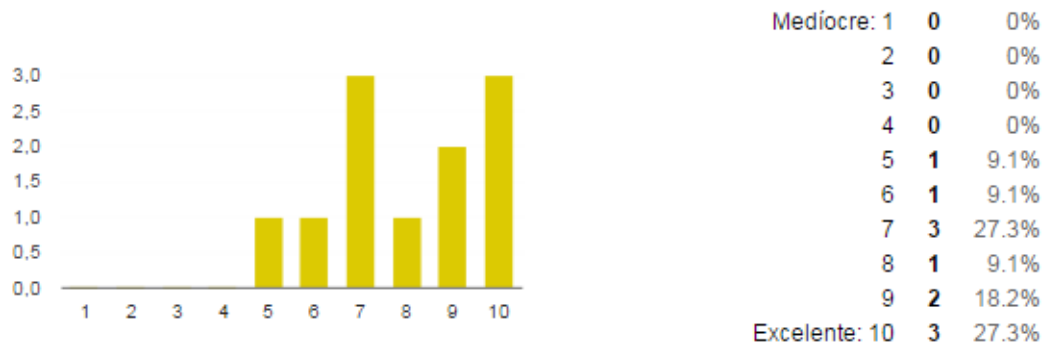


Gráfico 20. Resultados obtidos na pergunta nº4 do inquérito.

**5. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº5 do Curso ?**

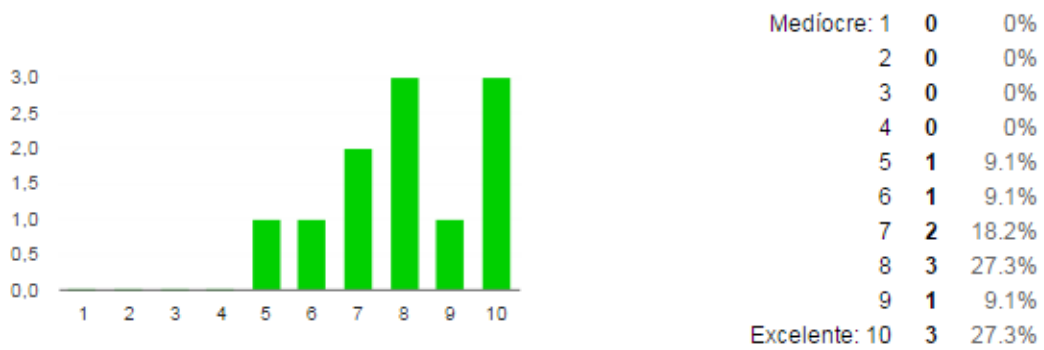


Gráfico 21. Resultados obtidos na pergunta nº5 do inquérito.

**6. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº6 do Curso ?**

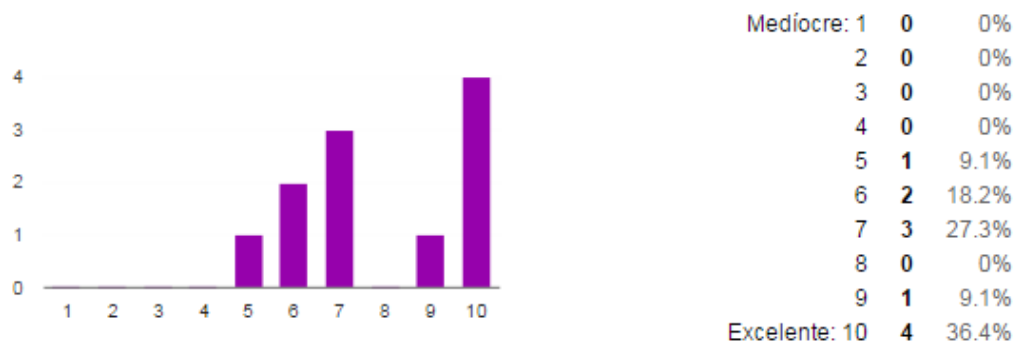


Gráfico 22. Resultados obtidos na pergunta nº6 do inquérito.

**7. Como classifica o conteúdo programático do Módulo nº7 do Curso ?**

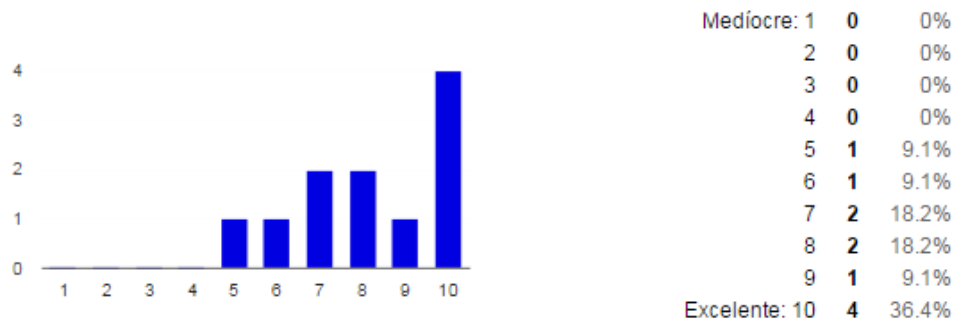


Gráfico 23. Resultados obtidos na pergunta nº7 do inquérito.

**8. Clareza do conteúdo do Curso ?**

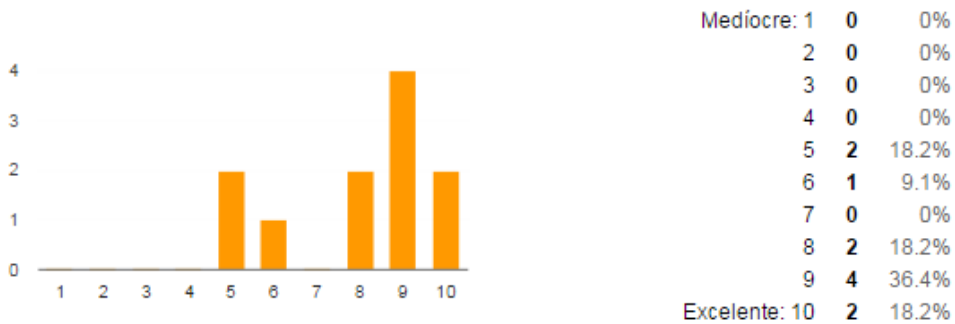


Gráfico 24. Resultados obtidos na pergunta nº8 do inquérito.

**9. Aplicação dos exemplos práticos no Curso ?**

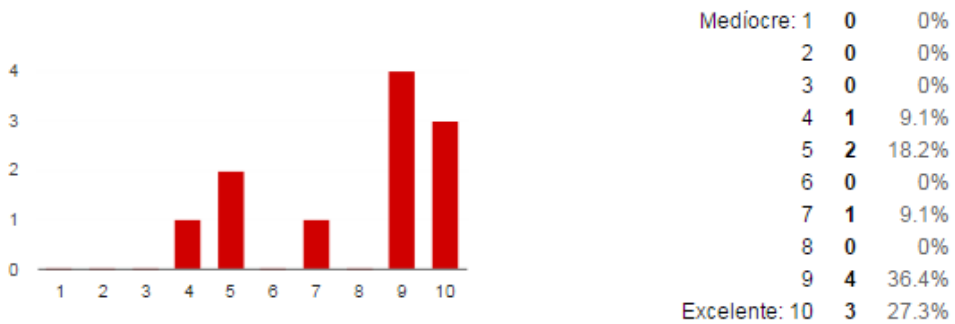


Gráfico 25. Resultados obtidos na pergunta nº9 do inquérito.

**10. Ferramentas computacionais utilizadas - software 3D e 2D para modelação multicorpo ?**

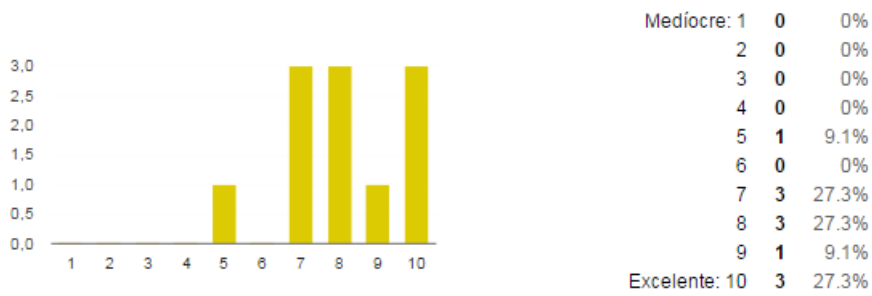


Gráfico 26. Resultados obtidos na pergunta nº10 do inquérito.

**11. Ferramentas computacionais utilizadas - Word, Excel, Power Point, OneNote, Mathcad, Autodes SketchBook, etc) ?**

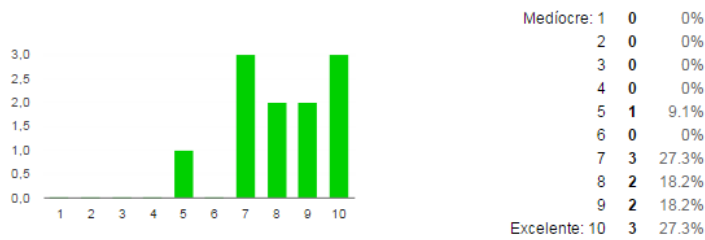


Gráfico 27. Resultados obtidos na pergunta nº11 do inquérito.

**12. Qualidade de vídeo (imagem) ?**

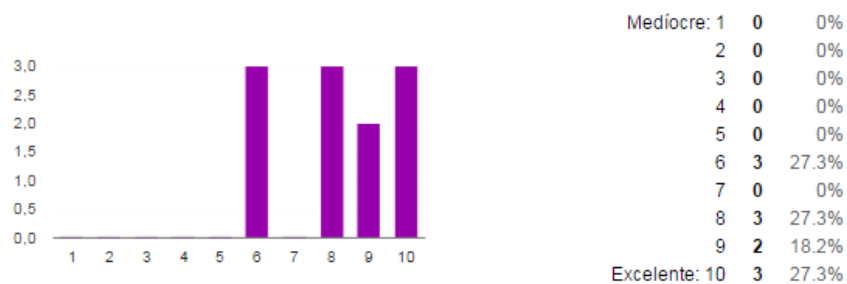


Gráfico 28. Resultados obtidos na pergunta nº12 do inquérito.

**13. Qualidade de vídeo (áudio) ?**

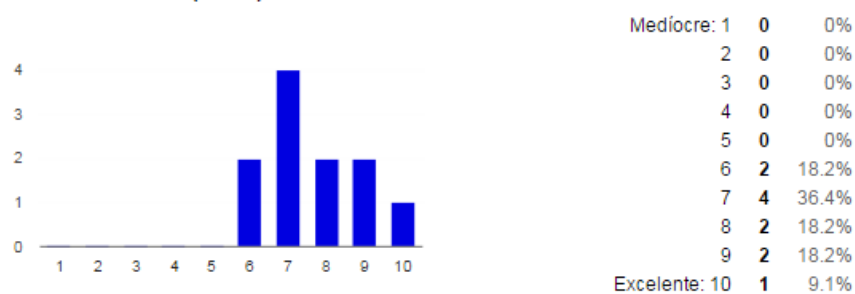
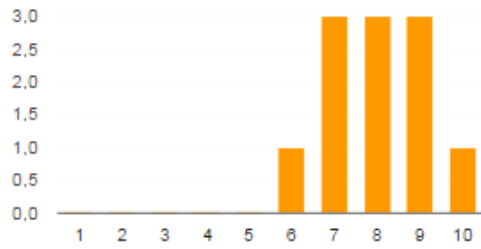


Gráfico 29. Resultados obtidos na pergunta nº13 do inquérito.

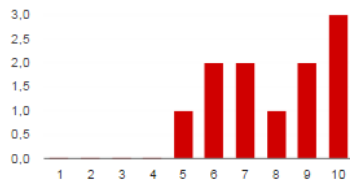
**14. Percetibilidade do orador ?**



Medíocre: 1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	1	9.1%
7	3	27.3%
8	3	27.3%
9	3	27.3%
Excelente: 10	1	9.1%

Gráfico 30. Resultados obtidos na pergunta nº14 do inquérito.

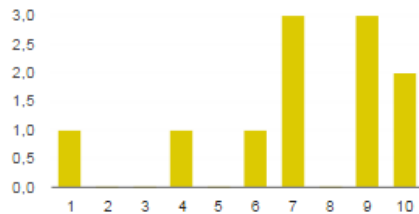
**15. Considera que o Curso encontra-se bem desenvolvido para estudantes licenciados (Engenheiros Mecânicos, p.ex.) ?**



Medíocre: 1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	1	9.1%
6	2	18.2%
7	2	18.2%
8	1	9.1%
9	2	18.2%
Excelente: 10	3	27.3%

Gráfico 31. Resultados obtidos na pergunta nº15 do inquérito.

**16. Em relação a cursos similares, pondera utilizar este curso futuramente ?**



Extremamente improvável: 1	1	9.1%
2	0	0%
3	0	0%
4	1	9.1%
5	0	0%
6	1	9.1%
7	3	27.3%
8	0	0%
9	3	27.3%
Extremamente provável: 10	2	18.2%

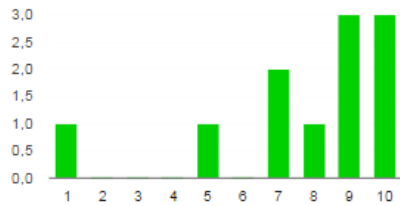
Gráfico 32. Resultados obtidos na pergunta nº16 do inquérito.

**17. Onde poderíamos melhorar ?**

Vídeos mais curtos dividindo por mais tópicos.
Nada a apontar
Tornar os vídeos mais curtos. Eventualmente separar em módulos mais concretos. Torna mais fácil de visualizar um módulo para aprender algo concreto para uma necessidade específica.
Exemplos práticos
No áudio; Nos módulos sobre o SolidWorks poderia ter sido mostrado um exemplo de desenho 2D.
A qualidade do áudio poderia ser melhorada (ou software, utilizado), mas não deixa de ser perceptível.
Exemplos mais específicos
Qualidade do vídeo (áudio)
Mais instruções sobre as ferramentas
-Um curso e-learning é mais que vídeos tutoriais. -Vídeos pouco atractivos e demasiado extensos. A estrutura de um curso e-learning visa que haja um progresso contínuo, neste momento posso começar pelo Módulo 7 e nada me garante que saiba ou tenha avaliação positiva nos módulos anteriores, o que não valida o meu conhecimento contínuo.
No áudio.

Figura 65. Resultados obtidos na pergunta nº17 do inquérito.

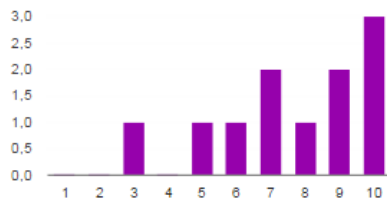
**18. A probabilidade de recomendar o Curso a um colega ?**



Extremamente improvável: 1	1	9.1%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	1	9.1%
6	0	0%
7	2	18.2%
8	1	9.1%
9	3	27.3%
Extremamente provável: 10	3	27.3%

Gráfico 33. Resultados obtidos na pergunta nº18 do inquérito.

**19. Como classifica na globalidade o Curso e-learning de Multibody Systems para Engenheiros Mecânicos ?**



Medíocre : 1	0	0%
2	0	0%
3	1	9.1%
4	0	0%
5	1	9.1%
6	1	9.1%
7	2	18.2%
8	1	9.1%
9	2	18.2%
Excelente: 10	3	27.3%

Gráfico 34. Resultados obtidos na pergunta nº19 do inquérito.

**20. Qual o software (3D e 2D) de modelação multicorpo que escolheria para elaborar / criar um projeto ? E porquê ?**

Não sei
CATIA. Potencial do software.
2D - WorkingModel, MatLab, MathCad, Maple 3D - Adams, SolidWorks Motion, Ansys Multibody Dynamics
2D
SolidWorks, pela sua facilidade de aprendizagem.
O software que escolheria para elaborar um projeto seria o SolidWorks. Parece ser um tipo de software bastante completo na parte 3D, para modelação de corpos rígidos, com a hipótese de obter desenho em 2D, tal como foi mencionado no curso.
Solidworks-é de utilização mais universal
Não sei.
Sem comentário
SolidWorks. Julgo que seja o mais completo.

Figura 66. Resultados obtidos na pergunta nº20 do inquérito.



## Anexo 3 – Website para promover o Curso e-learning de Multibody Systems.

**CURSO E-LEARNING DE MULTIBODY SYSTEMS PARA ENGENHEIROS MECÂNICOS**

Curso

- Página inicial
- Curso - A sua estrutura
- Avaliação do Curso
- Multibody Systems

8+1 0

### Página inicial

#### E-learning

Nos últimos anos, o *e-learning* tem vindo a desenvolver-se, nomeadamente na criação de cursos à distância (via online), os quais oferecem vantagens, no que diz respeito à aprendizagem e no ensino, quer no formador (professor), quer no formando (aluno).

O formando passa a ter um papel de maior responsabilidade, a sua assimilação a título de compreensão da matéria ou o tema de investigação, passará pela fase de auto-aprendizagem.

A ausência do formador é cada vez mais acentuada nestes cursos *e-learning*, recorrendo-se à comunicação e à informação, através das variadíssimas aplicações e tecnologias modernas que existem nos dias de hoje, tais como, o correio eletrónico, fóruns, vídeo-conferências (em tempo real), etc, atravessando completamente as barreiras do tempo e do espaço, sendo que eram as maiores dificuldades no ensino à distância.

E-learning

No ensino à distância podem ser utilizados materiais pedagógicos, bem como ferramentas computacionais, que auxiliam e simplificam os processos de ensino e aprendizagem. Os conteúdos pedagógicos utilizados são elementos importantes para o modelo de auto-aprendizagem.

Desde o tempo do correio por correspondência até aos dias de hoje, no ensino à distância, houve uma grande evolução no que diz respeito aos meios e tecnologias utilizadas, nomeadamente as ferramentas de apoio pedagógico que são consideradas muito versáteis e úteis para a construção da maioria dos cursos, tendo por base o recurso a tecnologias computacionais, como é o caso de programas de captação de imagem, áudio, vídeo, apresentações de textos, gráficos, bem como as folhas de cálculo automatizadas e a criação de blocos de anotações.

Figura 67. Home page do Website.

**CURSO E-LEARNING DE MULTIBODY SYSTEMS PARA ENGENHEIROS MECÂNICOS**

Curso

- Página inicial
- Curso - A sua estrutura
- Avaliação do Curso
- Multibody Systems

8+1 0

### Curso - A sua estrutura

O curso encontra-se estruturado e com uma metodologia que abrange um tema que todos gostamos, que é a utilização da tecnologia a partir de software 3D e 2D, para estudo e simulação de casos reais.

(NOTA: Clicar nas palavras a sublinhado para visualizar o vídeo).

APRESENTAÇÃO - CURSO E-LEARNING DE MULTIBODY SYSTEMS PARA ENGENHEIROS MECÂNICOS	
<u>MÓDULO 1</u> – INTRODUÇÃO AO SOLIDWORKS	(30 minutos)
<u>VÍDEO EXTRA</u> - TORNO MECÂNICO	(02 minutos)
<u>MÓDULO 2</u> – INTRODUÇÃO AO MOTION ANALYSIS	(40 minutos)
<u>MÓDULO 3</u> – MECANISMOS NO MOTION ANALYSIS	(30 minutos)
<u>MÓDULO 4</u> – CÁLCULOS E GRÁFICOS NO MOTION ANALYSIS	(30 minutos)
<u>MÓDULO 5</u> – SOLIDWORKS (MOTION ANALYSIS) E MSC ADAMS	(35 minutos)
<u>MÓDULO 6</u> – SOFTWARE 2D	(60 minutos)
<u>MÓDULO 7</u> – CÁLCULOS E GRÁFICOS NO WORKING MODEL	(30 minutos)

Após a visualização do curso, pretende-se colocar à disposição dos formandos do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e público em geral, um inquérito, com o propósito de obter as informações necessárias para melhorar e crescer de uma forma contínua este projeto. Para responder ao inquérito, poderão dirigir-se à sub-página "Avaliação do Curso".

Figura 68. Página com a apresentação da Estrutura do curso.



Figura 69. Página para a Avaliação do Curso.

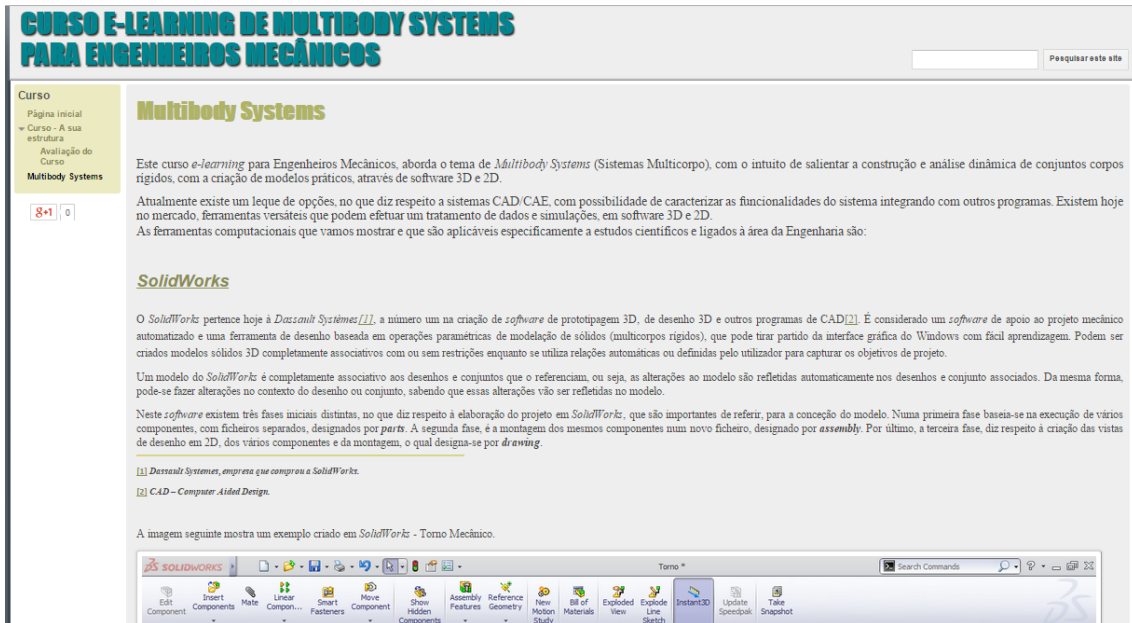


Figura 70. Breve introdução dos programas 3D e 2D (ferramentas computacionais), utilizados na construção do curso.