



## **O ENSINO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS A PARTIR DA INTERAÇÃO HÁPTICA: ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS AVANÇOS PEDAGÓGICOS**

**Daniel Cortinovis** – [cortinovis\\_daniel@hotmail.com](mailto:cortinovis_daniel@hotmail.com)  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
Rua Augusto Jung, 411/502  
93.510-340 – Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

**Luciano Andreatta Carvalho da Costa** – [andreatta.luciano@gmail.com](mailto:andreatta.luciano@gmail.com)  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
Rua Murilo Furtado, 236/301  
90470-440 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul

**Resumo:** *Este artigo apresenta um método alternativo de ensino desenvolvido em parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto (FEUP), envolvendo o ensino da engenharia e a resistência dos materiais. Este método consiste no envolvimento do aluno em problemas práticos nos ensaios de tração e compressão dentro da sala de aula, utilizando um dispositivo háptico desenvolvido para simular estes ensaios. O método baseado em problemas e desenvolvido a partir da simulação dos ensaios de tração e compressão foi aplicada a uma turma de Física 3 da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Neste artigo é apresentado o desenvolvimento da aplicação do método, assim como uma análise estatística do mesmo utilizando o teste de Wilcoxon, comparando o desempenho inicial do aluno com os desempenhos ao longo das atividades aplicadas e da realização de uma prova final. O objetivo deste artigo e das atividades é propor novos métodos eficientes no ensino dentro da engenharia assim como melhorá-los, promovendo problemas práticos dentro da sala de aula de fácil aplicação e baixo investimento, assim como promover o interesse do aluno e melhorar seu desempenho e conhecimento final do assunto.*

**Palavras-chave:** *Interação háptica com realidade virtual; Educação em Engenharia; Formação docente para CTEM; Resistência dos Materiais.*

### **1 INTRODUÇÃO**

No último século, alguns dos avanços significativos na ciência, como a teoria da relatividade geral por Albert Einstein (1915), a exploração espacial pelo humano (1961), a invenção dos computadores por Alan Turing, a manipulação do núcleo do átomo por Enrico Fermi (1942), entre outros (Superinteressante 2012), são grandes colaborações ao conhecimento e a tecnologia que temos hoje. Com constantes avanços na ciência é evidente a necessidade de adaptação didática pedagógica, principalmente para área das exatas, a fim de explicar fenômenos físicos e matemáticos de crescente complexidade compreensiva.

Gauthier e Tardif (2010) consideram a escola, como instituição de ensino formal, um produto da idade média, na qual a prática pedagógica era baseada na repetição e inculcação de valores e interesses do clero e da nobreza. Este modelo de repetição é contraposto apenas na idade moderna por pensadores renascentistas e iluministas, que passaram a centralizar o humano e seu raciocínio para um estudo, ao invés da escrita. Apesar destes esforços, a prática pedagógica manteve-se inalterada até final do século XIX, sendo transmitida como um



modelo inquestionável, instituindo uma tradição (SALVADOR, 2000). Neste cenário, a principal inovação foi formulada por Jean-Jaques Rousseau (1712-1778), que deslocou o centro do processo de aprendizagem do docente e dos conteúdos, para as necessidades e interesses dos educandos (GADOTTI, 1998). Esta mudança, entretanto, teve repercussão apenas no final do século XIX e no início do século XX com o movimento escolanovista, inovando os métodos tradicionais por métodos de ensino orientados a atividades interativas do aluno (SALVADOR & GADOTTI).

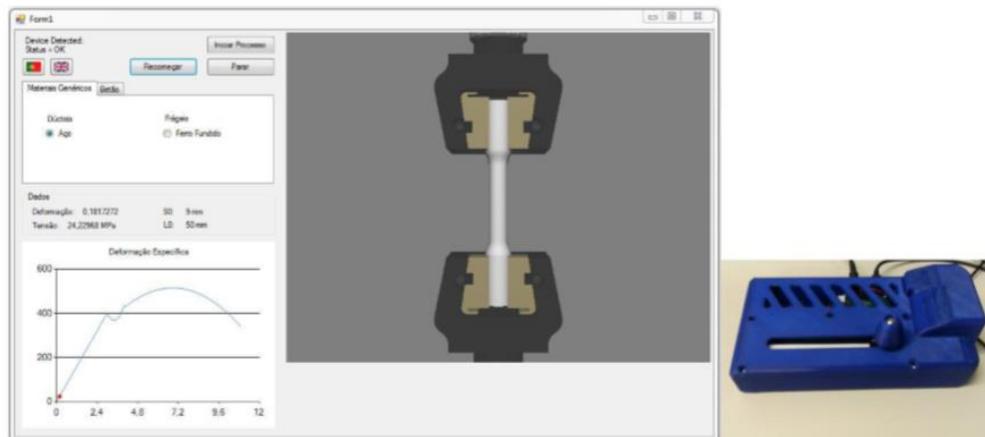
Desta maneira, concluímos que para uma área como a ciências dos materiais, é necessária uma visão real do problema, obtida através de experimentos, como os de tração e compressão de materiais que se utiliza na vida profissional de um engenheiro. Estes testes, porém, necessitam de equipamentos grandes e de alto investimento que não se adaptam ao perfil de um laboratório comum. Visando isto, os autores Quintas *et al* (2013) e Restivo *et al*(2013) definem a implementação da aprendizagem baseada em problemas (ABP) com o dispositivo háptico uma implementação de baixo custo do modelo, podendo também ser implementado a distância. Neste contexto, serão apresentados neste artigo resultados recentes obtidos de um projeto iniciado em 2014, em parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), já tendo resultados parciais em 2015 por Gonçalves *et al* (2015) e Andreatta-da-Costa (2016).

## 2 A INTERAÇÃO HÁPTICA

O dispositivo háptico desenvolvido, que possui pequenas dimensões, apresenta baixo custo de desenvolvimento e, através de um programa desenvolvido para ele, permite simular testes práticos no computador a fim de melhorar o conhecimento de engenheiros, mecânicos e outros, demonstrando de forma fácil os ensaios de resistência de diferentes materiais, como o de compressão e de tração. Podemos observar na Figura 1, a demonstração gráfica do programa e a força necessária para a deformação do material. Um dos vários diferenciais do háptico é a proporcionalidade que o aparelho possui em relação ao gráfico projetado, quanto mais força é necessária para a deformação do material, mais força é necessária aplicar no háptico. O desenvolvimento do programa assim como do háptico se deu entre uma parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), sendo o nosso compromisso a aplicação do dispositivo para análise e melhoria da metodologia do ensino baseado em problemas reais.



Figura 1 – Modelo Háptico e Tela de Simulação  
(diagrama Tensão x Deformação do Aço)



### 3 METODOLOGIA

Nesta seção, serão apresentadas as metodologias aplicadas aos alunos em sala de aula, assim como a estatística utilizada para avaliar os mesmos.

#### 3.1 A experiência realizada com os Acadêmicos

A experiência foi realizada em uma turma de engenharia, no final da cadeira de Física 3, após os alunos já terem conhecimentos básicos de mecânica e a Lei de Hooke na mola. A aplicação da prática na turma teve como objetivo o avanço na pesquisa com o dispositivo háptico, além de preparar a turma para a cadeira de ciências dos materiais, pois na grade curricular da turma a física é um pré-requisito para a cadeira de ciência dos materiais.

Como em experimentos anteriores realizados, utilizando o háptico, a turma de engenharia passou por diversos processos para ser avaliada, sendo a avaliação comparativa entre o desempenho inicial e final da própria turma, a sequência de processos foi a seguinte:

1. Explicação prévia do professor aos estudantes;
2. Aplicação de uma prova inicial, para avaliarmos os conhecimentos prévios;
3. Separar a turma em grupos de 2 ou 3 estudantes, para responderem questões envolvendo o háptico e questões teóricas a serem discutidas em pequenos grupos;
4. As atividades são recolhidas e corrigidas para o reconhecimento dos erros de todos os estudantes;
5. O conhecimento final dos estudantes é testado por uma prova final, composta por questões teóricas mais complexas;
6. Um questionário sobre a atividade, conhecimento obtido pelos estudantes e satisfação dos mesmos com método de ensino é aplicado.

As atividades demandaram um total de duas aulas de física, que equivale a aproximadamente de 6 a 8 horas para explicar, aplicar e avaliar os estudantes.

#### *Primeira atividade*

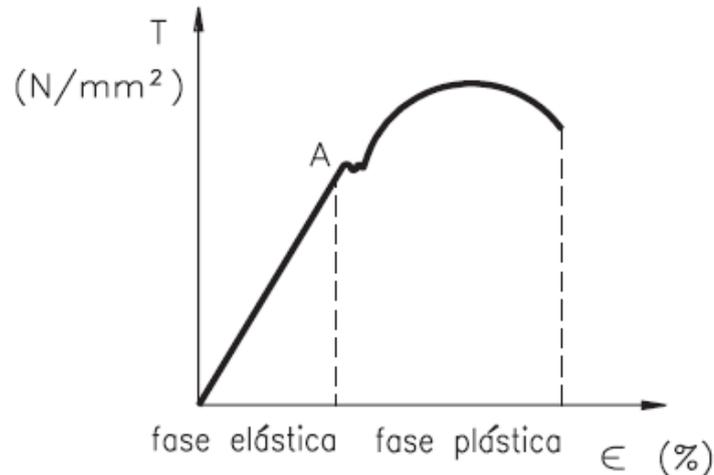
O método aplicado, diferente do método tradicional passivo de repassar o conhecimento, não consiste em explicações e apresentações verbais do conteúdo transmitido pelo professor aos alunos. Não há como, portanto, exigir os conhecimentos prévios dos alunos de física 3 em



relação aos mecanismos da resistência dos materiais, portanto foram introduzidos conceitos básicos da ciência, como:

- Conhecimento sobre o que é a fase elástica e fase plástica em um gráfico de tensão x deformação, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico típico de tensão x deformação em ensaios de tração.



- Conhecimento sobre os princípios e a aplicação da equação que caracteriza a tensão nos ensaios de tração, relacionando força e área:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

- Conhecimento e princípios da deformação nos ensaios de tração, relacionadas à equação (2):

$$\varepsilon = \frac{(l_i - l)}{l_i} \quad (2)$$

- Por fim, o conhecimento e a importância do módulo de elasticidade, ou módulo de Young, e sua ampla aplicação na ciência dos materiais, relacionado pela equação (3):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

### **Segunda atividade**

Na segunda atividade aplicamos então uma prova de conceitos básicos, para obter o nível de conhecimento inicial do aluno, as questões da prova inicial são teóricas e testam o raciocínio do aluno através de relações de proporcionalidade e gráficos de ensaios de tração. O conhecimento inicial dos alunos, antes de exercerem as atividades em duplas e com o háptico, é de grande importância para termos uma referência para o teste estatístico ao final da aplicação do método. O entendimento de melhoria ou não do aluno não depende somente dos resultados iniciais e finais, mas ajuda para os parâmetros de melhoria da metodologia ajustando os exercícios ou a utilização do háptico.



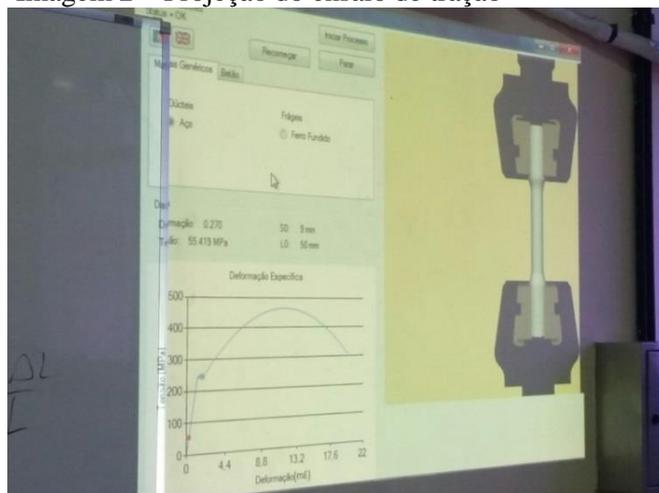
### ***Terceira Atividade***

A terceira atividade é realizada em pequenos grupos, visando a geração de debate entre os alunos, a fim de solucionarem os problemas práticos com o háptico assim como chegarem a um consenso para a resolução da atividade em grupo, que consiste em questões teóricas mais complexas assim como alguns cálculos básicos dos ensaios de tração. Na Imagem 1, vemos dois alunos utilizando o háptico e analisando o ensaio de tração simulado pela realidade virtual enquanto na Imagem 2, é possível observar o ensaio de tração projetado para melhor visualização dos alunos.

Imagem 1 – Interação dos alunos com o háptico



Imagem 2 – Projeção do ensaio de tração



### ***Quarta Atividade***

A quarta atividade se constitui na correção das atividades em grupo e exercícios com o háptico, esclarecendo dúvidas remanescentes assim como auxiliando o raciocínio na resolução das atividades de ensaio de tração e resistividade de materiais.



### ***Quinta Atividade***

Ao final de todas as atividades e explicações, o conhecimento final do aluno é testado com a prova final, que é de forma semelhante ao teste inicial. porém desta vez elaborado com questões teóricas mais desafiadoras. As questões envolvem a capacidade do aluno de compreender os diferentes gráficos de tensão x deformação, reconhecendo as fases elásticas, plásticas, o limite de escoamento, a tensão máxima, etc., como também testa o conhecimento desenvolvido pelo estudante referente aos conceitos de tensão, módulo de Young e a deformação do material nos ensaios de tração e compressão.

### ***Sexta Atividade***

Antes de encerrar as atividades, cada aluno respondeu a um questionário elaborado para podermos analisar o interesse dos alunos na atividade, assim como obter uma avaliação pessoal de cada estudante, para que a metodologia possa ser adaptada conforme o nível de dificuldade apontada pelos alunos. Este questionário serve como um parâmetro de avaliação das atividades aplicadas com o háptico, com o objetivo de melhorar a metodologia e as questões aplicadas, assim como alavancar o entendimento do aluno e seu desempenho e interesse referente ao conteúdo de resistência dos materiais.

## **3.2 Resultados e análise das atividades**

Aplicadas todas as atividades descritas na seção anterior, foram obtidas quatro notas de avaliação dos estudantes. As avaliações foram feitas para um total de 26 alunos, cujos resultados iniciais serão analisados a partir de um teste não paramétrico de Wilcoxon. As atividades serão sempre comparadas a prova inicial, quando os alunos não tiveram conhecimento nem prática sobre o assunto de resistividade dos materiais, mas apenas uma breve introdução à mesma. O quadro de notas foi separado então em uma Prova Inicial, Atividade em Grupo, Atividade com Háptico e a Prova Final como pode ser observado na Figura 3. Como duas das atividades ocorreram em duplas, a nota da dupla foi dada individualmente para cada estudante, exemplo disto é se a dupla “Aluno 2” e “Aluno 3” formam uma dupla e receberam nota 5 na atividade em conjunto, cada Aluno receberá uma nota individual 5.



Figura 3 – Notas das Atividades sobre 10.

Alunos	Prova Inicial	Prova Final	Atividade em Grupo	Atividade com Háptico
A1	4,29	3,33	4,29	6,67
A2	4,29	3,33	4,29	5
A3	4,29	2,50	4,29	5
A4	4,29	8,33	4,29	6,67
A5	1,43	1,67	2,86	6,67
A6	5,71	6,67	2,86	2,5
A7	5,71	5,00	1,43	5,83
A8	4,29	1,67	2,86	6,67
A9	4,29	7,50	2,86	5
A10	4,29	8,33	2,86	5
A11	2,86	5,00	1,43	3,33
A12	7,14	6,67	1,43	5,83
A13	2,86	5,83	4,29	4,12
A14	5,71	7,50	1,43	5,83
A15	2,86	5,00	7,14	3,33
A16	8,57	7,50	7,14	5
A17	5,71	3,33	1,43	5,83
A18	4,29	8,33	7,14	3,33
A19	2,86	5,83		
A20	5,71	5,00	2,86	2,5
A21	4,29	5,00	1,43	5,83
A22	4,29	8,33	7,14	5
A23	5,71	7,50	1,43	5,83
A24	1,43	6,67		
A25	2,86	5,83	1,43	3,33
A26	2,86	3,33	4,29	4,12

As notas apresentadas na Figura 3 são demonstradas individualmente, ou seja, compara-se a prova inicial individual do aluno com o desempenho das atividades em grupo, cujas duplas estão combinadas por cores nas colunas Atividade em Grupo e Atividade com o Háptico. Aplicamos as notas à planilha do teste Wilcoxon como observado na Figura 4, comparado a Prova Inicial x Atividade em Grupo, Inicial x Atividade com Háptico e Inicial x Prova Final, respectivamente, os Dados 1 sempre representam a Prova inicial e os Dados 2 representam a respectiva atividade. A diferença entre os Dados 1 e 2 se faz necessária para obtermos uma soma de diferenças que determinarão a certeza do teste Wilcoxon para uma amostragem de 26 Alunos:



Figura 4 – Planilhas comparativas do Teste de Wilcoxon

DIGITAR dados		V12	DIGITAR dados		V12	DIGITAR dados		V12
Dados 1	Dados 2	Diferença	Dados 1	Dados 2	Diferença	Dados 1	Dados 2	Diferença
4,29	4,29	0	4,29	6,67	-2,38	4,29	3,33	0,96
4,29	4,29	0	4,29	5	-0,71	4,29	3,33	0,96
4,29	4,29	0	4,29	5	-0,71	4,29	2,5	1,79
4,29	4,29	0	4,29	6,67	-2,38	4,29	8,33	-4,04
1,43	2,86	-1,43	1,43	6,67	-5,24	1,43	1,67	-0,24
5,71	2,86	2,85	5,71	2,5	3,21	5,71	6,67	-0,96
5,71	1,43	4,28	5,71	5,83	-0,12	5,71	5	0,71
4,29	2,86	1,43	4,29	6,67	-2,38	4,29	1,67	2,62
4,29	2,86	1,43	4,29	5	-0,71	4,29	7,5	-3,21
4,29	2,86	1,43	4,29	5	-0,71	4,29	8,33	-4,04
2,86	1,43	1,43	2,86	3,33	-0,47	2,86	5	-2,14
7,14	1,43	5,71	7,14	5,83	1,31	7,14	6,67	0,47
2,86	4,29	-1,43	2,86	4,12	-1,26	2,86	5,83	-2,97
5,71	1,43	4,28	5,71	5,83	-0,12	5,71	7,5	-1,79
2,86	7,14	-4,28	2,86	3,33	-0,47	2,86	5	-2,14
8,57	7,14	1,43	8,57	5	3,57	8,57	7,5	1,07
5,71	1,43	4,28	5,71	5,83	-0,12	5,71	3,33	2,38
4,29	7,14	-2,85	4,29	3,33	0,96	4,29	8,33	-4,04
						2,86	5,83	-2,97
5,71	2,86	2,85	5,71	2,5	3,21	5,71	5	0,71
4,29	1,43	2,86	4,29	5,83	-1,54	4,29	5	-0,71
4,29	7,14	-2,85	4,29	5	-0,71	4,29	8,33	-4,04
5,71	1,43	4,28	5,71	5,83	-0,12	5,71	7,5	-1,79
						1,43	6,67	-5,24
2,86	1,43	1,43	2,86	3,33	-0,47	2,86	5,83	-2,97
2,86	4,29	-1,43	2,86	4,12	-1,26	2,86	3,33	-0,47

Prova Inicial x Atividade em Dupla      Prova Inicial x Atividade com Háptico      Prova Inicial x Prova Final

Nota-se a ausência das notas de uma dupla nas atividades em grupo e com o háptico, estas foram invalidadas apenas para estas atividades. O teste Wilcoxon pode depender do tipo de amostragem, esta pode ser uma amostra única, amostras independentes ou como neste caso, uma amostra pareada, pois comparamos o desempenho do mesmo aluno na situação inicial com as atividades decorrentes. O tipo de análise do teste Wilcoxon também é importante determinar, a análise pode ser bilateral, que basicamente testa a hipótese que os Dados 1 são significativamente diferente dos Dados 2, pode ser Unilateral direita, que determina se a hipótese de que os Dados 1 são significativamente maiores que os Dados 2 e a hipótese Unilateral esquerda, que nos interessa, pois testa se os Dados 2 são significativamente maiores que os Dados 1, isto implica em um melhoramento significativo no desempenho do aluno. Para as presentes análises utilizamos uma certeza de 95%, Na Figura 5 observamos os resultados estatísticos dos dados da Figura 4, na respectiva ordem.



Figura 5 – Resultados do Teste de Wilcoxon

H0	Valores 1	Valores 2	H0	Valores 1	Valores 2	H1	Valores 1	Valores 2
n	24	24	n	24	24	n	26	26
medianas	4,29	2,86	medianas	4,29	5	medianas	4,29	5,83
T <sup>+</sup>	155		T <sup>+</sup>	95		T <sup>+</sup>	83,5	
T <sup>-</sup>	55		T <sup>-</sup>	205		T <sup>-</sup>	267,5	
A	50		A	-55		A	-92	
Z CorrCont	1,910427089		Z CorrCont	-1,560330461		Z CorrCont	-2,326542721	
p	0,971960877		p	0,059340904		p	0,009994808	

Prova Inicial x Atividade em Dupla	Prova Inicial x Atividade com Háptico	Prova Inicial x Prova Final
Mediana das diferenças = 1,43.	Mediana das diferenças = -0,53.	Mediana das diferenças = -1,375.

Podemos observar na Figura 5 pelo teste que a hipótese para a comparação Prova Inicial x Atividade em Dupla e Prova Inicial x Atividade com Háptico é nula, ou seja, as notas dos alunos na utilização do háptico e nas questões em duplas não são significativamente maior que as notas da prova inicial. Para o terceiro teste, comparando Prova Inicial x Prova Final notamos que a hipótese alternativa é válida, ou seja, as notas da prova final foram significativamente maiores que as notas da prova inicial. O nível de incerteza dos testes foi de 5%.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi gratificante observar uma significativa melhora no desempenho final do aluno comparado com seu desempenho inicial, quando obteve apenas instruções básicas. Juntamente aos questionários recolhidos e os resultados das atividades com o háptico e em duplas, serão desenvolvidas novas questões e atividades para promover o desempenho e o conhecimento dos alunos aplicando tais atividades. Nota-se que o desempenho dos alunos na atividade em dupla foi inferior às outras com a diminuição da mediana da nota, reforçando a importância da metodologia da aprendizagem baseada em problemas, pois não houve interação direta dos alunos nesta atividade com o Háptico. O engajamento dos alunos durante as atividades pode ter sido um fator agravante das hipóteses de atividade em grupo e com háptico, como o conteúdo ainda não é especificamente da própria cadeira de Física 3 notou-se um desvio muito grande de interesse do aluno ao realizar as atividades e obter o conhecimento proposto pela mesma. Uma alternativa que vem sendo elaborada pelos autores para padronizar e promover o engajamento dos participantes da atividade é realizar um curso de extensão, no qual são abordados os princípios básicos da resistência dos materiais no segundo semestre de 2017.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREATA-DA-COSTA, Luciano. **Utilizando a interação háptica com aplicação virtual para o ensino da resistência dos materiais**. COBENGE: XLIV- Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. UFRN, 2016.

GAUTHIER C, TARDIF M. **A pedagogia: teorias e prática da antiguidade aos nossos dias**. Petrópolis: Vozes; 2010.

GONCALVES, Jorge Roberto Falcão ; ANDREATA-DA-COSTA, Luciano ; URBANO, Diana ; RESTIVO, Maria Teresa . **É Possível Utilizar Atilhos para Ensinar Resistência dos Materiais?**. Liberato Científica, v. 1, p. 22, 2015.



QUINTAS, M. R; RESTIVO, M. T; RODRIGUES, J; UBALDO, P. **Let's use Hapitcs.** International Journal of Engineering Pedagogy, v.9, n.8, p. 65 – 67, 2013

RESTIVO, M. T; LOPES, A. M; PADILHA, L; CHAVES, P; DUARTE, T. **Haptic Systems for Determining the Young Modulus of Materials.** International Journal of Engineering Pedagogy, vol. 9, n.8, p. 68 – 70, 2013.

**REVISTA SUPERINTERESSANTE.** Disponível em:  
<<http://super.abril.com.br/galeria/veja-20-grandes-invencoes-e-avancos-tecnologicos-do-seculo-xx/>> Acesso em 18 de Maio 2017.

SALVADOR CC. **Psicologia do ensino.** Porto Alegre: Artes Médicas Sul; 2000.

## **TEACHING RESISTANCE OF MATERIALS WITH HAPTIC INTERACTION: QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF PEDAGOGICAL ADVANCES**

**Abstract:** *This paper presents an alternative method of teaching developed in partnership with the Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP), involving the teaching of engineering and material science. This method involves the student in practical problems in the traction and compression tests within the classroom, using a haptic developed to simulate these tests. The problem-based method developed from the simulation of tensile and compression test was applied to a class of physics from the State University of Rio Grande do Sul (UERGS). In this paper the development of the application of the method is presented, as well as a statistical analysis of the same using the Wilcoxon test, comparing the initial performance of the student with the performances throughout the applied activities and a final test to prove the students' knowledge. The purpose of this article and its activities is to propose new efficient methods in engineering teaching and improve them, promoting practical problems within the classroom of easy application and low investment, as well as to promote student interest and improve their performance and knowledge of the subject.*

**Key-words:** *Haptic interaction with virtual reality; Teaching; Engineering; Material Restistence.*