

# Innovaciones del Laboratorio Virtual: el experimento de colisiones bidimensionales

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Marcos de Lima Leite<sup>1,2</sup>, Nora Lia Maidana<sup>1</sup>, Monaliza da Fonseca<sup>1,2</sup>, Vito Roberto Vanin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Campus São Paulo, Rua do Matão, Travessa R, 187 - CEP 05508-090 - São Paulo, SP, Brasil

<sup>2</sup>Colegio Santa Cruz, Av. Arruda Botelho, 255 - Alto de Pinheiros, São Paulo, SP, Brasil.

**E-mail:** marcos.lima.leite@usp.br

## Resumen

La inclusión de laboratorios virtuales como actividad didáctica en la enseñanza de la física en niveles básico y superior es una iniciativa que está en expansión. Diversas experiencias fueron alojadas en la página de uso libre <http://www.fisfoto.if.usp.br/>, creadas a partir de la filmación de experiencias reales, que son tratadas para obtener cuadros independientes de ese registro y permiten estudiar ciertos fenómenos con el auxilio de herramientas digitales. La experiencia de colisiones bidimensionales fue realizada con discos deslizando sobre una superficie con fricción despreciable e implementada por primera vez en la disciplina Laboratorio de Mecánica del tercer semestre del Profesorado en Física de la Universidad de São Paulo. Los informes de la experiencia, elaborados por los estudiantes, fueron analizados con intención de verificar la validez de la propuesta así como para identificar errores o inconsistencias de la guía de la experiencia.

**Palabras clave:** Laboratorio virtual, Enseñanza de mecánica, Experimentación en enseñanza de la física, Colisiones bidimensionales.

## Abstract

The inclusion of virtual laboratories as didactical activity in physics teaching in basic and higher education is a rapidly expanding initiative. Several experiences located into the free access web page <http://www.fisfoto.if.usp.br/> were created from recorded images of real experiences. With the help of specific softwares, individual frames of the recorded material allow analyzing certain phenomena with digital tools. The experiment on two-dimensional collision was performed with discs sliding on a surface with negligible friction. It was applied for the first time in the discipline Laboratory of Mechanics of the third semester of Bachelor in Physics Education course of São Paulo University. Experience reports, prepared by the students, were analyzed with the intention of verifying the validity of the proposal and identifying errors or inconsistencies in the experience guide.

**Keywords:** Virtual laboratory, Mechanics lectures, Experimentation in physics teaching, Two-dimensional collisions.

## I. INTRODUCCIÓN

La física experimental es entendida como una de las modalidades para abordar la transmisión del conocimiento científico; está incluida en las directrices del Ministerio de Educación de Brasil [MEC, 2001] para la enseñanza media. En ellas se recomienda que, para la carrera de Profesor de física, sean desentruadas competencias básicas como las de "diagnosticar, formular y brindar solución de problemas físicos, experimentales o teóricos, prácticos y abstractos, haciendo uso de instrumentos de laboratorio o matemáticos apropiados"; habilidades generales como "solucionar problemas experimentales, desde su reconocimiento y realización de mediciones, hasta el análisis de los resultados", además de "utilizar los diversos recursos computacionales, proporcionando nociones de lenguaje informático" y "conocer e incorporar nuevos métodos técnicos y el uso de herramientas, sea en las mediciones, o en el análisis de datos (teóricos o experimentales)". Por otra parte, se toman como experiencias generales y esenciales del

graduado en física cuando "han realizado experimentos de laboratorio" y "han tenido experiencia con el uso de equipos de informática". Esas recomendaciones buscan alcanzar objetivos formativos, que incluyen la amplificación de la cultura científica y tecnológica de los ciudadanos, como especificado en el documento "Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais" [MEC, 2002].

Nuestra propuesta de Laboratorio Virtual [Fonseca, M, et al., 2013] surge como una metodología innovadora, por el contacto con la experimentación y la necesidad de conocimientos adecuados sobre tecnologías digitales por parte del estudiante, ya que enriquece el conjunto de herramientas a utilizar en su futura práctica docente.

El uso de laboratorios virtuales en el entorno escolar y universitario refleja una tendencia por parte de los profesores para adoptar nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza [Borges, 2002]. Las dificultades apuntadas por Borges sobre el laboratorio tradicional apuntan a que, a pesar de cambiar el tipo de abordaje (tradicional para digital), continúa siendo un desafío elaborar, construir y aplicar actividades experimentales diferenciadas e innovadoras. Esta práctica aparece en un proyecto que desde 2004 se viene implementado con el desenvolvimiento, uso y reformulación del Laboratorio Virtual que ofrece material complementario a clases de mecánica básica. Como ha señalado Araújo y Abib [Araújo y Abib, 2003], la cantidad de trabajos publicados que mencionan el uso de herramientas y tecnologías digitales hasta 2001 fue extremadamente baja, a pesar de la importancia clara de esa práctica, señalada en diversos artículos, pero que se expande rápidamente con el transcurso del tiempo.

Fue estudiado el uso de la experiencia Colisiones Bidimensionales del Laboratorio Virtual en la disciplina Laboratorio de Mecánica, del tercer semestre del Profesorado de Física de la Universidad de São Paulo (USP), con el objetivo de validar la propuesta y verificar si los resultados obtenidos por los estudiantes representaban aquellos idealizados durante la creación de la misma. Al explorar los aciertos y/o errores en los informes se pretende encontrar posibles fallas o inconsistencias en la guía de la experiencia para modificarla de acuerdo con la propuesta inicial.

## II. EXPERIMENTOS VIRTUALES DE MECÁNICA: EL PROYECTO

Según descrito por Fonseca [Fonseca, M, et al., 2013], cada experimento es desenvuelto a partir de experiencias reales. Para ello, objetos reales en movimiento junto al instrumento de medida son filmados. Ese material es convertido en imágenes independientes a las que se adiciona un contador de tiempo (especie de cronómetro) que permiten la medida en simultáneo de la posición ocupada por el objeto en un instante de tiempo. Los diversos experimentos poseen un conjunto de situaciones diferentes de la misma experiencia, además de guías que orientan el análisis a ser efectuado. La propuesta del sitio web, disponible en <http://www.fisfoto.if.usp.br/> pretende que en cada experiencia los estudiantes midan posiciones y tiempos con el auxilio de navegadores y analicen esos datos con el auxilio de hojas de cálculo y editores de texto. Así, un ordenador y conexión de internet son requisitos básicos para realizar las actividades. Se espera que las experiencias allí alojadas sean utilizadas por la comunidad docente, incluyendo profesores de enseñanza media, con las adaptaciones en las guías de trabajo que sean necesarias para cada caso.

La experiencia colisiones bidimensionales fue creada a partir de la filmación de las trayectorias y el choque entre discos delgados, leves y planos que se dislocaban sobre una superficie plana y nivelada, con fricción despreciable. Las secuencias, con imágenes de diferentes colisiones obtenidas del proceso de extracción y colocación del contador de tiempo, permiten acompañar la trayectoria de cada disco. Partiendo de las posiciones, es posible analizar las grandezas físicas asociadas como cantidad de movimiento lineal y energía, que son importantes en la colisión.

## III. CONSTRUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

El instrumento usado tradicionalmente en el laboratorio de disciplinas experimentales del IFUSP consiste en dos discos de metal que pueden moverse sobre una placa de vidrio con fricción reducida entre ellos y la placa, por la inyección de aire comprimido a través de una manguera flexible, que produce un colchón de aire entre cada disco y la superficie horizontal. Los discos, en su parte superior, tienen acoplado un dispositivo que produce chispas eléctricas a intervalos de tiempo regulares, y se activa en el instante del lanzamiento. Las chispas marcan la trayectoria en un papel encerado, previamente colocado bajo una placa que cubre todo el dispositivo. Transcribiendo las posiciones de las marcas del papel encerado sobre un papel milimetrado y conocido el intervalo de tiempo entre las chispas, es posible determinar las trayectorias y velocidades de cada disco y analizar el comportamiento dinámico completo de la colisión.

Frecuentemente los resultados se ven comprometidos por causa del vínculo producido por las mangueras, que altera la trayectoria lineal del centro de masa, además de fallas en la secuencia de chispas, que suprimen datos. Así, buscamos mejorar aquel instrumento con uno que permita obtener un movimiento libre de fuerzas externas, ya que las experiencias del Laboratorio Virtual ilustran aspectos importantes de la dinámica del movimiento de los cuerpos en estudio en forma cualitativa y cuantitativa.

El nuevo dispositivo experimental, que se observa en la Figura 1, fue construido con una superficie horizontal, cuadrículada, con perforaciones a cada 1 cm, por donde pasa el aire proveniente del sistema de ventilación, acoplado bajo la mesa, que permite se establezca un colchón de aire entre la placa y los objetos que deslizan sobre ella. Por sobre la mesa fue colocado el soporte de la cámara filmadora (Sony Nex-FS700NH, que registra hasta 960 cuadros por segundo) y otro para la iluminación con lámparas LED. Los discos fueron cortados de placas de acrílico, con diferentes diámetros y espesuras.

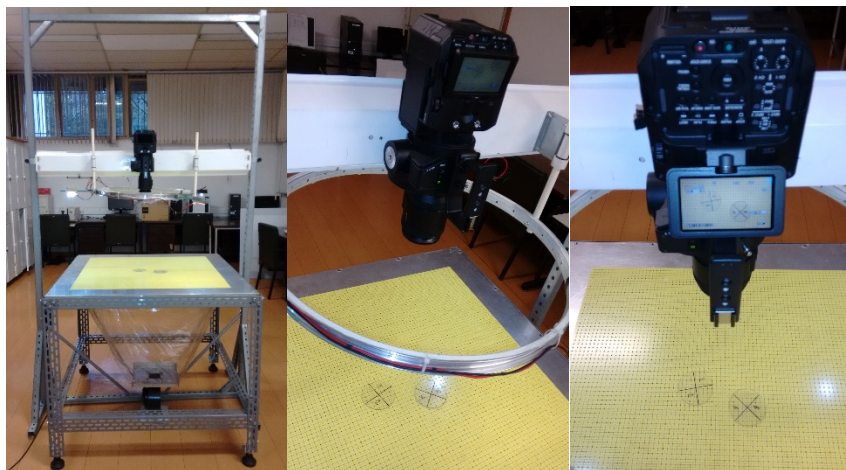


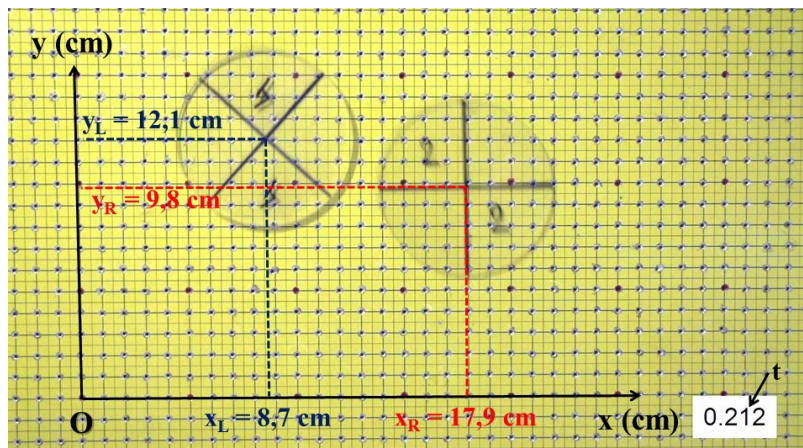
FIGURA 1. Dispositivo experimental (mesa de aire, soportes de cámara filmadora e iluminación).

#### IV. LA EXPERIENCIA “COLISIONES BIDIMENSIONALES”

El objetivo del experimento colisiones bidimensionales es analizar el movimiento de los discos antes y después del choque desde diferentes sistemas de referencia. Se busca calcular la cantidad de movimiento lineal, la energía cinética total del sistema de discos y el coeficiente de restitución de la colisión, conceptos físicos de particular importancia para su comprensión fundamental. En vista de ello, se elaboró una guía de trabajo práctico, que está siendo objeto de análisis en el presente trabajo.

La guía describe cómo proceder para elegir el origen de coordenadas, realizar el proceso de medida, y calcular velocidades tal como es descripto por Fonseca [Fonseca, M, et al., 2013].

Al ser los discos circulares y homogéneos, los centros de masa coinciden con los respectivos centros geométricos. Por esta razón se analiza la trayectoria del centro de masa de cada disco y debido a que ellos son transparentes, la intersección de dos diámetros permite la lectura de sus posiciones en la base cuadrículada. La Figura 2 muestra cómo realizar la lectura de posiciones para dos discos en el instante de tiempo  $t = 0,212$  s. Sobrepuesta a la imagen original aparecen los ejes  $Ox$  y  $Oy$  del sistema de referencia con origen en  $O$  y líneas de trazos que permiten la lectura de las coordenadas del centro de cada disco, además del resultado de la lectura, de acuerdo con la escala. Los subíndices  $L$  y  $R$  se refieren a los discos localizados a la izquierda y a la derecha, respectivamente.



**FIGURA 2.** Imagen de dos discos sobre el cuadrículado en el instante de tiempo  $t = 0,212$  s. Por sobre ella está diseñado el sistema de referencia elegido y los valores de lectura de posiciones de los centros de los discos.

Las magnitudes a ser analizadas dependen del conocimiento de la velocidad instantánea,  $\vec{v}(t)$ , de los discos antes, durante y después del choque. La determinación de las componente  $v_x(t_i)$  y  $v_y(t_i)$  para cada instante de tiempo  $t_i$  se consigue después de montar una tabla con las posiciones horizontal y vertical, y los respectivos tiempos. La velocidad media  $\bar{v}(t_i)$  de un disco en el instante medio  $\bar{t}_i$ , del intervalo de tiempo  $[t_i; t_{i+1}]$ , se aproxima a la velocidad instantánea en ese instante de tiempo.

La ecuación 1 calcula la componente  $x$  del centro de masa,  $x_{CM}$ , a partir de las respectivas coordenadas  $x_i$  y las masas  $m_L$  y  $m_R$  de los discos en cada instante de tiempo,  $t_i$ ; con ellas, se obtiene la componente  $x$  de la velocidad instantánea del centro de masa,  $v_{CM_x}(\bar{t}_i)$ , considerada aproximadamente igual a la velocidad media en el intervalo de tiempo  $[t_i; t_{i+1}]$ .

$$v_{CM_x}(\bar{t}_i) \approx \overline{v_{CM_x}[t_{i+1}; t_i]} = \frac{x_{CM}(t_{i+1}) - x_{CM}(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}}, \text{ donde } x_{CM} = \frac{m_L x_L + m_R x_R}{m_L + m_R} \quad (1)$$

Expresiones análogas se usan para la componente  $y$ . La energía cinética de traslación de cada disco se calcula de acuerdo con la ecuación 2 y el coeficiente de restitución de la colisión, a partir de la transformación de coordenadas del sistema de laboratorio para el centro de masa, de acuerdo con la ecuación 3:

$$K(t_i) = \frac{1}{2} m [v(t_i)]^2 = \frac{1}{2} m ([v_x(t_i)]^2 + [v_y(t_i)]^2) \quad (2)$$

$$e = \frac{|v_{rel}^{alejamiento}|}{|v_{rel}^{aproximación}|} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [v_{rel}^{alejamiento}(t_i)]}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [v_{rel}^{aproximación}(t_j)]}, \text{ donde } |v_{rel}|(t_i) = v'_L(t_i) + v'_R(t_i), \quad (3)$$

$$\text{donde } v'(t_i) = \sqrt{[v'_x(t_i)]^2 + [v'_y(t_i)]^2}, \text{ en que } v'_x(t_i) = v_x(t_i) - v_{CM_x}(t_i)$$

con  $v'_y(t_i)$  de manera similar a  $v'_x(t_i)$ .

La guía de trabajo del experimento *Colisiones Bidimensionales* muestra todas esas expresiones. A partir de ellas, los alumnos discutieron la conservación del momento lineal, de la energía cinética de traslación total del sistema y dedujeron el tipo de colisión analizando tanto la variación de la energía cinética como el coeficiente de restitución.

## V. ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO VIRTUAL DE COLISIÓN BIDIMENSIONAL

La actividad experimental fue dividida en dos periodos de 1:40 h cada uno. En el primero fue presentado el aparato experimental, filmada una colisión y mostrado el proceso de captura de imágenes y colocación del contador de tiempo. Ya en la sala de ordenadores se procedió a la explicación de lectura de posiciones, tiempo, cálculos de determinación de posición del centro de masa, velocidades y cantidad de movimiento. La segunda clase fue destinada a cálculos de energía cinética y coeficiente de restitución.

## VI. ANÁLISIS DE LOS INFORMES

Los veinticinco estudiantes fueron divididos en nueve grupos. Los informes debían ser elaborados en forma sintética, pero ciertos grupos presentaron sus trabajos con contextualizaciones y análisis completos. Dos grupos presentaron imágenes como las de la Figura 1. Analizamos los gráficos presentados para localizar, por medio de ellos, posibles inconsistencias o ausencias de explicaciones en la guía de trabajo que pudieran inducir a errores interpretativos. La Tabla I resume los errores encontrados en el análisis de los gráficos de trayectoria del centro de masa de cada disco, cantidad de movimiento lineal y posición de uno de los discos en relación al otro en función del tiempo. La Figura 3 muestra ejemplos de gráficos de *trayectoria* y *movimiento relativo* presentados por los alumnos, a modo de ilustración de los comentarios de la Tabla I.

Un solo grupo contextualizó el fenómeno en estudio al exponer que: "La teoría de las colisiones puede ser utilizada tanto en el ámbito macroscópico como en el microscópico y tiene un papel clave en la comprensión de la naturaleza. La estructura atómica fue descubierta usando la teoría de las colisiones; los aceleradores de partículas utilizan colisiones para estudiar la materia a un nivel más fundamental; para garantizar la seguridad en automóviles son desdobladas diversas estructuras con el fin de amortiguar el impacto en las colisiones, en fin, estas son solamente algunas de las numerosas aplicaciones para la teoría de colisiones (...)". Uno de los grupos sugirió mejorar el experimento disertando sobre: "La influencia de otros factores externos, como una posible fricción con la mesa o el aire, no parece haber sido muy relevante, pero puede ser evaluada con la libre circulación de un disco en un intervalo de tiempo más amplio".

TABLA I. Quadro de resumo da análise das sínteses.

Ítem solicitado en la guía	Aspecto que generó equívocos/aciertos	Ejemplos/Observaciones
Gráfico de la <i>trayectoria</i> del centro de cada disco y del centro de masa del sistema	Descripción del gráfico	Nombre dado al gráfico: "Gráfico de <i>Dislocamiento</i> ", "Gráfico de <i>Función Horaria de la Posición</i> ", "Gráfico de la función $y(x)$ "
Gráfico de la cantidad de movimiento lineal total en función del tiempo: $P(t) \times t$	Falta la fórmula en la guía	Solamente 1 de los 9 grupos presentó este gráfico, los restantes incluyeron el gráfico $v_{CM}(t) \times t$
Gráfico de la <i>posición</i> de un disco en relación al otro en función del tiempo	Interpretación del gráfico de movimiento relativo	Todos reconocieron la <i>aproximación</i> y el <i>alejamiento</i> en <i>MRU</i> . Solo 1 de los 9 grupos identificó la <i>distancia mínima</i> observada como siendo la <i>suma de los radios de los discos</i>

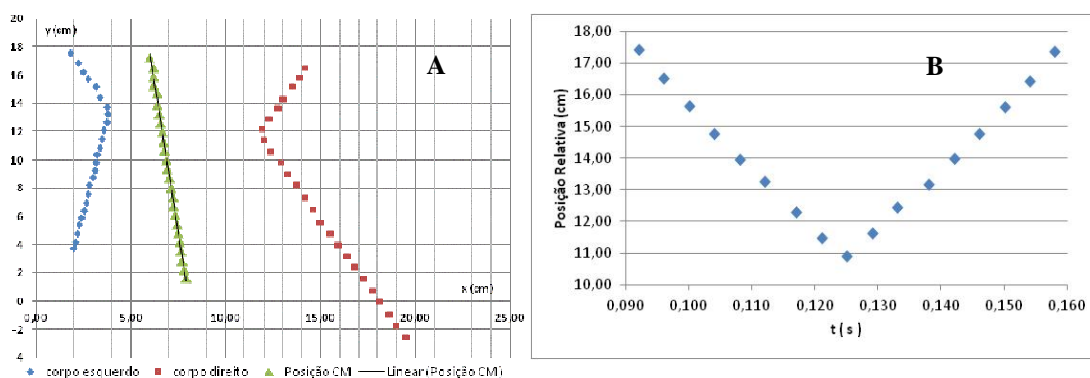


FIGURA 3. Ejemplos de gráficos presentados por los alumnos (copia fiel de un informe). A) trayectoria de los discos y del centro de masa del sistema, donde fue trazada una línea de tendencia para las posiciones del centro de masa. B) movimiento relativo de un disco en relación al otro.

## VII. IDENTIFICACIÓN DE IMPRECIIONES EN LA GUÍA

A partir del análisis de las síntesis, fue posible reconocer algunas limitaciones e imprecisiones en la guía utilizada: 1) El pedido de incluir cálculos y gráficos de la cantidad de movimiento lineal fue hecho en la



sección que detalla la construcción de la síntesis. Como descripto en la Tabla 1, no fueron incluidos o tratados adecuadamente. Una posible causa de esta omisión puede ser debida a la ausencia de expresiones para su determinación (Ecuación 2).

2) La mayoría de los grupos no incluyó en sus gráficas las barras de incertidumbre en los valores calculados, a pesar de ser la segunda disciplina experimental de la carrera. Si bien su cálculo y diseño en los gráficos no fue explícitamente solicitado, se esperaba que los estudiantes los calculasen y graficasen.

3) Algunos estudiantes confundieron como clasificar las colisiones. La hipótesis de que la colisión era elástica podía ser verificada a partir del test  $z$  tanto a partir del análisis de la energía cinética cuanto del valor del coeficiente de restitución. El análisis realizado por medio de la energía cinética inducía a una respuesta de colisión elástica, mientras que las pruebas para el coeficiente de restitución no brindaban el mismo resultado. Así, algunos grupos concluyeron se trataba de una colisión inelástica (valorizando el resultado del coeficiente de restitución a expensas del de la energía cinética); otros grupos mantuvieron dudas sobre la hipótesis de conservación, sin arriesgar cualquier conclusión sobre el tipo colisión.

## VIII. CONCLUSIONES

El estudio de las colisiones es clave para entender las leyes de conservación de grandezas físicas. De la aplicación del experimento descripto, verificamos la importancia de realizar una actividad experimental de esta naturaleza para esclarecer los conceptos involucrados, así como la comprensión de que la conservación de la cantidad de movimiento y la energía cinética son eventos con diferentes causas, consecuencias y que la ocurrencia de la primera no implica que la segunda se realice. El estudio de las colisiones no se debe limitar a la teoría en los cursos tradicionales de mecánica, debe ser abordado en la descripción de fenómenos como colisiones de partículas relativistas, en la contextualización de sus diversas aplicaciones de uso diario, desde un simple juego de billar pasando por testes de choques automovilísticos que buscan mejorar los sistemas de seguridad y de navegación.

Frente a las limitaciones reconocidas, la guía de laboratorio será modificada en aquellos puntos donde se detectaron fallas, con la intención de mejorar futuras aplicaciones del experimento: a) será incluida la expresión para calcular la cantidad de movimiento total, b) seremos más enfáticos en los pedidos de gráficos, c) las preguntas deberán ser más explícitas. Dado que inicialmente esta experiencia fue creada como material de apoyo a disciplinas teóricas, no cabe dejar a los alumnos decidir qué tipo de análisis es más preciso. La guía será alterada para que la decisión sobre el tipo de colisión sea determinada por el valor que resulte del test  $z$ , que deberá ser aplicado sobre el coeficiente de restitución. Por otro lado si esta experiencia fuera usada como ejemplo sobre precisión en medidas y elección de métodos estadísticos en disciplinas de laboratorio o estadística de mediciones, los respectivos profesores podrían utilizar una guía que muestre la ventaja de usar uno u otro de los métodos para esa determinación.

El grupo responsable del proyecto ha basado sus actividades en la constante reformulación de las guías, para alcanzar los objetivos propuestos en cada experimento.

El material que trata colisiones totalmente inelásticas, donde los discos después de la colisión permanecen unidos, está en fase de elaboración. Esperamos que el material creado sea utilizado como material de apoyo para disciplinas de mecánica por la comunidad docente como una alternativa de contextualización y mejora del proceso de enseñanza de colisiones.

## AGRADECIMIENTOS

A la Pró-Recitoria de Graduación de la Universidade de São Paulo por la beca del Programa Ensinar com Pesquisa concedida (2014) y a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo por el proyecto número 2014/08206-0.

## REFERENCIAS

Araújo, M. S. T. y Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), pp. 176-194.

Borges, A. T. (2002). Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(3), pp. 291-313.

Fonseca, M., Maidana, N. L., Severino, E., Barros, S., Senhora, G. y Vanin, V. R. (2013). O laboratório

virtual: uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(4), pp. 450302-450304.

MEC-Brasil (2001). Ministério da Educação – Conselho Nacional de Educação. *Diretrizes Nacionais Curriculares para os cursos de física*, pp. 3-8. Disponible: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acceso en: Junio 2015.

MEC-Brasil (2002). Ministério da Educação – Conselho Nacional de Educação. *Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*, pp. 22-29. Disponible: <[http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN\\_CNMT.pdf](http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_CNMT.pdf)>. Acceso en: Junio 2015.