

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA  
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**THIAGO NEVES MACHADO**

**JOGOS NO ENSINO DE FÍSICA: ELABORAÇÃO DE UM JOGO DE  
CARTAS COMO ABORDAGEM NO ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2018**

**THIAGO NEVES MACHADO**

**JOGOS NO ENSINO DE FÍSICA: ELABORAÇÃO DE UM JOGO DE  
CARTAS COMO ABORDAGEM NO ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Licenciatura em Física, do Departamento de Física - DAFIS - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Lenz

**CURITIBA**

**2018**

“A mente que se abre a uma nova ideia,  
jamais voltará ao seu tamanho original.”  
[Oliver Wendell Holmes]

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: Jogos no ensino de física: Elaboração de um jogo de cartas como abordagem no ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Autor: Thiago Neves Machado

Orientador: Jorge Alberto Lenz

Este trabalho foi apresentado às 15h, do dia 28/06/2018, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Comissão examinadora:

---

Prof. Dr. Jorge Alberto Lenz  
(Presidente/Orientador)

---

Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Jr.

---

Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Noemi Sutil  
Professora Responsável pelas Atividades  
de Trabalho de Conclusão de Curso/  
Curso de Licenciatura em Física  
(DAFIS/UTFPR)

## RESUMO

MACHADO, Thiago Neves. **Jogos no Ensino de Física**: Elaboração de um jogo de cartas como abordagem no ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. 2018. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física - Departamento Acadêmico de Física - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, mesmo implicitamente previsto na Lei de Diretrizes e Bases, é algo pouco discutido em sala de aula pelos professores devido a diversas dificuldades, uma delas é a complexidade do conteúdo que muitas vezes é tratado meramente como uma curiosidade e não como um meio de explicar os fenômenos físicos presentes no cotidiano dos alunos. Levando em consideração o desafio de ensinar FMC no Ensino Médio, existem algumas abordagens que auxiliam o professor no preparo do conteúdo a ser trabalhado em sala de aula buscando uma melhor compreensão do assunto pelos alunos. Uma proposta discutida é a utilização de jogos no ensino de física como uma ferramenta didática capaz de equilibrar a função lúdica e a função educativa a fim de facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Além de apresentar uma metodologia alternativa, a utilização de jogos no ensino de FMC, para não causar contradições no processo de ensino-aprendizagem, deve estar atrelada a uma fundamentação teórica legitimada que possa validar sua aplicação em sala de aula. Nessa temática, buscou-se analisar a produção bibliográfica sobre os jogos no ensino de tópicos de FMC que corroborem com a abordagem da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Do universo de trabalhos analisados provenientes de diversas plataformas, apenas alguns abordam os jogos no ensino de física como uma alternativa para o ensino de tópicos de FMC no Ensino Médio e dentre estes, implicitamente, alguns justificam sua utilização a partir das ideias básicas que os alunos possuem previamente e estas possam ser relacionadas com os novos conceitos apresentados pelo jogo, dessa maneira o assunto é fixado aperfeiçoando o conhecimento prévio do aluno. Como fruto da análise destes trabalhos, é apresentada ao final uma proposta de um plano de aula para o ensino de tópicos de FMC baseado em um jogo de cartas como uma ferramenta de apoio didático utilizando-se da teoria da aprendizagem significativa como norteador do processo de ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** Jogos ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Aprendizagem significativa.

## ABSTRACT

MACHADO, Thiago Neves. **Games in the Teaching of Physics:** Elaboration of a card game as an approach in teaching topics of Modern and Contemporary Physics in High School. 2018. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física - Departamento Acadêmico de Física - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The teaching of topics of Modern and Contemporary Physics (FMC) in High School, even implicitly foreseen in the Law of Guidelines and Bases, is something little discussed in the classroom by the teachers due to several difficulties, one of them is the complexity of the content that many times it is treated merely as a curiosity and not as a means of explaining the physical phenomena present in students' daily lives. Taking into consideration the challenge of teaching FMC in High School, there are some approaches that help the teacher in the preparation of the content to be worked in the classroom seeking a better understanding of the subject by the students. One proposal discussed is the use of games in the teaching of physics as a didactic tool capable of balancing the playful function and the educational function in order to facilitate the teaching-learning process. In addition to presenting an alternative methodology, the use of games in the teaching of FMC, in order not to cause contradictions in the teaching-learning process, should be linked to a theoretical foundation legitimized that can validate its application in the classroom. In this theme, we sought to analyze the bibliographic production about games in teaching FMC topics that corroborate David Ausubel's approach to learning theory. From the universe of analyzed works coming from several platforms, only a few approach the games in physics teaching as an alternative to teaching FMC topics in High School and among them, implicitly, some justify their use from the basic ideas that the students have previously and these can be related to the new concepts presented by the game, in this way the subject is fixed perfecting the previous knowledge of the student. As a result of the analysis of these works, it is presented at the end a proposal of a class plan for teaching topics of FMC based on a card game as a didactic support tool using the theory of meaningful learning as guiding the teaching process-learning.

**Key words:** Physics teaching games; Modern and Contemporary Physics; Meaningful learning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tabuleiro de cartas do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	33
Figura 2 – Cartas da família dos Férmions do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	34
Figura 3 – Cartas da família dos Bárions do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	35
Figura 4 – Cartas da família dos Bósons do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	36
Figura 5 – Cartas de Elementos do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	37
Figura 6 – Cartas de Efeitos do jogo <i>Pocket Particle</i> . .....	38
Figura 7 – Esquema da montagem para a realização da ablação a laser. ....	49
Figura 8 – Princípio de funcionamento do DLS. ....	49
Figura 9 – Frascos com as diluições de cisteína em BiNP. ....	52
Figura 10 – Frascos com diferentes concentrações de BiNP. ....	54
Gráfico 1 – Distribuição do tamanho das BiNPs. ....	52
Gráfico 2 – Espectro de absorção das BiNPs .....	53
Gráfico 3 – Espectros de absorção das amostras diluídas das BiNPs. ....	54
Gráfico 4 – Estatística de Empréstimos em Janeiro de 2009 .....	55
Gráfico 5 – Relação entre a concentração e a absorbância de cada amostra de BiNPs .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	9
1.2 PROBLEMA.....	10
1.3 OBJETIVOS.....	10
<b>2 O ENSINO DE TÓPICOS DE FMC NO ENSINO MÉDIO.....</b>	<b>12</b>
2.1 CONTEÚDOS DE FMC NOS DOCUMENTOS OFICIAIS.....	13
2.2 O DESAFIO DE ENSINAR FMC NO ENSINO MÉDIO .....	16
<b>3 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O ENSINO DE FÍSICA .....</b>	<b>18</b>
3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL .....	18
3.2 UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE FMC NO ENSINO MÉDIO .....	22
3.3 O JOGO COMO UMA PROPOSTA DE ENSINO .....	23
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
4.1 TIPOS DE PESQUISA.....	26
4.2 MÉTODOS.....	27
<b>5 ANÁLISE DOS JOGOS DE FMC NO ENSINO MÉDIO .....</b>	<b>29</b>
<b>6 PROPOSTA DE UM JOGO DE CARTAS PARA O ENSINO DE TÓPICOS FMC NO ENSINO MÉDIO .....</b>	<b>32</b>
6.1 ATIVIDADE DE APLICAÇÃO DO JOGO POCKET PARTICLE .....	39
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE A - Atividades de pesquisa desenvolvidas durante a graduação .</b>	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), segundo Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) se mostra cada vez mais distante da realidade dos alunos, pois não acompanha os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos (OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007). Além de as aulas e atividades em sala de aula ser cada vez mais monótonas e desestimulantes.

A combinação de atividades lúdicas com o ensino é um instrumento motivador que atrai e estimula o processo de construção do conhecimento do aluno e, de acordo com Soares (2004), é definida como uma ação divertida, independente do contexto. Se existe algum tipo de regra que a direciona, essa atividade lúdica pode ser considerada um jogo. Essas práticas visam o desenvolvimento pessoal do indivíduo e a sua atuação e inserção na sociedade (SOARES, 2004).

A criação de um jogo de cartas para abordar tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, com base na teoria de aprendizagem significativa, um embasamento teórico legitimado, é uma proposta construída para identificar aspectos que apresentem uma relação entre o lúdico e a construção do conhecimento no ensino de física.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

As experiências vividas no Ensino Médio, assim como os conteúdos efetivamente aprendidos, são bagagens que o indivíduo carrega para a vida toda, formando assim um conhecimento pessoal, básico e intransferível. O conteúdo de Física Moderna e Contemporânea é algo essencial para a compreensão de fenômenos naturais que estão diretamente relacionados ao desenvolvimento científico-tecnológico.

A falta de tal conteúdo impossibilita que o estudante atinja a maturidade suficiente para compreender o funcionamento de diversos dispositivos que estão presentes no cotidiano, e torna-se apenas um consumidor de tecnologia. A idéia da elaboração do jogo de cartas veio da necessidade de abordar tais assuntos em sala de aula e, por se tratar de um jogo, tem como respaldo a interação do aluno com a aprendizagem lúdica.

O conteúdo de Física Moderna e Contemporânea na maioria das vezes não é abordado em sala de aula por fatores como: a falta de tempo para a aplicação do conteúdo programático devido ao número reduzido de aulas, o desinteresse dos alunos com relação ao assunto, não apenas pela complexidade, mas também pela sua subjetividade, além de, segundo Ostermann e Moreira (2000), a falta de preparo do professor de física, que muitas vezes não teve uma formação adequada.

O assunto de Física Moderna e Contemporânea é pouco tratado em sala de aula e está implicitamente previsto na Lei de Diretrizes e Bases de 1996, no qual é destacado que o aluno, ao final do Ensino Médio, deve demonstrar domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna, o preparando para a cidadania (BRASIL, 1996).

Quando o professor aborda os conceitos de Física Moderna em sala, muitas vezes são tratados meramente como curiosidades e não como um meio de explicar os fenômenos presentes no cotidiano e que a física clássica não explica.

Os meios de se trabalhar o tema de Física Moderna, além do método tradicional, partem para uma tentativa de aplicar projetos de divulgação, métodos experimentais ou utilizando softwares demonstrativos.

## 1.2 PROBLEMA

Quais os aspectos didático-metodológicos dos jogos no ensino de física ao ser utilizado como ferramenta alternativa para abordar tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio?

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho proposto é analisar os aspectos da aprendizagem significativa relacionados à utilização de jogos como uma ferramenta de apoio didático alternativa no ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Os objetivos específicos são:

- analisar o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea do currículo que é proposto nos documentos oficiais para o ensino de física no Ensino Médio;
- analisar a bibliografia publicada utilizando o jogo como metodologia alternativa no ensino de tópicos de física moderna e contemporânea no Ensino Médio;
- desenvolver um jogo de cartas no estilo Trading Card Game (TCG) com a abordagem de conceitos de tópicos de Física Moderna e Contemporânea;
- desenvolver um plano de aula para o ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea apoiado na utilização de um jogo de cartas como uma ferramenta didática para o ensino de física.

## 2 O ENSINO DE TÓPICOS DE FMC NO ENSINO MÉDIO

O currículo de Física Moderna e Contemporânea, segundo Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), sendo ele desatualizado e descontextualizado, se torna um obstáculo tanto para os professores, ao abordar o assunto em sala de aula, quanto para os alunos, com aulas monótonas e desinteressantes que não acompanham os avanços da física ocorridos nos últimos anos e distante da realidade dos alunos (OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007). Diante dessa conjuntura, o que a legislação apresenta quanto à educação e o ensino de física no Ensino Médio?

O acesso à educação no Brasil é um direito, previsto em lei, e pode ser exigido por qualquer cidadão. A formação básica obrigatória é composta por três etapas, sendo o Ensino Médio a última delas com duração mínima de três anos (BRASIL, 1996).

De acordo com a Lei nº 9.394 de 1996 que estabelece as Diretrizes e Bases da educação nacional (LDB), o Ensino Médio tem como finalidade consolidar e aprofundar os conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, preparar e aprimorar o educando para o trabalho e a cidadania como pessoa humana, com uma formação ética, intelectual e de pensamento crítico. O texto explicita também como um objetivo “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” (BRASIL, 1996).

Segundo Ostermann e Moreira (2000), para pesquisadores em ensino de física, professores de física do Ensino Médio e físicos teóricos, os tópicos de FMC mais relevantes para serem abordados na sala de aula no Ensino Médio são: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, partículas elementares, relatividade restrita, estrutura molecular e fibras óticas (OSTERMANN e MOREIRA, 2000).

Cada etapa do ensino básico apresenta, segundo os documentos oficiais, formulações lineares complementares para o currículo de ensino de ciências, que leva em consideração alguns assuntos e temas presentes no cotidiano dos alunos.

## 2.1 CONTEÚDOS DE FMC NOS DOCUMENTOS OFICIAIS

Cada etapa do ensino básico apresenta uma proposta composta de unidades curriculares referentes a cada área do conhecimento. Ainda segundo a LDB (1996), o currículo do Ensino Médio deve ter uma base nacional comum e diversificada, levando em consideração as características regionais, econômicas e socioculturais locais dos educandos (BRASIL, 1996). O documento normativo que apresenta tal proposição é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2016, elaborada com base nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que apresenta um conjunto de propostas de aprendizagens essenciais que todo aluno precisa desenvolver durante as etapas da educação básica para uma formação integral, com todos os direitos assegurados conforme o Plano Nacional de Educação (PNE), prescritas na LDB a partir de quatro dimensões inseparáveis: trabalho, ciência, tecnologia e cultura (BRASIL, 2016).

Segundo as DCN (2013), nesse contexto, a ciência pode ser conceituada como o:

conjunto de conhecimentos sistemáticos, produzidos socialmente ao longo da história, na busca da compreensão e transformação da natureza e da sociedade, se expressa na forma de conceitos representativos das relações de forças determinadas e apreendidas da realidade (BRASIL, 2013, p.161).

O documento também define o conceito de tecnologia como as “transformações da ciência em força produtiva ou mediação do conhecimento científico e a produção marcada desde sua origem pelas relações sociais que a levaram a ser produzidas” (BRASIL, 2013, p.162).

Atendendo à demanda curricular do Ensino Médio, a BNCC (2016), apoiado nas dimensões formativas, defende o letramento científico nas escolas para proporcionar uma formação crítica e não dogmática dos educandos, garantindo aos mesmos a capacidade de utilizar o conhecimento científico para questionar, avaliar e relacionar ideias e fatos com base em evidências (BRASIL, 2016).

A elaboração apresentada no documento está organizada em áreas de conhecimento e em componentes curriculares. As áreas estão divididas em: linguagens, matemática, ciências humanas e ciências da natureza, sendo a última, dividida em três componentes: biologia, física e química (BRASIL, 2016).

A abordagem das leis da física no Ensino Médio, segundo a BNCC (2016), é necessária para que haja uma compreensão dos fenômenos físicos que descrevem o mundo real e que estão presentes no cotidiano dos educandos em diversos domínios, como os sistemas naturais e os equipamentos tecnológicos. Para além de trabalhar com uma perspectiva investigativa, estimulando a curiosidade, na física os jovens têm contato com a linguagem e com o significado real de palavras comumente utilizadas como massa, energia, força e matéria (BRASIL, 2016).

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Médio de 2000, aborda-se a física como um instrumento tecnológico indispensável à formação da cidadania contemporânea, e sua presença na escola média contribui para a construção de uma cultura científica (BRASIL, 2000). O documento descreve a física como:

conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias (BRASIL, 2000, p.22).

No Guia de Livros Didáticos (GLD) 2015 do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do Ensino Médio, defende-se que a física na escola deve possuir uma estrutura conceitual contemplando os elementos mais importantes como uma disciplina científica sintetizada em termos de conceito e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos (BRASIL, 2014).

A organização dos conteúdos da componente física no Ensino Médio está dividida, na BNCC (2016), em seis unidades curriculares: 1) movimentos de objetos e sistemas; 2) energia e suas transformações; 3) processos de comunicação e informação; 4) eletromagnetismo - materiais e equipamentos; 5) matéria e radiações - constituição e interações e 6) terra e universo - formação e evolução (BRASIL, 2016).

Levando em consideração o objetivo da proposta do presente trabalho, o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea está inserido, de maneira aproximada e desmembrada, nas unidades 4 (eletromagnetismo - materiais e equipamentos) e 5 (matéria e radiações - constituição e interações). Na unidade 4, a BNCC (2016) propõe a necessidade de uma investigação de equipamentos clássicos para a transmissão e recepção de sinais eletromagnéticos em comparação

com os equipamentos contemporâneos que utilizam dispositivos quânticos (semicondutores e lasers). Já na unidade 5, o documento apresenta um breve parágrafo explicativo sobre a constituição submicroscópica da matéria em função das radiações (eletromagnéticas e corpusculares) e a importância da sucessão histórica dos modelos infinitesimais das substâncias (BRASIL, 2016).

A visão apresentada no edital de convocação (01/2013 - CGPLI) para o processo de inscrição e avaliação de obras didáticas para o PNLD 2015 dá importância ao processo histórico-científico do advento da Teoria da Relatividade Restrita e às teorizações em Física Quântica, denominados como Física Moderna e Contemporânea, em relação ao conjunto de conhecimento denominado Física Clássica. Ambos são importantes e necessários e devem ser compartilhados com o público geral, assim, de forma adequada e articulada, precisam estar presentes na formação escolar (BRASIL, 2013). Nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio, OCEM (2006, p.56), defende-se também que “temas relevantes e atuais merecem atenção, como a nanotecnologia, além de outros de forte relação com aspectos sociais”.

Coerente com o edital de convocação, no GLD (2014), um dos critérios de avaliação dos materiais didáticos selecionados para os livros, tanto dos alunos quanto dos professores, é a análise de que o mesmo tratou de forma adequada o conteúdo de FMC, considerando os estudos atuais e que tenham importância na formação crítica e transformadora do indivíduo e sua inserção ativa no mundo do trabalho (BRASIL, 2014).

É importante entender que a atualização do currículo de FMC no Ensino Médio não pode ser pensada e formulada de maneira separada das outras etapas do ensino e, de acordo com Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), essa atualização é relevante pois

o ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de física. (OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007, p.448).

A atualização do currículo deve estar aliada a formação inicial e continuada dos docentes para que haja a inserção de novos assuntos que possam preparar os

professores para enfrentar obstáculos que existem ao abordar os tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

## 2.2 O DESAFIO DE ENSINAR FMC NO ENSINO MÉDIO

Abordar os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio é uma tarefa cada vez mais difícil para os docentes em sala de aula. Para Silva e Moura (2013), um agravante é a falta de inovação e atualização da estrutura organizacional da escola, frente aos avanços científicos e tecnológicos da sociedade moderna, não conseguindo assim atender as exigências no desenvolvimento e na formação dos sujeitos sociais. Ainda segundo os autores, outro ponto é a formação continuada de professores que continua presa aos métodos de ensino tradicional comprometendo assim a aprendizagem dos alunos devido ao uso de práticas deficitárias e desestimulantes na vida escolar (SILVA e MOURA, 2013).

Monteiro, Nardi e Filho (2013) citam também que o tempo reduzido destinado às aulas de física em sala, assim como a grande quantidade de conteúdos a serem trabalhados, são fatores que impedem o professor de abordar os tópicos de FMC. Os autores ainda explicam que esses empecilhos também se devem ao fato de professores não terem tido contato com o assunto em sua formação. (MONTEIRO, NARDI e FILHO, 2013).

Segundo levantamento por Siqueira (2012) existe também os docentes que estão inseridos no processo de atualização e inovação curricular e apresentam dificuldades quanto o processo de ensino-aprendizagem, seja na abordagem ou na inovação do conteúdo. O autor completa ainda que alguns obstáculos, que são comuns aos professores, podem ser destacados, como: o pouco tempo destinado à formação profissional, que pode acarretar no baixo conhecimento da área científica, didático e prático; a desvalorização social e profissional como e falta de motivação e incentivos na carreira; e pressão dentro da comunidade escolar para vencer o conteúdo programático (SIQUEIRA, 2012).

Terrazzan (1992) já apontava que dificilmente todo o conteúdo programado é cumprido, sendo comum apenas que os conteúdos de Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Ótica Geométrica, Eletricidade e Circuitos Simples, sejam completos ao final do curso. Já os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea



não atingem os alunos em sala de aula. (TERRAZZAN, 1992). Tanto o ensino de Física Clássica quanto o ensino de Física Moderna e Contemporânea devem ser abordados quanto alguns aspectos. Pinto e Zanetic (1999) apontam que o formalismo matemático, a observação, a experimentação, os conceitos, as leis, as teorias, a história, a filosofia e a epistemologia da ciência e da tecnologia são exemplos do conhecimento físico que possuem afinidades com alunos diferentes, isso devido ao conhecimento prévio do estudante, suas aptidões e vocações. Com base na ampla abordagem que a física deve apresentar no Ensino Médio, os autores destacam dificuldades na introdução da FMC no Ensino Médio como o formalismo matemático inerente ao assunto; os novos conceitos que se distanciam da Física Clássica e do senso comum; o tratamento experimental dos temas de FMC (PINTO e ZANETIC, 1999).

Ostermann e Moreira (2000) afirmam que é possível ensinar a FMC no Ensino Médio sem afirmar que os alunos não possuem capacidade de aprender, mas sim abordando de outra maneira os conceitos, ou seja, segundo os autores a questão é como abordar tal assunto. Para os autores

se houve dificuldade de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da Física Clássica (...) Os alunos podem aprendê-las se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis.. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000 p.11).

Frente a esses obstáculos enfrentados pelos professores e alunos ao abordarem a FMC em sala de aula no Ensino Médio, a solução, além da atualização curricular e a transposição didática do assunto, é buscar formas alternativas de abordagem no processo de ensino-aprendizagem.

### 3 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O ENSINO DE FÍSICA

O ensino de ciências, conseqüentemente o ensino de física, apresenta na literatura uma diversidade de metodologias alternativas de ensino utilizadas por professores como teatros, simulações de julgamentos, poemas, tirinhas, filmes, documentários, etc. Existem diversos trabalhos publicados sobre experiências lúdicas em sala de aula e muitas delas não apresentam uma base teórica legitimada, podendo causar contradições em relação ao processo de ensino-aprendizagem (YAMAZAKI e YAMAZAKI, 2014). Mesmo que uma teoria de aprendizagem não permita dizer como ensinar, para Ausubel (1980), ela pode oferecer alguns pontos de partida para desenvolver noções e fatores decisivos no processo de ensino-aprendizagem e assim manipulá-los de maneira adequada para o aperfeiçoamento do ensino (AUSUBEL, 1980).

#### 3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL

Corroborando com o objetivo proposto neste trabalho, a fundamentação teórica da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968) surge como uma abordagem metodológica viável para embasar atividades em sala, pois aquilo que o aluno já sabe, decorrente de sua vivência, numa área particular de conhecimento, é o fator que mais influencia em sua aprendizagem (MOREIRA e MASSINI, 1982).

Segundo sua teoria, Ausubel (1980) defende que a aprendizagem significativa é a interação, ou processo, pelos quais novos significados, ou informações, relacionam-se com aspectos relevantes de uma estrutura de conhecimento do aluno, ou seja, novos conceitos e ideias se relacionam com conceitos e ideias básicas já existentes em um conhecimento prévio estabelecido. Ausubel (1980, p.viii) afirma:

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso seus ensinamentos (AUSUBEL, 1980, p.viii).

Ausubel (1963 apud MOREIRA, CABALLERO e RODRIGUEZ, 1997, p.19), define ainda a aprendizagem significativa como “um mecanismo humano, por

excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo do conhecimento”.

A estrutura de conhecimento prévio básico existente é definida por Ausubel (1980) como *subsunçores*<sup>1</sup>. Moreira e Massini (1982) explicam que os subsunçores são conceitos que o indivíduo possui em sua estrutura cognitiva sobre um determinado assunto, e estes servirão de ancoradouros para uma nova informação relacionada ao mesmo assunto dos subsunçores, resultando assim na fixação e no aperfeiçoamento desse conceito subsunçor inicial, tornando-o mais elaborado e estável, capaz de servir de subsunçores para novas informações relacionadas ao mesmo assunto com o qual poderá interagir no futuro (MOREIRA e MASSINI, 1982).

A aprendizagem significativa, segundo Ausubel (1980), não se dá apenas utilizando-se de um material de aprendizagem potencialmente significativo, isto é, o material possui apenas componentes significativos, sendo a tarefa de aprendizagem, como um todo, responsável por uma ordem lógica significativa da aprendizagem. Para além dessa ideia para uma aprendizagem significativa, também deve haver uma predisposição do indivíduo para a aprendizagem (AUSUBEL, 1980).

Ausubel (1980) explica que existem três tipos de aprendizagem significativa: a aprendizagem representacional, a aprendizagem proposicional e a aprendizagem combinatória. A aprendizagem representacional se dá quando é estabelecida uma equivalência entre o significado dos símbolos arbitrários e seus correspondentes referentes, como por exemplo, os conceitos de física moderna e contemporânea, que passam a remeter o indivíduo ao mesmo significado (AUSUBEL, 1980). Moreira, Caballero e Rodriguez (1997) completam ainda que há a aprendizagem conceitual, no qual os conceitos que também representados por símbolos são mais genéricas e é preciso compreender o que significa a palavra-conceito e aprender o significado do conceito (MOREIRA, CABALLERO e RODRIGUEZ, 1997).

A aprendizagem proposicional, para Ausubel (1980), ocorre quando um conjunto de palavras, ou proposições logicamente significativas representando conceitos que são relacionados com determinados conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aluno, ou seja, uma nova preposição pode ser relacionada à ideias subordinadas hierarquicamente na estrutura cognitiva já existente do

---

<sup>1</sup> A palavra *subsunçor* não existe no vocabulário português, ou seja, trata-se apenas da tentativa de traduzir a palavra de origem inglesa “*subsumer*”.

estudante. Por último, a aprendizagem combinatória se refere a casos em que uma proposição potencialmente significativa não se relaciona com ideias na estrutura cognitiva do indivíduo, mas pode se relacionar com conjuntos de conteúdos importantes também presentes nessa estrutura (AUSUBEL, 1980). Moreira, Caballero e Rodriguez (1997) exemplificam esse caso com as relações entre massa e energia, calor e volume.

Para que ocorra a aprendizagem significativa é necessária a existência dos conceitos prévios denominados subsunçores, assim, um ponto importante a ser discutido quanto ao processo da aprendizagem significativa é a situação de indivíduos em idade escolar que não possuem subsunçores para interagir com um novo conteúdo. Neste caso, segundo Moreira e Massini (1982), uma alternativa é recorrer à aprendizagem mecânica, ou automática, que, para Ausubel (1980), é definida como uma aprendizagem de informações novas de maneira arbitrária, com poucas associações com conceitos familiares e relevantes existentes na estrutura cognitiva do aluno. O conteúdo é assimilado mecanicamente ou automaticamente e proporciona a formação de uma estrutura cognitiva básica que, posteriormente, possa servir de subsunçores para novas informações sobre o mesmo assunto (MOREIRA e MASSINI, 1982).

É importante notar que para Ausubel (1980) não há uma distinção entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica, existe sim uma continuidade entre as duas perspectivas (AUSUBEL, 1980). Moreira e Massini (1982) explicam que da mesma forma que não há tal distinção, ela não poder ser confundida com a que existe entre aprendizagem receptiva e aprendizagem por descoberta. De acordo com os autores, na aprendizagem por recepção o conteúdo que deve ser aprendido é apresentado ao indivíduo, já na aprendizagem por descoberta o conteúdo é a ser aprendido é descoberto pelo aluno (MOREIRA e MASSINI, 1982). Ausubel (1980) completa que “tanto a aprendizagem receptiva como a aprendizagem por descoberta podem ser automáticas (mecânicas) ou significativas, dependendo das condições sob as quais a aprendizagem ocorre” (AUSUBEL, 1980, p.23).

A aprendizagem mecânica, na visão Moreira e Massini (1982), pode ser uma alternativa para a formação de subsunçores a partir das informações adquiridas pelo estudante em um assunto novo, ou seja, “a aprendizagem mecânica ocorre até que alguns elementos do conhecimento, relevantes a novas informações na mesma

área, existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores” (MOREIRA e MASSINI, 1982, p.10).

Além da formação de subsunçores através da aprendizagem mecânica, para Moreira e Massini (1982) há o processo de formação de novos conceitos que é definido por Ausubel (1980) como “a aquisição indutiva e espontânea de ideias genéricas, por crianças pré-escolares, a partir da experiência empírico-concreta” (AUSUBEL, 1980, p.77), ou seja, uma espécie de aprendizagem por descoberta que envolve a formação e o teste de hipóteses pelo aprendiz em um contexto. Moreira e Massini (1982) apresentam também a ideia de assimilação de conceitos, no qual crianças em idades mais avançadas, adolescentes e adultos, adquirem novos conceitos através da recepção de atributos essenciais e o relacionamento dos mesmos com ideias relevantes formadas e estabelecidas na estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA e MASSINI, 1982).

Um dos pontos mais importantes e significativos do processo de assimilação de conceitos na aprendizagem significativa, para Moreira, Caballero e Rodriguez (1997) envolve o relacionamento da não-arbitrariedade e da substantividade das novas ideias com o conhecimento prévio. Para os autores, a não-arbitrariedade significa que “o material potencialmente significativo se relaciona de maneira não-arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz”, ou seja, os subsunçores servem de ancora para a fixação dos novos conhecimentos. Já a substantividade, ainda segundo os autores, significa que “o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento (...) e não as palavras usadas para expressá-las”. (MOREIRA, CABALLERO e RODRIGUEZ, 1997, p.20).

Segundo Ausubel (1968 apud MOREIRA e MASSINI, 1982, p.14), para evidenciar a aprendizagem significativa é preciso verificar a compreensão dos conceitos e a posse dos significados claros, precisos e transferíveis. Ao perguntar ao aprendiz sobre os conceitos ou elementos essenciais de uma ideia, as respostas podem ser mecânicas e memorizadas apenas. Ausubel propõe que a melhor maneira de evidenciar a aquisição de conhecimento através da aprendizagem significativa é propor problemas novos e não-familiares, que requeiram a transformação do conhecimento existente. Os testes devem ser reformulados em contextos diferentes do material instrucional e a solução de problemas abertos é uma alternativa. Existe também a possibilidade de propor que o estudante realize uma tarefa subsequente dependente de outras anteriores, que possa ser realizada

sem perfeito domínio do assunto. É importante apontar que se o aprendiz não for capaz de resolver tais tarefas não significa que o mesmo tenha apenas decorado o assunto e não absorvido as ideias propostas através da aprendizagem significativa. (MOREIRA e MASSINI, 1982).

A utilização de práticas e metodologias alternativas para abordar tópicos de FMC no Ensino Médio, segundo Terrazzan (1992) deve ser avaliada pelo professor de acordo com seu estilo e preferência. O autor defende que ainda que essas metodologias devam ser escolhidas adequadamente para cada tópico abordado, e que apresentem uma base teórica legitimada.

### 3.2 UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE FMC NO ENSINO MÉDIO

No decorrer do processo de ensino-aprendizagem, utilizar-se de práticas pedagógicas alternativas para desenvolver o ensino de FMC no Ensino Médio, frente aos modelos tradicionais aplicados em sala, o jogo educativo como recurso metodológico apresenta a possibilidade de novas experiências aos alunos. Para Silva e Moura (2013), o jogo educativo é capaz de propiciar o equilíbrio entre as ideias pré-existentes (subsunçores) e os conceitos novos que serão apresentados aos alunos que, além de desenvolver o domínio sobre situações diferentes de aprendizagem, possibilita a humanização dos sujeitos como um fator para a aprendizagem significativa (SILVA e MOURA, 2013).

A utilização de jogos educacionais no ensino de ciências é algo recorrente e documentado na literatura e tem o objetivo de ajudar os alunos a aprender o conteúdo apresentado em sala de aula de forma lúdica e efetiva. Yamazaki e Yamazaki (2014), afirmam que em diversas tentativas de utilizar métodos de ensino alternativos em sala, o aspecto lúdico é o fator em comum, e isso pode ser um meio interessante de aumentar as expectativas de sucesso tanto pelos alunos quanto pelo professor (YAMAZAKI e YAMAZAKI, 2014).

Segundo Figueira e Soares (2009), as atividades lúdicas podem ser consideradas como um elemento capaz de despertar o interesse dos alunos para o ensino de ciências através de um ambiente favorável para a aprendizagem de ideias e conceitos. Nesse sentido, os autores defendem a utilização dessa ferramenta

como um meio de inserir os tópicos de FMC no Ensino Médio (FIGUEIRA e SOARES, 2009).

Elaborar propostas lúdicas, como os jogos-pedagógicos, que são formas ricas de se desenvolver o processo de ensino-aprendizagem capaz de formar habilidades e desenvolver a cognição e afetividade, além de outras percepções sociais, Yamazaki e Yamazaki (2014) lembram que é preciso que tais atividades contemplem fundamentos de teorias didático-pedagógicas claras para que o modelo proposto não seja contraditório com relação ao processo de ensino-aprendizagem. Da mesma forma, a avaliação realizada pelos professores deve seguir a mesma linha pedagógica, e não através de uma abordagem tradicional que pode comprometer a evolução cognitiva do aluno (YAMAZAKI e YAMAZAKI, 2014).

### 3.3 O JOGO COMO UMA PROPOSTA DE ENSINO

O jogo sempre fez parte do ser humano como uma atividade que nos acompanha desde a infância e sua origem é algo que não se sabe quando nem onde ocorreu, no entanto, desde a antiguidade eles já eram utilizados para ensinar conceitos como normas e valores. A utilização de jogos no ensino está previsto nos PCN como uma alternativa aos recursos e materiais didáticos devido a sua capacidade de desenvolver relações afetivas e interpessoais que permitem ao aluno se colocar no ponto de vista do outro, o capacitando a refletir sobre os seus próprios pensamentos (BRASIL, 2000).

Para Kishimoto (1996), por mais que pareça simples, definir o significado de jogo é algo complexo devido a sua variação de acordo com a comunidade em que está inserido, ficando clara a influência mútua entre o jogo e a cultura. O autor argumenta ainda que:

quando se pronuncia a palavra jogo, cada um pode entendê-la de modo diferente. Pode-se estar falando de jogos políticos, de adultos, crianças, animais, ou amarelinha, xadrez, adivinhas, contar histórias, futebol, dominó, quebra-cabeça, construir barquinho, brincar na areia e uma infinidade de outros. (KISHIMOTO, 1996, p.13).

De acordo com a visão de Huizinga (1938), o jogo está presente na sociedade como uma atividade natural e é algo mais antigo que a própria cultura,

sendo a cultura o que pressupõe a sociedade humana, desde tempos distantes até os dias atuais. Ainda segundo Huizinga (1938), o jogo pode ser definido como:

uma função da vida, mas não é passível de definição exata em termos lógicos, biológicos ou estéticos. O conceito de jogo deve permanecer distinto de todas as outras formas de pensamento através das quais exprimimos a estrutura da vida espiritual e social. (HUIZINGA, 1938, p.10).

As principais características descritas por Huizinga (1938) são comuns a todos os tipos de jogos e estão elencadas em oito tópicos: 1) o jogo é uma atividade em que todos os participantes estão presentes voluntariamente; 2) o jogo, não sendo uma atividade obrigatória, não é considerado uma tarefa e deve ser praticado como uma distração; 3) o jogo é uma atividade que não está inserida como cotidiano do indivíduo; 4) o jogo é uma atividade de duração limitada e está fora da vida real, sendo capaz de inserir o indivíduo em uma realidade diferente; 5) o jogo possui um objetivo a ser atingido e está evidente para todos os participantes; 6) o jogo possui regras e os participantes devem agir de acordo com elas para alcançar o objetivo; 7) o jogo possui sempre um resultado (pontuação), sendo o objetivo alcançado ou não; 8) o jogo sempre chega ao fim (HUIZINGA, 1938).

Para além de suas características, os jogos possuem algumas funções que Kishimoto (1996) aponta como uma função lúdica e uma função educativa. Ambas as funções devem estar equilibradas durante uma aplicação em sala de aula, pois se a parte lúdica prevalecer tem-se apenas um jogo comum, caso a parte educativa prevaleça há apenas um material didático (KISHIMOTO, 1996). Lopes (2001) completa que o jogo educativo tem importância quando se torna divertido e argumenta que:

é muito mais eficiente aprender por meio de jogos e, isso é válido para todas as idades, desde o maternal até a fase adulta. O jogo em si, possui componentes do cotidiano e o envolvimento desperta o interesse do aprendiz, que se torna sujeito ativo do processo. (LOPES, 2001, p.23).

Entende-se de uma forma geral que o jogo é uma atividade voluntária em que o indivíduo queira participar da ação jogar e assim deve se submeter ao local, ao tempo e também às regras previamente determinadas. Os jogos apresentam pontos positivos para o desenvolvimento na educação e o maior desafio ao utilizá-lo como ferramenta que auxilia o processo de ensino-aprendizagem é reter a atenção e



o interesse dos alunos, tornando a aprendizagem divertida e fazer com que o aprendizado seja efetivo e transpasse o ambiente da sala de aula.

## 4 METODOLOGIA

Método, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), vem do grego *methodos* e significa “caminho para chegara um fim”. Ainda segundo os autores, metodologia deriva de *methodos*, que significa organização, e *logos*, estudo sistemático, ou seja, “é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para realizar uma pesquisa” (GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p.12). A metodologia científica, abordado primeiramente por Galileu no âmbito do conhecimento científico e posteriormente por Bacon e Descartes, é citado por Nérici (2000) como o “conjunto coerente de procedimentos racionais ou prático-racionais que orienta o pensamento para serem alcançados conhecimentos válidos” Nérici (1979 apud MARCONI e LAKATOS, 2000, p.45).

Nesse trabalho, os procedimentos racionais de método de pesquisa utilizados foram definidos de acordo com a sua natureza, seus objetivos, quanto à abordagem do problema e com relação aos procedimentos técnicos.

### 4.1 TIPOS DE PESQUISA

Do ponto de vista da sua natureza, a presente pesquisa é classificada como básica que, para Moreira e Caleffe (2008), é definida como uma pesquisa realizada em busca de desenvolver o conhecimento científico sem aplicação prática imediata.

De acordo com os objetivos apresentados, este trabalho é caracterizado como uma pesquisa do tipo exploratório que na perspectiva de Gil (2010, p.27)

têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado.

Moreira e Caleffe (2008, p.69) completam que a pesquisa exploratória tem como principal finalidade “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias [...] para estudos posteriores”.

Quanto à abordagem do problema, o presente estudo é denotado como uma pesquisa qualitativa que apresenta um caráter exploratório e busca por aspectos

relativos a fenômenos e motivações de comportamentos, que para Richardson (2012, p.79), é definida como “a busca por uma compreensão detalhada dos significados e características situacionais dos fenômenos”, no qual os dados coletados são resultados de observações e descrições.

Com relação aos procedimentos técnicos, esse trabalho é tipificado como uma pesquisa bibliográfica definida que para Cervo e Bervian (2003, p.65) “procura explicar um problema a partir de referências teóricas já publicadas” principalmente em livros, revistas, dissertações, teses, artigos científicos e, hoje também, em sites e materiais digitais.

Para Lakatos e Marconi (2001) as etapas da pesquisa bibliográfica compreendem oito fases distintas: a) Escolha do tema; b) Elaboração do plano de trabalho; c) Identificação do assunto relacionado ao tema de estudo; d) Localização das fontes bibliográficas e obtenção do material; e) Compilação do material coletado; f) Fichamento dos dados coletados; g) Análise e interpretação do material bibliográfico e h) Elaboração escrita do trabalho.

## 4.2 MÉTODOS

Os materiais para levantamento de dados e informações foram primeiramente localizados nos anais publicados nos sites das edições do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) de 1997 a 2015 e nos sites das edições do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) de 1998 a 2016. Visto que a quantidade de trabalhos foi quase nula, estendeu-se o levantamento para as revistas de ensino de física: Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Revista Brasileira de Ensino de Física a partir do ano de 1996. Notou-se que a quantidade de trabalhos ainda era muito pequena, resolveu-se utilizar a ferramenta do Google Acadêmico. Foram identificados e selecionados os trabalhos com tema sobre jogos e o ensino de física, através de palavras chaves como “jogos de física”, “jogos no ensino de física”, “jogos e física moderna”, “jogos educativos na física”, “ludicidade” e “lúdico” que constaram nos títulos e resumos das publicações.

A análise do material bibliográfico foi realizada através da tabulação dos trabalhos selecionados, de modo a relacionar ideias expressas no desenvolvimento

dos artigos, com ou sem base teórica, com aspectos da aprendizagem significativa de Ausubel.

Como material final produzido neste trabalho, será desenvolvido um jogo de cartas no estilo TCG através de cartas, tabuleiro, regras e mecânicas de jogo, utilizando-se da relação entre a característica lúdica dos jogos e os aspectos da aprendizagem significativa. Com base na utilização do jogo para abordar tópicos de FMC no Ensino Médio, será elaborado também uma plano de aula de exemplo para futuras aplicações do jogo em sala de aula.

## 5 ANÁLISE DOS JOGOS DE FMC NO ENSINO MÉDIO

Com base no levantamento realizado buscando a produção bibliográfica que apresenta o jogo como uma abordagem alternativa para o ensino de tópicos de FMC no Ensino Médio, aponta-se apenas cinco trabalhos com essa temática: um publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física e (SANTOS e AQUINO, 2018); um publicado no Simpósio Nacional de Ensino de Física (FIGUEIRA e SOARES, 2009); um publicado no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (NASCIMENTO JR e PIETROCOLA, 2005); um publicado no Congresso Brasileiro de Informática na Educação (SILVA e SOUSA, 2013); e uma dissertação de mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFES (LUDIVICO, 2017).

O trabalho publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física “Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta” de Santos e Aquino (2018) apresenta apenas uma interface de um jogo de simulação em que o professor insere o conteúdo para que o aluno possa interagir com o jogo. A atividade proposta pelo jogo consiste em perguntas e respostas que levam o jogador (aluno) a percorrer o caminho de um pesquisador cientista até ganhar o prêmio Nobel, passando pela graduação, mestrado e doutorado com base nas dificuldades apresentadas cada pergunta. Nesse sentido, por se tratar de uma interface flexível quanto ao assunto, cabe ao professor inserir um conteúdo que possa proporcionar ao aluno uma interação a fim dela ser significativa quanto a sua aprendizagem. O trabalho em si não apresenta um embasamento teórico que tenha como visão principal uma teoria de aprendizagem legitimada.

O outro trabalho que foi publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física é intitulado “O lúdico no ensino de física: elaboração e desenvolvimento de um minicongresso com temas de física moderna” (FIGUEIRA e SOARES, 2009). Para os autores, a abordagem quanto ao ensino-aprendizagem através de uma atividade lúdica é embasada de acordo com Piaget e afirmam que interesse e curiosidade fazem parte do processo de aprendizagem através de estruturas no qual o interesse precede a assimilação e a motivação. Para os autores a curiosidade é também um aspecto da assimilação, por tanto é preciso “haver interesse por aquilo que se vê, para que se tenha motivação e conseqüentemente, para que ocorra a assimilação” (FIGUEIRA e SOARES, 2009, p.5). Mesmo não sendo embasada na teoria da

aprendizagem significativa de Ausubel, essa assimilação descrita pelos autores é implicitamente entendida como sendo uma ideia nova em contato com o conhecimento já pertencente ao indivíduo (subsunçores) e teve papel de aprimorar os conceitos físicos envolvidos nas aplicações tecnológicas presente no cotidiano dos alunos.

No trabalho publicado por Nascimento Jr e Pietrocola (2005) no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências intitulado “O papel do RPG no ensino de física”, os autores apresentam um RPG (*Role Playing Game*) que consiste basicamente em um jogo de interpretação de papéis que aborda a vida do físico César Lattes e sua pesquisa, além de outra atividade que analisa conceitos e situações da relatividade restrita. Os autores afirmam que esse tipo de metodologia alternativa é uma ferramenta para ensinar ao aluno a construir sua visão de mundo e assim se imaginar em situações que são ao mesmo tempo novas e velhas: “velhas, porque as aventuras utilizam tarefas e eventos muitas vezes já conhecidos pelos alunos em filmes de cinema, e novas porque aqui essas situações se desenvolvem de outra forma, através de uma perspectiva até então desconhecida” (NASCIMENTO JR e PIETROCOLA, 2005, p.7). A ideia apresentada no texto corrobora a ideia da aprendizagem significativa tanto através da utilização de subsunçores existentes no cognitivo dos alunos, quanto na necessidade de criar tais ideias utilizando-se da aprendizagem mecânica. Essa ideia mesmo não apoiada na teoria de Ausubel, é definida pelos autores como a imaginação icônica que é uma capacidade em converter vagas percepções em conhecimento sólido, ou seja, “a base conceitual formada em sua vivência não é agredida ou erradicada pelo conhecimento, é absorvida, moldada e devolvida, desta vez conceitualmente correta” (HOLTON 1998, apud NASCIMENTO JR e PIETROCOLA, 2005, p.11).

O trabalho elaborado por Silva e Sousa (2013) e publicado no Congresso Brasileiro de Informática na Educação, apresenta um jogo virtual para encontrar partículas elementares em um ambiente com o fim completar a tabela do modelo padrão de partículas. O jogo não apresenta um processo de ensino-aprendizagem baseado em um modelo pedagógico legitimado. A presença da aprendizagem mecânica pode ser trabalhada utilizando o jogo para apresentar as partículas elementares como uma introdução à física de partículas.

A dissertação de mestrado analisada intitulada como “Proposta de um jogo didático para a abordagem do tema física de partículas com alunos do Ensino

Médio” escrita por Ludivico (2017) adotou as tipologias de aprendizagem de acordo com a teoria de Zabala que consistem em aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal. A autora trás a definição de aprendizagem de conteúdos nas três tipologias. Os conteúdos procedimentais podem ser adquiridos quando os sujeitos realizam ações ordenadas para alcançar um objetivo. Os conteúdos atitudinais podem ser adquiridos quando os sujeitos compartilham valores. A aprendizagem de conceitos e princípios deve ser uma ação inacabada, pois é possível que os sujeitos ampliem ou aprofundem seu conhecimento conceitual (LUDIVICO, 2017, p.33). Da mesma forma, as ideias apresentadas no decorrer do trabalho são embasadas em metodologias presentes na literatura e apresenta aspectos semelhantes à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

## 6 PROPOSTA DE UM JOGO DE CARTAS PARA O ENSINO DE TÓPICOS FMC NO ENSINO MÉDIO

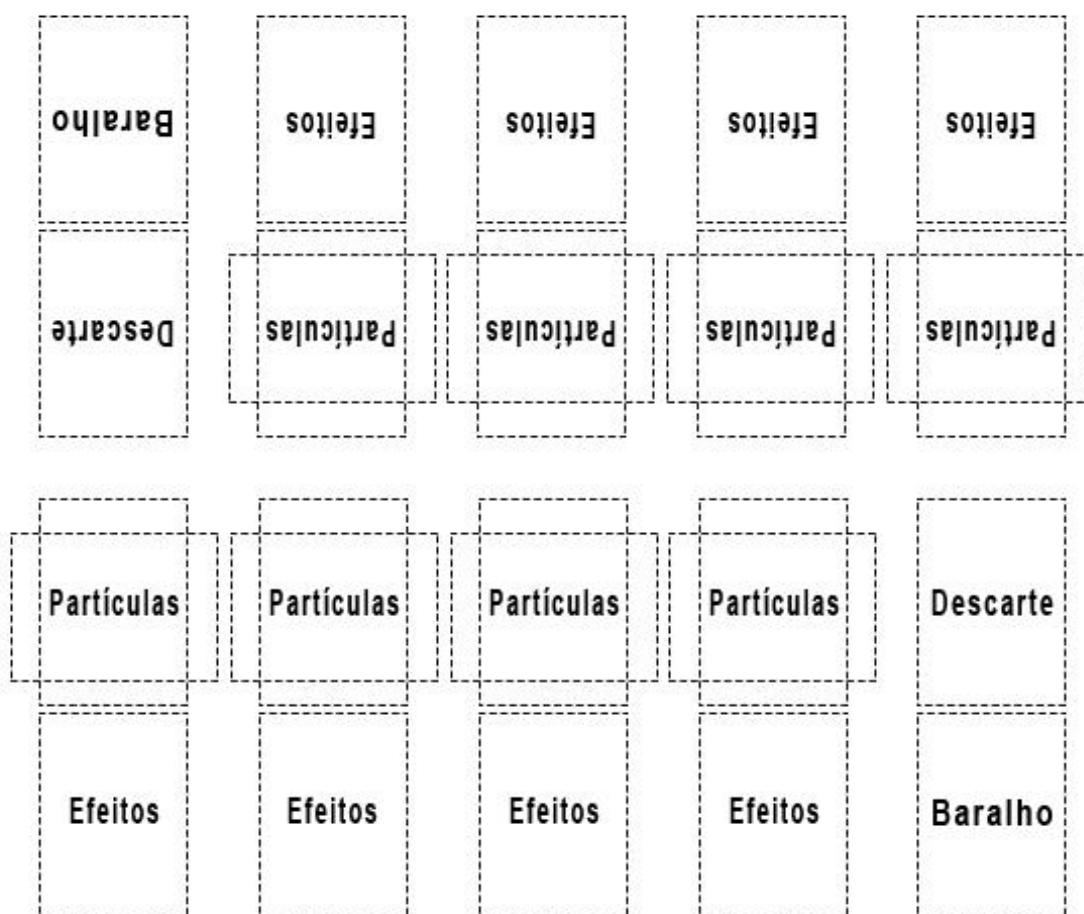
Como descrito anteriormente, os jogos-pedagógicos são propostas lúdicas interessantes como metodologia alternativa para desenvolver o processo de ensino-aprendizagem capaz de formar habilidades, desenvolver a cognição e a afetividade, além de outras percepções sociais do aluno em sala de aula. Além dessa função lúdica que os jogos apresentam, Kishimoto (1996) destaca ainda que o jogo também necessita exercer uma função educativa e que ambas as funções precisam ser trabalhadas de modo que estejam equilibradas durante uma aplicação em sala de aula, pois se a parte lúdica prevalecer tem-se apenas a interação um jogo comum com o aluno, caso a parte educativa prevaleça há apenas um material didático para ser utilizado. Reforçando essa ideia, para Ausubel (1980), não é possível proporcionar uma aprendizagem significativa apenas utilizando um material que seja potencialmente significativo, pois é a tarefa apresentada aos alunos que é responsável por uma ordem lógica significativa da aprendizagem. Com base nessas ideias, foi elaborado um jogo de cartas de estratégia no estilo *Trading Card Game* (TCG), abordando conceitos de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, mais precisamente sobre as interações entre partículas elementares, como um modelo alternativo para se trabalhar o assunto em sala de aula.

O jogo é intitulado *Pocket Particle*, possui 18 cartas sendo elas divididas em: quatorze (14) cartas de Partículas elementares, duas (4) cartas de Elementos químicos e duas (2) cartas de Efeito. O jogo consiste em combinar cartas em um tabuleiro para atingir um objetivo específico.

O *Pocket Particle* pode ser jogado por dois jogadores que devem montar seus baralhos à sua escolha, respeitando a quantidade máxima de cartas em cada baralho além da quantidade máxima e mínima de cada tipo de carta em função das estratégias de jogo.

O tabuleiro do jogo consiste em um espaço composto por dez (10) lacunas onde os jogadores poderão colocar as cartas de acordo com o seu tipo sendo quatro (4) delas para as cartas de Partículas e quatro (4) delas para as cartas de Efeito. Há também os espaços destinados aos baralhos de cada jogador, assim como o espaço para colocarem as cartas que foram descartadas durante o jogo. A disposição do tabuleiro pode ser observada na Figura 1.





**Figura 1 – Tabuleiro de cartas do jogo *Pocket Particle*.  
Fonte: O autor.**

Existem três grupos de tipos de carta no jogo:

- Cartas de Partículas elementares;
- Cartas de Elementos químicos;
- Cartas de Efeitos.

As cartas de Partículas elementares são subdivididas em outros três subgrupos de acordo com o modelo padrão:

- Férmions;
- Bárions;
- Bósons.

No jogo, o primeiro subgrupo (Figura 2) do grupo das Partículas elementares é o das partículas fermiônicas que é composto de seis (6) cartas, sendo três (3) partículas e três (3) antipartículas:

- Quark up;

- Quark down;
- Antiquark up;
- Antiquark down;
- Elétron;
- Pósitron.

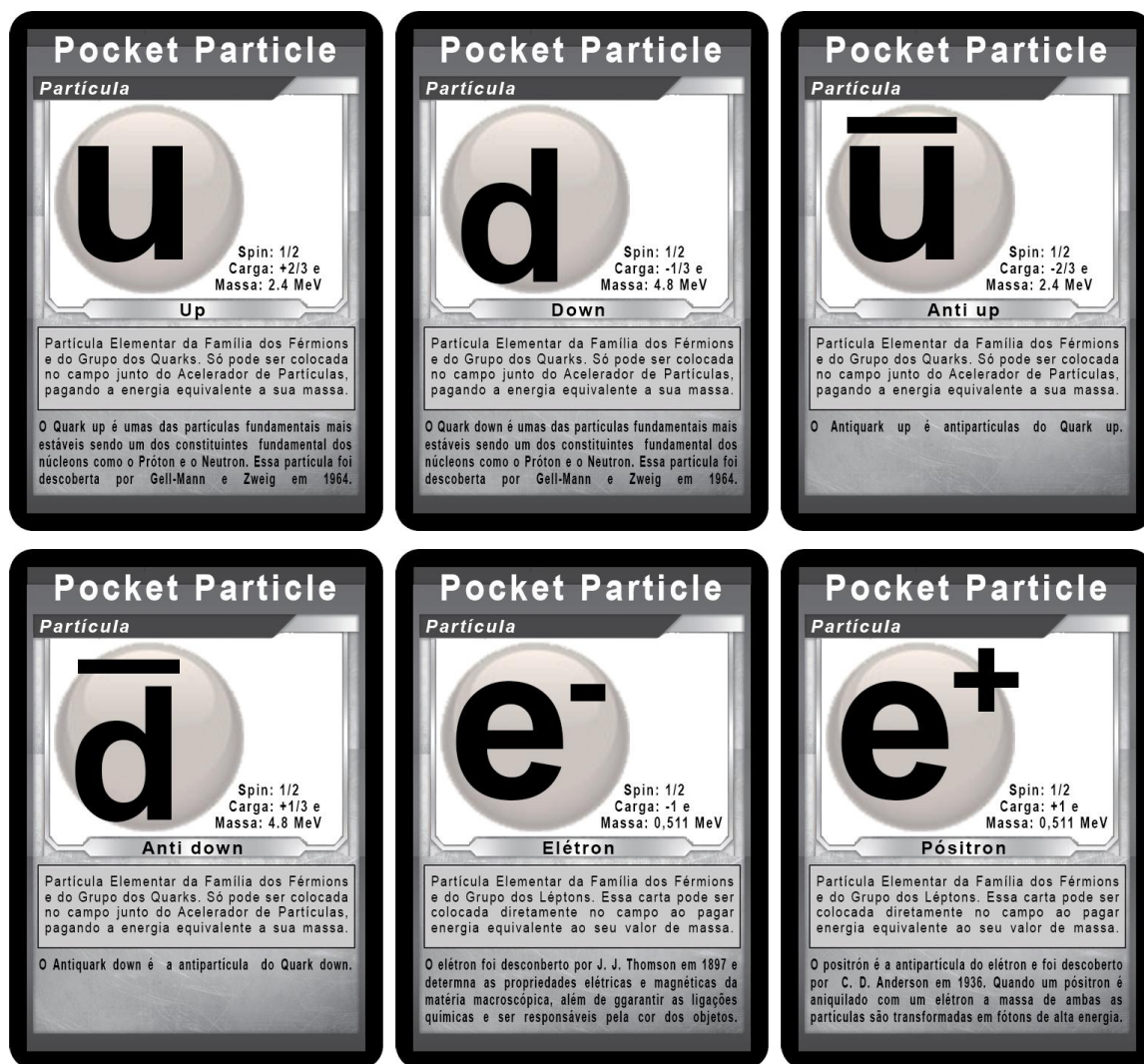


Figura 2 – Cartas da família dos Férmions do jogo *Pocket Particle*.  
Fonte: O autor.

O segundo subgrupo (Figura 3) das Partículas elementares é o das partículas bariônicas formado por quatro (4) cartas:

- Próton;
- Antipróton;
- Nêutron;
- Antinêutron.

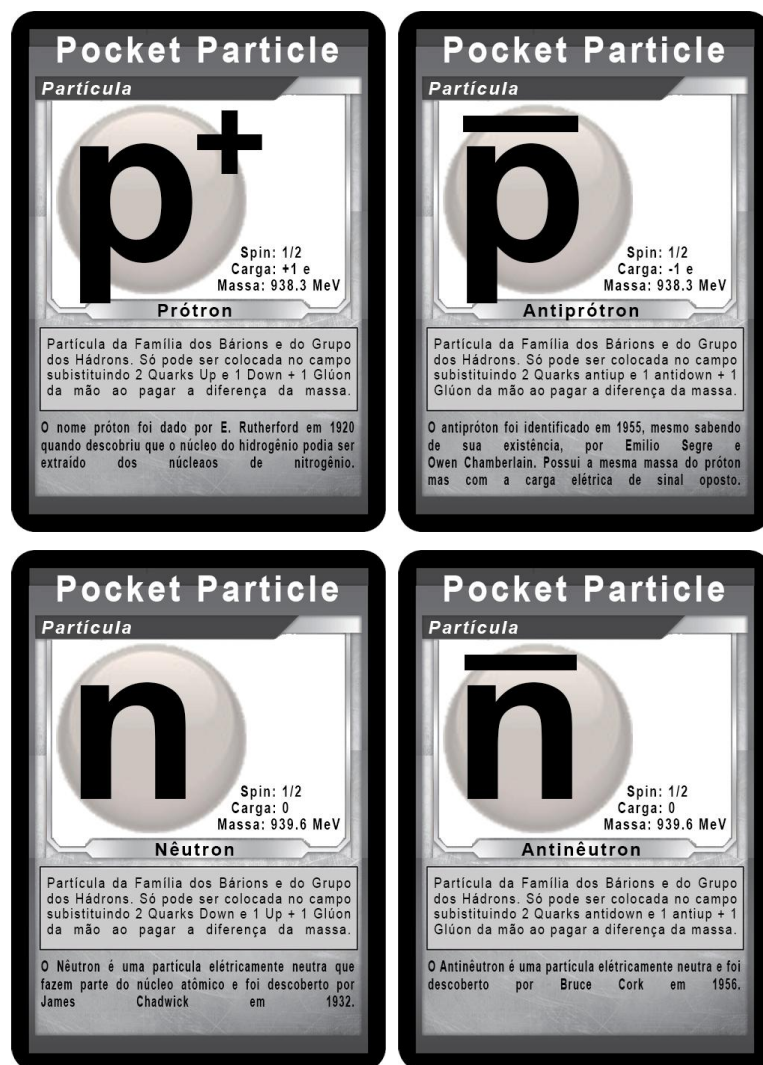


Figura 3 – Cartas da família dos Bárions do jogo *Pocket Particle*.  
Fonte: O autor.

O terceiro subgrupo (Figura 4) das Partículas elementares são as partículas bosônicas formado por duas (2) cartas:

- Glúon;
- Fóton.

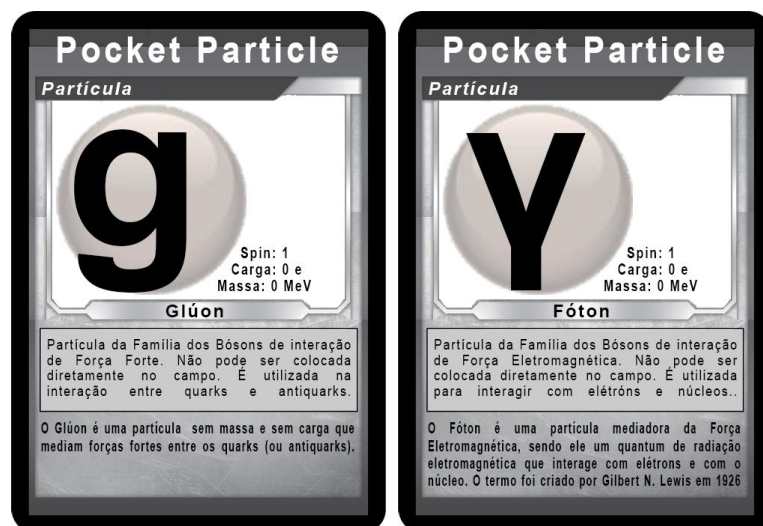


Figura 4 – Cartas da família dos Bósons do jogo *Pocket Particle*.  
Fonte: O autor.

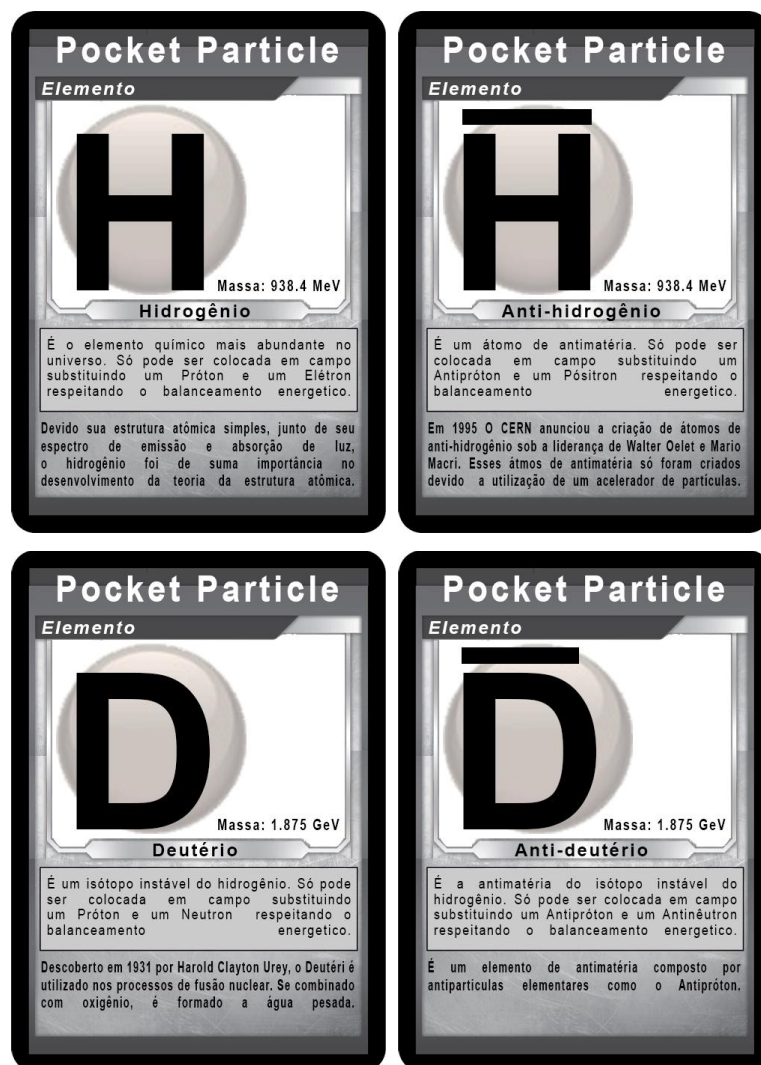
Todas as cartas de Partículas elementares possuem as seguintes características com atributo no jogo:

- Spin;
- Carga;
- Massa.

A unidade de massa utilizada no jogo é a de elétron-Volt (eV) respeitando a relação de Einstein ( $E=mc^2$ ) na qual a energia é proporcional à massa, conhecida como massa de repouso.

O segundo grupo (Figura 5) de cartas existentes no jogo é o dos Elementos químicos que apresentam quatro (4) elementos leves, sendo um estável, um isótopo assim como suas versões de antimatéria. São eles:

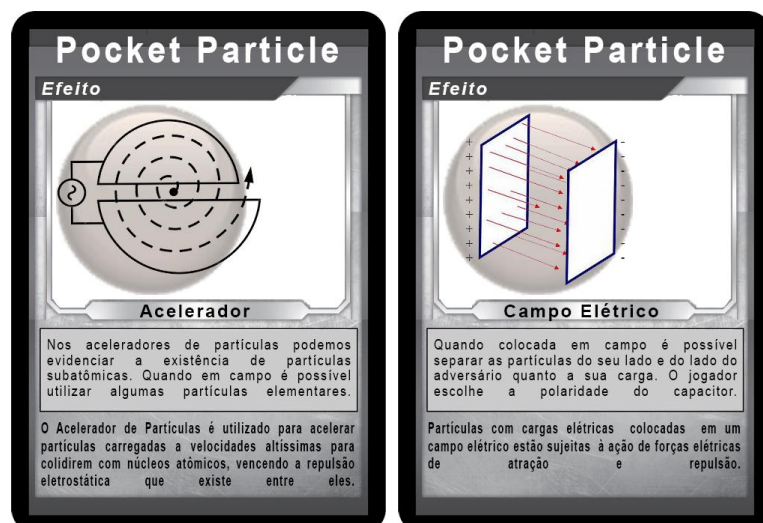
- Hidrogênio;
- Anti-hidrogênio;
- Deutério;
- Anti-deutério.



**Figura 5 – Cartas de Elementos do jogo *Pocket Particle*.  
 Fonte: O autor.**

O terceiro grupo (Figura 6) de cartas existentes no jogo é a dos Efeitos que auxiliam o jogador e apresentam duas (2) cartas:

- Acelerador - deve ser colocada no tabuleiro para que possam ser colocadas as cartas de Férmions como os quarks. Essa carta é fixa no campo e é removida quando todos os quarks são removidos;
- Campo Elétrico - pode ser utilizada em campo para deixar um dos campos com as partículas de carga igual e o outro lado do campo com as partículas de carga oposta. Essa carta pode ser utilizada apenas uma vez na rodada.



**Figura 6 – Cartas de Efeitos do jogo *Pocket Particle*.  
Fonte: O autor.**

Todas as cartas existentes no jogo possuem informações em sua composição de como deve ser jogada no tabuleiro além de curiosidades sobre cada carta em questão.

Para que o jogo aconteça é preciso que os jogadores montem seus baralhos com no máximo 50 cartas respeitando o máximo de:

- 3 Elétrons;
- 3 Pósitrons;
- 6 Quarks up;
- 6 Antiquarks up;
- 6 Quarks down;
- 6 Antiquarks down;
- 4 Glúons;
- 2 Prótons;
- 2 Antiprótons;
- 2 Nêutrons;
- 2 Antinêutrons;
- 1 Hidrogênio;
- 1 Anti-hidrogênio;
- 1 Deutério;
- 1 Anti-deutério;
- 2 Acelerador;
- 2 Campos Elétricos.

O início do jogo se dá com cada jogador comprando 5 cartas do baralho previamente montado. Cada um dos jogadores possui uma pontuação de energia inicial de 4 MeV como uma reserva de energia a ser utilizada na partida.

Cada jogada se dá em turnos diferentes e uma quantidade de energia deve ser utilizada para realizar uma jogada, ou seja, deve ser subtraída da reserva inicial.

A mecânica do jogo funciona por turnos: cada jogador deve comprar uma carta no início do turno e na seqüência poderá colocar uma carta de partícula e uma carta de efeito por rodada.

É importante apontar que as cartas de ambos os jogadores no campo podem ser utilizadas por ambos os jogadores para elaborar as interações entre as partículas e assim avançar na montagem e substituição das partículas e elementos no jogo.

O jogo, por ser aberto, pode ter um objetivo determinado previamente para definir o seu término e assim o vencedor da partida.

O jogador que zerar seus pontos de energia perde o jogo.

As regras do jogo basicamente obedecem às regras da física, no caso desse exemplar, obedecem às regras de interação da Física de Partículas.

## 6.1 ATIVIDADE DE APLICAÇÃO DO JOGO POCKET PARTICLE

Podemos utilizar o jogo proposto "*Pocket Particle*" em uma atividade em sala de aula com a finalidade de apresentar aos alunos o mundo da Física de Partículas e assim as Partículas elementares que formam a matéria.

Pode-se definir um objetivo para o jogo: o objetivo proposto é conseguir colocar em campo uma carta de Elemento químico (hidrogênio, anti-hidrogênio, deutério ou anti-deutério).

Para que o jogo possa fluir, o professor deve apresentar para os estudantes conceitos de física de partículas como a relação de alteração das massas das partículas e sua conversão em energia (ENDLER, 2010). Através da relação de Einstein ( $E=mc^2$ ) é possível calcular a energia ganha com a ligação entre um próton e um elétron (hidrogênio), ou entre um próton e um nêutron (deutério). A energia liberada nessa diferença deve ser adicionada à reserva de energia do jogador que efetuar a jogada.

O jogo, por se tratar de um TCG, é passível de ser ampliado na quantidade e diversidade de cartas, tanto de Partículas elementares e Elementos Químicos, quanto às cartas de Efeitos.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade de abordar os conteúdos de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio pelo docente é algo recorrente, tanto pela falta de inovação e atualização do currículo de física, quanto pela precária formação do professor ou quanto às condições de trabalho e o tempo reduzido em sala de aula. Utilizar metodologias de ensino alternativas, e que sejam interessantes e chamem a atenção dos alunos, é uma saída para abordar de forma eficaz o conteúdo de FMC. A utilização dos jogos no ensino, sendo ele bastante descrito nas publicações na área de pesquisa em ensino, surge como uma opção de um material didático e, atrelado à função lúdica que proporciona, é um bom candidato para o professor. É importante compreender que as experiências lúdicas em sala de aula, sem uma base teórica legitimada, podem causar confusões no processo de ensino-aprendizagem, por tanto embasar essa aplicação e uma teoria de aprendizagem como a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

As publicações pontuadas no levantamento realizado buscou analisar os trabalhos sobre jogos no ensino de tópicos de FMC no Ensino Médio que se utilizavam da teoria da aprendizagem significativa como norteador do processo de ensino-aprendizagem. Notou-se, primeiramente, uma baixa quantidade de trabalhos que abordem FMC no Ensino Médio e nenhum deles utilizou-se da teoria de aprendizagem significativa como base teórica de seu desenvolvimento. Dos cinco trabalhos analisados quatro utilizam outros tipos de teorias legitimadas e apenas um não tem uma base teórica definida.

Levando em conta esse cenário, foi proposto um jogo de cartas, intitulado *Pocket Particle*, como uma alternativa para abordar tópicos de ensino de FMC no Ensino Médio. O jogo aborda inicialmente a Física de Partículas, mas é passível de ser ampliado para outros efeitos descritos na FMC como efeito fotoelétrico, efeito Compton, etc.

Perspectivas futuras para a utilização do jogo é a sua aplicação em sala de aula como uma ferramenta de auxílio ao professor na abordagem da FMC para verificar sua eficiência quanto a aprendizagem significativa.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P; NOVAK, J. D; HANESIAN, H. **Psicología educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL, Lei nº 9.394/96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2000.

BRASIL, Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Secretaria da Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação, 2006.

BRASIL, Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação, 2013.

BRASIL, Edital 01/2013 – CGPLI. Brasília: Ministério da Educação, 2013.

BRASIL, Guia de Livros Didáticos PNLD 2015 Ensino Médio - Física. Brasília: Ministério da Educação, 2014.

BRASIL, Base Nacional Comum Curricular. Segunda versão revista. Brasília: Ministério da Educação, 2016.

CERVO, A. L; BERVIAN, P. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

FIGUEIRA, S. S; SOARES, M. H. F. B. O lúdico no ensino de física: elaboração e desenvolvimento de um minicongresso com temas de física moderna. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Anais...** Vitória, SBF, 2009.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

KISHIMOTO, T. M. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 1996.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LOPES, M. da G. **Jogos na Educação: criar, fazer e jogar**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

LUDOVICO, M. M. **Proposta de um jogo didático para a abordagem do tema física de partículas com alunos do ensino médio**. 2017. 104 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

MONTEIRO, M. A; NARDI, R; FILHO, J. B. B. Impedimentos para alguns professores da educação básica introduzirem a física moderna e contemporânea em suas programações de ensino: desencontros entre as diretrizes formativas e o contexto da atuação dos professores. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBF, 2013.

MOREIRA, H; CALEFFE, L. G. **Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador**. 2. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

MOREIRA, M. A; MASSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A; CABALLERO, M. C; RODRÍGUEZ, M. L. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL SOBRE EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO. 1997, Burgos. **Atas...** Burgos, Espanha. p. 19-44.

NASCIMENTO JR., F. A; PIETROCOLA, M. O papel do RPG no ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: ABRAPEC, 2005.

OLIVEIRA, F. F de; VIANNA, D. M; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PINTO, A. C; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 2011.

SANTOS, C. A dos; AQUINO, E. M de. Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 3501, 2018.

SILVA, L. M. da; MOURA, R. W. S. O Jogo e a Aprendizagem Significativa. **Atas III ENID/UEPB**, FIEP, UFCG, Campina Grande, v. 5, 2013.

SILVA, G. C; SOUSA, P. M de. O uso da realidade virtual para o ensino de física quântica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2., 2013, Limeira. **Anais...** Limeira, SBC, 2013.

SIQUEIRA, M. R. da P. **Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos no ensino de física moderna e contemporânea**. 2012. 202 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SOARES, M. H. F. B. **O lúdico em Química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química**. 2004. 219 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

YAMAZAKI, S. C; YAMAZAKI, R. M. de O. Jogos para o ensino de física, química e biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado? **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba (PR), v. 7, n. 1, p. 159-181, jan-abr. 2014.

**APÊNDICE A** - Atividades de pesquisa desenvolvidas durante a graduação

Durante a graduação, atividades como a Iniciação Científica (IC) são alternativas de inserção dos alunos em grupos de pesquisa que desenvolvem trabalhos no âmbito acadêmico. Muitas vezes essa interação entre professores pesquisadores e alunos elucidada e direciona o estudante a seguir um possível futuro como pesquisador. Nesse período, a participação em uma IC no laboratório FotoNanoBio no Departamento de Física da UTFPR-CT, influenciou na escolha de seguir o caminho da pesquisa em Física Experimental, assim, segue as atividades desenvolvidas durante esse período.

## INTRODUÇÃO

O estudo de materiais, para o desenvolvimento científico, é de essencial importância e está diretamente ligado ao avanço tecnológico da sociedade. Materiais nanoestruturados tem sido um alvo de grande interesse devido a propriedades físicas que estão relacionados ao tamanho e ao formato, proporcionando aplicações em diversas áreas da ciência e da tecnologia. Todo objeto que apresente dimensões entre 1 e 100 nanômetros é denominado como um nanomaterial. Dentro desse contexto, o átomo é a dimensão de limite inferior para a criação desses dispositivos e assim, as nanopartículas (NPs) são estruturas maiores, mas ainda assim muito pequenas, que equivalem a algumas dezenas de átomos, sendo possível sintetizá-las.

As NPs têm sido utilizadas durante vários séculos e até artesãos na Mesopotâmia utilizavam esse artifício em suas pinturas para obter efeito de brilho. Esses efeitos ópticos das nanopartículas são devidos a fenômenos como o confinamento quântico e a ressonância de Plasmons de Superfície. Quando é incidida sobre as nanoestruturas metálicas uma onda eletromagnética, os elétrons livres presentes na estrutura tendem a se mover contra o campo elétrico. Se a frequência da onda eletromagnética é igual à frequência natural de oscilação do material, ocorrerá o fenômeno de ressonância plasmônica. Devido a esse fenômeno é possível utilizar NPs como sensores de detecção de moléculas orgânicas através da observação do deslocamento do pico da banda plasmônica na região da ressonância.

Um semimetal que vem sendo utilizado como material para a produção de NPs é o bismuto (Bi) de número atômico 83, com baixa condutividade elétrica e com nível muito baixa de toxicidade para o ser humano. A síntese das nanopartículas de bismuto (BiNPs) é realizada através do método de ablação a laser em meio líquido (LASiS). Essa técnica consiste na focalização de um feixe de laser pulsado sobre um alvo do material sólido imerso em um solvente. Esse processo produz pequenas “explosões” resultando na formação de um plasma e na nucleação das NPs. Esse processo é considerado uma síntese verde, livre de contaminantes químicos, possibilitando assim sua aplicação em estudos biológicos.

Associando a técnica limpa de ablação a laser à baixa toxicidade do bismuto é possível utilizar as BiNPs para detectar moléculas orgânicas como os aminoácidos: moléculas compostas por um grupo amina, uma carboxila e um radical diferente para cada aminoácido, sendo ele o principal responsável pelas diferentes propriedades apresentadas por cada molécula.

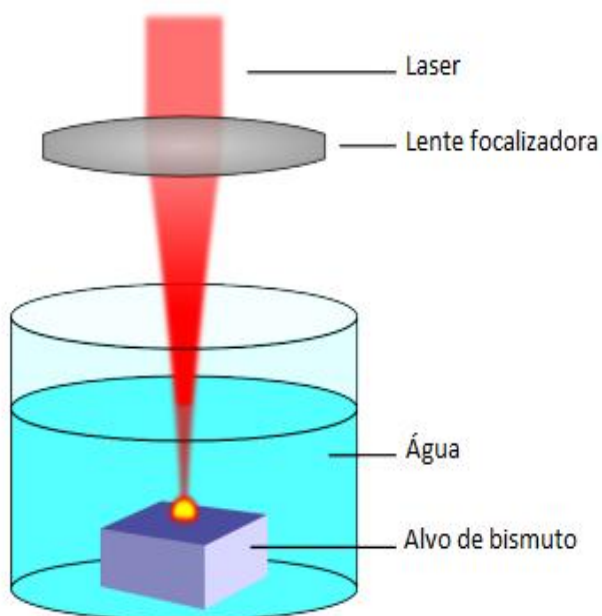
## MATERIAIS E MÉTODOS

Algumas etapas foram aplicadas para o desenvolvimento de um sensor plasmônico capaz de detectar moléculas orgânicas através das alterações do pico do Plasmon do espectro de absorção. Devido a possibilidade de trabalhar com o bismuto em estudos biológicos, realizou-se: a síntese de BiNPs via ablação a laser; a caracterização quanto ao tamanho nas NPs; a caracterização do espectro de absorção das BiNPs suspensas em meio líquido; a caracterização e a obtenção de uma equação que descreva a relação entre o pico máximo do Plasmon em função da concentração de material no meio líquido; e a análise da modificação do Plasmon adicionando uma molécula de aminoácido.

Para a síntese das BiNPs foi utilizado um alvo de bismuto de 99,999% de pureza, imerso em 5 ml água destilada colocado em um Becker de 20 ml. O recipiente foi colocado em um apoio de elevação ajustável para que fosse possível variar a altura do alvo. A montagem consistiu na utilização de um laser de Nd:YAG, com comprimento de onda de 1064 nm com pulsos de 200 ns e 1 mJ de energia. Foi utilizada uma faixa de repetição de 1,5 KHz gerando um feixe com potência média de 4 W. Com a ajuda de uma lente focalizadora com distância focal de 5 cm, o laser

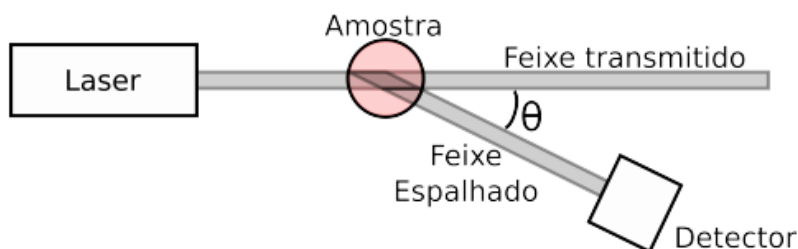


concentrado atingiu a superfície do alvo de bismuto durante 2 minutos produzindo uma solução coloidal de BiNPs. O esquema da montagem experimental é exibido na Figura 7.



**Figura 7 – Esquema da montagem para a realização da ablação a laser.**

Na sequência, com a amostra em mãos, foi realizada a caracterização das BiNPs quanto ao seu tamanho utilizando um aparelho de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) capaz de detectar partículas suspensas em líquidos e fornecer uma distribuição dos valores dos tamanhos das NPs presentes na amostra. O DLS mede a intensidade de luz espalhada, que é dependente do número de partículas presentes no volume definido pela intersecção do feixe de luz incidente com o feixe espalhado conforme se observa na Figura 8.



**Figura 8 – Princípio de funcionamento do DLS.**

Em uma cubeta de quartzo de 3,5 ml com dimensões de 45x12,5x12,5 mm foi colocado 2 ml da amostra de BiNP para a realização das medidas. O software que acompanha o aparelho é o Microtrac FLEX 10.6.0 e foi calibrado para realizar a leitura levando em consideração o índice de refração do solvente (água), o formato das NPs (esferas) e o tempo de 30 s em cada exposição num total de quatro varreduras.

Para a caracterização do espectro de absorção das BiNPs, foi utilizado o espectrômetro USB2000+, fabricado pela Ocean-Optics, com uma fonte luminosa USB-ISS-UV/VIS cobrindo uma faixa espectral de 200 a 1000 nm com resolução de 2 nm. Foi utilizada uma cubeta de quartzo de 3,5 ml, que possui baixa intensidade de absorção na faixa espectral utilizada em comparação com cubetas de outros materiais.

Como a amostra sintetizada possui alta concentração de material (bismuto) em suspensão, a amostra original foi diluída 5 vezes, ou seja, em uma cubeta foram adicionados 400 µl de BiNP e 1600 µl de água de modo a obtermos 2 ml de solução, de modo que o espectro não apresentasse saturação no resultado.

Para a realização da medida, utilizando o software SpectraSuite, foi calibrado dois zeros, um claro (fonte luminosa ligada) e outro escuro (fonte luminosa desligada), do espectro de absorção da água em conjunto com a cubeta, assim essa informação seria descontada do resultado final.

Para conhecermos a relação da concentração de material presente na solução em função da intensidade de absorção medida, foi realizado o uma série de diluições de uma mesma amostra de BiNP na qual era conhecido a quantidade de massa existente na amostra. A quantidade de massa de bismuto presente na solução foi determinada aferindo a massa do alvo antes e após a ablação, sendo que essa quantidade de massa foi diluída em 5 ml de água.

Foram preparadas 8 amostras com diluições de 20% a 2,5% de BiNP diluída em água, num passo de 2,5% entre cada amostra. Foi determinado um pico em comum de cada Plasmon em cada amostra de diluída, medindo uma intensidade de absorção diferente para cada diluição. Analisando os dados através de uma regressão linear, obtivemos uma relação aproximada entre a concentração e a absorção em um determinado pico.

A última etapa foi a análise da diluição de diferentes concentrações de cisteína (Cys), aminoácido escolhido para o experimento, em uma concentração fixa de BiNPs. Inicialmente foi aferido uma quantidade de massa de cisteína no valor de 4,91 mg em uma balança de precisão com resolução de 0,01 mg, e diluída em 40 ml de água para obter-se uma solução com concentração de 1 mM, sendo a massa molar da cisteína 121,16 g/mol. Utilizando frascos, foi realizado a mistura entre 1 ml de BiNP, com concentração de 0,05 mg/ml, e 1 ml de cisteína diluída conforme a tabela abaixo.

Amostras	Volume de BiNP 0,05 mg/ml	Volume de Cys / concentrações	Volume de H <sub>2</sub> O complementar	Concentração final de Cys
C <sub>0</sub>	1 ml de BiNP	1 ml de H <sub>2</sub> O	-	0,00 mM
C <sub>1</sub>	1 ml de BiNP	100 µl Cys (0,1 mM)	900 µl H <sub>2</sub> O	0,05 mM
C <sub>2</sub>	1 ml de BiNP	200 µl Cys (0,2 mM)	800 µl H <sub>2</sub> O	0,10 mM
C <sub>3</sub>	1 ml de BiNP	300 µl Cys (0,3 mM)	700 µl H <sub>2</sub> O	0,15 mM
C <sub>4</sub>	1 ml de BiNP	400 µl Cys (0,4 mM)	600 µl H <sub>2</sub> O	0,20 mM
C <sub>5</sub>	1 ml de BiNP	500 µl Cys (0,5 mM)	500 µl H <sub>2</sub> O	0,25 mM
C <sub>6</sub>	1 ml de BiNP	600 µl Cys (0,6 mM)	400 µl H <sub>2</sub> O	0,30 mM
C <sub>7</sub>	1 ml de BiNP	700 µl Cys (0,7 mM)	300 µl H <sub>2</sub> O	0,35 mM
C <sub>8</sub>	1 ml de BiNP	800 µl Cys (0,8 mM)	200 µl H <sub>2</sub> O	0,40 mM
C <sub>9</sub>	1 ml de BiNP	900 µl Cys (0,9 mM)	100 µl H <sub>2</sub> O	0,45 mM
C <sub>10</sub>	1 ml de BiNP	1 ml Cys (1 mM)	-	0,50 mM
C <sub>Cys</sub>	1 ml H <sub>2</sub> O	1 ml Cys (1 mM)	-	0,50 mM

**Tabela 1 – Diluições de BiNP em diferentes concentrações de cisteína.**

Conforme se observa na Figura 9, em cada frasco foram adicionadas todas as quantidades de água conforme a tabela, foram adicionadas as concentrações de cisteína, variando de 0 até 0,5 mM em um passo de 0,05 mM na concentração final em 2 ml de solução, e por último foi adicionado a solução das BiNPs.

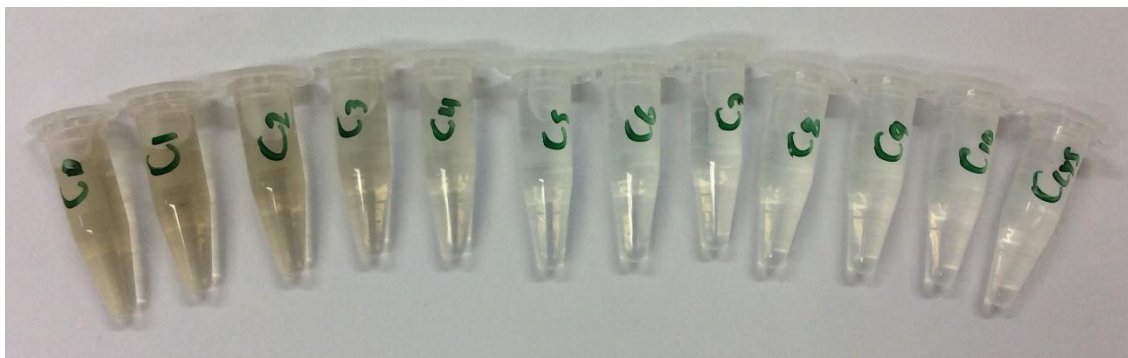


Figura 9 – Frascos com as diluições de cisteína em BiNP.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizada a síntese das BiNPs, obtivemos com a caracterização via DLS uma distribuição dos tamanhos das NPs existentes na solução coloidal como visualizamos no Gráfico 1.

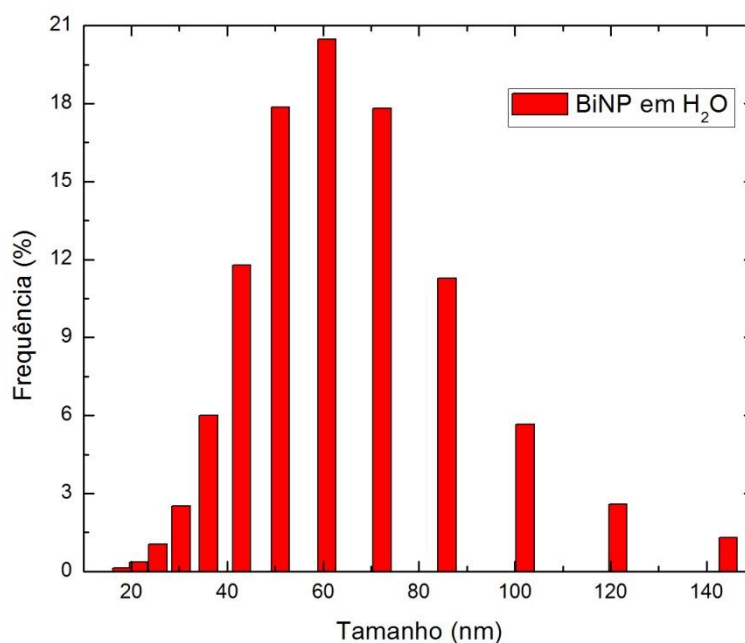


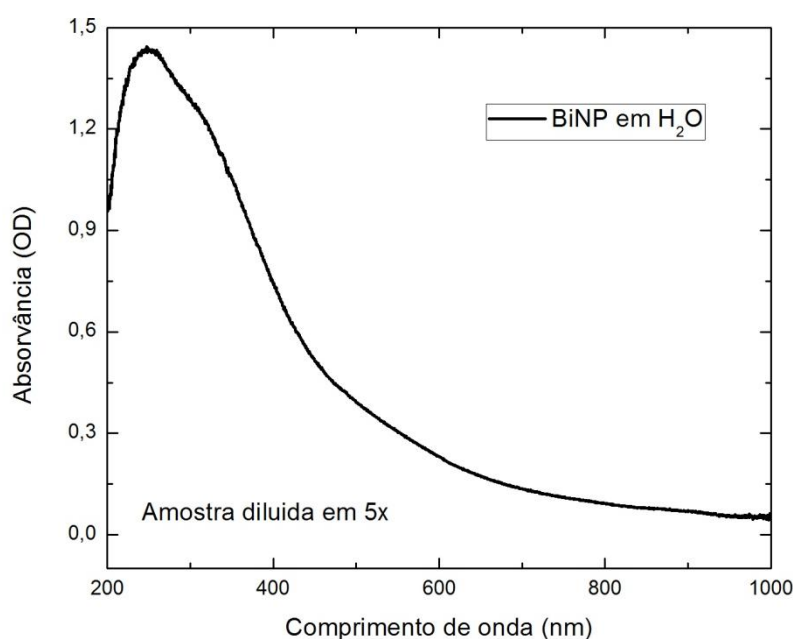
Gráfico 1 – Distribuição do tamanho das BiNPs.

No Gráfico 1 pode-se observar que há nanopartículas de vários tamanhos na faixa de 20 a 140 nm em uma distribuição gaussiana, e a média desses valores está em nanopartículas com o tamanho de 60 nm. Esse dado, além de demonstrar o tamanho das partículas, é interessante, pois, em trabalhos futuros, é possível conhecer a área de superfície disponível, levando em consideração que as NPs

sejam esféricas, para possíveis trabalhos de funcionalização superficial para aplicações diversas.

Na sequência foi realizada a caracterização do espectro de absorção da amostra coloidal utilizando um espectrômetro. O espectro de absorção obtido é o espectro característico do bismuto.

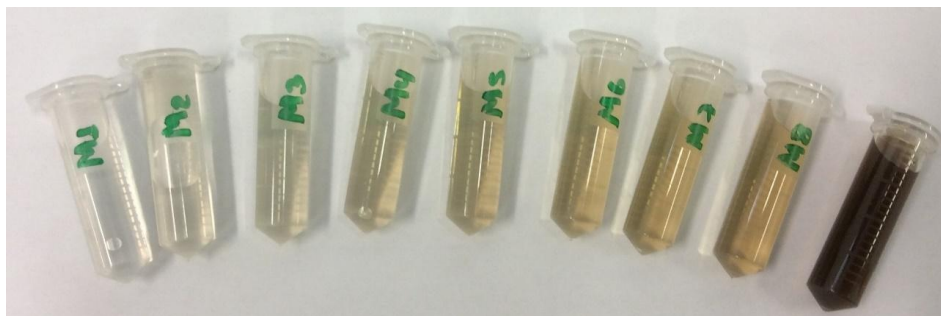
Conforme se observa no Gráfico 2, temos a informação que as BiNPs possuem um Plasmon que absorve radiação na região do ultravioleta e parte na região do visível, proporcionando assim a coloração marrom das amostras.



**Gráfico 2 – Espectro de absorção das BiNPs.**

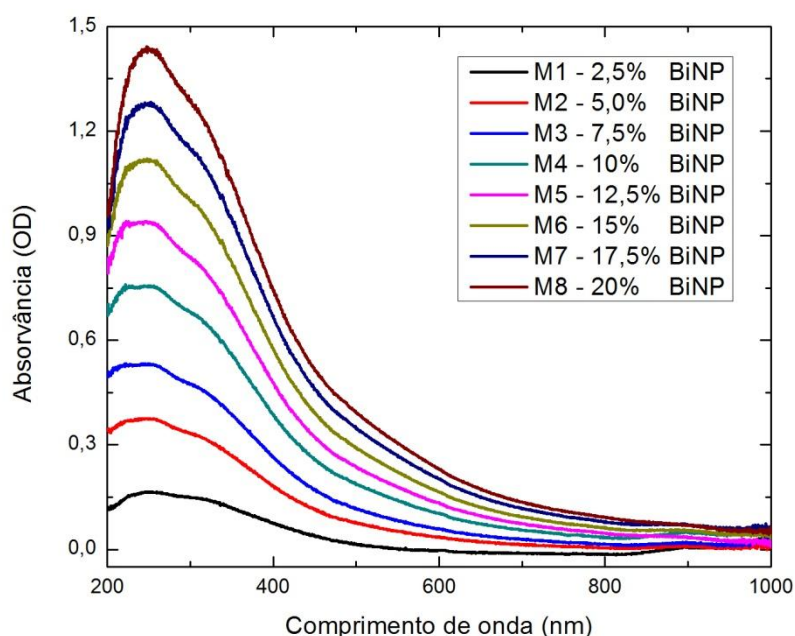
A amostra utilizada na caracterização foi diluída 5 vezes para que não apresentasse saturação nos valores medidos. O pico de absorção do Plasmon da amostra está em 247 nm, com uma intensidade de absorbância de 1,4 OD.

Para obtermos a quantidade de matéria existente em cada amostra utilizada, foi realizada diversas medidas de espectro absorção para cada amostra com uma concentração diferente de bismuto. A concentração original se deu após a ablação de uma amostra de bismuto e, medindo a massa antes e depois do processo de ablação, obteve-se o valor de 3,33 mg de bismuto diluído em 5 ml de água, ou seja, uma concentração de 0,666 mg/ml.



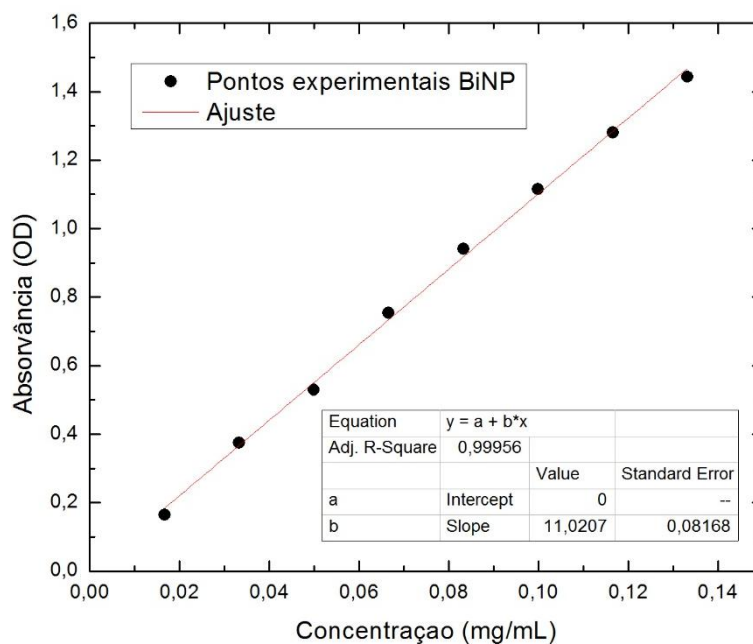
**Figura 10 – Frascos com diferentes concentrações de BiNP.**

A partir dessa concentração de 0,666 mg/ml obtemos as diluições variando de 2,5% até 20% da solução inicial. Foram feitas as medidas de cada amostra conforme se observa no Gráfico 3.



**Gráfico 3 – Espectros de absorção das amostras diluídas das BiNPs.**

Em cada curva do espectro para cada diluição, identificou-se o pico de absorção do Plasmon (247 nm) e fazendo uma relação entre a concentração de cada amostra com o valor máximo de absorção obteve-se o Gráfico 4.

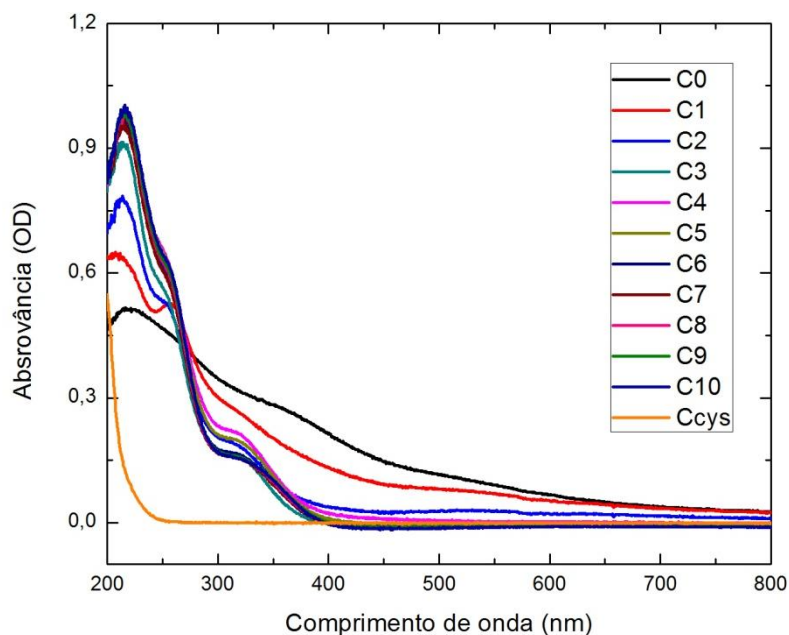


**Gráfico 4 – Relação entre a concentração e a absorvância de cada amostra de BiNPs.**

Após a análise dos dados, realizou-se a regressão linear da reta e obteve-se a seguinte relação que nos permite conhecer a concentração da amostra através da medida da intensidade de absorção do Plasmon das BiNPs:

$$C = \frac{\text{absorção}}{11,02} \text{ mg/ml}$$

Na última etapa do projeto foi realizado a diluição de cisteína em soluções de BiNPs. Para comparação foi medido o espectro de absorção apenas da amostra de BiNP diluído em água ( $C_0$ ) e da amostra de cisteína diluída em água ( $C_{Cys}$ ). As diluições foram demonstradas na Tabela 1.



**Gráfico 5 – Diferentes diluições de cisteína em BiNPs.**

No Gráfico 5 podemos observar através de cada espectro que, quando há o acréscimo de cisteína na amostra de BiNP, essa gradativamente passa a deixar de absorver luz na região do visível (400 a 700 nm), ou seja, a amostra fica transparente como pôde-se observar na Figura 3 assim, visivelmente, observando os frascos, temos um sensor de detecção de cisteína.

Os espectros de absorção confirmam que há uma intensificação de absorção na região do ultravioleta e uma diminuição na largura do pico do Plasmon. É conhecido da literatura que, a molécula de cisteína, dispondo de um enxofre livre, tem afinidade de realizar ligação com metais e essa ligação, no caso das BiNPs, modifica a estrutura eletrônica de modo que a luz absorvida na região do visível e reemitida, assim temos a ideia de transparência da amostra. É importante notar que após a adição de cisteína, aparecem dois outros picos definidos nos espectros além do pico principal (247 nm), um próximo a 270 nm e outro em 330 nm.

Não há uma linearidade no comportamento do Plasmon em função do aumento de cisteína, assim não foi possível identificar o aumento gradativo de cisteína através de uma relação matemática entre a interação das moléculas de cisteína e as BiNPs.



## CONCLUSÕES

A proposta de desenvolvimento de biossensores ópticos, que são baseados em estruturas nanométricas em interação com a luz, é algo de extrema importância devido ao grande aumento de aplicações biológicas a partir do estudo de nanotecnologia. A utilização de nanopartículas sintetizadas a partir de uma técnica que não deixa resíduos químicos (ablação a laser) e permite obter uma solução coloidal em água, colabora com a facilidade de aplicações biológicas. O bismuto, sendo um metal que apresenta um baixo nível de toxicidade para organismos vivos também nos ajuda a pensar na possibilidade da utilização desse tipo de material em estudos biológicos.

Produzimos nanopartículas de bismuto via ablação a laser, com tamanho médio de 60 nm e o pico de absorção do Plasmon está localizado em 247 nm e sua intensidade de absorção nos dá o valor da concentração de material na amostra sabendo da relação proporcional entre a absorção e a concentração. Verificou-se que as BiNPs interagem fortemente com aminoácidos que possuem enxofre livre para realizar a ligação química e um desses aminoácidos é a cisteína. Todo o processo de síntese e caracterização das nanopartículas de bismuto e sua utilização na identificação de aminoácidos renderam resultados que demonstram que é possível utilizar as BiNPs na detecção de moléculas biológicas.

No decorrer do processo identificamos algumas dificuldades, dentre elas o alto grau de oxidação do bismuto. Num período curto de tempo o bismuto oxida e decanta na solução, sendo impossível ressuspendê-lo, assim todos os passos aqui citados foram realizados logo após a síntese das amostras de BiNP.

Na seqüência dos trabalhos de pesquisa desenvolvidos utilizando nanopartículas de bismuto (BiNPs), outras aplicações foram exploradas como a investigação da citotoxicidade das BiNPs em células de mamíferos e a utilização das BiNPs com substrato para obtenção de aumento no sinal de espectroscopia Raman. Alguns deles foram publicados e apresentados em eventos científicos. Segue abaixo os resumos desses trabalhos.

**Plasmonic effects mediated by bismuth nanoparticles  
(Encontro de Física 2016)**

T. N. Machado<sup>1</sup>, P. Cavassin<sup>2</sup>, T. D. Woiski<sup>3</sup>, J. A. Lenz<sup>1</sup>,  
W. H. Schreiner<sup>2</sup>, A. G. Bezerra-Jr<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>3</sup>Instituto Pelé Pequeno Príncipe, Curitiba, PR, Brazil.

In this work we report on two distinct sets of experiments in which bismuth nanoparticles (BiNP) give rise to plasmonic effects. In the first, we demonstrate surface plasmon resonance (SPR) modifications upon the interaction of BiNP with molecules of biological interest, e.g., amino acids (cysteine, glycine, valine, tyrosine, methionine, serine and proline), the polypeptide glutathione, and cysteamine, which is commonly used in the functionalization of metal nanoparticles aiming at biological applications such as in biosensors. The second, refers to surface-enhanced Raman scattering (SERS) of biological molecules in the presence of BiNP.

BiNP were synthesized in pure water through laser ablation synthesis in liquid solution (LASiS). The main advantage of LASiS is its independence from chemical precursors, avoiding the use of toxic substances or by-products [1]. In our set-up, Bi pellets immersed in water were irradiated with the fundamental harmonic of a Nd:YAG laser (1.5kHz, 1.0mJ, 200ns) leading to colloidal dispersions that were characterized by UV/vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS) and TEM. The nanoparticles present a distinct plasmon peak at 220nm which is characteristic of metallic BiNP, and is in accordance with XRD data [2]. TEM and DLS results indicate spherical nanoparticles with a broad diameter distribution centered at 60nm.

BiNP SPR behavior investigated by UV-Vis spectroscopy is not significantly modified by most molecules studied. On the other hand, we verified strong SPR modifications upon the interaction between BiNP and sulfur containing molecules: cysteine, glutathione, and cysteamine. Therefore, BiNP could act as plasmonic sensors for those compounds.

Raman scattering spectra of all samples were obtained with a confocal Raman Alpha300R microscope (WiTec). In these experiments, glass substrates were used to deposit BiNP colloidal drops (10µl) combined with suspensions of biological

molecules in water (10 $\mu$ l). Laser radiation of 532 and 633 nm was employed to excite Raman response minutes after samples dried out. Our results indicate strong enhancement of certain Raman peaks which is characteristic of SERS [3].

We conclude that BiNP are potential candidates for the development of plasmonic sensors. In particular, SPR could be exploited for biological sensors in the UV-Vis range, and Raman/SERS mediated by BiNP could be an interesting tool for molecular level detection since it allows for fingerprint characterization of biological molecules.

#### References:

- [1] Barcikowski, S. and Compagnini, G. *Phys.Chem. Chem. Phys.* 15 (2013).
- [2] Rosa et al. *Colloids and Surfaces. A, Physicochemical and Engineering Aspects.* 457 (2014).
- [3] Kneipp, K. et al. *Phys. Rev. Lett.* 78 (1997) 1667.

## **Bismuth nanoparticles for Plasmonics (Nano Ontario 2016)**

A. G. Bezerra-Jr<sup>1</sup>, T. N. Machado<sup>1</sup>, P. Cavassin<sup>2</sup>, T. D. Woiski<sup>3</sup>, J. A. Lenz<sup>1</sup>, W. H. Schreiner<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>3</sup> Instituto Pelé Pequeno Príncipe, Curitiba, PR, Brazil.

We report on two distinct sets of experiments in which bismuth nanoparticles (BiNP) give rise to plasmonic effects. First, we demonstrate surface plasmon resonance (SPR) modifications upon the interaction of BiNP with molecules of biological interest, e.g., amino acids, glutathione, and cysteamine. Secondly, we demonstrate surface-enhanced Raman scattering (SERS) of amino acids in the presence of BiNP. BiNP were synthesized in pure water through laser ablation synthesis in liquid solution (LASiS). The main advantage of LASiS is its independence from chemical precursors, avoiding the use of toxic substances or by-products. In our set-up, Bi pellets immersed in water were irradiated with a Nd:YAG laser, leading to spherical (60nm) nanoparticles. The colloidal dispersions present a distinct plasmon peak at 220nm. BiNP SPR behavior investigated by UV-Vis spectroscopy is not significantly modified by most molecules studied. However, we verified strong SPR modifications upon interaction between BiNP and sulfur containing molecules: cysteine, glutathione, and cysteamine. In our Raman scattering experiments, glass substrates were used to deposit BiNP colloidal drops combined with suspensions of several amino acids. Laser radiation of 532 and 633 nm was employed to excite Raman response minutes after samples dried out. Our results indicate strong enhancement of Raman peaks which is characteristic of SERS.

We conclude that BiNP are potential candidates for the development of plasmonic sensors, and BiNP-SERS could play a role in molecular level detection for it allows fingerprint characterization of biological molecules.

## **Na vanguarda da onda da nanotecnologia: caracterização e citotoxicidade de nanopartículas de bismuto e seus efeitos sobre células de mamífero.**

**(Simpósio Araucária em Biologia celular e molecular)**

Thamile Luciane Reus<sup>1,3</sup>, Thiago Neves Machado<sup>2</sup>, Ariane Caroline Campos Paschoal<sup>1</sup>,  
Ana Paula Ressetti Abud<sup>1,3</sup>, Crisciele Kuligovski<sup>1,4</sup>, Arandi Ginane Bezerra Jr<sup>2</sup>,  
Alessandra Melo de Aguiar<sup>1,3</sup>, Bruno Dallagiovanna<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Carlos Chagas – Fiocruz Paraná

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná

<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná

<sup>4</sup>Instituto de Biologia Molecular do Paraná

**Introdução:** As nanopartículas (NPs) tem grande potencial de aplicação tecnológica. Dentre elas, destacam-se as NPs de bismuto (BiNPs). Estas NPs são bastante interessantes pelo fato de apresentarem propriedades bactericidas e fungicidas, além de representarem uma promessa no campo da imagenologia. Em relação a sua toxicidade, muito pouco se tem descrito na literatura sendo que até o momento ainda não há um consenso quanto ao efeito destas NPs sobre sistemas biológicos. Uma melhor compreensão acerca da toxicidade destas NPs pode ajudar a evitar ou prever efeitos adversos, bem como auxiliar em sua construção posto que em muitos casos, modificações na superfície das NPs podem torná-las menos tóxicas, permitindo seu emprego em aplicações biomédicas. A fim de entender as interações destas NPs com os sistemas biológicos, ensaios in vitro com uso de células de mamíferos consistem em um método de screening mais aplicável. A linhagem celular BALB/c 3T3 clone A31, derivada de embrião de camundongo, é recomendada pelas agências regulatórias internacionais para predição de toxicidade; representando um bom modelo para avaliar o efeito da interação de NPs com sistemas biológicos e por fim, possibilitando extrapolar a partir de quais doses estas NPs se tornam tóxicas, bem como o mecanismo de ação das mesmas. Metodologia: NPs de bismuto foram sintetizadas por meio de síntese física através de ablação por raio laser. Estas NPs foram caracterizadas quanto ao seu tamanho (Espalhamento de Luz Dinâmico - DLS), morfologia (Microscopia Eletrônica de Transmissão - MET), potencial zeta (analisador de partículas) e sua concentração foi calculada através de espectrofotometria. As mesmas foram estabilizadas através de formação de corona

NP-proteína por meio da adição de: 1) proteínas de meio de cultivo e 2) albumina de soro bovino 0,05%. Todas as caracterizações foram realizadas nas condições: 1) BiNPs puras (BINPágua); 2) BiNPs com corona do meio (BiNPmeio); 3) BiNPs com corona de albumina (BiNPBSA). Para avaliação da citotoxicidade foi utilizada a metodologia de captação de vermelho neutro, permitindo calcular os valores de IC20, IC50 e IC80. **Resultados e discussão:** As BiNPs possuem um tamanho médio de 47 nm (BINPágua), 52 nm (BiNPmeio) e 49 nm (BiNPBSA) e estão em uma concentração de 0,7 mg/ml. Por MET, possuem formato arredondado com presença de partículas aciculares (BINPságua), ou “nuvens” de proteína ao redor das mesmas (BiNPmeio meio e BiNPBSA). Em relação ao potencial zeta, os valores variam de 39,1 mV (BINPságua) até -20,2 mV (BiNPmeio) e -23,8 mV (BiNPBSA). Os ensaios de citotoxicidade foram realizados com BiNPs estabilizadas com ambas coronas de meio e BSA. Em relação a citotoxicidade, os valores de IC20, IC50 e IC80 foram  $78,32 \pm 18,90$ ,  $28,51 \pm 9,96$  e  $9,18 \pm 6,51$  para BiNPmeio e  $71,82 \pm 16,67$ ,  $25,54 \pm 8,37$  e  $8,60 \pm 3,35$  para BiNPBSA. **Conclusão:** As BiNPs são NPs que necessitam da formação de corona proteica a fim de evitar sua oxidação. Esta corona, além de manter a estabilidade das NPs e seu tamanho médio também modifica sua carga. Os ensaios de citotoxicidade não indicaram diferenças significativas entre as BiNPs estabilizadas com meio ou BSA. Os mecanismos de interação e morte celular estão sendo investigados no momento e podem contribuir de forma a elucidar os efeitos de BiNPs sobre sistemas biológicos.

**Are bismuth nanoparticles safe to us? Characterization and cytotoxicity of bismuth nanoparticles and their effects on mammalian cells**

**(XX Congresso Brasileiro de toxicologia)**

REUS, TL<sup>1,3</sup>, MACHADO, TN<sup>2</sup>, PASCHOAL, ACC<sup>1</sup>, ABUD, APR<sup>1,3</sup>, KULIGOVSKI, C<sup>1,4</sup>,  
BEZERRA-JR, AG<sup>2</sup>, AGUIAR, AM<sup>1,3</sup>, DALLAGIOVANNA, B<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Carlos Chagas – Fiocruz Paraná

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná 4 Instituto de Biologia Molecular do Paraná.

**Introduction:** Nanoparticles (NPs) have a great potential for technological and medical purposes. Among all types of NPs, bismuth NPs (BiNPs) are very promising ones. BiNPs have bactericidal and fungicidal properties, and they have also been evaluated for their application in imaging procedures. However, so far, too little is known about their toxicity. Thus, a better comprehension about BiNPs toxicity and also their effects on biological systems is required before they are used for biomedical purposes. **Objective:** Therefore, the main objective of this work is to establish the toxic doses of BiNPs and also to understand how cells interact with BiNPs. **Material and methods:** BiNPs were synthesized by laser ablation, stabilized with proteins from medium (BiNPmedium) and bovine serum albumin (BiNPBSA) and characterized by Dynamic Light Scattering, Transmission Electron Microscopy (TEM) and Zeta potential analyzer. In order to assess the toxicity, BALB/c 3T3 cells were used. Cell viability was evaluated by neutral red uptake and IC<sub>20</sub>, IC<sub>50</sub> and IC<sub>80</sub> values were obtained. Cell death was evaluated by TUNEL assay. Interaction between cells-BiNPs was assessed by TEM. **Results:** BiNPs have an average size of 52 nm (BiNPmedium) and 49 nm (BiNPBSA). They are also heterogeneous in size and rounded shaped. Their charge is -20,2 mV (BiNPmedium) and -23,8 mV (BiNPBSA). For BiNPmedium, IC<sub>20</sub>, IC<sub>50</sub> e IC<sub>80</sub> values were respectively: 78,32±18,90, 28,51±9,96 and 9,18±6,51 and for BiNPBSA, they were: 71,82±16,67, 25,54±8,37 e 8,60±3,35. Cell death occurred through apoptosis (TUNEL) and once BiNPs were internalized, they led to cell damage and cell death (TEM).

## **Surface-enhanced Raman scattering (SERS) using bismuth nanoparticles (Encontro de Outono da SBF 2018)**

T. N. Machado, J. A. Lenz, A. G. Bezerra-Jr  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

T. D. Woiski  
Instituto Pelé Pequeno Príncipe, Curitiba, PR, Brazil.

P. Cavassin, W. H. Schreiner  
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

We present results on bismuth nanoparticles (BiNP) as active surface-enhanced Raman scattering (SERS) substrates, and our experiments point out bismuth as an interesting material for biological molecule detection through SERS, a task that is usually pursued by means of silver and gold nanostructures. We focused on molecules with biological interest, therefore, BiNP SERS response was tested for several amino acids (cysteine, glycine, valine, tyrosine, methionine, serine and proline). BiNP were synthesized through laser ablation synthesis in solution (LASiS) with average particle size around 45 nm and localized surface plasmon resonances (LSPR) near 250 nm. Besides Raman measurements, all samples were also characterized by UV/vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS) and TEM. In the presence of BiNP, our results indicate strong enhancement of certain Raman peaks and the suppression of others, which is characteristic of SERS, for all tested molecules. The proposed methodology consists in mixing micro-liter drops of both nanoparticles and biological molecule aqueous solutions that are measured through a Raman spectrometer while water dries out. It leads to a rapid and sensitive procedure that could be useful, for instance, in label-free detection. This methodology could be far simpler than most procedures using gold and silver nanostructured substrates. The SERS sensitivity obtained with BiNP shows high enhancement factors which are comparable to those obtained with noble metal nanoparticles, and proves sufficient to detect molecules at the physiological level. The search for non-toxic and biocompatible nanoparticles for diagnostics is a prominent issue and, in this respect, the demonstration that a semimetal is capable to act as a SERS active system opens up new possibilities for molecular detection with promising application perspectives in forensics and the life sciences.



References:

- [1] Rosa et al. Colloids and Surfaces. A, Physicochemical and Engineering Aspects. 457:368 (2014).
- [2] Bezerra Jr. et al. Journal of Nanoparticle Research. 19: 362 (2017).

## **Terfenol-D nanoparticle synthesis through laser ablation (Encontro de Outono da SBF 2018)**

R. B. Nadas, T. N. Machado, J. A. Lenz, A. G. Bezerra-Jr, R. C. Kamikawachi  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

The design and synthesis of nanoscale materials with controlled properties is an important and ongoing challenge within nanoscience and nanotechnology [1]. In particular, metal nanoparticles (NPs) constitute promising materials in fields such as sensing, imaging, and therapeutics as well as for multiple significant applications in electronics, optoelectronics, and biomedicine, among others. The synthesis of NPs is usually done by chemical reduction methods that have to be specifically designed for each type of nanoparticle material. These chemical routes unavoidably lead to unreacted precursors and additives that tend to remain in the final colloidal product, therefore, requiring huge efforts for an efficient purification. In fact, the implementation of green chemistry in the production of NPs is a major challenge in modern nanosynthesis [2]. Laser ablation in liquid (LASiS) has emerged in the last decade as a valuable alternative approach for nanoparticle generation [3]. LASiS constitutes a potential green synthesis technique for it allows the production of nanoparticle colloids directly from nearly all classes of materials in pure solvents. In this work, we present results on laser ablation of Terfenol-D, an important material due to its magnetostrictive properties. Our LASiS approach employs the fundamental harmonic of a Q-switched Nd:YAG laser (200ns) operating at kHz frequencies. A solid Terfenol-D target immersed in different solvents such as water and ethanol was focused with a 5 cm lens for 5 to 10 minutes with energies around 1mJ. The resulting colloidal samples were characterized by multiple techniques: dynamic light scattering (DLS), transmission electron microscopy (TEM), UV-VIS spectroscopy, and selected area electron diffraction (SAED). Our results indicate that Terfenol-D nanoparticles present crystalline structure, are spherical in shape, and can be synthesized in diameters varying from nearly 5 nm up to tens of nm. Production rates were measured at 1 to 5 mg/ml. These nanoparticles are stable even in the absence of stabilizing agents, and can be used to produce thin films. These films are being

investigated for the presence of oxides, and as a coating material for optical fibers, aiming at the development of magnetic field sensors based on fiber Bragg grating.

#### References

- [1] P. Prasad, Nanophotonics, Wiley-Interscience, NJ (2004);
- [2] J. A. Dahl; B.L.S. Maddux; J. E. Hutchison, Chem. Rev., 107 (2007) 2228-2269;
- [3] V. Amendola and M. Meneghetti, Phys. Chem. Chem. Phys., 11 (2009) 3805-3821.