



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ROGÉRIO AGUIAR SOARES

LANÇAMENTO OBLIQUO E A INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO NO ALCANCE
MÁXIMO – ESTUDO ATRAVÉS DE DISPAROS DE ARMA DE FOGO.

PICOS - PI

2022

ROGÉRIO AGUIAR SOARES

LANÇAMENTO OBLIQUO E A INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO NO ALCANCE
MÁXIMO – ESTUDO ATRAVÉS DE DISPAROS DE ARMA DE FOGO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - Campus Picos.

Orientador: Prof. Dr Haroldo Reis Alves de Macêdo

PICOS - PI

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
COORDENAÇÃO DE BIBLIOTECA
SERVIÇO DE PROCESSOS TÉCNICOS

S676l Soares, Rogério Aguiar

Lançamento oblíquo e a influência da rotação no alcance máximo – estudo através de disparos de arma de fogo / Rogério Aguiar Soares. — 2022.

40 f.: il.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Picos, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo.

1. Física - Mecânica. 2. Física – estudo e ensino. 3. Aprendizagem significativa. I. Título.

CDD: 531.3



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí Campus Picos**

Coordenação do Curso de Licenciatura em Física

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “LANÇAMENTO OBLIQUO E A INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO NO
ALCANCE MÁXIMO – ESTUDO ATRAVÉS DE DISPAROS DE ARMA DE
FOGO”**

ALUNO: Rogério Aguiar Soares

DATA: 12 de janeiro de 2022

Monografia defendida junto à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física e aprovada
pela banca examinadora:

Prof. Dr. **Haroldo Reis Alves de Macêdo** -
Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí –
IFPI

Prof. Me. **Jorge Mauricio da Silva Santos** - Avaliador

IFPI

Prof. Me. **Pedro José Feitosa Alves Junior** - Avaliador

IFPI

AGRADECIMENTOS

Através da conclusão desse trabalho sinto que encerro um ciclo da minha vida, ciclo este cheio de aprendizado, amizades, alegria, dificuldades vencidas, horas de estudo, lágrimas, experiência e por fim uma vitória.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo, pela confiança, paciência, ensinamentos e contribuições durante todo o curso que me incentivaram a continuar e se esforçar cada vez mais.

Aos professores da UESPI, em quem cursei os primeiros anos letivos em Licenciatura em Física dos anos de 2014 e 2015 e professores do IFPI, em que finalizei o curso, dos anos de 2016 a 2022, pelos ensinamentos, orientações e auxílio durante toda o período acadêmico.

Agradeço infinitamente a minha esposa Ingrid que mais do que ninguém me incentivou, ajudou, consolou, foi meu porto seguro nos dias difíceis e celebrou comigo as vitórias alcançadas, minha vida você foi, é e sempre será a minha principal inspiração, te amo sempre e pra sempre.

Agradeço a minha Mãe Maria da Conceição e ao meu Pai Marcílio que fizeram de tudo para que eu tivesse uma formação educacional boa, abdicando de muitas coisas para que isso fosse possível, nada que eu faça irá agradecer o cuidado e a criação que vocês me deram.

Agradeço a meus amigos da UESPI Alexandre e Bruno e amigos do IFPI Érica Romão, Emanuel Vitor e Yam Ydo que sempre me ajudaram, incentivaram e somaram esforços para contribuir com meu crescimento profissional e moral, tornando esta conquista possível.

Aos Chefes e colegas de trabalho do 3º Batalhão de Engenharia de Construção, do Exército Brasileiro que por diversas vezes me apoiaram e me permitiram participar das atividades acadêmicas, e foram fonte de inspiração para o tema desse trabalho.

Agradeço a Deus que é meu principal alicerce, fonte de sabedoria e motivação, sem Ele não teria entrado no curso, concluído e nem conhecido pessoas tão especiais para mim, obrigado Senhor por sempre conceder paz, consolo, alegria verdadeira e sustentar a mim e minha família nos momentos mais difíceis da minha vida. Enfim, o meu muito obrigado a todos!

“Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso ou pessoas fracassadas. O que existe são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.”

Augusto Cury

RESUMO

O estudo do movimento relacionado a um lançamento oblíquo de projétil, no Ensino Médio, tem sido prejudicado pela falta de compreensão completa dos assuntos de mecânica, por parte dos alunos, esse fator pode ser vinculado à abordagem de estudo de casos abstratos relacionados a uma gama de “fórmulas” e terminologias, sem contextos concretos, tornando a aprendizagem mecânica e desinteressante. Neste trabalho analisou-se conceitos de balística, através de dois exemplos de estudo de casos de disparo de arma de fogo com características e munições específicas, descrevendo a influência da rotação do projétil no alcance máximo, como um método de aprendizagem significativa, para reforçar os conhecimentos ensinados na disciplina de Física do 1º Ano do ensino médio.

Palavras-chave: lançamento oblíquo; balística; ensino de física; aprendizagem significativa.

ABSTRACT

The study of movement related to an oblique projectile launch, in high school, has been hampered by the students' lack of complete understanding of mechanics issues, this factor can be linked to the approach of studying abstract cases related to a range of “formulas” and terminology, without concrete contexts, making learning mechanical and uninteresting. In this work, ballistics concepts were analyzed, through two case study examples of firearm firing with specific characteristics and ammunition, describing the influence of the projectile rotation at maximum range, as a significant learning method, to reinforce the knowledge taught in the discipline of Physics in the 1st year of high school.

Keywords: oblique release; ballistics; teaching physics; meaningful learning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Vetor posição $\vec{r}$ da origem até o ponto P possui componentes x , y e z	18
Figura 2	Trajectoria parabólica.....	20
Figura 3	Efeito Coriolis aplicado a um atirador.....	22
Figura 4	Aplicação do Efeito Magnus em uma bola de futebol.....	23
Figura 5	Aplicação do Efeito Magnus em um projétil de Arma de Fogo que está girando.....	23
Figura 6	Cano de alma lisa de uma Espingarda Cal 12.....	25
Figura 7	Cano de alma Raiada (com estrias)	26
Figura 8	Jogador de futebol americano arremessando a bola.....	29
Figura 9	Pistola 9 M975 “Beretta”	31
Figura 10	Munição CBC 9 mm <i>LUGER ETOG</i> 124 GR.....	32
Figura 11	Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Apresentação da sequência de aulas sobre conteúdo sugeridos.....	27
Tabela 2	Dados da Pistola 9 M975 “ <i>Beretta</i> ”	31
Tabela 3	Dados da munição CBC 9 mm <i>LUGER ETOG</i> 124 GR.....	31
Tabela 4	Resultados da análise do 1º Exemplo de estudo de caso.....	33
Tabela 5	Dados do Cartucho CBC Calibre 12, câmara 76,2MM e CHUMBO 3T	34
Tabela 6	Resultados da análise do 2º Exemplo de estudo de caso.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	14
2.2	ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NAS PROXIMIDADES DA SUPERFÍCIE TERRESTRE.....	16
2.3	ANÁLISE DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS NO VÁCUO.....	18
2.3.1	Posição, Velocidade e Aceleração.....	18
2.3.2	Lançamento de projétil.....	20
2.4	EFEITOS CAUSADOS PELA ROTAÇÃO DE PROJÉTEIS.....	22
2.5	BALÍSTICA.....	24
2.5.1	Alma do cano e sua influência no alcance máximo.....	25
3	METODOLOGIA.....	26
4	USO DA ANÁLISE TEÓRICA DE DISPARO DE ARMA DE FOGO PARA O ENSINO DE MECÂNICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO.....	27
4.1	AULA 01: IDENTIFICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS E APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA.....	28
4.2	AULA 02: REVISÃO SOBRE LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS.....	28
4.3	AULA 03: A INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO DOS PROJÉTEIS EM UM LANÇAMENTO: EFEITO CORIOLIS E EFEITO MAGNOS.....	28
4.4	AULA 04: BALÍSTICA E SUAS DIVISÕES.....	29
4.5	AULA 05: ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TEÓRICA DO DISPARO NO VÁCUO DA PISTOLA 9 M975 “BERETTA” E DA ESPINGARDA PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 GA.....	30
4.5.1	Primeiro exemplo de estudo de caso: Pistola 9 M975 “BERETTA”	30
4.5.2	Segundo exemplo estudo de caso: Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 GA.....	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais intuitos da Física é estudar o movimento dos objetos: a distância percorrida em um intervalo de tempo, por exemplo, ou a aceleração com que se move devido a influência de uma força. O ramo da física dedicado ao estudo do movimento dos objetos é denominado de Mecânica, ela se divide em dois conteúdos importantes na compreensão e análise do movimento por parte dos alunos, a Cinemática e a Dinâmica e está presente no Ensino Médio como uma disciplina que compõe a grade curricular do 1º ano.

As aplicações da Mecânica Clássica envolvem uma série de casos do cotidiano, assim como também abrangem pesquisas avançadas em laboratórios. Através do entendimento do movimento de objetos, se pode aferir o tempo de uma viagem ou a velocidade ideal para andar em segurança em uma rodovia.

A Cinemática atua na descrição, classificação ou comparação dos movimentos e a Dinâmica determina o movimento produzido em uma dada situação física, ou seja, o estudo das forças, como agente responsável pelo movimento. (NUSSENZVEIG, 2013).

A difusão destes conteúdos no Ensino Médio tem sido prejudicada por diversos fatores, entre eles pode-se citar a incapacidade ou dificuldade dos alunos de compreenderem ou visualizarem os fenômenos discutidos em sala de aula por falta de exemplos que atraiam a atenção e demonstrem a importância do conteúdo ministrado, resultando, às vezes, em um estudo de casos abstratos relacionados às “fórmulas” e terminologias, sem contextos concretos, tornando a aprendizagem mecânica e desinteressante (NAPOLITANO e LARIUCCI, 2001).

O presente trabalho propôs uma estratégia de ensino, com o intuito de ajudar nas dificuldades de aprendizado dos alunos, após constatar em experiência acadêmica no estágio obrigatório na Escola Normal de Picos-PI e utilizando a experiência profissional trabalhando no Exército Brasileiro. Nesse aspecto, realizou-se um estudo de casos na área de balística, que poderá ser usado por professores de física para despertar nos estudantes o interesse pelo ensino desta disciplina, tendo em vista que as aulas tradicionais não atraem o interesse da maioria dos alunos.

A análise de situações presentes no cotidiano dos alunos facilita o entendimento e absorção dos assuntos no ensino de Física. Ao apresentar aplicações dos conteúdos de Mecânica Clássica, como por exemplo o estudo de lançamento de projéteis, pode-se utilizar diversos estudos de casos práticos e presentes no cotidiano dos alunos, com o objetivo de fixar os conteúdos através da aprendizagem significativa. Como por exemplo, práticas desportivas, arremessos de bola de basquete, o chute de uma bola por um jogador de futebol, ou até mesmo, projéteis lançados através de disparos de canhões, catapultas e armas de fogo.

Com o aumento de diversos filmes e séries de cunho investigativo, a perícia criminal se tornou popular na rotina dos jovens estudantes. O interesse por essa área se tornou bastante comum, entre os assuntos que envolvem a perícia criminal a Balística é um dos temas que mais atraem a atenção e curiosidade do público jovem. Através da análise física de um disparo de armas de fogo, com informações e especificações pré-estabelecidas nos manuais dos armamentos, foi extraído conceitos e aplicações que contribuirão para uma aprendizagem significativa.

A abordagem de conteúdos através de análise de situações, traz interesse na aprendizagem e reforçam os conhecimentos aprendidos em sala de aula. David Ausubel, caracteriza a aprendizagem significativa (Moreira, 2011) como uma estratégia utilizada para se adquirir informações novas através da interação com conhecimentos prévios ou conceitos essenciais, já pré-fixados e consolidados na estrutura cognitiva do indivíduo.

Ao contrário do processo da aprendizagem significativa, quando o indivíduo não encontra relação dos novos conteúdos ensinados com conceitos já presentes em seu cotidiano, a aprendizagem torna-se mecânica, resumindo a aprendizagem a (Moreira, 2011).

Amparado na teoria de aprendizagem significativa, o objetivo deste trabalho foi usar conceitos de balística na análise de situações hipotéticas de disparos de arma de fogo, com informações retiradas da literatura, para se estudar o lançamento oblíquo de projéteis e a influência do movimento de rotação do projétil, iniciada dentro do cano da arma, no alcance máximo, como uma alternativa de incentivo a uma aprendizagem significativa.

De acordo com investigação realizada em publicações de estudos online, acervos de universidades, já foram realizadas outras pesquisas sobre balística,

porém as propostas encontradas são diferentes desta apresentada neste trabalho. Em muitas delas o objetivo era o estudo apenas de análise da balística e os conceitos físicos envolvidos, outras utilizadas apenas para trabalhos de perícia criminal e construção de experimento, mas não relacionavam o estudo de lançamento de projéteis (como disparo de armas de fogo) e a influência da rotação do projétil para se obter um alcance maior do que o convencional.

A análise de disparo das armas de fogo, é uma proposta para desenvolver exemplos a serem utilizados em aulas de física em qualquer realidade escolar, auxiliando professores em sua docência, a fim de colaborar com esta aprendizagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a análise do lançamento oblíquo de projéteis e a influência da rotação no alcance máximo através da análise de um disparo de arma de fogo, abordou-se conceitos de lançamento de projéteis, efeitos da rotação do projétil e balística, uma vez que estes assuntos se interligam para se alcançar o objetivo deste trabalho.

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Há diversas teorias de aprendizagem em termos de ensino, das quais pode-se citar: teorias comportamentalistas, cognitivas e construtivistas. As teorias comportamentalistas apresentam uma aprendizagem em que o aluno é um ser que responde a incentivos do professor, ou seja, o estudante aprende os conceitos de maneira mecânica e isolada, sem ver uma ligação entre eles (MOREIRA, 2011).

A teorias cognitivistas e construtivistas enfatizam que as metodologias de ensino e de aprendizagem devem ter o aluno como centro, em que o professor estabelece relações de significado com os conhecimentos adquiridos de acordo com a realidade em que o educando se encontra, dentre estas teorias, enfatiza-se a aprendizagem significativa (SOUZA, 2020).

Aprendizagem significativa se trata de ideias expressas, que interagem com o aluno, de maneira substantiva ou não literal, ou seja, a interação não se faz por qualquer ideia ensinada anteriormente, mas sim, com conhecimentos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do estudante (MOREIRA, 2011).

A teoria da aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, pressupõe que as novas informações e conceitos podem ser trabalhados de acordo com os conhecimentos pré-existentes, já fixados na estrutura cognitiva dos alunos.

Segundo os estudos de Moreira (2011) sobre a teoria de Ausubel, subsunção é denominado como um conhecimento específico, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem só faz sentido para o aluno se ele conseguir relacionar o conhecimento existente (subsunções) com o que está sendo apresentado a ele (novos conhecimentos).

Os conteúdos trabalhados nas aulas tradicionais, na sua maioria, costumam ter pouca contextualização com a realidade, utiliza-se listas de exercícios repetitivos e diversas equações matemáticas, que não atraem a atenção e o interesse dos educandos, trazendo uma metodologia contrária à da aprendizagem significativa.

Para Vieira (2014),

É consensual no campo da educação que métodos tradicionais de ensino apresentam baixa eficiência no que se refere à aprendizagem dos estudantes. Tais métodos são predominantemente baseados em aulas expositivas monológicas, com conteúdo expressos tais e quais nos livros didáticos, sendo as interações entre professor e estudantes, e destes entre si, pouco exploradas no processo de ensino-aprendizagem (VIEIRA, 2014, p.13).

Utilizando-se de exemplos e aplicações que desenvolvem contextualização com os conhecimentos pré-existentes, o professor aumentará a eficiência das aulas ministradas, trazendo significado e demonstrando a importância dos conteúdos apresentados, enfatiza Moreira (2010),

é preciso dar opções aos estudantes trabalhar os conteúdos através de situações que façam sentido para eles, que sejam relevantes. São sempre eles que decidem se querem aprender algum conhecimento de modo significativo (MOREIRA, 2010, pg. 5).

Existe a necessidade de adaptação do professor as aulas de acordo com os subsunções, analisando os conhecimentos adquiridos e em quais etapas esses foram falhos, tendo em vista a melhoria do aprendizado (LEIRIA; MATARUCO, 2015).

2.2 ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NAS PROXIMIDADES DA SUPERFÍCIE TERRESTRE

Para realizar o estudo de lançamento de projéteis, deve-se inicialmente abordar os conceitos de queda livre, estando este assunto relacionado com a força que atua sobre todos os corpos nas proximidades da superfície terrestre: força gravitacional.

Entende-se por queda livre o movimento na vertical de qualquer objeto que se move nas proximidades da superfície da Terra, que sofre a influência da sua força peso, que é o produto da massa do corpo e a força gravitacional exercida pela Terra (GEF – UFSM, 2010).

Um projétil lançado com a velocidade inicial v_0 , nas imediações da Terra sofre influência da força gravitacional e do ar, ele desacelera quando sobe por causa da gravidade e acelera na queda, atingindo por fim o solo. Durante o lançamento a velocidade final é inferior a velocidade inicial, tendo em vista a perda de energia causada pela resistência do ar (ALMEIDA JÚNIOR, 2017).

Quando se lança um projétil nas imediações da superfície da Terra, ele sofre uma aceleração causada pela Força da Gravidade (equação 1) que atua para baixo, na vertical, com intensidade mg , isto é:

$$F_g = mg \quad (1)$$

Sendo m a massa do projétil e g o módulo da aceleração da gravidade, que pode ser considerada constante em qualquer ponto da trajetória próximo à superfície da Terra. O valor de g foi determinado experimentalmente, pela primeira vez, pelo inglês Henry Cavendish, em 1798 que a definiu com uma diferença menor que 1% do valor aceito atualmente (NUSSENZVEIG, 2013).

Os valores da aceleração da gravidade variam conforme a altitude muda, um exemplo é o cume do Monte Everest, com 8,8 quilômetros de altitude acima da superfície da Terra, possui $9,83 \text{ m/s}^2$ de aceleração, enquanto em cidade ao nível do mar e a 45° de latitude, vale aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$.

Conforme a Lei da Gravitação Universal, descrita por Isaac Newton, o módulo da força gravitacional (F_g) que a Terra exerce sobre um projétil movendo-se nas

proximidades de sua superfície é diretamente proporcional a massa do projétil, dado pela equação (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2008):

$$F_g = G \frac{Mm}{R^2} \quad (2)$$

Sendo G a constante gravitacional, M a massa da Terra, m a massa do projétil e R é o raio da Terra.

Pode-se obter a aceleração da gravidade através da manipulação algébrica, substituindo a equação (1) na equação (2) e simplificando, obtêm-se a equação (3):

$$g = \frac{F_g}{m} = \left(G \frac{Mm}{R^2} \right) \left(\frac{1}{m} \right) = G \frac{M}{R^2} \approx 9,83 \, m/s^2 \quad (3)$$

Utilizando: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \, N \cdot m^2/kg^2$; $M = 5,98 \cdot 10^{24} \, kg$; e $R = 6,37 \cdot 10^6 \, m$

Fazendo uma relação da altitude (h) com a gravidade, desconsiderando a massa do projétil, tem-se a equação (4):

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2} \quad (4)$$

Logo, experimentalmente, verifica-se que quanto maior a altitude, menor é a aceleração da gravidade, ou seja, um objeto nos polos da terra sentira com maior intensidade a força gravitacional. Usualmente, utiliza-se a média do módulo da aceleração da gravidade terrestre $9,8 \, m/s^2$, presente em diversas literaturas de ensino médio a fim de facilitar o cálculo matemático.

Ao se analisar a trajetória de um projétil na atmosfera terrestre, verifica-se que a parábola é diferente da trajetória no vácuo, tendo em vista a resistência do ar. Conforme a teoria descrita por Isaac Newton, as moléculas de ar, ao serem colididas pelo projétil, realizam um movimento na direção perpendicular ao movimento da superfície do projétil, com velocidade igual à componente da velocidade do projétil na mesma direção (ALMEIDA JÚNIOR, 2017).

Para a análise deste movimento a resistência do ar, a curvatura e rotação da Terra foram desprezados.

2.3 ANÁLISE DO MOVIMENTO DE PROJÉTEIS NO VÁCUO

2.3.1 Posição, Velocidade e Aceleração

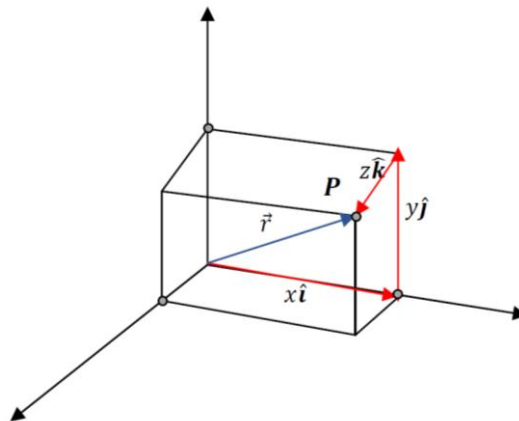
Ao se analisar o movimento de um projétil disparado por uma arma de fogo, há diversas perguntas que podem ser feitas, por exemplo: Qual o alcance máximo do projétil? Qual sua velocidade inicial? Por quanto tempo o projétil permanece no ar? Qual a forma geométrica de sua trajetória?

Primeiramente, quando um projétil é lançado, deve-se descrever a posição, o seu deslocamento no espaço e a velocidade com que se deslocam em um intervalo de tempo. A posição, deslocamento e a velocidade são grandezas vetoriais e, portanto, possuem módulo, direção e sentido.

Sendo o ponto P a posição do objeto, o vetor $\vec{r}$ é o vetor que vai da origem das coordenadas até o ponto P . As coordenadas x , y e z do ponto P são componentes x , y e z do vetor $\vec{r}$, conforme figura 1 (YANG e FREEDMAN, 2003).

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \quad (5)$$

Figura 1: Vetor posição $\vec{r}$ da origem até o ponto P possui componentes x , y e z .



Fonte: YOUNG E FREEDMAN, (2003). Adaptada pelo autor.

Quando ocorre uma mudança de posição do projétil em sua trajetória, S_0 para S_f , ele sofre um deslocamento no espaço $\Delta S = S_f - S_0$. O deslocamento em um espaço unidimensional é dado pela equação (6):

$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 \quad (6)$$

As constantes s_0 , v_0 e a_0 , respectivamente espaço, velocidade e aceleração iniciais, são mensuradas no instante de tempo $t_0 = 0$.

A velocidade média (v_m) é a razão entre o deslocamento (Δs) e o intervalo de tempo (Δt) durante o qual esse deslocamento ocorre, matematicamente representado pela equação (7):

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(s_f - s_0)}{(t_f - t_0)} \quad (7)$$

Define-se como velocidade instantânea (equação 8), o limite da velocidade média quando o intervalo de tempo Δt tende a zero, sendo igual à taxa de variação do vetor posição com o tempo.

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (8)$$

Segundo Yang e Freedman (2003) considera-se a aceleração de uma partícula que se move no espaço em um movimento retilíneo, a variação da velocidade. A aceleração média é definida como a razão entre a variação do vetor velocidade instantânea Δv e o intervalo de tempo Δt dado pela equação (9):

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(v_f - v_0)}{(t_f - t_0)} \quad (9)$$

A aceleração média é uma grandeza vetorial que possui mesma direção e sentido do vetor $\Delta \vec{v}$.

Ao se falar em aceleração instantânea, esta é definida como a derivada do vetor velocidade em relação ao tempo, equação (10) (TIPLER, 1985):

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (10)$$

Em um lançamento de projéteis, a aceleração do projétil é sempre diferente de zero, mesmo quando sua velocidade escalar for constante. Essa definição se dá quando houver qualquer variação no vetor velocidade, incluindo apenas variação da

direção deste vetor, sem variação da velocidade escalar, ou variação simultânea da direção e da velocidade escalar (YOUNG e FREEDMAN, 2003).

2.3.2 Lançamento de projétil

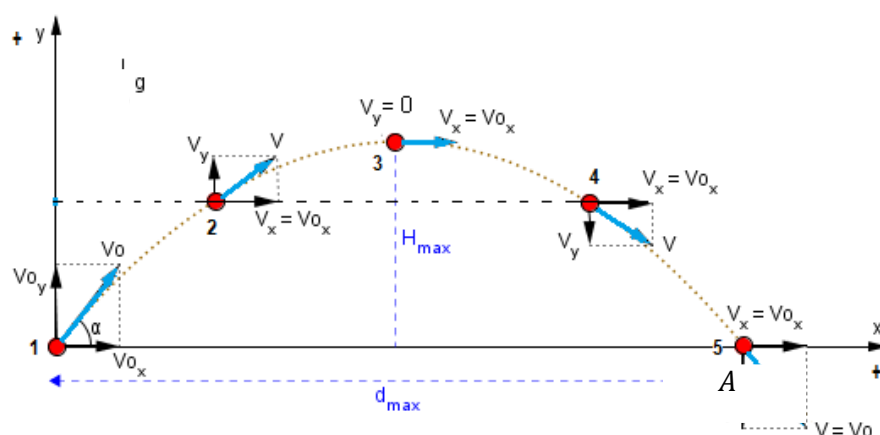
O lançamento oblíquo de um projétil sem a resistência do ar é um tema bastante estudado, será realizado uma pequena abordagem sobre este tipo de lançamento, para se comparar com o caso no qual considera-se esta resistência.

Segundo SEARS, YOUNG e ZEMANSKY (2008):

Um projétil é qualquer corpo lançado com uma velocidade inicial e que segue uma trajetória determinada exclusivamente pela aceleração da gravidade e pela resistência do ar. Uma bola de beisebol batida, uma bola de futebol chutada, um pacote largado de um avião e uma bala atirada por uma arma de fogo são exemplos de projéteis. A curva descrita pelo projétil é a sua trajetória (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 2008, p. 77).

Para a análise deste movimento serão desprezados os efeitos causados pela resistência do ar, a curvatura e a rotação da terra. Ao observar um projétil que está se movimentando em duas dimensões, considera-se que o deslocamento que está sendo realizado na horizontal, não influencia sobre o movimento na vertical. Logo se estuda o lançamento horizontal e o lançamento vertical como uma combinação de movimentos, decompondo as componentes ao longo de dois eixos, no plano de coordenadas x e y (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 2008).

Figura 2: Trajetória parabólica



Fonte: <https://vamosestudarfisica.com/lancamento-o-que-e-lancamento-obliquo/>

Tomando como exemplo um projétil de massa m , lançado a parti do solo, com uma velocidade inicial v_0 , tem-se que a aceleração na componente x (a_x) é igual a

zero e a aceleração na componente y (α_y) é igual a $-g$ (constante gravitacional) conforme a equação (11).

$$\alpha_x = 0 \qquad \alpha_y = -g \qquad (11)$$

Analizando cada eixo separadamente, pode-se deduzir as equações de movimento expressando o comportamento da posição do corpo na horizontal (eixo x) e na vertical (eixo y) com o passar do tempo (considerando a origem do sistema ortogonal xy coincidindo com o ponto de lançamento) (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 2008). O movimento na direção do eixo x, no lançamento oblíquo, é uniforme, pois a velocidade é constante. Portanto, conclui-se que a função horária do movimento horizontal, onde a velocidade na componente x $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta$, é:

$$x = v_{0x}t \qquad (12)$$

A distância horizontal percorrida pelo projétil desde o instante de lançamento até voltar à sua altura inicial é chamada de alcance (Halliday, Resnick, Walker, 2008). Logo o alcance, representado pela letra A , está em função da velocidade inicial V_0 , ângulo θ e aceleração da gravidade g e é determinado pela equação (13):

$$A = \frac{V_0^2 \sen 2\theta}{g} \qquad (13)$$

A componente vertical da velocidade é nula no momento do lançamento e está sobre a ação da gravidade, considerando o movimento nas proximidades da terra, essa velocidade v_y diminui à medida que a altura em relação ao solo aumenta. Portanto, a função horária do espaço é dada por (onde $v_{0y} = v_0 \sen \theta$):

$$y = (v_0 \sen \theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad (14)$$

Pode-se usar também as expressões (15) e (16):

$$v_y = v_0 \sen \theta - gt \quad (15)$$

$$v_y^2 = (v_0 \sen \theta)^2 - 2gy \quad (16)$$

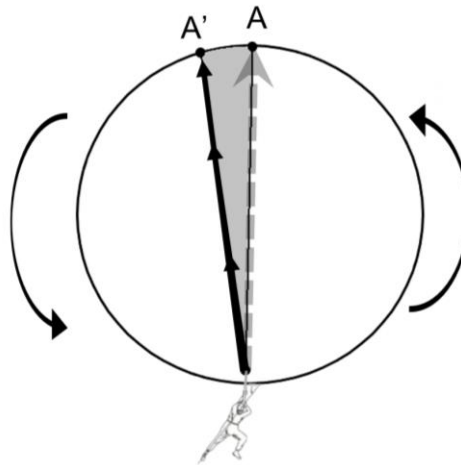
Através das equações mencionadas determina-se a equação da trajetória percorrida pelo projétil (equação 17), (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2008):

$$y = (\tan \theta)x - \frac{gx^2}{2(v_0 \cos \theta)^2} \quad (17)$$

2.4 EFEITOS CAUSADOS PELA ROTAÇÃO DE PROJÉTEIS

A trajetória de um projétil ao ser lançado em direção a um alvo fixo A, nas proximidades da superfície da terra, sofre influência do Efeito Coriolis, que é causado pela rotação da Terra e é basicamente a tendência que um projétil em movimento tem de mudar seu curso por estar em um referencial rotativo (NUSSENZVEIG, 2013).

Figura 3: Efeito Coriolis aplicado a um atirador

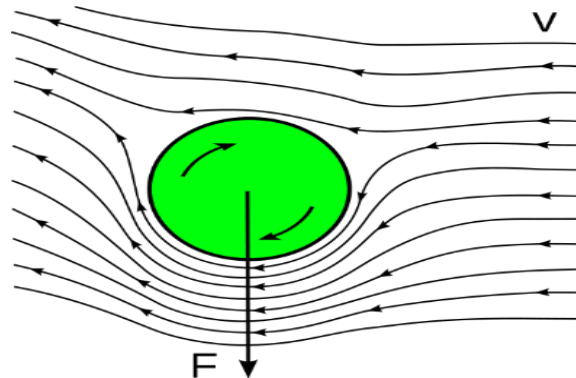


Fonte: https://stringfixer.com/pt/Coriolis_force. Adaptado pelo autor.

Para correção do desvio causado pelo Efeito Coriolis, em um disparo de arma de fogo, usa-se o Efeito Magnus que ocorre quando a trajetória de um projétil, imerso em um fluido (Líquidos ou gases), muda devido a rotação do corpo. Essa trajetória é dada pela superposição entre os movimentos de rotação e translação do Projétil (LOURENÇO, 2019)

Para deixar mais claro o conceito deste efeito, quando uma bola de futebol gira em torno de seu centro, uma força de sustentação (Força Magnus), perpendicular a velocidade, passa a agir sobre ela, causando as famosas “curvas”. Isso ocorre porque o ar que passa em volta da bola possui diferentes pressões, portanto a região de menor pressão é a região de maior velocidade.

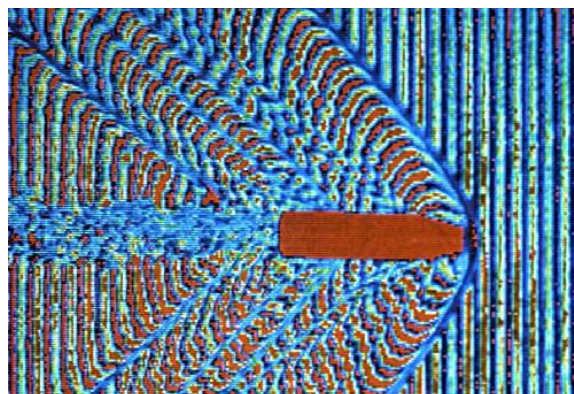
Figura 4: Aplicação do Efeito Magnus em uma bola de futebol



Fonte: <https://fisicadescontraida.blogspot.com/2018/06/uma-aplicacao-do-efeito-magnus.html>

A ação giratória de um projétil, em uma trajetória pelo ar em direção ao alvo, resulta em uma maior precisão, suportando qualquer força que tente alterar a posição do eixo sobre o qual está a girar, mantendo o projétil em curso. Se não houvesse o giro, este rodaria durante o voo, impossibilitando a previsão de sua trajetória (LOURENÇO, 2019).

Figura 5: Aplicação do Efeito Magnus em um projétil de Arma de Fogo que está girando



Fonte: <http://www.apaginadomonteiro.net/balistica.htm>

2.5 BALÍSTICA

A Balística, segundo Almeida Júnior (2017), é a ciência que estuda o movimento dos projéteis e os fenômenos relacionados, destacando o lançamento de projéteis através de disparos de armas de fogo. Para Almeida Júnior, esta ciência pode ser dividida em três áreas:

a) **Balística Interna** que estuda os fenômenos físicos e químicos e os elementos que caracterizam o movimento do projétil desde a iniciação da carga de lançamento até a saída do cano da arma; b) **Balística Externa** que estuda a trajetória do projétil fora do cano da arma até o alvo; e c) **Balística Terminal** que estuda os efeitos sobre o projétil e sobre o alvo após o impacto (ALMEIDA JÚNIOR, 2017, p. 12 grifo nosso).

A Balística Interna se dedica a examinar os fenômenos físicos/químicos que ocorrem dentro do cano da arma e influenciam na distância máxima em que a arma lança o projétil, a Balística Externa é a parte da Mecânica que estuda o movimento dos projéteis fora do cano da arma em toda a sua trajetória até o alvo e a Balística Terminal observa a interação do projétil quando ele atinge e penetra o alvo.

Segundo Almeida Júnior (2017), projéteis balísticos são corpos pesados que se deslocam livres no espaço em virtude de um impulso inicial recebido, tal força de propulsão se interrompem logo que é lançado na atmosfera, ao contrário dos projetos balísticos, os não balísticos a força de propulsão continua agindo através de foguetes instalados no seu corpo.

Para se entender de uma melhor forma a Balística, pode-se definir arma de fogo como um aparato mecânico com a função de arremessar a uma determinada distância, com grande velocidade, projéteis, empregando a força de expansão dos gases liberados pela combustão de um propelente (carga de lançamento) (Decreto nº 10.030/2019, 2019).

Segundo Almeida Júnior (2017),

Arma de fogo é aquele engenho mecânico que cumpre a função de lançar à distância com grande velocidade corpos pesados chamados projéteis, utilizando a energia explosiva da pólvora (carga de lançamento ou projeção) (Almeida Júnior, 2017, p. 11).

As armas de fogo são classificadas em diversos aspectos que descrevem a sua qualidade balísticas, como por exemplo o sistema de carregamento, o sistema de funcionamento, a mobilidade e uso, o sistema de inflamação e a Alma do cano.

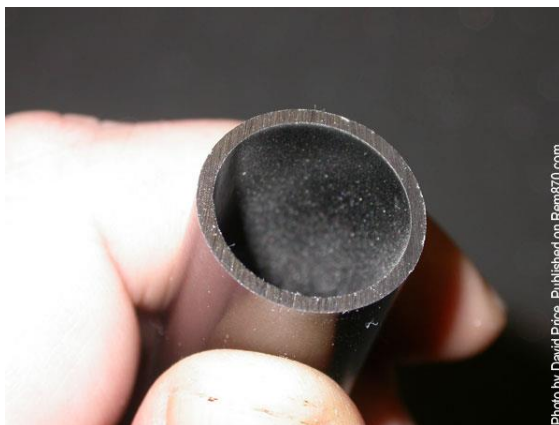
2.5.1 Alma do cano e sua influência no alcance máximo

A alma do cano é definida como a superfície interna de um cilindro de aço perfurado longitudinalmente por brocas especiais, destinado a resistir a pressões dos gases produzidos pela combustão do propelente e a orientar o projétil. Pode ser classificada em alma lisa ou alma raiada.

O cano de alma lisa é aquele em que seu interior possui superfície totalmente polida, ou seja, sua estrutura não contém raiamento interno, porque não necessita de estabilização dos projéteis. A versatilidade desse tipo cano é muito grande, entretanto, pela ausência de raias e pelo tipo de munição utilizada a trajetória de um projétil disparado por uma arma de alma lisa faz uma parábola mais acentuada, por sofrer muito mais a ação da resistência do ar, pois não há nenhum fator aerodinâmico (CARLUCCI, 2007).

Existem diversos exemplos de armas com o cano de alma lisa, pode-se citar o tipo de armamento mais comum que é a espingarda calibre 12, com o objetivo de acertar alvos a curta distância, conforme a figura 6.

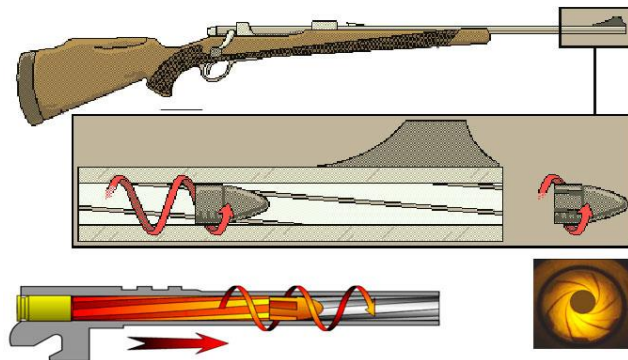
Figura 6: Cano de alma lisa de uma Espingarda Cal 12.



Fonte: <https://defesa.org/dwp/canos-raiados-e-canos-de-alma-lisa/>

O cano de alma raiada (com estrias) possui sucos ou escavações paralelas e helicoidais, conforme a Figura 7 com a finalidade principal de imprimir ao projétil um movimento de rotação ao redor do seu próprio eixo centro-longitudinal levando a uma trajetória estável até o alvo. Os sentidos das raias podem ser para a direita ou para a esquerda.

Figura 7: Cano de alma Raiada (com estrias)



Fonte: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/arma-de-fogo-o-que-e-definicoes/>

3 METODOLOGIA

Segundo Moreira (2016), o ensino de Física na Educação Básica precisa passar por mudanças significativas, pois se encontra desatualizado em termos de conteúdos e metodologias. Quando falamos em metodologia de ensino, estas na maioria das vezes, aulas tradicionais expositivas com listas de resolução de exercícios, com aprendizagem mecânica, onde não é incorporado métodos de ensino inovadores e significativos.

O presente trabalho é uma pesquisa bibliográfica, da modalidade teórica. Foram realizadas consultas literárias relativas ao assunto analisado em artigos publicados, em livros e sites de fabricação e venda de armas de fogo, aliando conceitos físicos de Mecânica e conceitos de balísticas.

Neste trabalho foi realizado a análise teórica do movimento de um projétil ao ser disparado por uma arma de fogo, utilizando informações do fabricante, como por exemplo velocidade do projétil ao sair do cano e sua massa, observando a influência da rotação dos projéteis no alcance máximo em um lançamento oblíquo. Tal verificação poderá ser utilizada como uma proposta didática para o ensino de Mecânica nas aulas de Física do 1º Ano do Ensino Médio, contribuindo para uma aprendizagem significativa.

Este trabalho analisará apenas fenômenos referentes a Balística Externa, salvo aspectos relacionados a alma do cano da arma e sua influência no alcance máximo do lançamento do projétil.

4 USO DA ANÁLISE TEÓRICA DE DISPARO DE ARMA DE FOGO PARA O ENSINO DE MECÂNICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO

A proposta didática desse trabalho é relacionar o conteúdo ministrado pelo professor de Mecânica no 1º Ano do Ensino Médio com os assuntos relacionados a Balística, para que o processo de ensino-aprendizagem seja significativo. A fim de alcançar esse objetivo, foi montada uma sequência de aulas com revisão do conteúdo de Lançamento de Projétil, Efeito Magnus, Efeito Coriolis, assuntos relacionados a Balística como uma das áreas de aplicação dos conteúdos de mecânica e por fim o estudo de caso, como mostra a tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Apresentação da sequência de aulas sobre conteúdo sugeridos.

AULA	CONTEÚDO
Aula 1	Identificação dos conhecimentos prévios e apresentação da Proposta.
Aula 2	Revisão sobre lançamento de projéteis.
Aula 3	A Influência da Rotação dos projéteis em um lançamento: Efeito Coriolis e Efeito Magnus.
Aula 4	Balística Forense, e suas divisões.
Aula 5	Estudo de caso: análise teórica do disparo no vácuo da Pistola 9 M975 “ <i>Beretta</i> ” e da Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - cal. 12 GA.

Fonte: do próprio autor

4.1 AULA 01: IDENTIFICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS E APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA.

Na primeira aula, o objetivo do professor será identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conteúdos necessários para o estudo de lançamento de projétil e, de posse destas informações, o professor deve preparar a revisão dos conteúdos em que os docentes apresentaram maior dificuldade. Para esta identificação deve-se abordar noções que remetam à compreensão de conceitos como: Queda livre, lançamento vertical e horizontal, velocidade e gravidade.

Nesta aula, o professor tem a possibilidade de fazer perguntas a serem debatidas entre os alunos, apresentando as aplicações destes conteúdos através de exemplos do cotidiano e na Balística forense, com o intuito de atrair a atenção e curiosidade dos discentes.

4.2 AULA 02: REVISÃO SOBRE LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS

O objetivo da segunda aula é aprofundar os conhecimentos e os conceitos sobre movimento balístico e lançamento oblíquo, conforme as dificuldades apresentadas e as discussões a serem realizadas na aula 1.

O professor deve apresentar conhecimentos importantes para o desenvolvimento da teoria relacionada aos conteúdos abordados nesta proposta didática. Para este, será necessário expor em sala de aula conceitos referentes às equações de queda livre, lançamento vertical, lançamento horizontal, velocidade, aceleração, gravidade, resistência do ar e ângulo de lançamento.

Para melhor aprendizado dos alunos o professor pode realizar a apresentação da teoria em um data show, trazendo exemplos do cotidiano, exercícios de interpretação e exercícios que envolvam cálculo com as equações de lançamento oblíquo.

Ao término da aula o aluno deve ter total domínio da interpretação dos conceitos e aplicações das equações de alcance e altura máxima de um projétil e da equação da trajetória.

4.3 AULA 03: A INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO DOS PROJÉTEIS EM UM LANÇAMENTO: EFEITO CORIOLIS E EFEITO MAGNOS

Depois de revisado os conceitos de lançamento oblíquo de projéteis na aula 2, o objetivo da terceira aula é apresentar de maneira sumária conceitos sobre resistência do ar ou forças de atrito aerodinâmico, Efeito Coriolis e Efeito Magnus, a fim de que os alunos observem que quando um projétil ogival percorre o ar com um movimento giratório que faz com que haja a tendência em suportar qualquer força que tente alterar a posição do eixo sobre o qual está a girar.

Através de exemplos como de um jogador de futebol americano ao arremessar uma bola, conforme a figura 8, o professor pode demonstrar que este movimento giratório do projétil, tende a manter o projétil em curso, possibilitando a previsão do curso dele, logo há uma maior precisão no arremesso. Caso não houvesse este efeito giratório, este rodaria acentuadamente durante o voo e consequentemente sua trajetória seria imprevisível.

Figura 8: Jogador de futebol americano arremessando a bola



Fonte: <https://www.coxinhanerd.com.br/futebol-americano-panini-album-nfl/>

Os alunos no final da aula devem compreender que um projétil ogival ao ser lançado em um movimento giratório em torno de seu próprio eixo, alcançará maiores distâncias e terá uma trajetória mais definida por causa do Efeito Magnus. A compreensão deste assunto é crucial para o entendimento do estudo do disparo de arma de fogo.

4.4 AULA 04: BALÍSTICA E SUAS DIVISÕES

A quarta aula terá como objetivo trazer ao aluno conhecimentos sobre balística e suas divisões: balística interna, balística externa e balística terminal.

O professor nesta aula deverá apresentar balística como uma ciência que faz parte da Física e que estuda, de maneira geral, as armas de fogo. Será necessário abordar os seguintes temas: definição de arma de fogo, características e tipos de arma de fogo.

O uso de data show nas aulas facilitará a compreensão da característica que está sendo enfatizada neste projeto didático que é os dois tipos de cano: o cano com

a alma lisa e o cano com alma raiada. Aplicando os conhecimentos adquiridos na aula 3 o aluno saberá que o projétil que sai de um cano de alma raiada terá maior precisão e maior alcance comparado ao cano com alma lisa.

Para que o aluno perceba a importância da Balística e tenha uma aprendizagem significativa o professor apresentará sumariamente a Balística Forense, que estuda os efeitos das armas de fogo e das diferentes munições, quando associadas a crimes em investigação. Nesta parte da aula os alunos poderão apresentar exemplos de séries e filmes de investigação criminal que já assistiram, associando os conhecimentos prévios com os assuntos assimilados na sala de aula.

4.5 AULA 04: ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TEÓRICA DO DISPARO NO VÁCUO DA PISTOLA 9 M975 “*BERETTA*” E DA ESPINGARDA PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 GA

Para aplicação dos assuntos ministrados nas aulas 1, 2, 3 e 4 referentes ao lançamento de projétil, efeito da rotação do projétil e balística, o professor abordará dois casos, que servirão de parâmetro para que os alunos percebam a influência da rotação do projétil disparado através de uma arma de fogo no alcance máximo.

Em cada estudo de caso será apresentado informações retiradas do site da Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC) e dos manuais dos armamentos a serem analisados.

4.5.1 Primeiro exemplo de estudo de caso: Pistola 9 M975 “*BERETTA*”

A pistola 9 M975 “Beretta”, possui calibre 9mm x 19 mm “*parabellum*”, é uma arma de tiro semiautomático. Construída com a utilização de aços e ligas especiais, conforme Figura 9, a pistolas 9 M975 “Beretta”, pesa 0,950 Kg, foi projetada para usar cartuchos 9 mm “*parabellum*” e possui cano com **alma raiada** com 6 raias, da esquerda para direita. Em condições normais de disparo, a velocidade inicial e a correspondente energia cinética do projétil, proporcionam um alto poder de impacto em disparos de até 150/200 metros de distância (ESCOLA DE MATERIAL BÉLICO, 2000).

Figura 9: Pistola 9 M975 “Beretta”



Fonte: <https://guerreirosanfibios.webnode.com/fuzileiros-navais/>

O professor contará com os dados numéricos da pistola, conforme a Tabela 2, e com os dados da munição CBC 9 mm *LUGER ETOG* 124 GR, conforme Tabela 3 e Figura 10, para elaboração de problemas relacionados ao lançamento do projétil.

Tabela 2: Dados da Pistola 9 M975 “Beretta”

Calibre	9 mm
Comprimento da arma	217 mm
Comprimento do cano	125 mm
Velocidade teórica de tiro	275 tiros por minuto
Alcance máximo	1.800 m

Fonte: https://www.academia.edu/25532485/PST_9_M975_Beretta?pop_sutd=false. Adaptado pelo autor.

Tabela 3: Dados da munição CBC 9 mm *LUGER ETOG* 124 GR

Calibre	9x19mm
Projétil	ETOG
Peso do Projétil (gr)	124
Peso do Projétil (g)	8,030
Coeficiente Balístico	0,160
Velocidade do projétil na Boca do Cano	338 m/s

Fonte: <https://www.cbc.com.br/produtos/9mm-etog-124gr/>. Adaptado pelo autor

Figura 10: Munição CBC 9 mm *LUGER ETOG* 124 GR



Fonte: <https://www.cbc.com.br/produtos/9mm-etog-124gr>

O professor deve considerar o deslocamento livre do projétil no vácuo, em que é influenciado por dois movimentos: um retilíneo e uniforme, ao longo da linha de projeção, com velocidade constante, igual à velocidade inicial (v_0) e outro, uniformemente acelerado, ao longo da vertical. Será necessária uma arma cujo prolongamento do eixo do cano forma com o plano horizontal um ângulo α , da qual é disparado um projétil com uma velocidade inicial v_0 . Referindo essa velocidade a um sistema de eixos coordenados OX e OY , os alunos devem analisar o movimento do projétil no vácuo, decompondo o movimento do lançamento inclinado em suas componentes horizontal e vertical e em seguida comparar com o alcance máximo real dado pelo manual do armamento.

Exemplo de estudo de caso 1: Considerando um disparo da pistola 9 M975 “Beretta” lançando um projétil da munição CBC 9 mm *LUGER ETOG* 124 GR obliquamente no ângulo de 45° e outro lançamento em um ângulo de 15° com a horizontal, com velocidade inicial de 338 m/s . Despreze a resistência do ar e adote $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Determine o alcance do projétil. Considerando $\text{sen } 45 = 0,70$ e $\text{sen } 15 = 0,96$.

Os alunos deverão apresentar as respostas conforme a Tabela 4, e verificar que sem a resistência do ar o projétil se deslocaria cerca de 3 vezes mais distante no ângulo de 15° e cerca de 6 vezes mais distante que no vácuo, concluindo que a variação do ângulo influencia diretamente no alcance máximo, e que o maior alcance que poderia se obter seria no ângulo de 45° . Matematicamente, utilizando a equação (13), teremos para o ângulo de 15° :

$$A(15^\circ) = \frac{338^2 \sin(2 \cdot 15^\circ)}{9,8} \quad (17)$$

$$A(15^\circ) = 5.828,77m \quad (18)$$

Já para o ângulo de 45°

$$A(45^\circ) = \frac{338^2 \sin(2 \cdot 45^\circ)}{9,8} \quad (19)$$

$$A(45^\circ) = 11.657,55m \quad (20)$$

Tabela 4: Resultados da análise do 1º Exemplo de estudo de caso

v_0	θ (Grau)	Alcance Máximo no vácuo	Alcance Máximo Real (conforme manual)
338 m/s	15°	5.828,77 m	1.800 m
338 m/s	45°	11.657,55 m	1.800 m

Fonte: o autor

Após realizado este estudo de caso o aluno continuará com o estudo de caso da Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 GA, para posterior comparação das armas com cano de alma lisa e alma raiada.

4.5.2 Segundo exemplo estudo de caso: Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 GA

A espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12, conforme Figura 10, possui cano feito em aço ABNT 1045; Calibre 12 (12 GA); Câmara 3" (76mm); **alma lisa**, diâmetro interno nominal 18,5 mm e acabamento oxidado. O mecanismo de disparo é independente, bateria montada no guarda-mato feito em polímero de engenharia. O receptáculo (culatra) é feito em duralumínio aeronáutico ABNT 7075-T6 de alta resistência mecânica (Pesca & Cia Armas Shop LTDA, 2021).

Figura 11: Espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12



Fonte: <https://www.pescaeciaarmas.com.br/armas-de-fogo/espingardas/espingardas-pump/espingarda-pump-cal12-oxid-polimero-coronharetratil/>

O professor contará com os dados numéricos do Cartucho CBC Calibre 12, câmara 76,2MM e CHUMBO 3T, conforme Tabela 5, para elaboração de problemas relacionados ao lançamento do projétil.

Tabela 5: Dados do Cartucho CBC Calibre 12, câmara 76,2MM e CHUMBO 3T

Calibre	12
Câmara (mm)	76,20
Cartucho	3T
Peso do Projétil (g)	42,50
Alcance máximo dos chumbos (35°)	300 metros
Velocidade do projétil na Boca do Cano	380 m/s

Fonte: <https://www.cbc.com.br/produtos/9mm-etog-124gr/>. Adaptado pelo autor

Utilizando os mesmos princípios do exemplo de estudo de caso 1, que considera o deslocamento livre do projétil no vácuo, em que é influenciado por dois movimentos: um retilíneo e uniforme, os alunos devem analisar o lançamento oblíquo do projétil das esferas de chumbo do Cartucho CBC Calibre 12 através do exemplo de estudo de caso 2.

Exemplo de estudo de caso 2: Considerando um disparo de espingarda PUMP BSA 84 TACTICA - CAL. 12 lançando esperas de chumbo do Cartucho CBC Calibre 12, câmara 76,2MM e CHUMBO 3T oblíquoamente no ângulo de 45° e outro

lançamento em um ângulo de 15° com a horizontal, com velocidade inicial de 380 m/s . Despreze a resistência do ar e adote $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Determine o alcance do projétil. Considerando $\text{sen } 45 = 0,70$ e $\text{sen } 15 = 0,96$.

Os alunos deverão apresentar as respostas conforme a Tabela 6, e verificar que há uma grande diferença entre o alcance máximo no vácuo e o alcance máximo real, após esta análise por partes dos alunos o professor explanará que pelo fato do cano ter alma lisa e serem várias esferas de chumbos lançadas ao mesmo tempo esta arma tem um alcance curto comparado com a pistola.

Tabela 6: Resultados da análise do 2º Exemplo de estudo de caso

v_0	θ (Grau)	Alcance Máximo no vácuo	Alcance Máximo Real (conforme manual)
380 m/s	15°	7.367,34 m	300 m
380 m/s	45°	14.734,69 m	300 m

Fonte: o autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta uma proposta educacional que auxilia no ensino de lançamento oblíquo para alunos do 1º ano do ensino médio e pode ser aplicada em qualquer escola.

Através do estudo da aprendizagem significativa de David Ausubel que descreve a importância dos conhecimentos prévios dos estudantes para que estes sirvam de alicerce para novos conhecimentos, foi elaborado esta proposta didática com o objetivo de contribuir com a aprendizagem dos estudantes, bem como apresentar aos professores um material que possa ser aplicado em qual quer realidade escolar.

Em busca de mitigar as dificuldades encontradas para o ensino de lançamento oblíquo, tais como a dificuldade de visualização dos fenômenos, a falta de exercícios e de metodologias que atraiam a atenção dos alunos, foi apresentado uma proposta didática para auxiliar os professores.

A parti do uso de dados de duas armas de fogo com características diferentes e munições específicas, foi proposto a análise de lançamento oblíquo de um suposto disparo realizado pelas armas. O objetivo principal é que os estudantes visualizem os fenômenos envolvidos no lançamento oblíquo, aliando os conceitos pré-existentes aos novos, possibilitando a aprendizagem significativa.

A proposta didática levará através das comparações, observações e análises, a concluir que o lançamento oblíquo é uma composição de movimentos, que inclui movimento vertical e horizontal de um projétil e que há diversas aplicações para este assunto, incluindo a balística.

Nesta proposta o professor terá que relacionar conceitos importantes sobre lançamento oblíquo, como resistência do ar, ângulo de lançamento, velocidade, gravidade e massa do projétil e conceitos novos como a influência da rotação do projétil no alcance máximo, o Efeito Coriolis e Efeito Magnus. Estes conceitos foram relacionados a atividades de balística.

De acordo com a proposta das aulas tem-se que os objetivos em relação ao ensino dos conceitos de lançamento oblíquo são possíveis de serem alcançados, pois as etapas apresentam a consolidação dos conceitos estudados de forma gradativa.

Conclui-se que, de acordo com a proposta apresentada, o ensino de Física no 1º Ano do Ensino médio poderá contar com uma proposta de material didático a fim de motivar, atrair e facilitar o ensino, trazendo uma abordagem contextualizada através da Balística, matéria que atrai o interesse do aluno e tornando fácil a absorção de conceitos de Mecânica que estão por trás de disparo de arma de fogo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, Otaviano de. **Um estudo sobre o Movimento dos Projéteis Balísticos e sua trajetória**. Dissertação. São Paulo: Blucher, 2017.

Descrição da espingarda boito pump 84 - cal. 12 ga - 8 tiros - coronha madeira - oxidado Disponível em <https://www.bonzaoarmasepesca.com.br/espingarda-boito-pump-bsa-84-tactica-cal-12-ga-8-tiros-coronha-retratil-oxidada-p188>. Acesso em 20 de dezembro de 2021.

CARLUCCI, Donald E. JACOBSON, Sidney S. **Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition**. Taylor & Francis, 2007.

Cartuchos para armas longas não raiadas. Disponível em <https://www.cbc.com.br/wp-content/uploads/2018/08/IT-38-Cartuchos-para-Armas-Longas-n%C3%A3o-raiadas.pdf>. Acesso em 20 de dezembro de 2021.

Descrição das munições da Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC). Disponível em: www.cbc.com.br/. Acesso em 20 de dezembro de 2021.

Escola de Material Bélico. **Pistolas 9 M975 “Beretta” e PT-92 “Taurus”**. Seção de Armamento. Exército Brasileiro. 2000. Disponível em www.academia.edu/25532485/PST_9_M975_Beretta?pop_sutd=false. Acesso em 20 de dezembro de 2021.

FERNANDES, E.; **David Ausubel e a aprendizagem significativa**. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>. Acesso em 31 de Maio de 2021.

FONTE-BOA, Rui F. S. **Análise de Balística Externa de um Projétil de Calibre 155 mm**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica - Curso De Serviço de Material da Academia Militar, Coronel Joao Paulo Barreiros Pereira da Silva. Técnico Lisboa, 2014.

GEF – UFSM. Cinemática e Dinâmica. Cadernos de Física. Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, v. 1.

LOURENÇO, Mark A. C. **Balística Externa Naval: Uma Proposta de Formulação Geral**. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Engenheiros Navais – Escola Naval Talant de Bien Faire. Alfeite, 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013, v.1.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. **Física I**. 12. ed. São Paulo: PEARSON, 2008, v. 1.

SILVA, A. F. da.; FERREIRA, J.H.; VIEIRA, C.A; **O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO: reflexões e perspectivas sobre a educação transformadora**. Revista Exitus, v. 7, n. 2; Minas Gerais, 2017.

SOUZA, C. A. **Estudo do Lançamento Oblíquo Utilizando Réplica de Armas Medievais**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2020.