

Uma análise sobre a construção do conceito de Entropia a partir de abordagens lúdicas

RESUMO

Este trabalho relata uma análise sobre a eficácia da utilização de abordagens de caráter lúdico para a construção do conceito de Entropia. Neste contexto, a abordagem lúdica é utilizada através de dinâmicas com jogos com a finalidade de despertar nos alunos aspectos motivacionais que os permitam participar do processo de ensino-aprendizagem de forma ativa. O conceito de Entropia foi escolhido por se tratar de um conceito de difícil apreensão, e constituir ainda um tema relativamente pouco explorado na perspectiva do ensino de Física. Trata-se de um estudo de caso observacional participante, executado nas dependências do *campus* Santa Cruz, no IFRN, com um grupo de 13 alunos do curso de licenciatura em Física, no qual o docente realizou uma série de 6 intervenções pedagógicas em consonância com o componente curricular Termodinâmica Clássica. A análise dos resultados obtidos nos permite corroborar que este tipo de abordagem pode contribuir de forma positiva para a aquisição de conceitos Físicos. Mas no que diz respeito ao conceito de Entropia, dentro da perspectiva na qual foi utilizada, julgamos que tal abordagem ofereceu uma limitação que permitiu a compreensão deste conceito somente na perspectiva formulada por Ludwig Boltzmann, e portanto, parcial. Percebe-se a necessidade de atividades complementares que estabeleçam o diálogo entre esta interpretação, e outras comumente associadas a este conceito, como a desordem, flecha do tempo ou dispêndio de energia. Além desta limitação, é verificado ainda que mesmo neste âmbito, apenas 65,5% dos alunos mostraram ter adquirido uma compreensão coerente de acordo com o contexto da Física. Ao final, conclui-se que apesar das limitações constatadas através desta atividade de pesquisa, acredita-se que a mesma desempenha um papel relevante por fornecer subsídios que permitem fomentar discussões futuras sobre o problema abordado, de modo a enriquecer o panorama vinculado ao ensino de Física.

Palavras-chave: Abordagens lúdicas, Entropia, Ensino de Física.

ABSTRACT

This paper reports an analysis of the effectiveness of using playful approaches to construct the concept of Entropy. In this context, the playful approach is used through dynamics with games in order to arouse in students motivational aspects that allow them to participate actively in the teaching-learning process. The concept of Entropy was chosen because it is a hard understanding concept and still being a relatively unexplored theme from the perspective of physics education. This is a participant observational case study, developed on the campus of the Santa Cruz, at IFRN, with a group of 13 undergraduate students in Physics, in which the teacher performed a series of 6 pedagogical interventions in line with the curricular component Classical Thermodynamics. The analysis obtained through the data collected during these classes allows us to corroborate that this type of approach can contribute positively to the acquisition of Physical concepts. But, as regards the concept of Entropy, from the perspective in which it was used, we believe that such an approach offers a limitation that allows the understanding of this concept only from the perspective formulated by Ludwig Boltzmann and, therefore, partial. There is a need for complementary activities that establish the dialogue between this interpretation and others commonly associated with this concept, such as disorder, time arrow or energy expenditure. In addition to this limitation, it is also found that even in this context, only 65.5% of the students showed to have acquired a coherent understanding according to the context of physics. In the end, it is concluded that despite the limitations found through this research activity, it is believed that it plays a relevant role by providing subsidies that allow foster future discussions on the problem addressed, in order to enrich the landscape linked to the physics education.

Keywords: Playful approaches, entropy, physics education.

1. Introdução

Vivemos hoje em uma sociedade marcada pela presença da tecnologia no cotidiano dos indivíduos. É inegável o número de vantagens que tais aplicações tecnológicas proporcionam ao bem-estar das pessoas, seja na comodidade de acesso e troca de informações, de transportes, tratamentos médicos, dentre várias outras possibilidades. Neste contexto, a formação científica das pessoas se apresenta como um fator essencial, tanto para permitir uma inserção mais efetiva destas no meio em que se encontram como também para fomentar o desenvolvimento de mais aplicações capazes de resolver outros inúmeros problemas que ainda persistem.

No Brasil, a atual situação em que a educação se encontra tem preocupado educadores e a comunidade científica. Os problemas são diversos e os maus resultados podem ser constatados a partir de vários trabalhos especializados em avaliar a qualidade educacional do país (GOLDEMBERG, 1993; MARTINS, 2012). Dentre estes resultados, cabe aqui destacar que a formação de caráter científico tem se mostrado insatisfatória, e neste cenário, percebe-se ainda que a mais fundamental das ciências, a Física, é uma das que mais manifesta problemas (NARDI, 2015).

No que diz respeito à formação científica atrelada à Física, dentre os muitos problemas que podemos utilizar para justificar sua causa, está o ensino-aprendizagem de Física (BRASIL, 2003). O qual apesar de manifestar progressos nas últimas décadas, como uma intensificação de tentativas de diversificação de abordagens, como a utilização de história e filosofia das ciências, utilização de abordagens experimentais, entre outras, ainda não conseguiu consolidar uma formação científica de qualidade.

Situações como esta, obrigam o sistema educacional a encarar como desafio a implantação de ações que englobem o envolvimento dos alunos no ambiente escolar, de modo a apresentar os conteúdos vinculados à Física considerando o seu dia-a-dia e ainda proporcionar o fascínio e a compreensão desta ciência, que desempenha um papel tão importante na história da humanidade (ARAÚJO e ABID, 2003).

Diante deste contexto, no qual a formação científica de qualidade em um cenário em que os processos de ensino-aprendizagem de Física tem se mostrado insuficientes, toda pesquisa que se proponha a estudar a eficácia de alguma abordagem metodológica que possibilite uma melhor aprendizagem de seus conceitos e teorias, é plenamente justificável. E é justamente nesta perspectiva que o presente trabalho pretende discutir os resultados de uma

pesquisa cujo objetivo se pautou em investigar a eficácia da construção de conceitos físicos a partir de abordagens de caráter lúdico através da elaboração e implementação de jogos em sala de aula.

Uma vez que dentro da ciência Física existe uma grande diversidade de temas estudados, torna-se plausível admitir que existem temas melhores compreendidos do que outros. Estudos indicam (BEN-ZVI, 1999; SICHAU, 2000; *apud* COLOVAN, 2004), por exemplo, que a Termodinâmica, especialmente no que diz respeito aos conceitos de Entropia e leis da termodinâmica, tem se mostrado impopulares entre os estudantes e difíceis de trabalhar devido a uma aparente dissociação destes conceitos e o cotidiano de tais alunos. Por tal motivo, elegemos como tema a ser trabalhado através da abordagem lúdica, o conceito de Entropia e sua relação com a segunda lei da termodinâmica.

2. Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa pode ser classificada como qualitativa, por incorporar algumas das características fundamentais desta, como a utilização do ambiente natural como fonte direta de dados, que por sua vez são recolhidos de forma descritiva, visando um interesse maior no processo em detrimento de seus resultados (BOGDAN E BIKLEN, 1994). Quanto ao tipo, ainda segundo Bogdan e Biklen (1994), trata-se de um estudo de caso observacional, sendo esta, uma observação participante. Optamos por esta metodologia por a julgarmos adequada ao contexto de uma sala, na qual todo o processo pode ser mediado a partir do professor/pesquisador participante com o intuito de se evitar uma aquisição de dados irrelevantes no que diz respeito ao problema sob investigação.

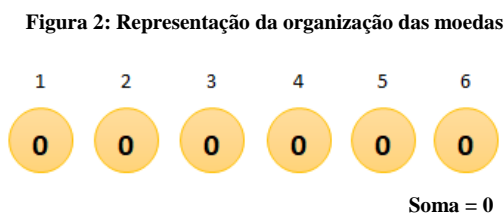
Esta pesquisa foi realizada tomando-se como sujeitos 13 alunos de uma turma do curso de Licenciatura em Física do IFRN, no *campus* Santa Cruz, no decorrer da execução do componente curricular Termodinâmica Clássica, no ano de 2019. Para isto, conciliamos um tema pertencente ao currículo do referido componente curricular, e organizamos uma oficina pedagógica para trabalhá-lo, de modo a não comprometer o desenvolvimento das atividades por parte do professor.

Deste modo, para a execução desta oficina, além dos recursos disponíveis em sala de aula (quadro, pincéis e projetor), utilizamos aplicativos gratuitos para aparelhos de *smartphones* que simulavam jogos de dados e a escolha de números aleatórios; um conjunto de moedas confeccionadas de madeira, cujos lados forneciam os valores 0 e 1, simuladores disponíveis em páginas da internet que permitiam uma extrapolação dos jogos; uma tábua de Galton, que consiste basicamente de um arranjo de pregos, dispostos em intervalos iguais, atuando como obstáculos à passagem dos corpos de prova por gravidade, que são depositados em canaletas distribuídas em sua parte inferior (Figura 1). Para o levantamento de informações e acompanhamento destas, utilizamos gravadores de áudio, para permitir uma análise, *a posteriori*, da evolução das ideias discutidas no decorrer das aulas, sem perdas de informações. E finalmente, para ajudar a balizar os resultados, aplicamos um questionário avaliativo a ser respondido de forma dissertativa.

Quanto à execução da oficina, a organizamos de modo que a mesma tivesse uma duração de 6 aulas, nas quais estavam previstas as seguintes ações:

Aula 1: Dinâmica com jogos de dados. Nesta aula nos utilizamos de uma proposta lúdica com o objetivo de desenvolver a noção de probabilidade por parte dos alunos. O jogo foi executado em três etapas, nas quais os alunos deveriam acertar o número proveniente da soma de dados jogados a partir de um aplicativo instalado em um *smartphone*. Para acentuar o interesse dos alunos a participarem da dinâmica, disponibilizamos como forma de recompensa para os que mais acertassem balas, chocolates e um bolo no pote. Deste modo, todos os alunos receberam uma planilha na qual registravam suas apostas antes de cada lançamento. Na primeira etapa, ocorreram lançamentos com apenas um dado; na segunda etapa, com dois dados; e na terceira etapa, com três dados. Esperava-se que os alunos percebessem a ocorrência de resultados mais frequentes nas etapas dois e três. Ao final da dinâmica, os alunos devem ser suscitados a discutir por quais motivos certos resultados apareciam mais do que outros.

Aula 2: Dinâmica com moedas. Nesta aula seguimos com a proposta lúdica, mas desta vez através de um jogo com moedas, cujo objetivo principal era induzir nos alunos a compreensão da noção de probabilidade condicional. É importante destacar que nosso objetivo se restringia a uma compreensão puramente conceitual e instintiva, isto é, não procuramos desenvolver habilidades correlacionadas à cálculos a partir de fórmulas. Devemos ainda ressaltar que esta dinâmica foi inspirada no livro *Entropy Demystified* (2008), escrito por Arieh Ben-Naim. O jogo consiste em dispor de um conjunto de moedas, confeccionadas de modo que uma de suas faces possua o valor 0, e a outra, o valor 1. Inicialmente, todas as moedas devem ser dispostas sobre uma mesa com a face 0 voltada para cima:



Fonte: Própria

Figura 1: Fotografia da tábua de Galton



Fonte: Própria

Uma vez estabelecida esta configuração inicial, cada aluno deve ser convidado a sortear uma destas moedas ao acaso (para isto deve ser utilizado um aplicativo de escolha de números aleatórios em um *smartphone*, neste exemplo, tal sorteio deveria ser de 1 à 6), e após este sorteio aleatório, a moeda deve ser flipada. Ao ser flipada, lidamos com duas possibilidades, ou a moeda fornece o valor 0, ou 1. Este procedimento deve ser repetido várias vezes, digamos 30 vezes, por exemplo. A cada vez que o procedimento é repetido, deve-se avaliar a soma dos valores exibidos por todas as moedas.

Neste jogo, cada aluno deve apostar no número que ele acha que corresponderá à soma exibida por todas as moedas, e ganhará aquele que acertar o maior número de vezes dentro das rodadas previamente estabelecidas. Tal jogo deverá ser realizado em três etapas: primeiro com 2 moedas (20 vezes), depois com 4 (50 vezes), e finalmente com 10 (100 vezes). Deve ser notado ainda que o número de vezes em que cada moeda é flipada, é passível de modificação, mas que o efeito dos resultados desejados se manifesta somente para um número apreciável de repetições. Observe que o número escolhido pelo aluno deve ser registrado antes do início dos sorteios, ou seja, ninguém poderá mudar seu valor apostado uma vez que as moedas comecem a ser flipadas.

Para facilitar uma possível interpretação dos resultados por parte dos alunos, o condutor da dinâmica deve construir um gráfico que estabeleça a relação entre o valor da soma a cada jogada e o número destas jogadas. Deste modo, espera-se que com o decorrer da dinâmica, os alunos percebam o padrão que se estabelece com estes resultados. Ao final, os alunos devem ser incitados a justificar o comportamento do referido padrão.

Aula 3: Dinâmica com muitas moedas através de simuladores. Nesta aula procuramos estabelecer uma ampliação acerca das concepções adquiridas na intervenção anterior. Este objetivo foi delineado para facilitar uma possível analogia entre o comportamento estatístico verificado no jogo com moedas e o comportamento de um sistema termodinâmico. Para isto, utilizamos simuladores deste jogo disponíveis através do endereço <http://ariehbennaim.com/simulations/index.htm>, desenvolvidos pelo já mencionado autor do livro *Entropy Demystified* (2008). A utilização destes simuladores permite que visualizemos o comportamento obtido a partir de uma situação em que se jogue com um número grande de moedas, e com um número de lançamentos apreciáveis, que seriam impraticáveis em um ambiente de sala de aula. Espera-se com isto, que haja uma complementação dos resultados desejados na intervenção anterior. Ainda nesta aula, baseados na ideia de que a utilização de materiais manipuláveis pode ampliar as percepções dos alunos acerca do tema trabalhado (MATOS, J. M. e SERRAZINA, M. L, 1996), optamos por utilizar uma tábua de Galton com a intenção verificar as percepções dos alunos no que diz respeito às suas ideias sobre probabilidade associadas a eventos aleatórios. A partir deste objeto, os alunos devem ser convidados a depositar esferas através do funil, e adivinhar em qual canaleta tais esferas deveriam cair. Novamente, ao final da dinâmica, os alunos devem ser suscitados a discutir as causas que favoreciam os resultados obtidos.

Aulas 4 e 5: Transposição das ideias trabalhadas nos jogos para a construção do conceito de entropia. Optamos por descrever estas 2 aulas em um mesmo tópico por entendermos que a metodologia de execução de ambas busca alcançar um mesmo objetivo. Na aula 4 buscamos retomar alguns conceitos em caráter de revisão breve e estabelecemos uma discussão sobre o processo de expansão livre, modelando-o como um processo quase-estático, no qual era permitido a passagem de uma partícula para outra câmara somente uma de cada vez e através de uma microporta que se abria brevemente, procurando estabelecer uma analogia entre a evolução do sistema termodinâmico e o comportamento do sistema utilizado nos jogos com moedas. Na aula 5 procuramos evidenciar o conceito de entropia e seu comportamento enquanto grandeza física durante a evolução de um sistema termodinâmico, relacionando-o com a segunda lei da termodinâmica. Desta vez nos restringimos a mediar a discussão de forma expositiva e dialogada, centrada nos recursos usuais tradicionalmente utilizados em sala de aula.

Aula 6: Atividade avaliativa. Apesar de utilizarmos o método de gravação de áudios durante todo o processo, que por sua vez permite um acompanhamento e sistematização da evolução da aprendizagem sobre o tema trabalhado, optamos por aplicar uma atividade avaliativa com questões acerca dos temas trabalhados, na qual os alunos pudessem refletir e sistematizar as ideias discutidas, e simultaneamente complementar a verificação do objetivo desta pesquisa.

3. Resultados e Discussões

Para analisar os dados obtidos conforme métodos descritos no item precedente, vamos adotar a estratégia de Wolcott (*apud* VALE, 2004), que acomoda esta etapa da pesquisa em três momentos: descrição, análise e interpretação. Como desenvolvemos o trabalho utilizando uma sequência de intervenções, vamos aqui procurar destacar estes três momentos para cada uma delas, embora eventuais resultados comuns a mais de uma intervenção possam ser antecipados ou postergados de acordo com o contexto.

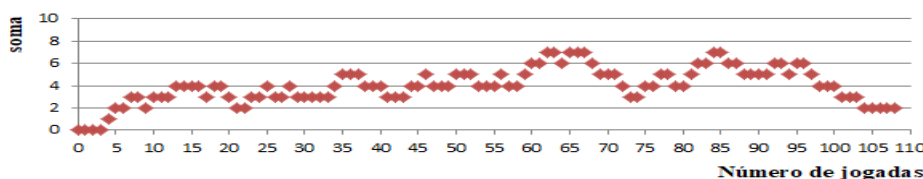
No que diz respeito à primeira aula, ao executarmos o procedimento delineado na metodologia, pudemos constatar inicialmente que a abordagem de caráter lúdico cumpriu de forma significativa sua missão de cativar os alunos a participarem da atividade. Apesar disso, já neste primeiro momento ocorreu um problema que se perpetuou até a terceira aula, que se tratava do não cumprimento de todas as etapas planejadas por falta de tempo. Isto ocorreu pelo fato da dinâmica exigir para sua execução, na prática, um intervalo de tempo maior do que o previsto. Deste modo, reservamos o início da segunda aula para discutirmos aspectos da aula anterior. Através desta discussão, pudemos perceber que os alunos conseguiram compreender de forma

satisfatória o fato de que existiam configurações mais prováveis do que outras, e devido a tal percepção, os mesmos apostavam com mais frequência nos números associados a estas configurações.

Ainda na aula 2 colocamos em prática o jogo das moedas conforme planejado, executando-o em três etapas, com 2, 4 e 10 moedas, respectivamente. Os resultados (dos jogos) foram expostos no quadro através de um gráfico, e com isto distribuímos os brindes para os participantes, nos mesmos moldes que na atividade da aula 1. Novamente o momento de discussões dos resultados teve de ser adiado para a próxima aula.

No terceiro encontro, os alunos foram confrontados com os resultados descritos através dos gráficos realizados na intervenção anterior, expostos à estes através de fotografias exibidas pelo projetor, e foram suscitados a identificar os padrões estabelecidos e procurar justificá-los. A seguir exibimos uma das configurações de dados exploradas neste momento.

Gráfico 1: Representação dos valores obtidos no lançamento com 10 moedas



É importante ressaltar que as conclusões acerca das probabilidades condicionais vinculadas ao padrão dos resultados foram alcançadas sem que o professor o tenha explicitado de forma direta. No entanto, houve participação do docente na perspectiva de formular perguntas que ajudassem os alunos a chegar a tais conclusões.

Após tais momentos de discussões, iniciamos as atividades planejadas para a aula 3 conforme exposto na metodologia. A partir da utilização dos simuladores não foi constatada nenhuma novidade nas interpretações por parte dos alunos, a não ser o fato de que as flutuações em torno do valor de equilíbrio pareciam ser menores do que no caso discutido anteriormente. Logo após tais discussões, aplicamos a dinâmica com a tábua de Galton.

Ao executarmos a tarefa proposta descrita na metodologia, os alunos manifestaram dificuldades em estabelecer percepções de semelhanças entre os eventos da tábua de Galton e o jogo das moedas. A maioria dos alunos apostaram que as esferas cairiam nas canaletas mais próximas às extremidades ao invés das que se localizavam na região central. Após verificarem a distribuição que se formou depois que um número relevante de esferas foi utilizado, constataram que existia uma tendência mais favorável a ocupação das canaletas centrais, mas ainda assim não conseguiram formular uma explicação coerente para tal fato. Neste caso, para que a compreensão fosse alcançada, foi necessário ao docente recorrer à ilustrações com modelos de Tábuas de Galton mais simples, e a partir delas evidenciar o número de caminhos que levam às configurações centrais é maior, e como todos os caminhos são equiprováveis, tais configurações são favorecidas. Neste caso, concluímos que o objetivo foi parcialmente alcançado, pois os alunos foram bem sucedidos sobre a culminância das ideias sobre o jogo das moedas, mas por outro lado, não foram satisfatórios em adquirir a mesma percepção através da tábua de Galton.

Ao colocarmos em prática o planejamento realizado para as aulas 4 e 5, pudemos logo evidenciar uma retomada na postura dos alunos ao modo tradicional ocorrido nas aulas, isto é, desta vez não presenciamos o envolvimento e entrega à participação da aula como se deu nas intervenções anteriores. Apesar disso, ao buscarmos estabelecer uma correspondência entre os resultados de percepções obtidos a partir dos jogos e a evolução do sistema termodinâmico, constatamos alguns resultados satisfatórios. Porém, não todos!

Foi constatado que ao analisar a evolução do sistema termodinâmico, os alunos perceberam que no mesmo havia um comportamento semelhante a algo dos jogos, isto é, que havia algo inerente ao sistema que aumentava até a situação em que tal sistema alcançava o estado de equilíbrio. Quando incitados a explicar o que era este “algo”, alguns mencionaram que era a Entropia. E quando indagados sobre o que era Entropia, e por qual motivo ela aumentava no decorrer do processo termodinâmico, obtivemos respostas do tipo: “é a desordem”, “é a desordem do sistema que aumenta”. Obviamente, esta noção de entropia já fazia parte das concepções prévias de alguns alunos, que naturalmente possuem vínculos com o contexto acadêmico através do curso de licenciatura em física. No entanto, tais alunos não estabeleceram nenhuma relação entre suas percepções do conceito de entropia e o caráter probabilístico evidenciado nas atividades lúdicas.

No decorrer desta discussão, os alunos foram solicitados a escolher qual das configurações possíveis corresponderia a uma situação de equilíbrio termodinâmico após um processo de expansão livre e questionados sobre as razões pelas quais a evolução do estado do sistema termodinâmico se dava daquela forma. Apenas a partir deste ponto que os alunos estabeleceram uma relação direta entre o comportamento do sistema termodinâmico e o caráter probabilístico evidenciado em processos espontâneos. Uma vez estabelecida esta conexão, o professor introduziu a nomenclatura utilizada na literatura científica para denotar os fenômenos físicos até então estudados, com o intuito de acomodar a compreensão dos alunos ao contexto da física.

A partir de dados recolhidos através da atividade avaliativa aplicada na aula 6, pudemos constatar que 65.5% do grupo conseguiram compreender o conceito de Entropia dentro da perspectiva pretendida, isto é, de forma condizente com a interpretação de Ludwig Boltzmann.

Diante da análise realizada neste estudo de caso, podemos afirmar que a abordagem lúdica cumpriu de forma satisfatória o objetivo de cativar os alunos para o processo de ensino-aprendizagem. No que se refere aos jogos utilizados especificamente para a realização desta pesquisa, devemos ressaltar que apesar de aspectos positivos vinculados a possibilidade de se construir a percepção de eventos condicionados por fatores aleatórios e caráter probabilístico, ambos os jogos se mostraram exaustivos devido ao grande número de repetições. Isto pode ser considerado um problema relevante pelo fato de que o comportamento desejável manifestado pelos resultados dos jogos só se manifesta de forma clara justamente na situação que envolva um grande número de jogadas. Apesar disto, acreditamos que a abordagem escolhida para desenvolver o conceito de Entropia pode ser considerada um recurso de valia, uma vez que diante de sua complexidade, ainda assim se mostrou eficaz, mesmo que não plenamente.

Destacamos ainda o fato de que apesar da constatação da eficiência da abordagem, faz-se necessário o desenvolvimento de atividades

complementares que permitam aos alunos desenvolver percepções que relacionem a interpretação esboçada neste trabalho com outras comumente presentes na literatura acadêmica, como vinculadas às ideias de desordem, flecha do tempo e degradação da energia, além da devida operacionalização matemática do conceito e aplicabilidade do mesmo em situações do cotidiano.

4. Considerações Finais

A partir da atividade de pesquisa relatada através deste trabalho podemos concluir que, de fato, a abordagem lúdica pode desempenhar um papel relevante na construção de conceitos físicos, tanto do ponto de vista motivacional, ao cativar o interesse de participação dos alunos nas aulas, mas também, pelo poder de estabelecer correspondências e analogias condizentes com as características dos conceitos físicos.

A percepção proporcionada a partir dos resultados expostos nos mostram que o conceito de entropia foi compreendido de forma satisfatória pela maioria dos sujeitos participantes da pesquisa, e que embora tal compreensão não tenha acontecido de forma plena, devido principalmente à complexidade do conceito abordado, pudemos obter subsídios para realizar estudos complementares que permitirão abordar o referido problema considerando-se variáveis anteriormente não previstas.

Destacamos ainda que por este trabalho se tratar de um estudo de caso, nenhuma das conclusões aqui obtidas devem ser generalizadas. Não obstante, esperamos que as propostas e discussões aqui relatadas possam ser utilizadas como ponto de partida para realização de novos estudos, com vista a enriquecer o panorama sobre o ensino de Física.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) por fornecer suporte financeiro através do qual foi possível apresentar a pesquisa apresentada neste trabalho.

Referências

- ARAÚJO, M. S. T.; ABID, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.
- BEN-NAIM, A. Entropy demystified: the second law reduced to plain common sense. Singapore: World /scientific. 2008.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. **Diretrizes Curriculares de Física para a Educação Básica**. Secretaria de Educação do Paraná. Curitiba: 2006.
- COVOLAN, S. C. T. **O conceito de entropia num curso destinado ao ensino médio a partir de concepções prévias dos estudantes e da história da ciência**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- GOLDEMBERG, José. (1993). **O repensar da educação no Brasil**. *Estudos Avançados*, 7(18), 65-137. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141993000200004>
- HIGO, L. B. et al. **As muitas interpretações da entropia e a criação de um material didático para o ensino da interpretação probabilística da entropia**. Quím. nova esc. – São Paulo-SP, BR. Vol. 40, N° 3, p. 169-177, AGOSTO 2018.
- MARTINS, EBC. **Educação e serviço social: elo para a construção da cidadania**. São Paulo: Editora UNESP. 2012. A política de educação brasileira: uma leitura sob a óptica do serviço social. pp. 75-113. ISBN 978-85-3930-243-7. Available from SciELO Books.
- MATOS, J. M.; SERRAZINA, M. de L. **Didática da Matemática**. Universidade Aberta: Lisboa, 1996.
- NARDI, Roberto. **A pesquisa em ensino de Ciências e Matemática no Brasil**. Bauru, v. 21, n.2, p.I-V, June 2015.
- VALE, Isabel. **Algumas notas sobre Investigação Qualitativa em Educação Matemática, O Estudo de Caso**. Revista da Escola Superior de Educação, vol.5. Escola Superior de Educação de Viana do Castelo, p.171-202.