

A CONFEÇÃO DO JOGO DIGITAL SHOW DO MILHÃO DOS QDs PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO DE UMA ESCOLA PÚBLICA DE MANAUS

Carla Caroline Melgueira da Silva ¹
Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira ²

RESUMO

Este jogo Show do Milhão dos QDs foi o produto de uma Sequência Didática sobre os pontos quânticos no Ensino Médio, ele foi criado baseado no modelo de jogo o Show do Milhão, que é um jogo de perguntas e respostas de múltiplas escolhas, aonde o candidato deve responder as perguntas conforme as alternativas sugeridas e ao final deste jogo se o candidato conseguir acertar a todas as perguntas do jogo ganha o prêmio de um milhão de reais. As perguntas deste jogo foram baseadas nas cinco aulas da sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações, que foi desenvolvida com duas turmas do Ensino Médio, sendo uma turma da 2ª série no ano de 2022 e essa mesma turma na 3ª série no ano de 2023, de uma escola pública de Manaus. Este jogo foi desenvolvido no software Microsoft Power Point, com várias animações e sons, aproveitando os recursos deste software para criar um ambiente parecido com um jogo comercial, este jogo tem o intuito de aumentar a interatividade e o interesse dos alunos por este tema, foram criadas quatro perguntas sobre os pontos quânticos para esse jogo, cada pergunta vale R\$ 250.000. As perguntas desse jogo foram baseadas na sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações, assim seria interessante que o professor que fosse utilizar este jogo didático durante a sua abordagem, primeiro trabalhasse esse conteúdo com os seus alunos, pois os alunos podem não apresentar um conhecimento prévio sobre este assunto e assim apresentar alguma dificuldade para responder as perguntas deste jogo.

Palavras-chave: Sequência Didática, Pontos Quânticos, Jogo Digital, Show do Milhão dos QDs.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho será apresentado o jogo digital “Show do Milhão dos QDs”, este jogo foi o produto educacional de uma Sequência didática sobre as aplicações dos pontos quânticos, esta teve o intuito de contribuir para o ensino da Física, em especial para o Ensino de Física Quântica. Alguns temas da Física Quântica que não são explanados na 3ª série do Ensino Médio como a dualidade onda-partícula, o efeito fotoelétrico, a nanotecnologia, os pontos quânticos, entre outros. Vários desses temas poderiam ser explanados de uma forma mais interessante pelo professor de Física utilizando as suas aplicações tecnológicas desses temas no cotidiano do aluno. Diante disso, sentiu-se a necessidade de elaborar um produto educacional para auxiliar os

¹Mestra em Ensino de Física pelo MNPEF – Polo 04 do IFAM/UFAM, caroline.melgueira.silva@gmail.com;

² Doutora em Física pela Universidade Federal de São Carlos – UFSC, rmota24@gmail.com;



professores de Física que gostariam de trabalhar o tema os pontos quânticos com os seus alunos, neste produto educacional será apresentado uma sequência didática simples que poderá ser aplicada por qualquer professor, desde que o mesmo aborde a parte conceitual primeiramente com estes discentes, pois a maioria deles não chegou a estudar sobre os assuntos da Física Quântica no Ensino Médio. Também será apresentado o jogo Show do Milhão dos QDs³, que é um jogo digital sobre o tema os pontos quânticos e suas aplicações, este jogo foi confeccionado no software Microsoft Power Point, com várias animações e sons, onde foram aproveitados alguns recursos deste software para que esse jogo digital ficasse mais parecido com um jogo comercial. Este jogo digital foi confeccionado com o intuito de fixar as informações que foram passadas na sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações.

Este jogo digital pode ser muito útil para os professores de Física que desejam trabalhar com temas mais atuais da Física, como os pontos quânticos e queiram mostrar também as suas aplicações no cotidiano de seus alunos.

METODOLOGIA

Para esta sequência didática sobre os pontos quânticos foi confeccionado um jogo digital como recurso pedagógico para auxiliar nesta prática pedagógica, criou-se o jogo Show do Milhão dos QDs, este jogo foi criado baseado no modelo do jogo o Show do Milhão, que é um jogo de perguntas e respostas de múltiplas escolhas, aonde o candidato deve responder as perguntas conforme as alternativas sugeridas e ao final deste jogo se o candidato conseguir acertar a todas as perguntas do jogo ganha o prêmio de um milhão de reais.

As perguntas deste jogo foram baseadas nas cinco aulas da sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações, que foi desenvolvida com duas turmas do Ensino Médio, sendo uma turma da 2ª série e outra turma da 3ª série.

Este jogo foi desenvolvido no software Microsoft Power Point, com várias animações e sons, aproveitando os recursos deste software para criar um ambiente parecido com um jogo comercial, este jogo tem o intuito de aumentar a interatividade e

³ QDs – Quantum Dots é o termo utilizado em inglês para designar os pontos quânticos.



o interesse dos alunos por este tema, foram criadas quatro perguntas sobre os pontos quânticos para esse jogo, cada pergunta vale R\$ 250.000. As perguntas desse jogo foram baseadas na sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações, assim seria interessante que o professor que fosse utilizar este jogo didático durante as suas aulas, primeiro trabalhasse esse conteúdo com os seus alunos, pois os alunos podem não apresentar um conhecimento prévio sobre este assunto e assim apresentar alguma dificuldade para brincar com este jogo.

Agora iremos apresentar o jogo Show do milhão dos QDs, a seguir é apresentada a tela inicial do jogo digital sobre os pontos quânticos e suas aplicações, conforme mostra a Figura 1. A tela inicial permite que o aluno inicie o jogo. Para começar o jogo é necessário clicar no botão vermelho “Clique aqui para Iniciar”. A tela seguinte é a tela inicial do jogo, conforme mostra a Figura 1 a seguir:



Figura 1: Tela inicial do Jogo Didático Show do Milhão dos QDs. Fonte: Acervo pessoal.

A tela seguinte é a tela da questão 1 que aborda uma questão sobre o tamanho e a luminescência dos pontos quânticos, que vale R\$ 250.000, conforme mostra a Figura 2, a seguir:

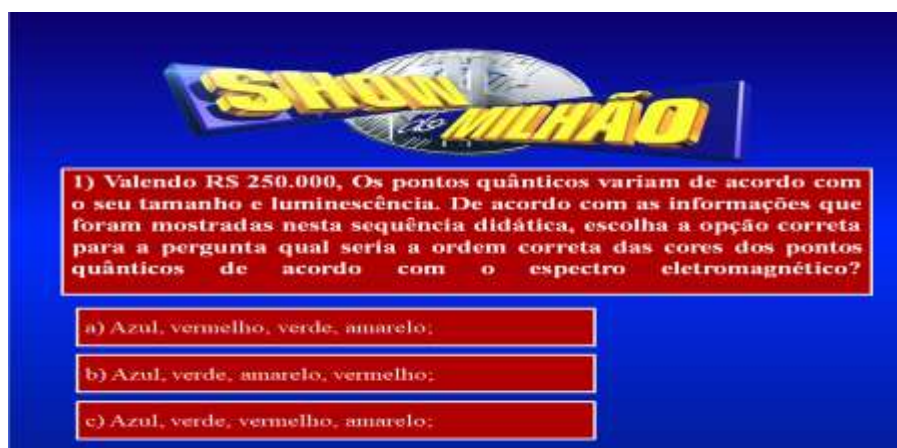


Figura 2: Questão 1 do Jogo QDs. Fonte: Acervo Pessoal.



A tela seguinte é a tela da questão 2 que aborda uma questão sobre as tecnologias que podem ser produzidas através da utilização dos pontos quânticos, que vale R\$ 250.000, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Questão 2 do Jogo dos QDs. Fonte: Acervo Pessoal.

A tela seguinte é a tela da questão 3 que aborda uma questão sobre os pontos quânticos que são considerados eco-amigáveis, ou seja, que não apresentam toxicidade e não agredem o meio ambiente, nesta questão o estudante deverá escolher uma das alternativas que apresenta somente os tipos de pontos quânticos que são considerados eco-amigáveis, esta pergunta também vale R\$ 250.000, conforme mostra a Figura 4.

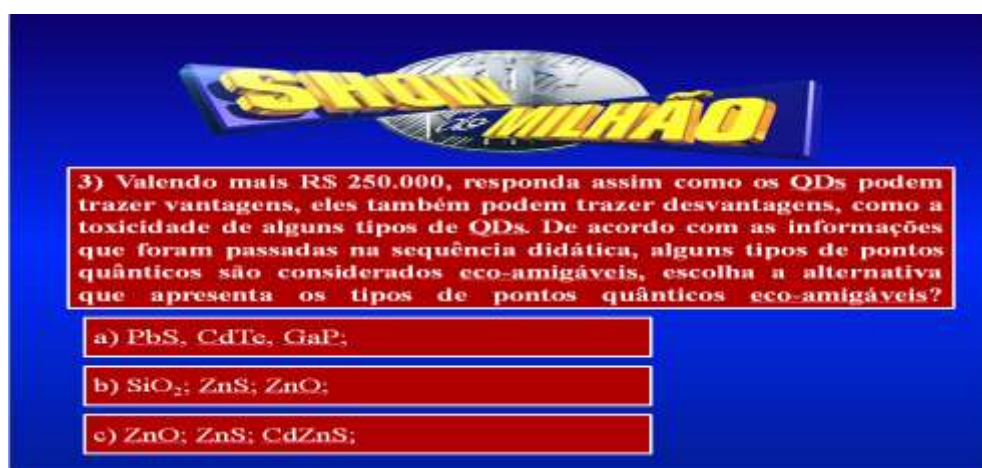


Figura 4: Questão 3 do Jogo dos QDs e suas aplicações. Fonte: Acervo pessoal.

A tela seguinte é a tela da questão 4 que aborda uma questão sobre o elevado nível de toxicidade que alguns pontos quânticos apresentam, este elevado nível de toxicidade pode trazer riscos para a vida das pessoas, dos animais e do meio ambiente,



nesta questão o estudante deverá escolher uma das alternativas que apresenta somente os tipos de pontos quânticos que apresentam um elevado nível de toxicidade, essa pergunta já tinha sido feita na Atividade 2 proposta na terceira aula desta sequência didática e também foi explicada durante as aulas desta sequência didática sobre os pontos quânticos e suas aplicações, ela também vale R\$ 250.000, conforme mostra a figura 5.



Figura 5: Questão 4 do Jogo dos QDs. Fonte: Acervo pessoal.

A tela seguinte é a tela que representa o acerto das questões, quando aparece esta tela durante o jogo, o usuário saberá que acertou a questão e será encaminhado para a tela da próxima pergunta, conforme é mostrado na figura 6 a seguir:



Figura 6: Tela que representa o acerto das questões do Jogo Show do Milhão dos QDs. Fonte: Acervo pessoal.

A tela seguinte é a tela que representa o erro das questões, quando aparece esta tela durante o jogo, o usuário saberá que errou a questão e será encaminhado para a tela da questão 1, que representa o início do jogo, conforme é mostrado na figura 7 a seguir:





Figura 7: Tela do erro do Jogo dos QDs. Fonte: Acervo pessoal.

Se o jogador acertar as quatro perguntas desse jogo, ele será direcionado para a tela que representa o acerto do prêmio de R\$ 1.000.000, esta é uma tela alusiva que representa a vitória do jogador, conforme pode ser visto na figura 8 a seguir:



Figura 8: Tela de acerto do R\$ 1.000.000 do Jogo dos QDs e suas aplicações. Fonte: Acervo pessoal

Este jogo foi baseado nas informações que foram disponibilizadas na sequência didática sobre os Pontos Quânticos e suas aplicações, este apresenta um intuito educativo, ele serviu como uma estratégia de fixação para este assunto, pois o mesmo só foi aplicado após os alunos terem assistido as cinco aulas desta sequência didática.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os pontos quânticos são nanocristais semicondutores, com tamanho geralmente da ordem entre 1 nm e 10 nm, dependendo do material. Devido a essa dimensão de tamanho, as propriedades dos pontos quânticos se diferem de um sólido com a mesma



composição. Essa alteração nas propriedades se deve ao fenômeno do confinamento quântico conforme Mansur (2010).

A primeira utilização do termo ponto quântico aconteceu em 1986 no trabalho de Reed, *et al.*, 1986. As nanopartículas de semicondutores já vinham sendo estudadas anteriormente na forma de poços quânticos e fios quânticos. Desde então, a seleção de materiais e processos dessa tecnologia tem se desenvolvido.

Os pontos quânticos são nanocristais de um material semicondutor que existe em um regime de tamanho entre moléculas únicas e sólidos cristalinos em massa. Eles apresentam características interessantes porque o seu tamanho minúsculo produz uma nuvem de elétrons fisicamente confinada, um efeito conhecido como confinamento quântico. Como resultado de suas propriedades espaciais, eles estão sujeitos a uma diversidade de características ópticas, únicas e interessantes, fenômenos eletrônicos e químicos semelhantes a estes não são encontrados em outros materiais.

A dependência do tamanho desses fenômenos significa que eles podem ser controlados com facilidade ajustando a distribuição de tamanho de uma coleção de pontos quânticos. Com o passar dos anos mais métodos são desenvolvidos para sintetizar de forma confiável os tamanhos variáveis desses nanocristais, os pontos quânticos têm resíduos cada vez mais econômicos para óptica materiais. Essas qualidades únicas tornaram os pontos quânticos um material atraente para uma variedade de aplicações científicas e comerciais.

Os pontos quânticos apresentam muitas aplicações, tais como: em dispositivos emissores de luz (LEDs), em lasers, na computação quântica, em transistores, nas células solares, na biomedicina, em biosensores e para grupos catalíticos variados, sendo essa uma área ainda pouco estudada, conforme SANDRI *et al.* (2017).

Os pontos quânticos podem ser aplicados em várias áreas, porém vamos nos aprofundar somente em algumas áreas como a biotecnologia, nos computadores quânticos e na criptografia, na medicina, nos dispositivos lasers, entre outros, conforme os estudos de JÚNIOR (2017).

Biotecnologia – Os pontos quânticos de seleneto de cádmio absorvem fótons de luz ultravioleta e os emitem como fóton de luz visível. A cor do seu brilho muda de acordo com o seu tamanho, passando do vermelho para o azul conforme os pontos quânticos se tornam menores. Os cientistas estão interessados em utilizar os pontos



quânticos porque eles duram muito mais tempo que os corantes convencionais utilizados para marcar moléculas, enquanto que os corantes convencionais duram apenas alguns segundos. Os pontos quânticos permitem a observação das moléculas por mais tempo, desta forma permitirá que os cientistas possam recolher mais informações das reações químicas e nas interações biológicas. Os QDs também são interessantes para aplicações na área de energia, pois eles produzem elétrons quando absorvem luz, permitindo assim a criação de células solares muito eficientes.

Computadores quânticos e na criptografia – Uma das áreas de pesquisa com os pontos quânticos tem o intuito de conseguir manipular os fótons individualmente. Pontos quânticos de arseneto de índio-gálio, que é um composto de fabricação fácil e que pode ser integrado com micro cavidades, que ampliam a captura dos fótons, foram utilizados para demonstrar a elaboração de fótons individuais em temperaturas muito acima das que haviam sido alcançadas atualmente. Os fótons são melhores manipulados em temperaturas ultra baixas, próximas do zero absoluto. O principal objetivo é sua aplicação na computação quântica e na criptografia. Nestas aplicações serão utilizados feixes de fótons controlados individualmente, cada um com estado quântico diferente. Esses QDs diferentes terão a forma de codificar as mensagens dentro dos feixes de luz. Desta forma torna-se impossível ler uma mensagem criptografada sem que se altere o feixe de luz, porém mesmo que ocorra uma tentativa de “quebra” desses dados criptografados, ocorrerá sem sucesso e poderá ser detectada.

Medicina – Os pontos quânticos também poderão ser aplicados no imageamento médico, estes podem ser injetados no paciente, em simultâneo com um equipamento externo, também contendo pontos quânticos que seria usado para rastrear os nano cristais no interior do corpo humano. Resultados parciais de várias pesquisas indicam que os pontos quânticos apresentam menos efeitos colaterais do que os contrastes químicos usados em conjunto com os raios-X.

Existem muitas pesquisas em andamento sobre os pontos quânticos, e essas nanopartículas já existem em produtos comercializados. Um exemplo é o dos televisores e monitores de computador com tela de nanocristais (também designada pela expressão em inglês quantum dots display), em que os pixels (pontinhos de luz existentes na tela) são produzidos com nanopartículas de CdSe em três tamanhos diferentes, especialmente escolhidos para que sejam pontos quânticos emissores de luz



vermelha, verde e azul, com as quais todas demais cores vistas na tela podem ser compostas, segundo (AMABIS *et al.*, 2020).

Outro exemplo de aplicação dessas nanopartículas é em sensores de luz ambiente para sistemas que acendem lâmpada automaticamente ao anoitecer e as apagam ao amanhecer. Essas partículas apresentam condutividade elétrica que varia em função da luz nelas incidente. Nos sensores, existe um circuito elétrico que, em parte, é constituído de cristais de CdS. Quando amanhece o ambiente está bem iluminado, a condutividade elétrica da substância aumenta e isso é detectado pelo equipamento, que desliga as lâmpadas. O inverso ocorre ao anoitecer, conforme (AMABIS *et al.*, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na quinta e última aula desta sequência didática, foi feita aplicação do jogo digital “Show do Milhão dos QDs” com os alunos dessa mesma turma, porém essa turma já estava na 3ª série do Ensino Médio, no laboratório de Informática desta Escola. Em seguida foi aplicado um questionário avaliador deste jogo digital constituído de cinco perguntas fechadas, com o intuito de verificar qual era opinião dos alunos em relação a este jogo digital. Os alunos foram divididos em equipes de quatro alunos para que pudessem conhecer e brincar com este jogo digital, as equipes de alunos foram chamadas de equipe 1, equipe 2, equipe 3 e equipe 4. No dia da aplicação deste jogo compareceram dezesseis alunos a escola, neste dia a maioria dos alunos dessa turma faltaram. A seguir será realizada uma análise das respostas obtidas com este questionário avaliador deste jogo digital.

No que diz respeito às repostas da questão um do questionário avaliador:

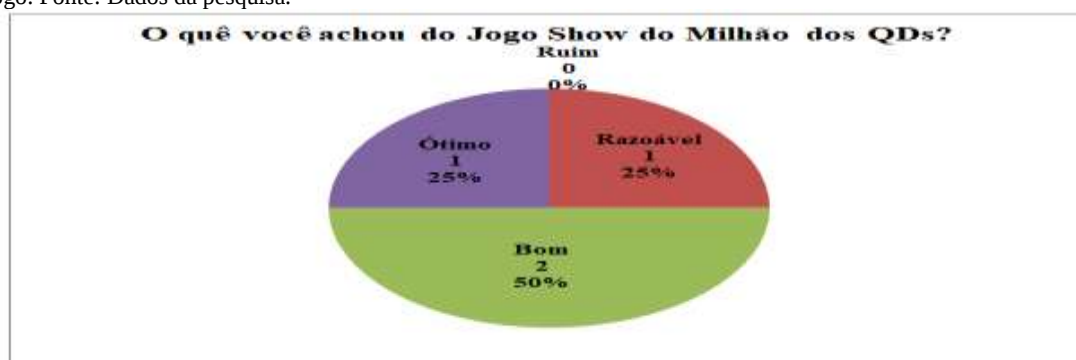
O que você achou do Jogo Show do Milhão dos QDs?

Ruim () Razoável () Bom () Ótimo ()

As equipes 1 e 2 responderam para esta pergunta que acharam este jogo “bom”, a equipe 3 respondeu para esta pergunta que achou o jogo “Razoável” e a equipe 4 respondeu para esta pergunta que achou o jogo “Ótimo”, as respostas para esta pergunta podem ser visualizadas melhor no gráfico 1 a seguir:



Gráfico 1: Resultado da Avaliação das equipes de alunos em relação à questão 1 do Questionário Avaliador sobre o Jogo. Fonte: Dados da pesquisa.



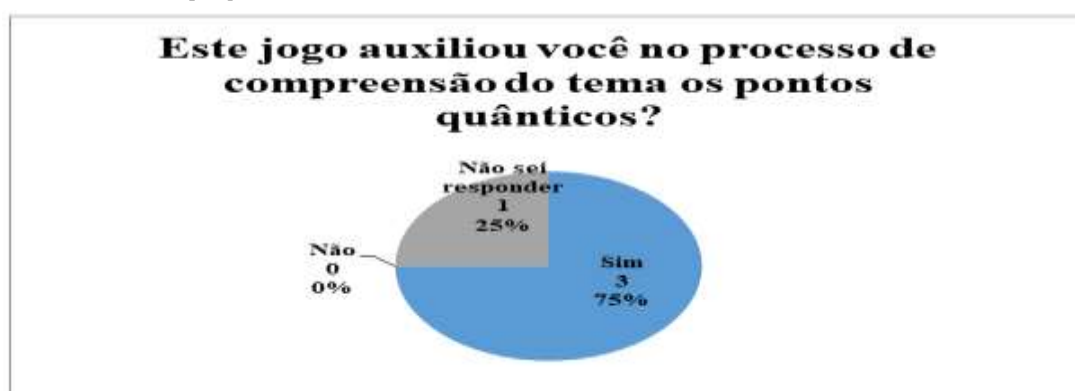
Conforme as respostas dadas pelas equipes de alunos para esta pergunta observou-se que os mesmos gostaram do jogo digital Show do Milhão dos QDs, três equipes responderam que acharam o jogo “bom” ou “ótimo” e só uma equipe respondeu que achou o jogo “razoável”.

Para a questão 2.

Este jogo auxiliou você no processo de compreensão do tema os pontos quânticos? Sim () Não () Não sei responder ()

Para esta pergunta a equipe 1 respondeu que “sim”, a equipe 2 marcou a opção “não sei responder”, a equipe 3 marcou a opção “sim” e equipe 4 também marcou a opção “sim”. Podemos observar melhor as respostas dadas pelos alunos observando ao gráfico 2 de respostas dessa pergunta mostrado abaixo:

Gráfico 2: Resultado da Avaliação das equipes de alunos em relação à questão 2 do Questionário Avaliador sobre o jogo. Fonte: Dados da pesquisa.



Em relação às respostas das equipes de alunos para a questão 2 desse questionário avaliador do jogo observou-se que três equipes de alunos dessa turma responderam “sim”, afirmando que este jogo ajudou no processo de compreensão do tema os pontos quânticos e uma equipe de alunos marcou a opção “não sei responder”.

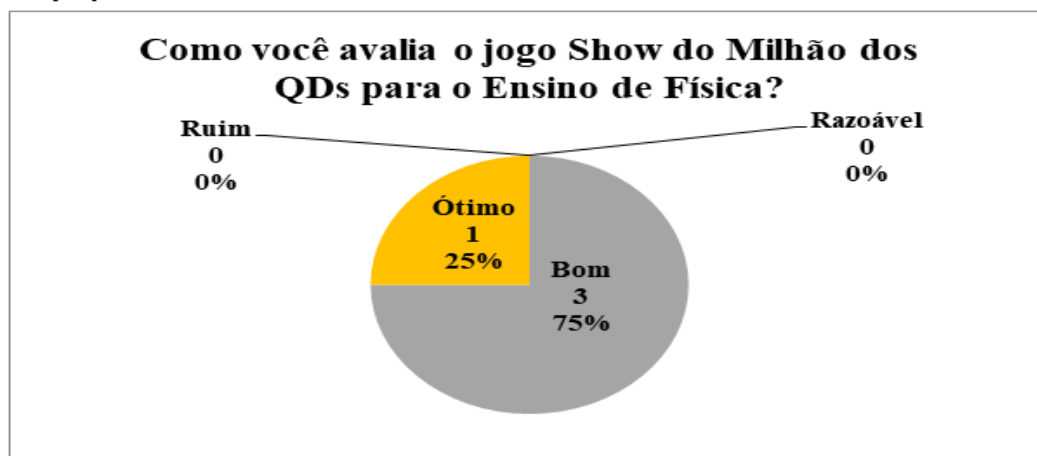


Analisando as respostas da questão 3.

Como você avalia o jogo Show do milhão dos QDs para o ensino de Física?
Ruim () Razoável () Bom () Ótimo ().

A equipe 1 respondeu para esta pergunta que achou o jogo “ótimo”, já as equipes 2, 3 e 4 responderam para esta pergunta que acharam o jogo “bom”, as respostas das equipes de alunos para esta pergunta podem ser observadas melhor no gráfico 3 a seguir:

Gráfico 3: Resultado da Avaliação das equipes de alunos da questão 3 do Questionário Avaliador do Jogo. Fonte: Dados da pesquisa.



Analisando as respostas das equipes de alunos para esta pergunta observou-se que a equipe 1 respondeu que este jogo é “ótimo” e que as equipes 2, 3 e 4 acharam este jogo “bom”. Portanto, concluiu-se que todas as equipes avaliaram este jogo digital de forma positiva.

Analisando as respostas das equipes de alunos para a questão 4:

Classifique de 1 a 5 o quanto você achou interessante este jogo?

Das quatro equipes de alunos que participaram desta quinta aula, apresentaram respostas variadas para esta questão, a equipe 1 deu a nota 4,5 para o jogo apresentado, a equipe 2 deu a nota 4,9 para o jogo, a equipe 3 deu a nota 5 para o jogo e a equipe 4 também deu a nota 5 para o jogo digital Show do Milhão dos QDs. Podemos observar melhor as respostas dos alunos para esta questão no gráfico 4 a seguir:



Gráfico 4: Resultado da Avaliação das equipes de alunos em relação à questão 4 do Questionário Avaliador sobre o Jogo Show do Milhão dos QDs. Fonte: Dados da pesquisa.



De acordo com as respostas dadas pelos alunos podemos observar que todas as equipes de alunos que participaram da avaliação deste jogo digital deram uma nota maior que quatro para este jogo, demonstrando assim que este jogo atraiu a atenção dos alunos e ajudou no processo de compreensão deste tema.

Analisando as respostas dos alunos para a questão 5:

Você gostaria que o seu professor de Física utilizasse mais jogos ou atividades diferenciadas como desta sequência didática para complementar as aulas tradicionais?
 Sim () Não () Não sei responder ().

Observamos que todas as quatro equipes de alunos que participaram desta abordagem responderam que “sim” para esta pergunta, conforme é observado no gráfico 5 de respostas para esta questão.

Gráfico 5: Resultado da Avaliação das equipes de alunos para a questão 5 do Questionário Avaliador do Jogo. Fonte: Dados da pesquisa.



Para esta pergunta todas as quatro equipes de alunos responderam que “sim”, que gostariam que o seu professor de Física utilizasse mais recursos tecnológicos e jogos para ensinar os conteúdos de Física. Desta forma observou-se que os alunos desta



turma acreditam ser importante o uso dos jogos ou outros recursos tecnológicos para facilitar o processo de aprendizagem e para aumentar o interesse pelas aulas. Conforme Moita (2007) não é preciso que os games sejam inseridos nas aulas, nem as aulas nos games, mas existem algumas características deles que podem ser inseridos nas aulas como a interatividade, desafios, recompensas, competitividade, entre outros, que podem resultar numa aprendizagem significativa, prazerosa e que estimula os alunos a investigar e dedicar-se aos estudos.

Além de o uso de games como ferramentas no processo de ensino ajuda a promover o desenvolvimento de novas habilidades nos alunos e faz com que o professor atue mais como “diretor de pesquisa e treinador do que um palestrante e disciplinador” (MATTAR, 2010, p.20). Portanto, este recurso didático pode ser inserido nas aulas de Física para auxiliar no processo de aprendizagem dos alunos, para aumentar o nível de interesse desses alunos pelas aulas, pois os jogos atraem a atenção dos alunos e aumentam a sua participação durante as aulas, conforme foi observado durante as aulas desta sequência didática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se elaborar uma sequência didática acerca deste tema os pontos quânticos, que é um tema bastante atual, por se tratar de uma tecnologia que pode contribuir através do seu estudo em várias áreas, como foi mostrado nesta sequência didática.

Esta sequência didática teve o objetivo de mostrar o conceito dos pontos quânticos, como estes são produzidos, em que áreas estes QDs são aplicados, quais são as vantagens de se utilizar esta tecnologia e quais as suas desvantagens, além de propor o jogo digital “Show do milhão dos QDs”, estes materiais sobre este tema podem auxiliar os professores de Física e Química, que tenham interesse em trabalhar com este tema com os seus alunos e facilitar o processo de aprendizagem dos alunos durante este processo.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa concedida para financiar o custo deste projeto, a Secretaria de Educação e Desporto do Amazonas – SEDUC e a Escola Estadual Professor Francisco das Chagas de Souza Albuquerque por disponibilizar o espaço e as turmas de alunos para participarem desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M. *et. al*; **Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias**. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2020.

Jonathan MELVILLE; **Optical Properties of Quantum Dots**; Disponível em: quantumDots.pdf (berkeley.edu). Acesso em 26 set. 2023.

JÚNIOR, J. de M.; **Pontos Quânticos**; Monografia do Curso de Licenciatura Plena em Física apresentada ao Instituto de Física de Uberlândia; Uberlândia – MG; 2007.

Mansur, A. P. e Mansur, H. S.; **A síntese, caracterização ou aplicações de pontos quânticos (como ZnS ou CdS)**, 2010.

SANDRI, C. *et. al*.; **Pontos Quânticos Ambientalmente Amigáveis: Destaque para o Óxido de Zinco**. Quim. Nova, Vol. 40, Nº 10, 1215-1227, 2017.

SANTOS *et. al*.; **Síntese e Caracterização de Pontos Quânticos Ambientalmente Amigáveis, um Meio Simples de Exemplificar e Explorar Aspectos da Nanociência e da Nanotecnologia em Cursos de Graduação**; Quim. Nova, Vol. 43, Nº 6, 813-822, 2020.

SAÚDE DIGITAL. **Medicina no futuro: física quântica e inovação em saúde**. Disponível em: <https://saudedigital.tech/medicina-no-futuro-fisica-quantica-e-inovacao-em-saude/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

SOUZA, E. A. F.; **O Uso de Jogos Digitais em Power Point no Aprendizado de Geografia**. Disponível em: CT_INTEDUC_I_2019_21.pdf (utfpr.edu.br). Acesso em: 26 set. 2023.

VIANA, L. H. *et al*.; **Tecendo Novos Métodos de Ensino E Avaliação: Utilizando o Game Angry Birds Rio no Ensino de Física**. V Encontro de Iniciação à Docência da UEPB.

VITORETI, A. B. F. *et al*.; **Células Solares Sensibilizadas por Pontos Quânticos**. Quim. Nova, Vol. 40, Nº 4, 436-446, 2017.

