

Produto educacional**Radioactivity 1.0: um produto educacional para uso em aulas de Física****Radioactivity 1.0: an educational product for use in Physics classes****Radioactivity 1.0: un producto educativo para uso en clases de Física**Renata Belmudes Schneider¹ [0000-0002-1671-1339]Luiz Clement² [0000-0002-4396-7735]Avanilde Kemczinski³ [0000-0001-7671-5457]**Resumo**

As reflexões contidas neste artigo advém de uma pesquisa mais abrangente que objetivou investigar as contribuições do *Role-Playing Game (RPG)* para qualificação do processo de ensino-aprendizagem de Física no Ensino Médio. Para alcançar o objetivo proposto, fez-se necessário elaborar e implementar um Produto Educacional, intitulado *Radioactivity 1.0*, que consiste em uma Sequência Didática estruturada em quatro etapas com finalidades específicas e articuladas entre si, compondo a narrativa de uma aventura de RPG que explora temas relacionados à radioatividade e a energia nuclear. A implementação do PE ocorreu em uma turma da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública estadual da cidade de Pelotas-RS, durante os meses de junho e agosto de 2022. Durante o período de intervenção, foram coletados dados mediante diversos instrumentos, contudo, para este artigo, deu-se enfoque aos dados coletados através das gravações de áudio das aulas e a análise ocorreu no âmbito qualitativo. Os resultados obtidos indicam que o PE foi capaz de despertar o interesse e auxiliar os estudantes na construção do conhecimento sobre radioatividade e energia nuclear. Além disso, o RPG se mostrou uma ferramenta muito versátil, não exigindo materiais sofisticados e permitindo a adaptação de suas aventuras de acordo com os interesses e/ou necessidades dos participantes.

Palavras-chave: RPG. Radioatividade. Energia Nuclear. Ensino de Física. Ensino Médio.

Abstract

The reflections contained in this article come from a more comprehensive research that aimed to investigate the contributions of the Role-Playing Game (RPG) to qualify the Physics teaching-learning process in High School. To achieve the proposed objective, it was necessary to develop and implement an Educational Product, entitled *Radioactivity 1.0*, which consists of a Didactic Sequence structured in four stages with specific and articulated purposes, composing the narrative of an RPG adventure that explores themes related to radioactivity and nuclear energy. The implementation of the PE took place in a third-grade high school class at a state public school in the city of Pelotas-RS, during the months

¹ schneiderrenata10@gmail.com, Mestra em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville/Santa Catarina/Brasil.

² luiz.clement@udesc.br, Doutor em Educação Científica e Tecnológica, Professor Associado do Departamento de Física e do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville/Santa Catarina/Brasil.

³ avanilde.kemczinski@udesc.br, Doutora em Engenharia de Produção, Professora Associada do Departamento de Ciência da Computação da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville/Santa Catarina/Brasil.

of June and August 2022. During the intervention period, data were collected using different instruments, however, for this article, the focus was on data collected through audio recordings of classes and the analysis took place in a qualitative scope. The results obtained indicate that the PE was able to arouse interest and assist students in building knowledge about radioactivity and nuclear energy. Furthermore, RPG proved to be a very versatile tool, not requiring sophisticated materials and allowing adventures to be adapted according to the interests and/or needs of the participants.

Keywords: RPG. Radioactivity. Nuclear energy. Teaching Physics. High school.

Resumen

Las reflexiones contenidas en este artículo surgen de una investigación más integral que tuvo como objetivo investigar las contribuciones del Juego de Rol (RPG) para calificar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en la Enseñanza Media. Para lograr el objetivo propuesto, fue necesario desarrollar e implementar un Producto Educativo, titulado Radioactivity 1.0, el cual consta de una Secuencia Didáctica estructurada en cuatro etapas con propósitos específicos y articulados, componiendo la narrativa de una aventura RPG que explora temas relacionados con la radioactividad y la energía nuclear. La implementación de lo PE tuvo lugar en una clase de tercer grado de secundaria de una escuela pública estatal de la ciudad de Pelotas-RS, durante los meses de junio y agosto de 2022. Durante el período de intervención, los datos fueron recolectados mediante diferentes instrumentos, sin embargo, para este artículo, la atención se centró en los datos recopilados a través de grabaciones de audio de las clases y el análisis se llevó a cabo en un ámbito cualitativo. Los resultados obtenidos indican que la PE logró despertar el interés y ayudar a los estudiantes a desarrollar conocimientos sobre la radiactividad y la energía nuclear. Además, los RPG demostraron ser una herramienta muy versátil, no requiriendo materiales sofisticados y permitiendo adaptar las aventuras según los intereses y/o necesidades de los participantes.

Palabras claves: RPG. Radiactividad. Energía nuclear. Enseñanza de la Física. Enseñanza Secundaria.

1 Introdução

A aprendizagem de tópicos de Física se torna, cada vez mais, indispensável para uma compreensão adequada tanto dos fenômenos naturais que permeiam o nosso cotidiano quanto dos recursos tecnológicos que ganharam espaço em nossas atividades diárias nas últimas décadas. Contudo, embora esses e outros aspectos sejam elencados pela literatura como forma de justificar a importância da formação científica na Educação Básica, o interesse e a motivação dos estudantes para estudar e aprender física está distante de ser considerado satisfatório (Clement, 2013).

Dentre as muitas deficiências encontradas no processo de ensino-aprendizagem de Física, destaca-se a desatualização curricular, que acaba excluindo dos currículos escolares a produção científica do século XX, e a metodologia tradicional, centrada na memorização e resolução de exercícios que privilegiam a manipulação de equações. De acordo com Moreira (2000), a matematização excessiva, a falta de contextualização e a omissão de aspectos históricos e sociais que influenciam no desenvolvimento da ciência, fazem com que o Ensino de Física mantenha seu caráter propedêutico e sua pouca relevância para a vida dos estudantes.

Diante desse cenário, o uso de jogos educacionais se apresenta como uma alternativa promissora, capaz de despertar o interesse e motivar os alunos frente às situações de ensino.

As atividades lúdicas, em especial os jogos, estão presentes na vida dos indivíduos desde a infância e, por si só, são fontes de atração. Dessa forma, se bem planejados e organizados, podem ser transpostos para o ambiente escolar, estimulando o desenvolvimento de habilidades e revelando aos estudantes uma nova maneira, mais prazerosa e participativa, de trabalhar o conteúdo em sala de aula (Brasil, 2002).

De acordo com Nascimento Júnior e Pietrocola (2005), no caso particular do Ensino de Física, destaca-se o uso do RPG (*Role-Playing Game*), pois esse gênero de jogo insere os alunos em um mundo imaginário e a partir dele permite explorar, de forma interdisciplinar e contextualizada, tanto conteúdos de Física Clássica quanto Física Moderna, auxiliando na construção de representações coerentes para processos e fenômenos físicos. Corroborando com este argumento, Sá e Palucci (2021) destacam que a dinâmica de um jogo de RPG estimula a criatividade e possibilita que os estudantes, ao interpretarem personagens, apliquem os conceitos estudados e elaborem estratégias para solucionar as situações-problema propostas, tornando-se assim protagonistas do processo de ensino-aprendizagem:

O universo ficcional do jogo faz o aluno utilizar conceitos, muitas vezes apresentados de forma abstrata em aulas tradicionais, nas atividades de seu personagem, trazendo mais familiaridade e fazendo com que ele visualize uma aplicação prática para o seu conhecimento. Além disso, o aluno torna-se ativo sobre sua aprendizagem, e não mais espectador da aula ministrada pelo professor, através das ações e decisões a serem tomadas dentro do jogo (Sá; Palucci, 2021, p. 2).

No entanto, apesar dos benefícios apontados, ainda é baixo o número de publicações acadêmicas que relacionam o RPG e o Ensino de Física (Freitas; Sitko; Chagas, 2020). Como consequência, grande parte dos professores desconhecem essa prática ou, quando conhecem, não sabem como utilizá-la em sala de aula, devido a falta de materiais detalhados que sirvam de suporte pedagógico. Sendo assim, a presente investigação se propôs a elaborar e implementar um Produto Educacional centrado na perspectiva do RPG, contribuindo tanto para identificar as potencialidades desse recurso para o processo de ensino-aprendizagem de Física quanto para renovação curricular, mediante a abordagem e discussão de tópicos relacionados à Física Moderna.

2 Caminhos da investigação: o produto educacional

O Produto Educacional (PE) proposto consiste em uma Sequência Didática (SD) centrada na perspectiva didático-pedagógica do RPG e voltada ao estudo de tópicos de radioatividade e energia nuclear. Como justificativa para escolha dessa temática, ressalta-se a sua relevância social, histórica, cultural, econômica e científica. Dessa forma, introduzir esse assunto no Ensino Médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, avaliar riscos e benefícios decorrentes da utilização da energia nuclear, compreender como funcionam os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias, entre outros) e acompanhar os processos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação (Brasil, 2002).

Apesar das normativas e políticas educacionais ressaltarem a importância da abordagem de tópicos de radioatividade e energia nuclear na Educação Básica, a temática ainda é pouco discutida nas escolas. Estudos, como os desenvolvidos por Darroz, Rosa e Silva (2017), Santos et al. (2015) e Gutiérrez et al. (2000), demonstram que isso ocasiona uma

lacuna na formação dos estudantes e contribui para predominância de concepções equivocadas, focadas apenas em reforçar aspectos negativos da radioatividade. Assim, o objetivo da aventura *Radioactivity 1.0* é auxiliar na inserção deste tópico em sala de aula, proporcionando uma formação científica mais crítica e atual. Para isso, tem como público-alvo professores e professoras de Física do Ensino Médio.

A Sequência Didática (SD) elaborada e implementada em sala de aula foi estruturada em quatro etapas, denominadas episódios, cada uma delas com finalidades específicas e articuladas entre si, compondo a narrativa de uma aventura de RPG de mesa que explora temas relacionados à radioatividade e a energia nuclear. Os conteúdos abordados e os objetivos de cada episódio encontram-se sistematizados no Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização geral da aventura de RPG elaborada e implementada em sala de aula.

Episódio	Conteúdos	Objetivos
Recebendo a missão	Radioatividade e energia nuclear: riscos e benefícios	Apresentar a aventura aos alunos (objetivos, personagens, sistema de regras e dinâmica do jogo); Dividir os estudantes em grupos e iniciar a narrativa da aventura, situando-os da problemática e da ambientação; Propor desafios que exijam dos estudantes reflexões críticas sobre os riscos e benefícios do uso de tecnologia nuclear para geração de energia elétrica.
A manifestação	Acidentes radioativos	Avançar na narrativa da aventura; Conhecer e avaliar criticamente marcos históricos relacionados à radioatividade e sua aplicação para geração de energia elétrica.
Mãos à obra	Introdução à radioatividade: radioisótopos, natureza das radiações, decaimento radioativo, meia-vida e fissão nuclear	Colocar os estudantes diante de situações-problema cuja resolução exige o uso de conhecimentos científicos e matemáticos; Auxiliar os estudantes a compreenderem o que é radioatividade, decaimento radioativo, meia-vida e fissão nuclear, apresentando também aplicações para estes conceitos físicos;
Hora de solucionar o caso	Aplicações da radioatividade	Analisar e debater, criticamente concepções propagadas pelo senso comum sobre a radioatividade e suas aplicações; Concluir a narrativa da aventura e propor uma discussão final.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No Quadro 1 são apresentados apenas os principais objetivos de cada episódio. No entanto, para além desses objetivos específicos, a SD permite também que os estudantes: a) exercitem sua capacidade de trabalhar em equipe (troca de ideias, negociação, respeito com os colegas, sabendo ouvir e discutir opiniões divergentes); b) desenvolvam sua capacidade de

elaborar estratégias para resolução de situações-problema; c) aperfeiçoem sua capacidade de comunicar conclusões e resultados obtidos; d) exercitem o uso da imaginação, da criatividade e do raciocínio lógico; e e) desenvolvam ou aprimorem sua autonomia.

Todos esses aspectos são beneficiados pelos muitos diferenciais que o RPG apresenta. Nele o jogador, ao viver seu personagem, é levado a resolver desafios, cumprir missões e colaborar com os demais, dependendo disso para avançar na história e alcançar um objetivo comum. Os jogadores são, portanto, companheiros e não rivais (Frias, 2009). Além disso, embora exista um roteiro semiestruturado, os jogadores possuem certa autonomia para interferir e modificar os rumos da história a partir das ações do seu personagem. De acordo com Lourenço (2003, p. 5), a dinâmica básica do RPG de mesa permite considerá-lo como um jogo para contar histórias e criar narrativas orais:

Mestre e jogadores sentam-se ao redor de uma mesa e passam a contar uma história em conjunto. Ninguém sai por aí falando e fazendo coisas estranhas. O mestre descreve uma cena e pergunta a cada jogador o que seu personagem vai fazer. Então, os jogadores declaram as ações que serão tomadas por seus respectivos personagens. O mestre decide se as ações são possíveis ou não, bem-sucedidas ou não, e também o resultado de cada ação na história. Essas decisões são determinadas pelas regras do jogo e pelo bom senso do mestre. Finalmente, o mestre narra para os jogadores o desfecho da cena.

Conforme os cenários e desafios vão sendo narrados pelo mestre, os jogadores decidem quais serão as ações de seus personagens e as comunicam para o grupo por meio do discurso indireto (“meu personagem entra no porão cuidadosamente e utilizando sua habilidade de enxergar no escuro encontra o tesouro”) ou direto (“após caminhar por um longo tempo, abordo um desconhecido e pergunto: que cidade é esta? Que dia é hoje?”). São essas ações que influenciam no desenrolar da aventura e moldam a história do jogo (VVilas Boas; Macêna Júnior; Passos, 2017).

Para construir uma aventura de RPG que explora temas relacionados à radioatividade e energia nuclear, a narrativa utilizou uma problemática real: a crise hídrica no Brasil e seus impactos à geração de energia elétrica. Durante os períodos de escassez de chuvas, o nível de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas reduz drasticamente, o que compromete grande parte da capacidade de geração de eletricidade do país. Para evitar a ocorrência de um apagão nacional, outras fontes de energia são acionadas. Normalmente, opta-se pelo uso das usinas termelétricas, que funcionam a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e contribuem para a emissão de gases causadores do efeito estufa.

Como alternativa para esse problema, a aventura apresenta a possibilidade de construção e implementação de mais usinas nucleares no Brasil. O próprio Plano Nacional de Energia (PNE) prevê a necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileira a partir de investimentos em fontes complementares. Nesse cenário, a energia nuclear assume um papel de destaque e sua participação poderá crescer progressivamente até 2050, reduzindo assim os níveis de emissão de CO₂ para atmosfera e a dependência de fatores climáticos no processo de geração de energia (Brasil, 2020).

Em um jogo de RPG, os personagens devem estar em sintonia com o estilo e os objetivos da história na qual estão inseridos e para isso, seu processo de criação deve seguir critérios. Na aventura *Radioactivity 1.0*, os personagens são membros do Conselho Nacional

de Energia Nuclear (CNEN) e precisam avaliar a possibilidade de construção de uma usina nuclear na Baía da Babitonga, localizada no litoral norte do estado de Santa Catarina. Assim, a equipe terá de enfrentar situações-problema que envolvem não só fenômenos físicos, mas também questões sociais, econômicas, ambientais, culturais e históricas relacionadas à radioatividade e suas aplicações. O objetivo é trabalhar o tema de forma interdisciplinar e orientar os estudantes em direção ao desenvolvimento do pensamento crítico. Ao final, a equipe deve decidir investir ou não no projeto de construção da usina nuclear na região, justificando sua escolha com base em dados e informações científicas.

As principais características e funções dos três personagens que integram a aventura *Radioactivity 1.0* são apresentadas no Quadro 2. No PE, todas essas informações encontram-se reunidas nas chamadas fichas de personagens, elemento bastante comum em uma aventura de RPG de mesa. De modo geral, cada personagem possui uma espécie de formulário onde ficam descritas suas características: nome, idade, profissão, aparência, habilidades, história de vida, entre outras. Na aventura, essas características formam a identidade do personagem e o jogador deve saber usá-las a seu favor, em prol da solução dos desafios propostos (Amaral, 2013).

Quadro 2: Descrição e habilidades dos personagens da aventura *Radioactivity 1.0*.

Personagem	Descrição	Habilidades
Bióloga	Responsável por realizar o levantamento das características do meio e avaliar os impactos ambientais causados por empreendimentos humanos, como a construção de novas usinas.	1. Domínio das ciências naturais; 2. Pesquisa; 3. Cautela.
Economista	Lida com as questões econômicas e financeiras do empreendimento de construção de uma nova usina, realizando estudos sobre o setor elétrico brasileiro e definindo as melhores estratégias para o seu crescimento.	1. Análise de dados; 2. Raciocínio lógico; 3. Negociação.
Engenheiro Nuclear	Responsável por projetar, gerenciar e supervisionar uma usina nuclear. Além disso, também atua em questões relacionadas à manutenção e funcionamento de equipamentos diversos.	1. Solução de problemas; 2. Domínio das ciências exatas; 3. Liderança.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A implementação do PE foi conduzida pela primeira autora deste artigo e ocorreu em uma escola da rede pública estadual da cidade de Pelotas-RS. A turma participante pertencia a terceira série do Ensino Médio regular noturno, constituindo uma amostra inicial de 22 estudantes, com idades que variavam de 17 até 24 anos, sendo 12 (55%) do sexo masculino e 10 (45%) do sexo feminino. Ao longo deste trabalho, os estudantes são identificados apenas

pela letra A seguida de um número (A1, A2, ..., A22), garantindo o anonimato dos participantes.

Durante o período de intervenção, foram coletados dados mediante diversos instrumentos, contudo, para este trabalho, daremos enfoque aos dados coletados através das gravações de áudio das aulas e a análise se dará no âmbito qualitativo. As técnicas de gravações de áudio constituem um instrumento confiável e seguro para o registro do trabalho de campo, evitando que informações relevantes passem despercebidas ao registrar diálogos e expressões orais de diferentes sujeitos frente a uma atividade ou questão proposta em sala de aula. Nesse sentido, Lüdke e André (1986) afirmam que as gravações de áudio se mostram uma técnica produtiva nas investigações que procuram entender como os alunos constroem os conhecimentos científicos frente às situações de ensino.

3 Resultados

Esta seção é destinada à descrição e reflexão sobre a implementação do PE e tem como objetivos: a) fornecer ao leitor uma compreensão mais clara das atividades realizadas; e b) evidenciar características e elementos presentes no processo de intervenção didático-pedagógica que atestam as potencialidades do RPG para o processo de ensino-aprendizagem de radioatividade e energia nuclear no Ensino Médio. Para isso, a seguir é apresentada uma análise descritiva, organizada de acordo com os episódios da aventura *Radioactivity 1.0*.

Episódio I: Recebendo a Missão

Para a aplicação da aventura, a turma foi dividida em três grupos, onde cada grupo se tornou responsável por interpretar um dos personagens. Optou-se por esta dinâmica porque ela reduz o número de personagens em jogo, facilita o papel do mestre e coloca os alunos de um mesmo grupo em contato direto durante as discussões. Isso também ajuda os estudantes mais introvertidos a se sentirem confortáveis para manifestar suas ideias e opiniões, sem tanta exposição diante da turma.

Os alunos escolheram o personagem que representariam na aventura de acordo com seus próprios interesses ou preferências e, a partir disso, os grupos foram divididos. Essa simples ação exercita a autonomia dos estudantes, facilita a identificação pessoal com o personagem e evita que os grupos sejam formados exclusivamente por afinidade, colaborando para o aumento da interação em sala de aula.

Finalizada a apresentação dos personagens, do sistema de regras e do cenário da aventura, os estudantes se deparam com o primeiro desafio. Nele, cada grupo, tomando como base a profissão e as habilidades do seu personagem, deveria elencar um pró e um contra relacionado à construção da usina nuclear na Baía da Babitonga.

O grupo responsável por interpretar a bióloga foi o primeiro a concluir a atividade, destacando os impactos ambientais decorrentes da construção da usina nuclear na região e, em contrapartida, a redução nos índices de emissão de CO₂ para a atmosfera. Já a produção de rejeitos radioativos e o risco de acidentes nucleares foi a principal pauta das discussões do grupo responsável por representar o engenheiro. Enquanto isso, o grupo responsável por interpretar a economista mencionou como pró a criação de novos empregos e como contras a necessidade de um alto investimento inicial e a taxa de juros excessiva envolvida na construção de uma usina nuclear. Para exemplificar algumas das afirmações, destaca-se o diálogo abaixo:

A16: A gente vai deixar de depender tanto das hidrelétricas e deixar de acionar termoelétricas. Isso é uma vantagem, não é?

A5: É!

A4: E daí será que a energia não fica mais barata? Alguém tem o texto da aula passada?

A9: Eu, "perai".

A4: Aqui fala que quando ligam as termoelétricas a tarifa de energia fica mais cara. Se a gente tiver usinas nucleares e não precisar mais das termelétricas deve ficar mais barato, eu acho...

A16: Vamos colocar como vantagem também. Nós temos que defender um pouco, porque somos engenheiros nucleares.

A5: Faz sentido, mas eu sou contra!

A2: E a desvantagem?

A5: Tem muitas, eu acho... É tri perigoso, tem risco de acidentes.

A16: Na série Dark eles guardavam o que sobrava da usina numa caverna, porque era perigoso para cidade.

A9: Verdade! Aquilo é o lixo radioativo, tem que isolar!

(Diálogo entre alunos, 2022).

Esse recorte demonstra que a atividade promoveu um clima favorável para o desenvolvimento da aprendizagem e permitiu a construção de uma boa reflexão em torno do assunto abordado. Isso reforça o entendimento de que é fundamental buscar por perspectivas de ensino que forneçam suportes à autonomia e protagonismo dos alunos. Além disso, o RPG, ao explorar o uso da imaginação, possibilita que seus jogadores vivenciem situações distantes da sua realidade. Assim, ao interpretar um papel, o jogador se aproxima desse universo, atribuindo-lhe importância pessoal e encarando os desafios de acordo com as características ou funções do seu personagem.

Episódio II: A Manifestação

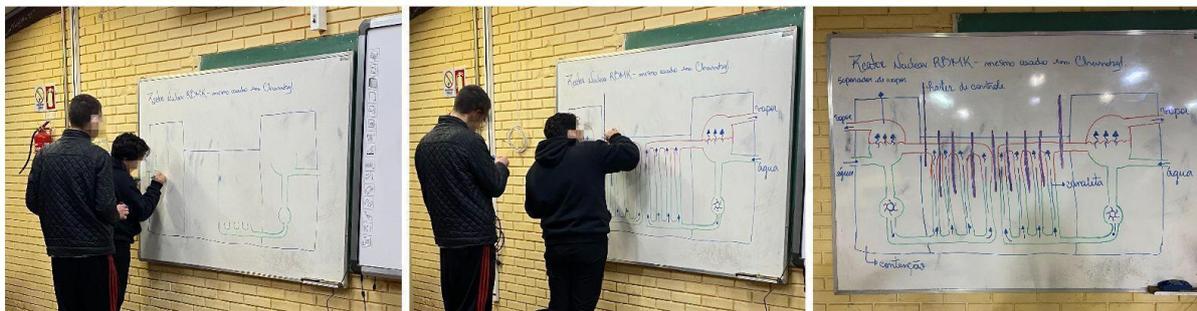
Em 2011, após um inesperado acidente na usina de Daiichi Fukushima, no Japão, o medo e a rejeição pública ao uso de tecnologia nuclear para geração de energia elétrica aumentou consideravelmente em todo o mundo. O evento em questão foi provocado por um terremoto seguido de um tsunami de grandes proporções, que atingiu a estrutura da usina e danificou seus reatores, causando vazamento de material radioativo. Na época, foram realizadas manifestações contra a construção de novas usinas nucleares e a favor do fechamento das já existentes em diversos países, como França, Alemanha e Brasil.

O segundo episódio da aventura *Radioactivity 1.0* usa esse acidente como ponto de partida e, como desafio, solicita que os do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN), prestem esclarecimentos à população local sobre o projeto de construção de uma usina nuclear na Baía da Babitonga. Para isso, faz-se necessário produzir um manifesto, explicando aspectos relacionados à radioatividade e ao acidente de Fukushima, no Japão. O objetivo central é promover debates críticos sobre o risco de acidentes em usinas nucleares e contribuir para a construção do conhecimento histórico e científico sobre o assunto.

Entre os principais resultados alcançados neste episódio, destaca-se a realização de pesquisas voluntárias por parte dos estudantes. Essa prática é bastante comum no RPG, onde os jogadores buscam compreender com maior propriedade os assuntos abordados na aventura. No caso particular do RPG Pedagógico, esse estímulo leva o estudante a aprofundar seus estudos sobre os conceitos científicos envolvidos na narrativa, percebendo que eles são necessários para gerar ações e resolver melhor os desafios propostos.

Esse fato pôde ser observado quando o grupo de estudantes responsável por interpretar o engenheiro nuclear na aventura chegou alguns minutos mais cedo à sala de aula e utilizou uma parte do quadro para representar o esquema de um reator nuclear do tipo RBMK, o mesmo usado na usina de Chernobyl. Na Figura 1, é possível visualizar o desenho elaborado pelo grupo.

Figura 1: Esquema de um reator nuclear do tipo RBMK produzido pelos estudantes.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O estímulo à pesquisa, promovido pelo RPG, também ficou evidente quando outros alunos chegaram à sala de aula empolgados para socializarem suas percepções e ideias sobre o tema. Entre os aspectos elencados pela turma durante a escrita do manifesto estão as principais causas e consequências do acidente nuclear em Fukushima, o índice de ocorrência de acidentes em usinas nucleares no mundo quando comparado a outras fontes de geração de energia elétrica e às medidas de segurança adotadas, entre elas a escolha adequada do tipo de reator e a necessidade de um plano de emergência capaz de prever ações de proteção para a população local em caso de acidentes.

Episódio III: Mãos à Obra

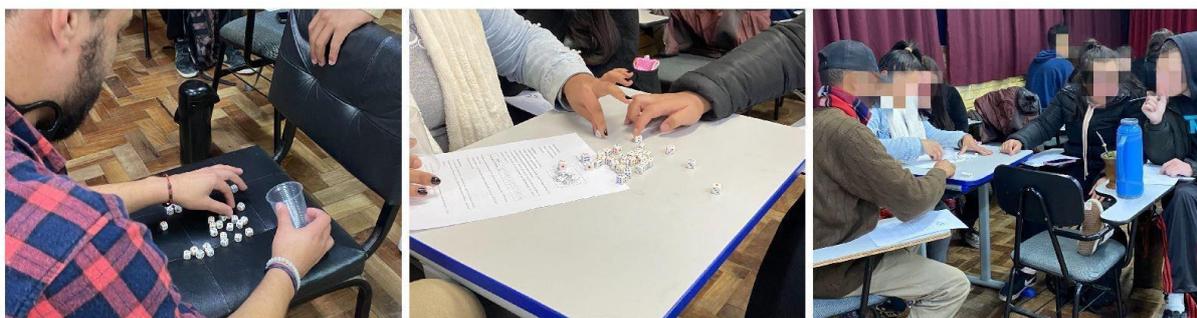
Dos vinte e dois estudantes que participaram do processo de implementação do PE, nenhum manifestou possuir uma impressão positiva sobre a radioatividade e apenas cinco indicaram já ter estudado sobre assunto na escola. Isso justifica a grande predominância de concepções negativas sobre o tema: *“a radioatividade é altamente tóxica e contaminante tanto para o solo quanto para o ser humano. Pode causar danos ao meio ambiente e acidentes graves como em Chernobyl”* (A1); *“devido a vários relatos de acidentes com elementos radioativos e também por conta da segunda guerra mundial em 1945, eu sempre vi a radioatividade como algo ruim e tóxico”* (A9).

Tendo em vista que a radioatividade ainda é um conteúdo pouco discutido nas escolas e a necessidade de uma maior compreensão sobre o assunto por parte dos alunos, o terceiro episódio da aventura é destinado ao aprofundamento teórico de conhecimentos científicos relacionados à temática, sendo eles: radioisótopos; tipos de radiação; decaimento radioativo; meia-vida e fissão nuclear. Para explorar esses conceitos foram elaborados dois desafios.

No primeiro desafio do terceiro episódio, os membros do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN) precisam avaliar as propriedades radioativas de uma rocha com coloração azulada, encontrada por uma empresa de minérios em uma pedreira próxima à cidade de Joinville-SC. Para isso, é necessário representar graficamente o decaimento radioativo de uma amostra extraída da rocha e, logo após, determinar sua meia-vida.

Como não é possível trabalhar com elementos radioativos em sala de aula, utilizou-se um experimento simples para simular o processo de decaimento radioativo: em um copo foram colocados 30 dados, que funcionavam como uma analogia aos átomos instáveis presentes na amostra. Os dados eram então soltos sobre uma mesa. Todos aqueles que caíam com a face “número um” virada para cima representavam, simbolicamente, os átomos que sofreram decaimento. Já os demais dados, que caíram com qualquer outra face para cima, eram colocados de volta no copo e repetia-se o procedimento até não restar mais nenhum dado. Ao se fazer um gráfico do número de dados que não decaíram em função do número de jogadas, é possível obter uma representação coerente do que seria o decaimento exponencial da amostra com o passar do tempo e, a partir disso, determinar sua meia-vida. A Figura 2 retrata os grupos manipulando os dados e reproduzindo o experimento proposto.

Figura 2: Estudantes trabalhando no experimento de decaimento radioativo



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Ao final do experimento, todos os grupos conseguiram traçar a curva do gráfico de forma coerente e encontraram uma meia-vida de quatro dias. Ao compararem o resultado obtido com o tempo de meia-vida de alguns radioisótopos, concluíram que a amostra rochosa possivelmente era constituída de Bismuto-210, elemento não tóxico e muito utilizado na fabricação de medicamentos.

No segundo desafio do terceiro episódio, os membros do CNEN são convocados para uma reunião extraoficial com os prefeitos das seis cidades localizadas no entorno da Baía da Babitonga e têm como objetivo descrever o princípio de funcionamento de uma usina nuclear, avaliando os riscos e benefícios de um empreendimento desse tipo. Nesse momento da aventura, além da troca de ideias sobre o assunto abordado, os estudantes colaboraram entre si, tentando sanar dúvidas uns dos outros. Para exemplificar, destaca-se o trecho do diálogo abaixo:

A8: *Então a turbina gira por causa do vapor?*

A7: *Isso!*

A8: *E quando a turbina gira por causa do vapor tem energia cinética?*

A6: *É! Quando o vapor d'água chega na turbina, ele gira as pás. Quando as pás estão girando tem energia cinética. Depois o gerador converte essa energia cinética em energia elétrica.*

A8: *Entendi...*

A3: *Será que quanto mais vapor, mais rápido a turbina gira e mais energia produz?*

A7: *Eu acho que sim. Faz sentido pelo menos.*

A8: *Além da nuclear quais mais tem turbina?*

A3: *A do vento lá... eólica.*

A7: *As termoelétricas têm também. É igual a nuclear só que quem aquece a água é o carvão.*
A3: *Ah é, verdade!*
A6: *Se não me engano, na hidrelétrica tem turbina também e é a força da água que movimenta.*
(Diálogo entre alunos, 2022).

O processo de construção conjunta do conhecimento e ajuda mútua, além de ser muito benéfico para a aprendizagem, contribui para o desenvolvimento da autonomia dos estudantes. No diálogo apresentado acima, percebe-se que mesmo sem a intervenção direta da pesquisadora, os alunos identificaram que o movimento das pás de uma turbina é um aspecto comum e presente em diferentes formas de geração de energia elétrica.

Episódio IV: Hora de Solucionar o Caso

O quarto e último episódio da aventura *Radioactivity 1.0* busca promover debates críticos, com o intuito de desmistificar algumas concepções propagadas pelo senso comum sobre radioatividade e energia nuclear. Além disso, ao final desse episódio, os alunos devem decidir se irão ou não investir no projeto de construção da usina nuclear na Baía da Babitonga, justificando sua escolha com base em dados e informações científicas.

Para iniciar a discussão, a professora selecionou alguns recortes de reportagens contendo manchetes polêmicas sobre radioatividade e propôs questionamentos como: o micro-ondas causa câncer? A tecnologia 5G é prejudicial à nossa saúde?. Essa problematização encaminhou uma discussão frutífera, em que assuntos como a existência de alimentos radioativos, as consequências da exposição prolongada à radiação e as aplicações da radioatividade na medicina foram postos em pauta. Para exemplificar, segue o recorte do diálogo a seguir:

A10: *Na internet tem um vídeo de um cara que fala que o micro-ondas dá câncer, ele fala com tanta convicção que eu até acreditei.*
P: *Mas causa câncer?*
A10: *Não, agora eu sei que não.*
P: *E por que?*
A12: *Porque a radiação do micro-ondas é não-ionizante, né?!*
P: *É, exatamente!*
(Diálogo entre professora e alunos, 2022).

Cabe mencionar, no entanto, que essa atividade não foi realizada como previsto no texto do PE, pois o período de implementação já havia se estendido além do esperado. Dessa forma, a professora optou por adaptar e simplificar o desafio, ao invés de deixar de abordar tópicos relevantes sobre a temática. Esse fato demonstra que o RPG consiste em um jogo bastante flexível permitindo que suas aventuras sejam adaptadas de acordo com os interesses e/ou necessidades dos participantes.

Após os debates, a professora apresentou o último desafio à turma, que consistia em decidir se o projeto de construção de uma usina nuclear na Baía da Babitonga seria aprovado ou não. Para isso, cada grupo definiu, individualmente, seu posicionamento final e, logo após, o comunicaram para a professora e o restante da turma. Nesse momento, foi possível observar que ninguém monopolizou a decisão do grupo, todos os estudantes tiveram a possibilidade de participar e opinar. A seguir, os diálogos caracterizam esse momento e revelam o ponto de vista de cada grupo com relação a situação-problema:

A6: A bióloga é a favor, porque senão fosse a termonuclear, provavelmente teria que colocar painéis solares ou torres eólicas e seriam necessários muitos deles pra gerar uma boa quantidade de energia. Isso ia acabar com a paisagem da Baía da Babitonga e também traria impactos pra fauna e pra flora. Então, com a termonuclear a gente gera muita energia, ocupando um espaço pequeno e não polui.

A14: A economista é contra. Esse um consenso do grupo. O custo de construção e manutenção é muito alto e vida útil da usina é curta, corre o risco dela não conseguir se pagar e daí o governo vai ter investido milhões em vão. Além que exige uma mão de obra muito especializada e o reator e muitas outras coisas tem que ser importados.

A5: Talvez seja estranho, mas o engenheiro é contra. Nós discutimos bastante e o que pesou mais foi que ter que transportar as pastilhas de urânio do Rio de Janeiro pra Joinville. Daí ainda tem toda a questão dos impactos ambientais e do custo de construção. É muito melhor finalizar a construção de Angra III, antes de iniciar um novo projeto. Porque corre o risco desse começar e também não ser concluído.

(Decisões finais dos grupos, 2022).

Dessa forma, por dois votos contra um, a turma decide pela não construção da usina nuclear na Baía da Babitonga. Entre os argumentos apresentados pelos estudantes para justificar a decisão do seu personagem estavam o elevado custo de construção e manutenção da usina, a necessidade de transportar o combustível radioativo da unidade de enriquecimento no estado do Rio de Janeiro até Joinville-SC, o atraso na conclusão da obra da usina nuclear de Angra III e, em contrapartida, a alta eficiência energética do urânio quando comparada a outras fontes de geração de energia.

4 Considerações finais

Os resultados obtidos com a implementação do PE são importantes indicadores de que a narrativa da aventura e as situações-problema propostas foram capazes de envolver os estudantes no processo de ensino-aprendizagem, despertando seu interesse e auxiliando na construção do conhecimento sobre radioatividade e energia nuclear. Isso é consequência de uma prática educativa que estimula a autonomia e a participação ativa dos alunos.

Dessa forma, o RPG não só pode ser utilizado como perspectiva didático-pedagógica, como se mostra uma ferramenta muito versátil, permitindo que suas narrativas sejam criadas, recriadas e adaptadas conforme a necessidade ou o interesse dos participantes. Além disso, possui uma estrutura simples, que não exige materiais sofisticados e cujo principal recurso utilizado é a imaginação. Todos esses aspectos favorecem sua aplicação em sala de aula.

Na aventura *Radioactivity 1.0*, em especial, optou-se por utilizar como plano de fundo para história um cenário real: a cidade de Joinville e a Baía da Babitonga. O objetivo era substituir os cenários de fantasia, comuns em RPGs comerciais, mobilizando conhecimentos e habilidades dos estudantes para discutir demandas complexas do mundo real e evitando assim que os conceitos científicos fossem violados pela presença de elementos como superpoderes e magias.

Como o processo de intervenção didático-pedagógica ocorreu em uma escola pública da cidade de Pelotas-RS e a Baía da Babitonga está localizada no litoral norte do estado de Santa Catarina, o cenário escolhido estava um pouco distante da realidade dos estudantes. No entanto, esse não foi um fator prejudicial à aplicação da aventura, os resultados obtidos

continuaram sendo positivos e as qualidades intrínsecas ao RPG foram mantidas. Esse fato atesta o potencial de replicabilidade do PE em outros contextos educacionais.

Espera-se que os resultados obtidos a partir da aplicação da aventura *Radioactivity 1.0* incentivem a incorporação da perspectiva didático-pedagógica do RPG nos planejamentos de aula de professores de Física do Ensino Médio e estimulem ainda a proposição de novos estudos sobre a temática. Por fim, cabe mencionar que o PE pode ser consultado na plataforma EduCapes (<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/725749>).

Apoio:

Agradecemos o apoio da UDESC e FAPESC.

Referências

AMARAL, R. R. do. **RPG na Escola: aventuras pedagógicas**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCNs+:** orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília: MME/EPE, 2020.

CLEMENT, L. **Autodeterminação e Ensino por Investigação:** construindo elementos para promoção da autonomia em aulas de Física. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

DARROZ, L. M.; ROSA, C. T. W. da; SILVA, J. C. da. Análise da abordagem de Física Nuclear nos livros didáticos de Física. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 7, n.3, p. 56-72, 2017.

FREITAS, L. C. L.; SITKO, C. M.; CHAGAS, M. L. Panorama do RPG (Role-Playing Game) no Ensino de Física no período de 2015-2019. **Revista Ensino & Pesquisa**, v. 18, n. 3, p. 53-64, 2020.

FRIAS, E. R. **Jogos das Representações (RPG) e Aspectos da Moral Autônoma**. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

GUTIÉRREZ, E. E. et al. ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear?. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 18, n. 2, p. 247-254, 2000.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação:** abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectivas e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.

NASCIMENTO JÚNIOR, F. A.; PIETROCOLA M. O papel do RPG no Ensino de Física. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005, Bauru. **Anais [...]**. São Paulo: ABRAPEC, 2005, p.1-12.

SÁ, C. D. de; PAULUCCI, L. Desenvolvimento de um sistema de RPG para o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2021.

SANTOS, J. P. dos. et al. Concepções de estudantes do Ensino Médio sobre Radioatividade. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. São Paulo: ABRAPEC, 2015, n.p.

VILA BOAS, A. C.; MACÊNA JUNIOR, A. G; PASSOS, M. M. RPG pedagógico como ferramenta alternativa para o ensino de Física no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 372-403, 2017.