



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

FRANCISCO REMO PEREIRA LOURENÇO

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM FÍSICA DE FLUIDOS POR MEIO DO
JOGO DIGITAL SUBNAUTICA

FORTALEZA

2026

FRANCISCO REMO PEREIRA LOURENÇO

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM FÍSICA DE FLUIDOS POR MEIO DO JOGO
DIGITAL SUBNAUTICA

Monografia apresentada ao Curso de
Licenciatura em física da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de licenciado em física

Orientador: Doutor. Jefferson Mendes Aguiar
Paixão

FORTALEZA

2026

FRANCISCO REMO PEREIRA LOURENÇO

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM FÍSICA DE FLUIDOS POR MEIO DO JOGO
DIGITAL SUBNAUTICA

Monografia apresentada ao Curso de
Licenciatura em Física da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 06/07/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jefferson Mendes Aguiar Paixão (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Afrânio de Araújo Coelho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco Timoteo e Maria
Lucia.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jefferson Mendes Aguiar Paixão, pela orientação cuidadosa, pela disponibilidade e pelo incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho e de minha formação acadêmica.

Aos professores Afrânio Araújo e Daniel Brito, pela participação na banca examinadora e pelas contribuições que enriqueceram esta pesquisa.

Aos meus amigos Mateus Brandão e Herbert Nogueira, pela amizade, pelo companheirismo e pelo apoio ao longo da graduação.

Aos alunos que participaram voluntariamente da atividade, cuja disposição e engajamento tornaram este estudo possível.

À escola, E.E.M Dr. Gentil Barreira, que abriu suas portas para a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha formação.

“Bons jogos ensinam as pessoas a aprender e a gostar de aprender.”

James Paul Gee (2003).

RESUMO

O ensino de física no ensino médio enfrenta desafios relacionados à compreensão de conceitos abstratos, especialmente nos conteúdos de estudo de fluidos, como pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica. Frequentemente abordados de forma excessivamente formal e matematizada, esses conteúdos acabam dificultando a construção de significados por parte dos estudantes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo investigar o potencial do jogo digital *Subnautica* como ferramenta pedagógica para a promoção da aprendizagem significativa desses conceitos, à luz da teoria da aprendizagem significativa. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza qualitativa, desenvolvido com alunos do Ensino Médio em uma escola pública, a partir da aplicação de uma sequência didática que integrou explicação conceitual, atividades práticas mediadas pelo jogo e instrumentos de avaliação diagnóstica e formativa. Os dados foram coletados por meio de questionários prévios e pós-atividade, roteiros de atividades e registros escritos dos alunos. Os resultados indicam que o uso do jogo favoreceu a visualização dos fenômenos físicos, o engajamento dos estudantes e a articulação entre conhecimentos prévios e novos conceitos, contribuindo para uma compreensão mais significativa dos conteúdos trabalhados. Conclui-se que jogos digitais com motores de simulação física podem atuar como ferramentas mediadoras eficazes no ensino de física, desde que integrados a uma proposta pedagógica fundamentada teoricamente.

Palavras-chave: ensino de física; aprendizagem significativa; jogos digitais; estudo de fluidos; *Subnautica*.

ABSTRACT

Physics teaching in high school faces significant challenges related to students' understanding of abstract concepts, especially in fluid physics topics such as hydrostatic pressure, buoyancy, and hydrodynamics. These contents are often presented in an overly formal and mathematical way, which may hinder the construction of meaningful learning. In this context, this study aims to investigate the potential of the digital game *Subnautica* as a pedagogical tool to promote meaningful learning of these concepts, based on David Ausubel's theory of meaningful learning and its development by Marco Antônio Moreira. This research is characterized as a qualitative case study conducted with high school students from a public school, through the application of a didactic sequence that integrated conceptual explanation, game-based practical activities, and diagnostic and formative assessment instruments. Data were collected using pre- and post-activity questionnaires, activity guides, and students' written records. The results indicate that the use of the game enhanced the visualization of physical phenomena, increased student engagement, and facilitated the connection between prior knowledge and new concepts, contributing to a more meaningful understanding of the studied contents. It is concluded that digital games with physics simulation engines can function as effective mediating tools in Physics teaching when integrated into a theoretically grounded pedagogical approach.

Keywords: physics teaching; meaningful learning; digital games; fluid physics; *Subnautica*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema das pressões atuantes em um líquido (Teorema de Stevin)	22
Figura 2	Condições de flutuação, afundamento e equilíbrio em função das forças de empuxo e peso	25
Figura 3	Representação do escoamento do fluido ao redor de um objeto e da força de arrasto resultante	27
Figura 4	Seamoth navegando em profundidade segura	30
Figura 5	Interior do Seamoth com integridade do casco comprometida ao ultrapassar o limite de profundidade	31
Figura 6	Implosão do Seamoth a 202 m devido ao excesso de pressão hidrostática	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Aprendizagem significativa e ensino de Física	14
2.2	Metodologias ativas e jogos digitais na educação	17
2.3	Estudo de fluidos no ensino médio	20
2.3.1	<i>Pressão hidrostática</i>	21
2.3.2	<i>Empuxo</i>	23
2.3.3	<i>Hidrodinâmica</i>	26
2.3.4	<i>Abordagem do conteúdo nas escolas</i>	29
2.4	O jogo Subnautica como ambiente de simulação	29
3	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	Tipo e natureza da pesquisa	35
4.2	Contexto e participantes	35
4.3	Instrumentos de coleta de dados	36
4.4	Procedimentos de aplicação	37
4.5	Forma de análise dos dados	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	Conhecimentos prévios	39
5.2	Análise das atividades desenvolvidas com o jogo Subnautica	40
5.3	Evidências de aprendizagem significativa	41
5.4	Discussão dos resultados à luz da fundamentação teórica	43
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE A - PLANO DE AULA	50

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PRÉVIO	52
APÊNDICE C - ROTEIRO DE ATIVIDADES	53
APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO PÓS- ATIVIDADE	55
APÊNDICE E - FOLHA DE INSTRUÇÕES	57

1 INTRODUÇÃO

O ensino de física no ensino médio apresenta desafios recorrentes, especialmente no que se refere à compreensão de conteúdos que exigem elevado grau de abstração e interpretação conceitual. A Base Nacional Comum Curricular reconhece a cultura digital e o uso de tecnologias como dimensões fundamentais da formação dos estudantes na Educação Básica (Brasil, 2018), o que reforça a pertinência de propostas pedagógicas que articulem o ensino de física com recursos tecnológicos significativos para os jovens. Temas como hidrostática e hidrodinâmica, frequentemente abordados de maneira excessivamente formal e matemática, acabam sendo percebidos pelos alunos como distantes de sua realidade, contribuindo para o desinteresse e para dificuldades no processo de aprendizagem.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho surge da inquietação do autor, enquanto professor, diante desse cenário. A busca por propostas pedagógicas diferenciadas esteve diretamente relacionada ao desejo de promover aulas mais significativas, capazes de despertar o interesse dos alunos e de atribuir sentido aos conteúdos de física. Essa inquietação foi reforçada pela percepção de que, muitas vezes, a física é apresentada como um conjunto de fórmulas descontextualizadas, o que pode levar os estudantes a enxergarem a disciplina como distante e sem propósito. Em contraste, a associação entre conceitos físicos e situações vivenciadas em jogos eletrônicos revelou-se uma possibilidade concreta para evidenciar o valor explicativo da física e seu papel na interpretação do mundo.

No contexto da sala de aula, observava-se que os alunos frequentemente demonstravam insegurança diante de conteúdos de física, especialmente quando antecipavam a necessidade de cálculos matemáticos. Questionamentos recorrentes sobre a realização de contas e dificuldades declaradas em matemática indicavam uma barreira inicial à aprendizagem, que se tornava ainda mais evidente nos conteúdos de estudo de fluidos, nos quais a formalização matemática costuma preceder, e muitas vezes substituir, a compreensão qualitativa dos fenômenos.

Diante desse cenário, a utilização de jogos digitais apresentou-se como uma possibilidade pedagógica promissora. O jogo *Subnautica*, em particular, destacou-se por oferecer um ambiente subaquático rico em simulações físicas, no qual fenômenos como o aumento da pressão com a profundidade, a flutuação de objetos e a resistência do fluido ao movimento são constantemente observáveis. O caráter lúdico do jogo, aliado ao realismo de suas mecânicas físicas, possibilita sua utilização como um ambiente de simulação capaz de favorecer a visualização de conceitos abstratos e de promover uma aprendizagem mais

contextualizada e significativa.

Portanto, este trabalho tem como objetivo investigar o uso do jogo *Subnautica* como ferramenta pedagógica para o ensino de conceitos de Estudo de fluidos no Ensino Médio, à luz da teoria da aprendizagem significativa. Espera-se que a proposta desenvolvida contribua não apenas para o aprimoramento da prática docente do autor, mas também para inspirar outros professores a explorarem novas possibilidades metodológicas, ampliando as formas de abordagem dos conteúdos de física na escola pública.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que embasam a proposta deste trabalho. Inicialmente, discute-se a teoria da aprendizagem significativa, a partir das contribuições de Ausubel e das interpretações de Marco Antônio Moreira, seguida de reflexões sobre metodologias ativas e o uso de jogos digitais na educação. Por fim, são abordados conceitos fundamentais de estudo de fluidos, que sustentam a aplicação didática proposta.

2.1 Aprendizagem significativa e ensino de física

A aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, constitui uma das principais teorias cognitivas aplicadas ao campo educacional. Segundo essa perspectiva, aprender de forma significativa implica relacionar novos conhecimentos a conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não mecânica. Diferentemente da aprendizagem por memorização, a aprendizagem significativa pressupõe compreensão, atribuição de sentido e integração do novo conteúdo ao conhecimento prévio do estudante.

Para compreender a teoria de Ausubel, é necessário esclarecer dois conceitos centrais: subsunção e ancoragem. Um subsunção é uma estrutura de conhecimento já existente na mente do aprendiz, um conceito, uma ideia ou uma experiência prévia, que serve como ponto de referência para a incorporação de uma nova informação. Não se trata de um conhecimento necessariamente formal ou cientificamente correto; pode ser uma noção intuitiva, construída a partir de experiências cotidianas. Quando uma nova informação se relaciona a um subsunção já presente na estrutura cognitiva do aluno, ocorre o que Ausubel chama de ancoragem: o processo pelo qual o novo conhecimento se conecta ao conhecimento prévio, ganhando significado e sendo incorporado de forma estável à estrutura cognitiva (Ausubel, 2003).

Esse processo pode ser ilustrado com um exemplo simples: um aluno que já sabe, intuitivamente, que "quanto mais fundo se desce na água, mais difícil fica respirar ou se manter" possui um subsunção relacionado à pressão, ainda que não o reconheça com esse nome. Quando esse aluno é exposto ao conceito formal de pressão hidrostática, a nova informação não é apresentada a uma mente vazia, ela se ancora nessa intuição prévia, que é progressivamente refinada e articulada com a linguagem científica. É esse mecanismo de ancoragem que torna a aprendizagem significativa, em contraste com a aprendizagem mecânica, na qual o novo

conteúdo é armazenado sem conexão com o que o aluno já sabe, sendo facilmente esquecido (Ausubel, 2003).

Além da presença de subsunçores adequados, Ausubel (2003) aponta uma segunda condição necessária para que a aprendizagem significativa ocorra: a disposição do aprendiz para relacionar o novo conteúdo ao que já sabe, em vez de simplesmente memorizá-lo. Essa disposição não depende apenas de motivação ou interesse pelo tema, ela diz respeito a uma postura cognitiva ativa, em que o aluno está genuinamente disposto a construir significados em vez de reproduzir informações. Quando essa disposição está ausente, mesmo que o aluno possua subsunçores relevantes e o professor organize o conteúdo de forma adequada, a aprendizagem tende a se tornar mecânica: o conteúdo é armazenado de forma isolada, sem conexão com o conhecimento prévio, e tende a ser esquecido rapidamente. Essa distinção é relevante para este trabalho porque permite interpretar, à luz da teoria, situações em que o engajamento observado durante a atividade não corresponde à disposição declarada pelo aluno, aspecto que será retomado na análise dos resultados.

Moreira (2011a), ao discutir e ampliar a teoria de Ausubel no contexto brasileiro, destaca que esse processo de ancoragem não é estático: à medida que novos conhecimentos se conectam a um subsunçor, esse próprio subsunçor se modifica e se torna mais elaborado, processo que o autor denomina diferenciação progressiva. Por outro lado, quando o aprendiz percebe relações entre ideias que antes pareciam não relacionadas, e consegue reorganizar sua estrutura cognitiva de forma a integrá-las sob um princípio mais amplo, ocorre a reconciliação integradora. Esses dois processos, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, são, segundo Moreira (2011a), os mecanismos pelos quais a estrutura cognitiva se reorganiza continuamente ao longo da aprendizagem significativa.

Para Ausubel, o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Dessa forma, identificar e considerar os conhecimentos prévios dos estudantes torna-se essencial no planejamento de qualquer proposta pedagógica. Quando novos conceitos são apresentados sem conexão com essas ideias prévias, a aprendizagem tende a ser superficial e rapidamente esquecida, o que é frequentemente observado no ensino tradicional de física.

No contexto brasileiro, Marco Antônio Moreira ampliou e aprofundou as discussões sobre a aprendizagem significativa, especialmente no ensino de Ciências e física. Para o autor, a aprendizagem ocorre quando o estudante consegue estabelecer relações entre conceitos, promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Esses processos

permitem que ideias mais gerais sejam progressivamente refinadas e articuladas com novos conceitos, favorecendo uma compreensão mais estruturada e duradoura.

No ensino de física, a aprendizagem significativa apresenta-se como uma alternativa às abordagens excessivamente formais e matemáticas, que muitas vezes dificultam a compreensão conceitual dos estudantes. Ao priorizar a construção de significados, essa abordagem valoriza a observação, a experimentação e a contextualização dos fenômenos físicos, permitindo que o aluno compreenda não apenas como calcular, mas também por que determinado fenômeno ocorre. Essa perspectiva tem sido aplicada com resultados positivos no ensino de conteúdos de estudo de fluidos: Monteiro et al. (2019), ao proporem uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), metodologia delineada segundo os princípios teóricos e passos sequenciais propostos por Moreira (2011c), sequência didática estruturada segundo os princípios de Ausubel, para o ensino de Hidrostática no Ensino Médio, identificaram evidências de evolução conceitual nos estudantes, concluindo que abordagens potencialmente significativas favorecem aulas diferenciadas e potencializam as habilidades dos alunos. Para Libâneo (1994), o ensino eficaz não se resume à transmissão de conteúdo, mas à criação de condições que favoreçam a atividade mental dos alunos, o que pressupõe considerar o nível de desenvolvimento dos estudantes e organizar situações de aprendizagem que os desafiem a ir além do que já sabem. Essa perspectiva é plenamente compatível com os pressupostos da aprendizagem significativa, na medida em que ambas reconhecem que o ponto de partida do ensino deve ser o que o aluno já conhece, e não o que o professor pretende transmitir.

Entre as diversas teorias cognitivas disponíveis para fundamentar propostas de ensino, a escolha pela teoria de Ausubel neste trabalho não é arbitrária. Diferentemente de Piaget, que enfatiza os estágios de desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem por descoberta como condição central para a construção do conhecimento, Ausubel privilegia a aprendizagem por recepção significativa, ou seja, aquela em que o professor organiza e apresenta o conteúdo de forma estruturada, desde que o aluno possua subsunçores adequados para ancorá-lo (Ausubel, 2003). Essa distinção é relevante no contexto deste trabalho: a sequência didática proposta não pressupõe que os alunos descubram os conceitos de Estudo de fluidos de forma autônoma, mas que os construam progressivamente a partir de conhecimentos intuitivos já presentes, mediados pela experiência com o jogo *Subnautica* e pela intervenção do professor. A teoria ausubeliana, portanto, mostra-se mais adequada ao contexto de uma aula estruturada e de curta duração do que abordagens construtivistas radicais, que demandam maior autonomia do aprendiz e tempos mais longos de investigação (Moreira, 2011a).

Nesse sentido, identificar o que os alunos já sabem antes de iniciar qualquer proposta pedagógica é, para Ausubel, uma condição essencial, não uma etapa opcional. No ensino de Estudo de fluidos, isso se torna ainda mais relevante porque os estudantes costumam chegar com concepções intuitivas sobre fenômenos como flutuação e pressão que, embora parcialmente corretas, frequentemente convivem com ideias equivocadas, como a associação direta entre o peso de um objeto e sua tendência a afundar. Reconhecer essas concepções antes da intervenção permite ao professor planejar situações de aprendizagem capazes de partir do que o aluno já sabe e avançar de forma progressiva. É com esse propósito que este trabalho utilizou um questionário diagnóstico como ponto de partida da sequência didática, buscando mapear os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos participantes antes do contato com o jogo *Subnautica*.

2.2 Metodologias ativas e jogos digitais na educação

As metodologias ativas de ensino têm sido amplamente discutidas no campo educacional como alternativas às práticas pedagógicas tradicionais, centradas na transmissão passiva de conteúdo. Essas abordagens propõem um papel mais ativo do estudante no processo de aprendizagem, incentivando a investigação, a reflexão crítica e a construção do conhecimento a partir da resolução de problemas e da interação com situações significativas. Nessa perspectiva, o professor deixa de ser apenas transmissor de informações e passa a atuar como mediador do processo educativo, organizando experiências que favoreçam a participação e o engajamento dos alunos (Freire, 2014; Moran, 2015).

O avanço das tecnologias digitais ampliou significativamente as possibilidades de aplicação das metodologias ativas no contexto educacional. Recursos tecnológicos permitem a criação de ambientes interativos nos quais os estudantes podem explorar informações, testar hipóteses e receber feedback imediato sobre suas ações. Segundo Moran (2015), o uso pedagógico das tecnologias digitais pode contribuir para tornar o processo de ensino e aprendizagem mais dinâmicos, desde que essas ferramentas estejam integradas a objetivos educacionais claros e a práticas pedagógicas intencionalmente planejadas.

Nesse contexto, os jogos digitais têm despertado interesse crescente no campo educacional, por possibilitarem ambientes baseados em desafios, regras, objetivos e sistemas de recompensa que exigem participação ativa do jogador. Diferentemente de outras mídias, os jogos demandam tomada de decisões constantes e envolvimento cognitivo contínuo, promovendo a resolução de problemas e a experimentação. Para Gee (2003), bons jogos

incorporam princípios de aprendizagem eficazes, pois incentivam o jogador a aprender fazendo, errando, refletindo e tentando novamente, em um processo contínuo de construção de conhecimento.

Essa perspectiva encontra respaldo em experiências concretas de uso pedagógico de jogos comerciais no ensino de física. Freitas e Andrade Neto (2018) demonstraram que o jogo *Angry Birds Space*, desenvolvido originalmente como entretenimento, pode ser utilizado em sequências didáticas para a aprendizagem significativa de conceitos como lançamento de projéteis e gravitação. A proximidade com a proposta deste trabalho é direta: assim como o *Subnautica*, o *Angry Birds Space* não foi criado com finalidade educacional, e é justamente essa coerência interna não didatizada que o torna um ambiente de aprendizagem potencialmente mais autêntico do que simuladores projetados para o ensino.

Prensky (2001) destaca que os jogos digitais podem ser utilizados como instrumentos educacionais quando integrados de forma adequada ao currículo, caracterizando o que o autor denomina *Digital Game-Based Learning*. Nessa abordagem, os jogos não são utilizados apenas como entretenimento, mas como ambientes capazes de favorecer o desenvolvimento de habilidades cognitivas, desde que haja mediação pedagógica e objetivos de aprendizagem bem definidos.

Além do aspecto motivacional, jogos digitais que apresentam características de simulação possibilitam a representação de fenômenos de maneira dinâmica e interativa. Esses ambientes permitem ao estudante observar relações de causa e efeito em tempo real, favorecendo a compreensão de sistemas complexos. De acordo com Gee (2003), jogos bem estruturados apresentam sistemas coerentes que estimulam a aprendizagem por meio da experimentação, do feedback constante e da reflexão sobre as próprias ações, características alinhadas às propostas contemporâneas de ensino.

No ensino de física, o uso de jogos digitais com elementos de simulação mostra-se particularmente relevante, uma vez que muitos conceitos da área são abstratos e de difícil visualização. Ao permitir que o estudante interaja com fenômenos simulados, observe consequências e formule explicações a partir de suas experiências, os jogos digitais podem contribuir para a compreensão conceitual. Essa abordagem dialoga diretamente com os princípios da aprendizagem significativa propostos por Ausubel (2003) e discutidos por Moreira (2011a), ao possibilitar que novos conhecimentos sejam relacionados aos conhecimentos prévios dos alunos de forma não mecânica e contextualizada.

Antes de apresentar o jogo *Subnautica* como ferramenta pedagógica, faz-se necessário distinguir dois conceitos frequentemente confundidos na literatura: o uso de jogos

digitais no ensino e a gamificação. A gamificação consiste na aplicação de elementos típicos de jogos, como pontuação, rankings, recompensas e desafios, em contextos que não são jogos, com o objetivo de aumentar o engajamento e a motivação dos participantes (Silva; Sales; Castro, 2019). Trata-se, portanto, de uma estratégia pedagógica que utiliza a *linguagem* dos jogos, mas não o jogo em si. O uso de jogos digitais no ensino, por outro lado, envolve a utilização de um jogo completo, com sua narrativa, mecânicas e ambiente virtual, como plataforma de aprendizagem. Nesse caso, o estudante não acumula pontos por realizar tarefas escolares; ele interage com um sistema físico coerente cujas regras precisam ser compreendidas para que o objetivo do jogo seja alcançado. A proposta deste trabalho se insere nessa segunda categoria: o *Subnautica* não foi utilizado como sistema de recompensas para motivar tarefas tradicionais, mas como ambiente de simulação onde os conceitos de estudo de fluidos emergem como consequência direta da experiência do jogador.

No campo das simulações computacionais aplicadas ao ensino de física, Macêdo, Dickman e Andrade (2012) demonstraram que ambientes virtuais interativos são capazes de promover mudança conceitual nos estudantes quando integrados a roteiros de atividades estruturados. Em pesquisa realizada com alunos do Ensino Médio utilizando simulações do PhET¹ para o ensino de eletricidade, os autores concluíram que a aula baseada em simulador computacional favoreceu a assimilação de conceitos anteriormente abstratos para os estudantes, desde que mediada por instrumentos pedagógicos adequados. Essa perspectiva converge com a proposta do presente trabalho: assim como as simulações do PhET, o ambiente virtual do *Subnautica* oferece representações dinâmicas de fenômenos físicos que dificilmente seriam reproduzidos em laboratório escolar convencional. A diferença central, contudo, reside no fato de que o *Subnautica* não foi projetado com finalidade pedagógica, o que confere às suas representações físicas um caráter de autenticidade ausente nos simuladores didatizados.

O que diferencia o *Subnautica* de outros recursos digitais frequentemente utilizados no ensino de física, como simuladores didáticos ou animações interativas, é o fato de ter sido desenvolvido como um jogo de entretenimento, sem finalidade educacional explícita. Isso significa que os fenômenos físicos presentes no jogo, como o aumento da pressão com a profundidade e o comportamento de objetos imersos, não foram simplificados para fins pedagógicos: eles funcionam de acordo com um motor de física coerente, que responde de forma realista às ações do jogador. Para Prensky (2001), jogos comerciais frequentemente oferecem vantagens pedagógicas justamente por esse motivo, seu realismo e coerência interna

¹ https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em: junho de 2026.

não foram comprometidos por simplificações didáticas, o que torna a experiência de aprendizagem mais autêntica e o engajamento mais genuíno. Essa perspectiva dialoga com os achados de Krause, Felber e Venquiaruto (2018), que ao investigar o uso de jogos digitais no ensino de física identificaram que ambientes interativos com regras coerentes favorecem a motivação e o envolvimento cognitivo dos estudantes de forma significativamente superior às abordagens tradicionais. Para Gee (2003), essa coerência interna é justamente o que torna certos jogos ambientes de aprendizagem eficazes, o jogador aprende as regras do sistema não por leitura, mas por experimentação e consequência direta de suas escolhas. No contexto deste trabalho, isso se traduz em situações como o dano progressivo ao veículo *Seamoth* ao ultrapassar determinadas profundidades, que permite ao aluno observar e questionar os efeitos da pressão hidrostática de forma muito mais concreta do que uma equação isolada seria capaz de proporcionar.

Contudo, o potencial pedagógico dos jogos digitais não se concretiza de forma automática. Yamazaki e Yamazaki (2014), ao analisarem pesquisas empíricas sobre o uso de jogos no ensino de física, Química e Biologia, identificaram que a maioria dos trabalhos não recorre a quadros teóricos sólidos nem para planejar a intervenção nem para avaliar seus resultados, o que compromete a validade das conclusões apresentadas. Essa crítica reforça a necessidade de integrar o uso de jogos digitais a uma sequência didática teoricamente fundamentada, como se propõe neste trabalho, no qual a escolha do *Subnautica* e a organização das etapas de ensino são orientadas pelos pressupostos da aprendizagem significativa de Ausubel (2003) e Moreira (2011a).

2.3 Estudo de fluidos no ensino médio

Antes de apresentar os conceitos de estudo de fluidos trabalhados neste estudo, é importante compreender o que a literatura chama de concepção alternativa. Diferentemente de um simples "erro" ou de uma lacuna de conhecimento, uma concepção alternativa é uma explicação que o estudante constrói ativamente para os fenômenos do mundo a partir de suas próprias experiências cotidianas, e que tende a ser internamente consistente do ponto de vista do aprendiz, mesmo quando diverge do conhecimento científico formal. Essas concepções não desaparecem automaticamente com a instrução: podem coexistir com o conhecimento científico aprendido na escola, ressurgindo em situações novas ou quando o estudante não percebe a conexão entre o que aprendeu e o que já acreditava (Silveira; Barbosa; Silva, 2015). No ensino de estudo de fluidos, as concepções alternativas mais frequentes envolvem justamente os

conceitos trabalhados neste estudo, pressão, empuxo e resistência ao movimento, e sua identificação prévia é condição necessária para o planejamento de uma sequência didática capaz de confrontá-las e superá-las.

O estudo de fluidos compreende o estudo do comportamento dos fluidos em repouso e em movimento, abrangendo conteúdos fundamentais no currículo do Ensino Médio. Esses conteúdos apresentam forte relação com situações do cotidiano, como a flutuação de corpos, a pressão exercida por líquidos e a resistência ao movimento em meios fluidos. Apesar disso, a abordagem desses temas costuma enfatizar excessivamente a formalização matemática, o que pode dificultar a compreensão conceitual dos estudantes quando não há contextualização adequada (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Ramalho; Ferraro; Toledo, 2007; Calçada; Sampaio, 1998).

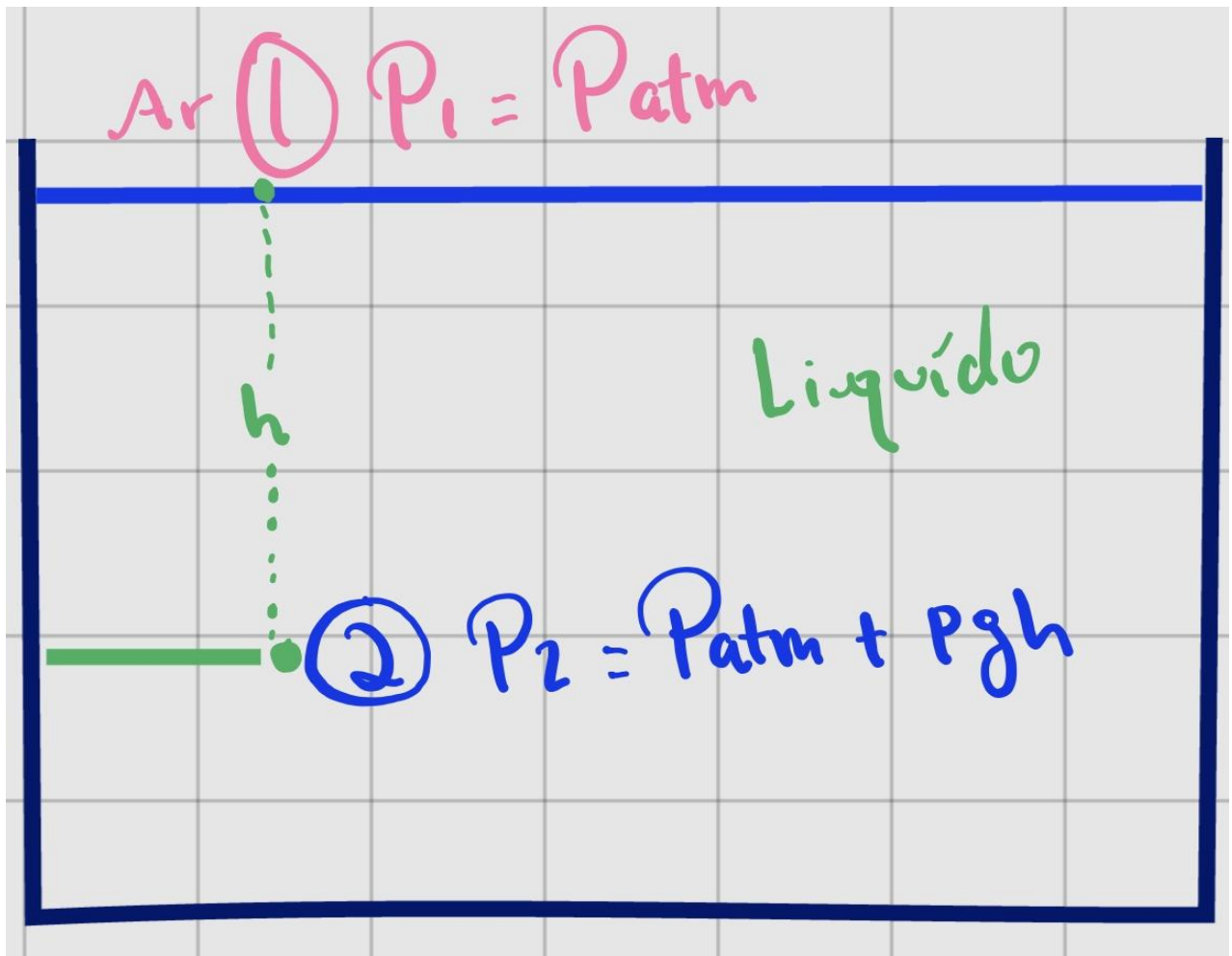
No contexto educacional, a introdução gradual das expressões matemáticas, acompanhada de uma interpretação física clara, contribui para que o aluno atribua significado às equações utilizadas. Segundo David Halliday, Resnick e Walker, a compreensão qualitativa dos fenômenos deve preceder a formalização matemática, de modo que as equações representem relações físicas compreendidas e não apenas fórmulas a serem memorizadas.

2.3.1 Pressão hidrostática

A pressão hidrostática refere-se à força exercida por um fluido em repouso sobre uma determinada área, sendo diretamente relacionada à profundidade e à densidade do fluido. Em líquidos, a pressão aumenta à medida que a profundidade cresce, devido ao peso da coluna de fluido acima do ponto considerado (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Para visualizar essa relação, a Figura 1 apresenta um recipiente com líquido em repouso, identificando dois pontos de referência. O ponto ① está localizado na superfície do líquido, onde atua apenas a pressão atmosférica (P_{atm}). O ponto ②, situado a uma profundidade h abaixo da superfície, está sujeito a uma pressão total maior, pois além da pressão atmosférica o próprio líquido acima exerce pressão sobre ele. A distância h entre os dois pontos representa a profundidade, e é justamente esse acréscimo de profundidade que determina o aumento de pressão descrito pela Lei de Stevin.

Figura 1 – Esquema das pressões atuantes em um líquido (Teorema de Stevin)



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A relação matemática que descreve esse comportamento é expressa pela Lei de Stevin,

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (\text{Equação 1})$$

em que p representa a pressão no ponto considerado, p_0 a pressão atmosférica na superfície do fluido, ρ a densidade do fluido, g a aceleração da gravidade e h a profundidade em relação à superfície.

A Equação 1 e a Figura 1 evidenciam que a pressão depende diretamente da profundidade. No contexto do jogo *Subnautica*, essa variável h é monitorada constantemente pelo jogador. Quando o submarino ultrapassa seu limite de profundidade, a pressão externa p supera a resistência estrutural do casco, resultando nas implosões observadas durante a simulação (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Do ponto de vista didático, o *Subnautica* oferece uma representação especialmente coerente da pressão hidrostática: à medida que o jogador conduz o *Seamoth* para profundidades crescentes, o indicador de integridade do casco cai progressivamente, simulando os efeitos reais do aumento da pressão sobre estruturas submersas. Essa mecânica transforma a variável h da Lei de Stevin, que nas aulas tradicionais costuma aparecer apenas como um número numa equação, em uma consequência visível e imediata das escolhas do jogador. Para estudantes que chegam com a intuição de que "quanto mais fundo, maior a pressão", mas sem capacidade de formalizar essa relação, esse tipo de ambiente oferece as condições para o que Moreira (2011) descreve como diferenciação progressiva: a ideia intuitiva já presente na estrutura cognitiva do aluno passa a ser refinada e articulada com o conceito científico de forma gradual e contextualizada.

2.3.2 Empuxo

O empuxo é a força exercida por um fluido sobre um corpo total ou parcialmente imerso, atuando no sentido vertical e para cima. Esse fenômeno é descrito pelo Princípio de Arquimedes, segundo o qual o empuxo possui intensidade igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. A partir desse princípio, é possível compreender os fenômenos de flutuação, afundamento e equilíbrio de corpos em fluidos (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

O empuxo é definido pela expressão matemática,

$$E = \rho g V, \quad (\text{Equação 2})$$

em que E representa a força de empuxo, ρ a densidade do fluido, g a aceleração da gravidade e V o volume de fluido deslocado pelo corpo.

Comparando o empuxo com a força peso do objeto, apresentada pela equação matemática,

$$P = m g, \quad (\text{Equação 3})$$

em que P representa a força peso e m a massa do corpo, é possível analisar as condições de flutuação, afundamento ou equilíbrio de um corpo em um fluido.

A Figura 2 ilustra as três condições possíveis para um corpo imerso em um fluido, a partir da comparação entre as forças de empuxo e peso. Em cada caso, o círculo representa o objeto submerso, a seta azul indica o empuxo (E) atuando para cima e a seta verde indica a força peso (P) atuando para baixo. No primeiro caso, o empuxo é maior que o peso ($E > P$) e o corpo sobe até flutuar na superfície. No segundo caso, o peso é maior que o empuxo ($E < P$) e o corpo afunda. No terceiro caso, as forças se igualam ($E = P$) e o corpo permanece em

equilíbrio, sem subir nem descer.

Figura 2 – Condições de flutuação, afundamento e equilíbrio em função das forças de empuxo e peso



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

No ensino desse conteúdo, é comum que os estudantes associem a flutuação apenas ao peso do objeto, desconsiderando a relação entre densidade, volume deslocado e empuxo. Essa concepção alternativa é amplamente documentada na literatura, Silveira, Barbosa e Silva (2015), ao analisarem os resultados do ENEM, identificaram que a associação direta entre peso e flutuação está presente em uma parcela significativa dos estudantes ao final do Ensino Médio, evidenciando que se trata de uma dificuldade conceitual persistente e estrutural, não restrita a contextos específicos de ensino. Essa concepção pode ser superada quando o aluno é estimulado a observar diferentes comportamentos de objetos imersos em um fluido, comparando situações em que o empuxo é maior, menor ou igual à força peso (Tipler; Mosca, 2009). A análise qualitativa dessas situações contribui para a compreensão do equilíbrio de forças e para a consolidação do conceito de empuxo.

No contexto do ensino de estudo de fluidos, o *Subnautica* oferece condições particularmente favoráveis para a abordagem do empuxo, pois permite que o estudante observe, em tempo real, objetos com comportamentos distintos dentro da água, alguns flutuando, outros afundando, outros permanecendo em equilíbrio. Essa variedade de situações observáveis é relevante do ponto de vista didático porque confronta diretamente a concepção alternativa mais recorrente na literatura sobre ensino de hidrostática: a de que o que determina a flutuação é o peso do objeto. Ao perceber que objetos de pesos diferentes podem ter comportamentos opostos no ambiente subaquático do jogo, o estudante é naturalmente conduzido a buscar uma explicação além do peso, criando a abertura necessária para a introdução do conceito de densidade e do Princípio de Arquimedes. Esse processo corresponde ao que Ausubel (2003) descreve como reconciliação integradora: a reestruturação de uma ideia prévia a partir do confronto com uma situação que ela não consegue explicar satisfatoriamente.

2.3.3 Hidrodinâmica

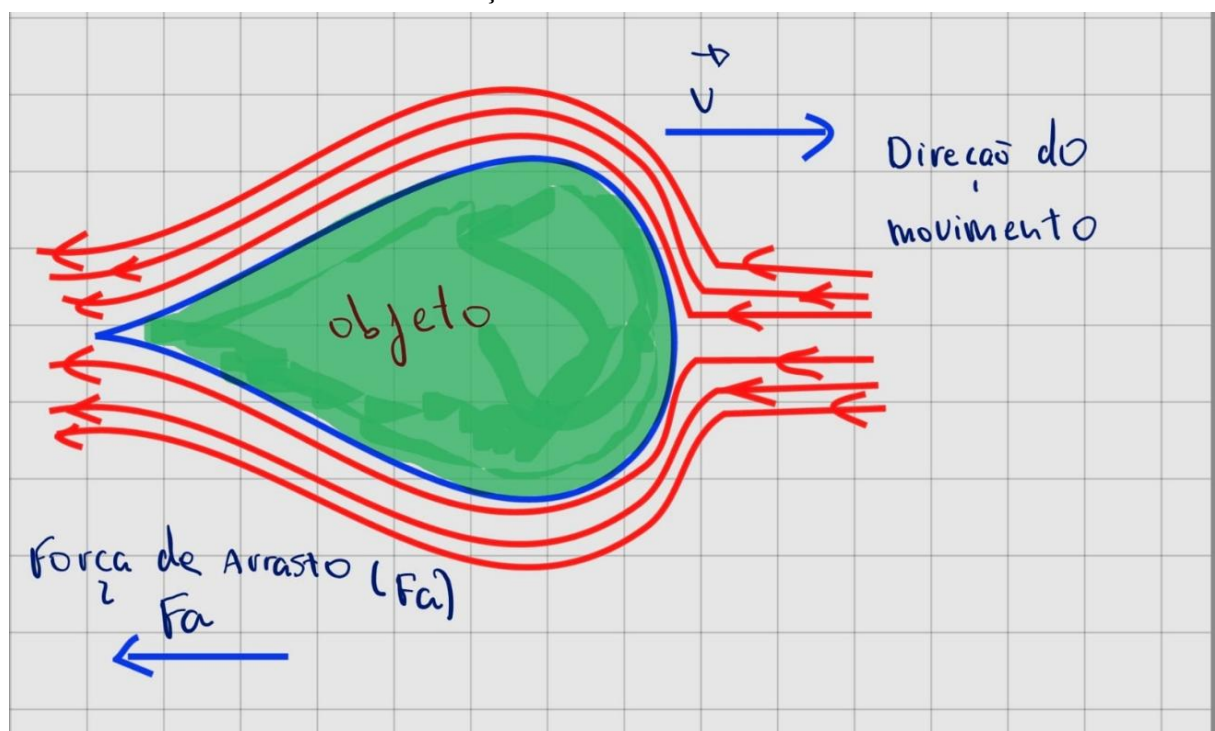
A hidrodinâmica estuda o comportamento dos fluidos em movimento e as forças que atuam sobre corpos que se deslocam em meios fluidos. Entre os principais conceitos abordados no Ensino Médio estão a resistência do fluido ao movimento, frequentemente associada à força de arrasto, e a influência da forma e da velocidade do corpo nesse processo. Diferentemente do movimento em meios ideais, o deslocamento em fluidos reais envolve dissipação de energia e oposição ao movimento (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Para compreender a dinâmica de movimento no meio aquático, é fundamental analisar como o fluido interage com um corpo em deslocamento. Diferentemente do que ocorre

em repouso, quando um objeto se move dentro de um fluido ele encontra resistência, o fluido precisa ser desviado para dar passagem ao corpo, e essa deflexão gera uma força contrária ao movimento, chamada força de arrasto. Quanto maior a velocidade do objeto e quanto menos aerodinâmico for seu formato, maior será essa resistência. Essa relação é particularmente relevante no ambiente aquático, onde a densidade do fluido é muito maior do que no ar, tornando a força de arrasto um fator determinante para o deslocamento.

A Figura 3 ilustra esse fenômeno: o objeto verde representa um corpo se movendo na direção indicada pela seta azul (v), e as linhas vermelhas mostram as linhas de fluxo do fluido ao redor do corpo durante o deslocamento. Onde as linhas estão mais próximas entre si, o fluido se move mais rápido. O formato aerodinâmico do objeto permite que o fluido contorne o corpo com menor turbulência, reduzindo a força de arrasto (F_a) que atua no sentido contrário ao movimento.

Figura 3 – Representação do escoamento do fluido ao redor de um objeto e da força de arrasto resultante



Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Em situações simplificadas, essa força de resistência pode ser representada por uma relação proporcional à velocidade do corpo:

$$F_a \propto v \quad (\text{Equação 4})$$

A compreensão qualitativa da hidrodinâmica pode ser favorecida por situações que permitam ao aluno comparar diferentes formas de locomoção em um fluido, observando variações de velocidade e esforço. Segundo Tipler e Mosca (2009), a resistência do fluido depende de fatores como a área de contato, o formato do corpo e a velocidade relativa ao meio. Explorar essas relações de forma observacional contribui para que o estudante compreenda os efeitos do fluido sobre o movimento, mesmo sem recorrer a modelos matemáticos mais complexos.

Em regimes de movimento mais complexos, a força de arrasto pode ser introduzida de forma aproximada por:

$$F_a = \frac{1}{2} C \rho A v^2, \quad (\text{Equação 5})$$

em que F_a representa a força de arrasto, C o coeficiente de arrasto adimensional que depende da forma do objeto, ρ a densidade do fluido, A a área da seção transversal do corpo em relação à direção do movimento e v a velocidade do corpo em relação ao fluido.

A diferença entre a Equação 4 e a Equação 5 não é apenas matemática, ela reflete dois regimes físicos distintos. A Equação 4, de caráter linear, descreve situações em que a velocidade do objeto é muito baixa e o escoamento ao redor dele permanece ordenado, com as camadas do fluido se movendo de forma paralela, o chamado regime laminar. Nesses casos, as forças viscosas dominam e o arrasto cresce proporcionalmente à velocidade. A Equação 5, de caráter quadrático, descreve o regime inercial ou turbulento, no qual a velocidade é suficientemente alta para que as forças inerciais superem as viscosas, gerando turbulência e separação do escoamento atrás do objeto. Nesse regime, o arrasto cresce com o quadrado da velocidade, tornando-se muito mais significativo. No contexto do ambiente subaquático do *Subnautica*, os deslocamentos do personagem e dos veículos operam claramente no regime quadrático, o que explica por que a diferença de velocidade entre nadar sem nadadeiras e utilizar o *Seamoth* é tão pronunciada, e por que o formato do veículo, mais aerodinâmico, reduz expressivamente a força de arrasto.

Do ponto de vista didático, a hidrodinâmica é frequentemente o conceito mais difícil de visualizar no ensino tradicional, justamente porque a força de arrasto não tem uma manifestação cotidiana tão imediata quanto a pressão ou a flutuação. O *Subnautica* oferece uma situação particularmente útil para contornar essa dificuldade: o jogador experimenta diretamente as diferenças de locomoção ao se deslocar sem equipamento, com nadadeiras e com veículos, percebendo variações concretas de velocidade e esforço que decorrem da relação

entre o formato do corpo, sua área de contato com o fluido e a resistência gerada. Essa progressão, do movimento mais lento e custoso ao mais eficiente, permite que o estudante construa uma compreensão qualitativa da força de arrasto a partir da experiência, antes de qualquer formalização matemática. Para Gee (2003), é exatamente esse tipo de ambiente que favorece a aprendizagem: aquele em que o jogador aprende o funcionamento de um sistema físico coerente não por descrição, mas por imersão e consequência direta de suas ações.

2.3.4 Abordagem do conteúdo nas escolas

A abordagem conceitual da estudo de fluidos, associada a situações observáveis e contextualizadas, favorece a aprendizagem significativa ao permitir que o aluno relacione novos conceitos a experiências concretas. Quando os estudantes observam fenômenos como o aumento da pressão com a profundidade, a flutuação de objetos e a resistência do fluido ao movimento, tornam-se capazes de construir explicações baseadas em relações de causa e efeito. Essa construção está em consonância com os princípios da aprendizagem significativa propostos por Ausubel (2003) e discutidos por Moreira (2011), nos quais a compreensão conceitual desempenha papel central no processo de aprendizagem.

Nesse sentido, ambientes que possibilitam a simulação desses fenômenos, como jogos digitais com representação coerente de sistemas físicos, podem atuar como mediadores didáticos, auxiliando na visualização e compreensão dos conteúdos de estudo de fluidos no Ensino Médio.

2.4 O jogo Subnautica como ambiente de simulação

O *Subnautica* é um jogo digital do gênero *sandbox*², desenvolvido pela Unknown Worlds Entertainment, no qual o jogador explora um planeta alienígena coberto de oceanos após um naufrágio espacial. O ambiente subaquático é o cenário central da experiência: o jogador precisa mergulhar progressivamente em maiores profundidades para coletar recursos, construir equipamentos e sobreviver, o que torna os fenômenos de estudo de fluidos parte integrante da lógica do jogo, e não elementos decorativos.

Do ponto de vista dos fenômenos físicos representados, o jogo apresenta três

² *Sandbox* (literalmente "caixa de areia") é um gênero de jogo digital caracterizado pela liberdade de exploração e interação com o ambiente virtual sem um roteiro linear obrigatório. Nesse tipo de jogo, o jogador define seus próprios objetivos e estratégias, podendo explorar o mundo do jogo de forma não estruturada. O termo faz analogia à brincadeira infantil na caixa de areia, em que a criança cria livremente sem regras predefinidas.

características relevantes para o ensino de hidrostática e resistência em fluidos. A pressão hidrostática é simulada de forma progressiva: cada veículo possui um limite de profundidade, e ultrapassá-lo resulta em danos crescentes ao casco até a implosão completa, conforme ilustrado nas figuras 4, 5 e 6.

A Figura 4 mostra o veículo submarino *Seamoth* navegando a 98 metros de profundidade, dentro do seu limite operacional. Nessa faixa de profundidade, a pressão hidrostática exercida pela coluna de água ainda não supera a resistência estrutural do casco, e o veículo opera normalmente sem sofrer danos.

Figura 4 – Seamoth navegando em profundidade segura



Fonte: Captura de tela do jogo Subnautica realizada pelo autor (2026).

A Figura 5 mostra a perspectiva interna do *Seamoth*, o veículo submarino utilizado na atividade, a 203 metros de profundidade, três metros acima do seu limite operacional máximo de 200 metros. No canto superior esquerdo da tela, o indicador de integridade do casco, representado por um ícone de chave inglesa acompanhado de um valor numérico, registra 35 em uma escala de 0 a 100, onde 100 representa o casco completamente intacto e 0 representa a destruição total do veículo. A queda desse indicador de 100 para 35 em poucos metros evidencia o dano estrutural progressivo causado pelo aumento da pressão hidrostática além do limite suportado pelo material. Esse comportamento do jogo ilustra diretamente a relação descrita pela Lei de Stevin, segundo a qual a pressão exercida pelo fluido sobre uma estrutura submersa aumenta proporcionalmente com a profundidade h . No contexto pedagógico da atividade, esse momento foi o de maior impacto cognitivo relatado pelos estudantes: a consequência visual e imediata da física abstrata tornando-se concreta e irreversível na tela.

Figura 5 – Interior do Seamoth com integridade do casco comprometida ao ultrapassar o limite de profundidade



Fonte: Captura de tela do jogo Subnautica realizada pelo autor (2026).

A Figura 6 registra o momento em que o *Seamoth* implode ao ultrapassar seu limite de profundidade a 202 metros. A explosão visível representa a falha estrutural do casco causada pelo excesso de pressão hidrostática, a pressão externa exercida pela coluna de água superou a resistência do material, resultando na destruição do veículo. Esse fenômeno, embora simulado, corresponde a um princípio físico real: estruturas submersas possuem limites de resistência à pressão, e ultrapassá-los causa colapso estrutural, fenômeno conhecido como implosão.

Figura 6 – Implosão do Seamoth a 202 m devido ao excesso de pressão hidrostática



Fonte: Captura de tela do jogo Subnautica realizada pelo autor (2026).

O empuxo está presente no comportamento de diferentes objetos e criaturas no ambiente aquático, que flutuam, afundam ou permanecem em equilíbrio de acordo com suas propriedades. A hidrodinâmica manifesta-se nas diferenças de locomoção do personagem conforme o equipamento utilizado, sem nadadeiras, com nadadeiras ou com veículos, variando visivelmente a velocidade e o esforço de deslocamento.

O que distingue o *Subnautica* de simuladores educacionais tradicionais, como os disponíveis na plataforma PhET, é o fato de que esses fenômenos não foram projetados para fins pedagógicos: eles existem porque são necessários para que o jogo funcione de forma coerente e imersiva. Isso implica que o estudante não interage com uma demonstração controlada de um conceito, mas com um sistema físico que responde de forma consistente às suas ações, independentemente de qual seja o objetivo didático do professor. Para Gee (2003), essa coerência interna é o que diferencia ambientes de aprendizagem genuinamente eficazes: o aprendiz não decora regras, mas descobre o funcionamento do sistema por experimentação. Nesse sentido, o *Subnautica* opera como um ambiente de simulação situada, no qual os conceitos de estudo de fluidos emergem como necessidade prática antes de serem formalizados como conteúdo escolar.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A organização das atividades desenvolvidas neste trabalho fundamenta-se no conceito de sequência didática, compreendida como um conjunto de atividades planejadas e articuladas de forma progressiva, com objetivos claros de aprendizagem. Segundo Zabala (1998), a sequência didática permite estruturar o ensino de modo que os conteúdos sejam apresentados de forma coerente, respeitando os conhecimentos prévios dos alunos e promovendo a construção gradual dos conceitos.

No contexto do ensino de física, esse tipo de organização torna-se especialmente relevante porque favorece a transição entre o conhecimento intuitivo, que o aluno já traz consigo, e o conhecimento científico formal. Ao estruturar as atividades de forma progressiva, o professor cria as condições para que o aluno observe fenômenos, formule hipóteses, confronte suas ideias iniciais e reconstrua seus conceitos, em consonância com os princípios da aprendizagem significativa discutidos por Ausubel (2003) e Moreira (2011).

A sequência proposta neste trabalho organiza-se em quatro etapas articuladas: diagnóstico, contextualização, exploração e reflexão, detalhadas no plano de aula disponível no Apêndice A.

A primeira etapa consiste na aplicação de um questionário diagnóstico, com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica. Essa etapa não é apenas procedimental, ela é teoricamente necessária, pois, conforme Ausubel (2003), o ponto de partida de qualquer proposta de aprendizagem significativa é o mapeamento do que o aluno já sabe. Sem esse mapeamento, o professor corre o risco de apresentar conceitos sem ancoragem, tornando a aprendizagem mecânica e superficial.

A segunda etapa corresponde a uma breve contextualização teórica conduzida pelo professor, com ênfase qualitativa e sem aprofundamento matemático. A opção por não iniciar com equações é intencional: busca-se ativar os subsunçores identificados no diagnóstico e preparar a estrutura cognitiva dos alunos para a experiência prática subsequente, sem criar barreiras associadas ao formalismo matemático que frequentemente gera resistência no ensino de física.

A terceira etapa, e central da proposta, é a interação com o jogo *Subnautica* a partir de um roteiro de atividades estruturado. Nessa fase, os alunos exploram o ambiente virtual em pequenos grupos, observando e registrando fenômenos relacionados à pressão hidrostática, ao empuxo e à hidrodinâmica. A escolha por situar o jogo após a contextualização teórica, e não

antes, é deliberada: pretende-se que os alunos entrem na experiência com conceitos minimamente ativados, de modo que a simulação funcione como um ambiente de diferenciação progressiva, e não apenas como entretenimento, conforme proposto por Moreira (2011).

A quarta etapa consiste na aplicação de um questionário pós-atividade, com o objetivo de identificar possíveis mudanças conceituais e coletar as percepções dos alunos sobre a experiência. Essa etapa fecha o ciclo da sequência ao permitir a comparação entre o que os alunos sabiam antes e o que passaram a explicar depois, fornecendo os dados necessários para a análise apresentada no capítulo de resultados.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, explicitando o tipo de estudo realizado, o contexto e os participantes envolvidos, os instrumentos de coleta de dados, bem como os procedimentos de análise utilizados. A metodologia foi delineada de modo a investigar, de forma sistemática, a aplicação da sequência didática mediada pelo jogo *Subnautica* no ensino de conceitos de estudo de fluidos.

4.1 Tipo e natureza da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, desenvolvida sob a forma de estudo de caso. A abordagem qualitativa mostra-se adequada quando o objetivo é compreender processos educacionais em profundidade, considerando o contexto em que ocorrem e as interpretações dos sujeitos envolvidos, em vez de buscar generalizações estatísticas (Gil, 2008). No caso deste trabalho, isso significa que o interesse não está em medir quantitativamente o quanto os alunos aprenderam, mas em compreender como e em que condições o contato com o jogo *Subnautica* favoreceu, ou não, a construção de significados em torno dos conceitos de estudo de fluidos.

O delineamento como estudo de caso justifica-se pelo fato de a investigação concentrar-se em uma situação específica e delimitada: a aplicação de uma sequência didática com um grupo reduzido de alunos do Ensino Médio, em um contexto real de sala de aula. Segundo Yin (2015), o estudo de caso é apropriado quando se pretende analisar fenômenos contemporâneos inseridos em seus contextos reais, nos quais os limites entre o fenômeno estudado e o ambiente em que ocorre não estão claramente separados. Essa característica se aplica diretamente à proposta deste trabalho, uma vez que a aprendizagem mediada pelo jogo não pode ser compreendida de forma isolada do contexto em que aconteceu, os alunos, o professor, o espaço e o momento da atividade fazem parte do fenômeno investigado.

4.2 Contexto e participantes

A pesquisa foi realizada em uma escola pública de Fortaleza, Ceará, com alunos do 3º ano do Ensino Médio. A atividade ocorreu durante o horário regular de aula, em um momento cedido por um professor da instituição, e foi apresentada aos estudantes como uma proposta de ensino com oferta de pontos extras, o que garantiu a participação voluntária sem caráter

obrigatório.

Participaram da pesquisa 10 alunos, organizados em pequenos grupos de dois a três integrantes para a realização das atividades. O perfil dos participantes era característico do final do Ensino Médio: estudantes com contato prévio com conteúdo de física ao longo da escolarização regular, mas sem aprofundamento específico em estudo de fluidos, o que foi confirmado pelo questionário diagnóstico aplicado antes da intervenção. Não houve critério de seleção dos participantes além da disponibilidade e do interesse em participar, todos os alunos presentes na aula foram convidados a tomar parte na atividade.

É importante registrar que o contexto de aplicação, uma atividade extracurricular com oferta de pontos extras, dentro do horário regular, mas fora da rotina habitual da turma, pode ter influenciado o engajamento inicial dos estudantes, aspecto que será retomado na análise dos resultados.

4.3 Instrumentos de coleta de dados

Para a coleta de dados, foram utilizados quatro instrumentos complementares, escolhidos de forma a permitir a triangulação das informações e obter uma visão abrangente do processo de ensino e aprendizagem. A opção por múltiplos instrumentos justifica-se pela natureza qualitativa da pesquisa: nenhum instrumento isolado seria capaz de capturar a complexidade das mudanças conceituais e comportamentais observadas ao longo da intervenção.

O primeiro instrumento foi o **questionário diagnóstico pré-atividade** (Apêndice B), aplicado antes do contato com o jogo. Seu objetivo foi identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica, mapeando tanto os subsunçores disponíveis quanto as concepções alternativas presentes na turma antes da intervenção.

O segundo foi o **roteiro de atividades** (Apêndice C), utilizado durante a interação com o *Subnautica*. Diferentemente de um questionário fechado, o roteiro orientou a exploração do jogo sem restringir as observações dos alunos, permitindo que registrassem o que percebiam em cada situação proposta, pressão e profundidade, comportamento de objetos imersos e diferenças de locomoção no ambiente aquático.

O terceiro instrumento foi o **questionário pós-atividade** (Apêndice D), aplicado após a conclusão da sequência. Seu papel foi identificar possíveis mudanças conceituais, comparando as explicações dos alunos antes e depois da experiência com o jogo.

O quarto e último foram os **relatos escritos dos alunos**, produzidos ao final da

atividade, nos quais os estudantes expressaram suas percepções sobre a experiência e os conceitos que consideraram ter aprendido. Esses registros complementaram os questionários ao capturar aspectos subjetivos da experiência que respostas estruturadas dificilmente revelariam.

4.4 Procedimentos de aplicação

A sequência didática foi aplicada em uma única sessão de 50 minutos, dividida em quatro etapas consecutivas. O recurso tecnológico utilizado foi um tablet pessoal do pesquisador, com o jogo *Subnautica* previamente instalado, que foi compartilhado entre os grupos ao longo da atividade.

Na primeira etapa, com duração aproximada de 10 minutos, os alunos responderam individualmente ao questionário diagnóstico. Nesse momento, o pesquisador não forneceu qualquer informação sobre os conceitos abordados, de modo a garantir que as respostas refletissem exclusivamente os conhecimentos prévios dos participantes.

Na segunda etapa, também de aproximadamente 10 minutos, foi realizada uma exposição conceitual introdutória conduzida pelo pesquisador. A abordagem priorizou a compreensão qualitativa dos fenômenos, pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica, sem aprofundamento matemático, com o objetivo de ativar os subsunçores identificados no diagnóstico e preparar os alunos para a experiência prática.

A terceira etapa, de 20 minutos, foi a interação com o jogo. Os alunos foram organizados em grupos de três integrantes, e cada grupo recebeu o tablet com o jogo em execução. Dentro de cada grupo, cada integrante ficou responsável por uma etapa específica do roteiro de atividades, pressão e profundidade, empuxo com objetos e hidrodinâmica, o que garantiu a participação ativa de todos os membros. Durante essa fase, o pesquisador atuou como mediador, esclarecendo dúvidas pontuais e orientando a exploração do ambiente virtual quando necessário.

Um aspecto não previsto no planejamento foi a dificuldade de alguns alunos com os controles do jogo. Embora se tratasse de estudantes de uma geração com amplo contato com tecnologia digital, o *Subnautica* possui uma interface de navegação tridimensional que não é intuitiva para quem não tem familiaridade com jogos desse gênero, o que demandou intervenções adicionais do pesquisador para garantir que todos os grupos conseguissem explorar o ambiente de forma minimamente funcional.

Na quarta e última etapa, de 10 minutos, os alunos responderam individualmente

ao questionário pós-atividade, registrando suas percepções sobre os conceitos trabalhados e avaliando a experiência com o jogo

4.5 Forma de análise dos dados

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, por meio da comparação direta entre as respostas de cada participante no questionário diagnóstico e no questionário pós-atividade. Esse procedimento permitiu identificar, individualmente, possíveis mudanças na forma como cada aluno explicava os fenômenos físicos abordados, pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica, antes e depois da intervenção com o jogo *Subnautica*.

As respostas foram organizadas em torno dos três conceitos trabalhados na sequência didática, que funcionaram como categorias de análise. Para cada conceito, buscou-se identificar: a concepção presente no diagnóstico, a concepção apresentada no pós-questionário e a natureza da mudança observada, se houve avanço, permanência ou, em alguns casos, simplificação em relação à resposta inicial. Os registros do roteiro de atividades foram utilizados como fonte complementar, permitindo observar o raciocínio dos alunos durante a própria interação com o jogo, e não apenas antes e depois dela.

A interpretação dos dados foi fundamentada nos pressupostos teóricos de Ausubel (2003) e Moreira (2011), considerando aspectos como a presença de subsunçores, a ocorrência de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, e a capacidade dos alunos de estabelecer relações de causa e efeito a partir das situações observadas no jogo. Não se buscou quantificar os resultados nem os generalizar, mas compreender, dentro dos limites de um estudo de caso qualitativo, em que condições e de que formas a sequência didática favoreceu, ou não, a construção de significados em torno dos conceitos de estudo de fluidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação da sequência didática mediada pelo jogo *Subnautica*. A análise baseia-se nos dados coletados por meio do questionário diagnóstico, dos registros produzidos pelos alunos durante a atividade e dos questionários pós-atividade.

Inicialmente, são discutidos os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de estudo de fluidos. Em seguida, analisam-se as atividades desenvolvidas com o uso do jogo, destacando as observações realizadas pelos estudantes. Por fim, os resultados são discutidos à luz da fundamentação teórica apresentada, com ênfase nos princípios da aprendizagem significativa.

5.1 Conhecimentos prévios

A análise do questionário diagnóstico revelou um perfil de turma coerente com o que a literatura descreve sobre concepções prévias em estudo de fluidos: presença de subsunçores intuitivos relevantes convivendo com concepções alternativas consolidadas.

No que se refere à pressão hidrostática, a grande maioria dos alunos demonstrou, ainda que sem terminologia científica, a intuição de que a pressão aumenta com a profundidade. Mercúrio respondeu que a pressão "aumenta, por causa do peso do corpo e da pressão", e Júpiter justificou que isso ocorre "por estarmos longe da superfície e ter uma grande quantidade de água acima", resposta que, embora informal, aponta para uma compreensão intuitiva da coluna de fluido como fator determinante. Esses registros indicam a presença de subsunçores capazes de ancorar o conceito formal de pressão hidrostática.

Em relação à flutuação, a concepção alternativa mais recorrente foi a associação direta entre o peso do objeto e seu comportamento na água. Sete dos dez alunos atribuíram a flutuação ou o afundamento exclusivamente ao peso, desconsiderando a relação entre densidade e volume deslocado. Esse dado é coerente com o que a literatura aponta: Silveira, Barbosa e Silva (2015) identificaram, a partir da análise de resultados do ENEM, que a associação entre peso e flutuação é uma das concepções alternativas mais persistentes entre estudantes ao final do Ensino Médio, o que indica que a dificuldade encontrada nesta turma não é um caso isolado, mas parte de um padrão amplamente documentado no ensino de estudo de fluidos.

O empuxo foi o conceito de maior lacuna formal. Quatro alunos afirmaram explicitamente não saber o que era, Netuno escreveu "eu não sei" e Sol registrou "não sei, não

explicaram para nós". Os demais apresentaram descrições vagas ou associadas a outros fenômenos, como força de puxão ou reação. Apenas Vênus demonstrou uma compreensão mais próxima do conceito, ao descrever o empuxo como "a força que a água exerce sobre um objeto" e exemplificar com a flutuação de uma bola colocada na água.

Um dado comportamental relevante emergiu da quinta questão do diagnóstico, que pedia as expectativas dos alunos em relação ao uso do jogo. A maioria demonstrou abertura à experiência, com respostas como "aprender sobre possíveis questões que eu não sei sobre a pressão da água de uma maneira interativa" (Mercúrio) e "espero ter uma experiência maior com o contato com a física" (Lua). Uma exceção significativa foi Sol, que registrou: "eu não consigo aprender jogando", declaração que, à luz de Ausubel (2003), aponta para uma ausência de disposição para aprender, condição que o autor considera determinante para que a aprendizagem significativa se concretize, e que será retomada na análise dos resultados.

À luz da teoria da aprendizagem significativa, esse panorama indica que os alunos possuíam subsunçores intuitivos suficientes para a ancoragem dos novos conceitos, especialmente em relação à pressão, mas apresentavam concepções alternativas consolidadas sobre flutuação e lacunas formais significativas em relação ao empuxo. Esse perfil orientou as escolhas pedagógicas da sequência didática, tanto na etapa de contextualização quanto na estruturação do roteiro de atividades.

5.2 Análise das atividades desenvolvidas com o jogo Subnautica

No início da atividade, observou-se certa resistência por parte de alguns alunos em participar. Como a proposta envolvia pontos extras e não fazia parte da rotina habitual da turma, alguns estudantes não tinham clareza imediata sobre sua relevância. Essa postura inicial foi rapidamente modificada quando a atividade foi apresentada como uma experiência de ensino de física mediada por um jogo digital, momento em que o interesse aumentou visivelmente, especialmente entre os alunos com maior familiaridade com jogos eletrônicos.

A dificuldade inicial de alguns alunos com os controles do jogo, já registrada nos procedimentos de aplicação, influenciou o ritmo da exploração nos primeiros minutos, mas não impediu que todos os grupos completassem as atividades propostas no roteiro.

Um dos momentos mais significativos da atividade ocorreu quando os alunos observaram o veículo *Seamoth* sofrer danos progressivos ao atingir maiores profundidades. Esse fenômeno gerou reações espontâneas nos grupos e tornou-se o principal ponto de discussão relacionado à pressão hidrostática. A visualização concreta das consequências do

aumento da pressão com a profundidade despertou questionamentos que os alunos não haviam formulado durante a etapa de contextualização teórica, o que sugere que o jogo operou como um disparador de curiosidade que a explicação expositiva sozinha não havia provocado.

No que se refere à compreensão conceitual durante a atividade, os registros do roteiro evidenciam que os grupos conseguiram identificar e descrever os três fenômenos propostos, ainda que com graus diferentes de elaboração. Em relação ao empuxo, todos os grupos foram capazes de identificar e registrar corretamente os três casos, flutuação, afundamento e equilíbrio, com justificativas baseadas na relação entre empuxo e força peso. Marte, por exemplo, registrou que "o empuxo do objeto é maior que a força peso da água" para explicar a flutuação, e que "o empuxo e a força peso estão iguais" para o caso de equilíbrio, uma articulação que não aparecia em nenhuma forma no seu diagnóstico inicial.

A hidrodinâmica mostrou-se o conceito de maior dificuldade ao longo da atividade. Todos os grupos perceberam e registraram as diferenças de velocidade entre os modos de locomoção, sem nadadeiras, com nadadeiras e com veículos, mas poucos conseguiram articular explicitamente a relação entre essas diferenças e a resistência do fluido. Uma exceção foi o grupo composto por Urano, Saturno e Marte, que registrou que o veículo era "mais rápido por causa do design, que reduz a resistência da água", a única menção espontânea à resistência do fluido como variável explicativa entre todos os grupos.

Durante toda a etapa prática, a mediação docente mostrou-se fundamental. Foi necessário intervir em diversos momentos, orientando os grupos sobre como atingir as profundidades propostas no roteiro, sugerindo objetos para o teste de empuxo e esclarecendo dúvidas sobre o que registrar. Essas intervenções foram necessárias tanto por limitações com os controles do jogo quanto pela tendência natural de alguns alunos de se envolverem com aspectos da narrativa do jogo que não tinham relação direta com os objetivos didáticos da atividade.

5.3 Evidências de aprendizagem significativa

No eixo da pressão hidrostática, todos os alunos demonstraram, no pós-questionário, capacidade de relacionar o aumento da profundidade a consequências físicas observáveis. Saturno, que no diagnóstico descrevia a pressão de forma genérica como "uma força exercida pela água", passou a explicar que "quanto mais fundo, mais pressão era exercida ao equipamento, danificando-o, correndo o risco de explodir". Essa mudança é relevante porque não se trata apenas de uma melhora na terminologia, o aluno passou a descrever uma relação

de causa e efeito que antes não estava presente em sua resposta. Esse tipo de evolução corresponde ao que Moreira (2011) descreve como diferenciação progressiva: a ideia intuitiva presente no diagnóstico foi refinada e articulada com o conceito científico a partir da experiência com o jogo.

O empuxo foi o conceito que apresentou a evolução mais expressiva e também o padrão mais heterogêneo. Dos quatro alunos que afirmaram desconhecer o conceito no diagnóstico, três demonstraram compreensão funcional no pós-questionário. O caso mais notável foi o de Netuno, que no diagnóstico respondera "eu não sei" e que no pós-questionário associou os danos ao submarino ao fato de o "peso ser maior que o empuxo", uma articulação coerente com o Princípio de Arquimedes que não estava presente em nenhuma forma em suas respostas anteriores. Urano, por sua vez, que no diagnóstico descrevia o empuxo como "a ação de aplicar força em algo, puxando ou empurrando", passou a formular que "para flutuar o empuxo deve ser maior que a força peso; para afundar, a força peso deve ser maior que o empuxo", uma das elaborações mais completas da turma.

Em contraste, Sol manteve no pós-questionário uma resposta próxima à do diagnóstico, associando o comportamento dos objetos ao peso. Esse resultado é coerente com a declaração inicial da aluna de que "não conseguia aprender jogando", e será discutido à luz da teoria na seção seguinte.

A força de arrasto foi o conceito com avanço mais uniforme e, em alguns casos, surpreendente. O termo praticamente não aparecia nos diagnósticos, apenas Terra havia mencionado algo próximo, ao falar em "bolsões de ar" e "densidade" em relação à flutuação. No pós-questionário e nos roteiros, oito dos dez alunos mencionaram espontaneamente diferenças de resistência ao movimento no fluido. Mercúrio, que no diagnóstico não possuía qualquer subsunçor relacionado ao tema, explicou no pós-questionário que as nadadeiras fizeram o personagem nadar mais rápido "porque diminuiu a força de arrasto", utilizando o termo técnico de forma contextualmente correta. Terra foi ainda mais elaborado, descrevendo as "diferentes formas de resistência da água" como o principal fenômeno que chamou sua atenção durante a atividade.

Um dado que merece registro especial foi o comportamento espontâneo do grupo composto por Sol e Netuno durante o roteiro. Ao explorar as diferentes profundidades, o grupo registrou numericamente a variação de pontos de vida do personagem em cada nível: 50m, 100m, 150m e 200m. Essa atitude de quantificar e registrar uma grandeza que varia com a profundidade, sem que o roteiro solicitasse esse nível de detalhe, evidencia um engajamento com o pensamento científico que transcende a simples observação qualitativa, sendo

particularmente notável considerando que Sol havia declarado no diagnóstico não conseguir aprender por meio de jogos.

Do ponto de vista comportamental, as avaliações da metodologia registradas no pós-questionário foram unanimemente positivas. Netuno descreveu a experiência como "interativa e interessante"; Marte afirmou que "foi incrível" e que recomendaria a atividade a outros alunos; Urano avaliou como "muito interessante, uma explicação mais dinâmica". A única avaliação reservada foi a de Sol, que manteve sua posição: "não consigo muito aprender por jogo". Esse dado, longe de ser um problema para a análise, constitui um dos elementos mais ricos do estudo, e será discutido na seção seguinte.

5.4 Discussão dos resultados à luz da fundamentação teórica

Os resultados apresentados nas seções anteriores permitem uma discussão articulada com os pressupostos da aprendizagem significativa, evidenciando tanto convergências com a teoria quanto tensões que merecem ser reconhecidas com honestidade.

A convergência mais clara diz respeito ao papel dos subsunçores. Conforme identificado no diagnóstico, os alunos chegaram à atividade com conhecimentos intuitivos sobre pressão e flutuação que, embora imprecisos, forneceram os pontos de ancoragem necessários para a construção de novos significados. O fato de que todos os alunos já associavam intuitivamente o aumento da profundidade ao aumento da pressão, mesmo sem nunca ter estudado formalmente o tema, criou as condições para que o *Subnautica* funcionasse como um ambiente de diferenciação progressiva, no sentido proposto por Moreira (2011): a experiência com o jogo não introduziu o conceito do zero, mas refinou e articulou uma ideia que já existia na estrutura cognitiva dos alunos.

O caso de Terra ilustra com precisão o que Ausubel (2003) descreve como reconciliação integradora. No diagnóstico, Terra já demonstrava subsunçores mais elaborados que os demais, mencionando densidade e bolsões de ar ao explicar a flutuação de navios, e descrevendo a pressão como "compressão da água na região torácica".

No pós-questionário, ao ser perguntado sobre o princípio físico responsável pelos danos ao *Subnautica*, Terra respondeu: "a compressão atmosférica, o atrito do meio." Essa resposta merece análise cuidadosa. A compressão atmosférica corresponde, de forma aproximada, ao conceito de pressão hidrostática, a força que o fluido exerce sobre o casco do veículo, aumentando com a profundidade conforme a Lei de Stevin. O atrito do meio, por sua vez, não é tecnicamente a causa dos danos estruturais ao casco, que decorrem exclusivamente

da pressão hidrostática, mas reflete a percepção do aluno de que a água oferece resistência ao movimento do veículo, fenômeno relacionado à força de arrasto. Embora imprecisa do ponto de vista técnico, a resposta revela que Terra observou no ambiente do jogo duas formas distintas de interação entre o fluido e o veículo, a compressão e a resistência ao movimento, e tentou articulá-las numa explicação unificada. Esse movimento de busca por um princípio explicativo mais amplo, mesmo que tecnicamente incompleto, é pedagogicamente relevante e antecipa o raciocínio que Terra demonstraria de forma mais precisa na questão seguinte.

O movimento cognitivo mais significativo ocorreu na questão sobre empuxo: Terra foi o único aluno a responder que o que determina o comportamento de um corpo imerso é "a densidade envolvida em relação ao corpo e o meio", chegando ao princípio unificador que explica simultaneamente flutuação, afundamento e equilíbrio, sem analisar cada caso separadamente. Esse é o indício mais consistente de reconciliação integradora observado na pesquisa: Terra não aprendeu três situações distintas, mas reorganizou sua estrutura cognitiva para integrá-las sob um princípio físico mais amplo (Ausubel, 2003).

A tensão mais relevante com a teoria emerge do caso de Sol. Ausubel (2003) é categórico ao afirmar que a disposição para aprender é uma condição necessária para que a aprendizagem significativa ocorra, sem ela, o aluno tende a processar o conteúdo de forma mecânica ou superficial. Sol declarou, tanto no diagnóstico quanto no pós-questionário, não conseguir aprender por meio de jogos. Seu desempenho em empuxo no pós-questionário foi o único que não apresentou avanço em relação ao diagnóstico. Contudo, os registros do roteiro contam uma história diferente: foi o grupo de Sol que espontaneamente quantificou a variação de pontos de vida do personagem em diferentes profundidades, demonstrando um engajamento com o pensamento científico que a própria aluna não reconheceu em si mesma. Essa contradição entre a disposição declarada e o comportamento observado sugere que o ambiente imersivo do *Subnautica* pode ter favorecido formas de engajamento cognitivo que operam de forma independente da predisposição consciente do aprendiz, uma hipótese que ultrapassa os limites deste estudo, mas que aponta para uma direção relevante para investigações futuras sobre jogos digitais na educação.

Em relação à mediação docente, os resultados confirmam o que Prensky (2001) e Gee (2003) já apontavam: jogos digitais não ensinam por si mesmos. A intervenção do professor foi necessária em múltiplos momentos, para orientar a exploração do ambiente, para manter o foco nos objetivos didáticos e para articular o que os alunos observavam com os conceitos trabalhados na etapa de contextualização. Isso não diminui o papel do jogo como mediador da aprendizagem, mas indica que sua eficácia pedagógica depende de uma sequência didática

estruturada e de um professor presente e intencionalmente planejado.

Por fim, é necessário reconhecer os limites deste estudo. A amostra reduzida, dez alunos, em uma única sessão de 50 minutos, sem grupo de controle, não permitem afirmar que os avanços conceituais observados decorrem exclusivamente da interação com o jogo. A etapa de contextualização teórica, a mediação docente e o próprio contexto de novidade da proposta podem ter contribuído para o engajamento e para as mudanças observadas. O que os dados permitem afirmar, dentro dos limites de um estudo de caso qualitativo, é que a sequência didática mediada pelo *Subnautica* criou condições favoráveis para a construção de significados em torno dos conceitos de estudo de fluidos, e que isso ocorreu de formas distintas para alunos com perfis cognitivos e disposições diferentes.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo investigar o uso do jogo digital *Subnautica* como recurso pedagógico para o ensino de conceitos de estudo de fluidos no Ensino Médio, com foco nos conteúdos de pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica. A proposta fundamentou-se nos pressupostos da aprendizagem significativa, conforme a teoria de Ausubel (2003) e as contribuições de Moreira (2011), bem como nas discussões sobre metodologias ativas e uso de tecnologias digitais na educação. As evidências analisadas emergem de uma experiência concreta em sala de aula e refletem tanto as potencialidades quanto os limites do uso de jogos digitais no ensino de física em contextos reais.

O diagnóstico inicial revelou que os alunos chegaram à atividade com subsunçores intuitivos relevantes, especialmente em relação à pressão hidrostática, mas com concepções alternativas consolidadas sobre flutuação e lacunas formais significativas em relação ao empuxo. Quatro dos dez alunos afirmaram não saber o que era empuxo, e sete associaram a flutuação exclusivamente ao peso do objeto. Esse perfil orientou as escolhas pedagógicas da sequência didática e forneceu a base para a análise das mudanças conceituais observadas após a intervenção.

A comparação entre os questionários diagnóstico e pós-atividade, articulada com os registros do roteiro de atividades, revelou evidências concretas de evolução conceitual nos três eixos trabalhados. No eixo do empuxo, o avanço foi o mais expressivo: alunos que no diagnóstico afirmavam não conhecer o conceito passaram a articular corretamente a relação entre empuxo e força peso para explicar flutuação, afundamento e equilíbrio. No eixo da hidrodinâmica, oito dos dez alunos mencionaram espontaneamente a resistência do fluido como variável explicativa, conceito que praticamente não aparecia nos diagnósticos iniciais. No eixo da pressão, todos os alunos demonstraram, no pós-questionário, capacidade de relacionar o aumento da profundidade a consequências físicas observáveis, superando descrições genéricas presentes no diagnóstico.

Dois casos merecem destaque pela riqueza analítica que oferecem. Terra foi o único aluno a demonstrar o que Ausubel (2003) descreve como reconciliação integradora, ao usar o conceito de "atrito do meio" para articular simultaneamente a hidrodinâmica e a pressão hidrostática, conectando dois conceitos sob um mesmo princípio físico. Sol, por sua vez, declarou tanto no diagnóstico quanto no pós-questionário não conseguir aprender por meio de jogos, e seu desempenho em empuxo não apresentou avanço. Contudo, foi o grupo de Sol que espontaneamente quantificou a variação de pontos de vida do personagem em diferentes

profundidades durante o roteiro, comportamento que contradiz a resistência declarada e sugere que o ambiente imersivo do jogo pode ter favorecido formas de engajamento cognitivo independentes da predisposição consciente do aprendiz.

Do ponto de vista metodológico, o delineamento como estudo de caso mostrou-se adequado para a análise aprofundada do contexto investigado. Os limites do estudo são reconhecidos: a amostra reduzida, a sessão única de 50 minutos e a ausência de grupo de controle impedem generalizações. O que os dados permitem afirmar, dentro desses limites, é que a sequência didática mediada pelo *Subnautica* criou condições favoráveis para a construção de significados em torno dos conceitos de estudo de fluidos, e que isso ocorreu de formas distintas para alunos com perfis cognitivos e disposições diferentes, o que é, em si, um resultado relevante para a compreensão da aprendizagem mediada por jogos digitais.

Espera-se que este trabalho sirva como ponto de partida para investigações futuras que ampliem e aprofundem a proposta aqui desenvolvida. Pesquisadores e professores que se debruçarem sobre este estudo poderão explorar caminhos ainda não percorridos: a aplicação da mesma sequência didática com grupos maiores e em contextos escolares distintos, permitindo maior abrangência dos resultados; o uso de outros jogos comerciais com motores de física igualmente coerentes para o ensino de diferentes conteúdos da física; o desenvolvimento de sequências didáticas mais extensas que permitam trabalhar a hidrodinâmica e a força de arrasto com maior profundidade, superando a limitação de tempo identificada neste estudo; e a articulação entre a abordagem qualitativa adotada aqui e metodologias quantitativas, como o índice de ganho normalizado de Hake, para mensurar com maior precisão os avanços conceituais dos estudantes. Mais do que validar uma ferramenta específica, a intenção deste trabalho é demonstrar que a fronteira entre entretenimento e educação é mais permeável do que o ensino tradicional supõe, e que cabe ao professor, com planejamento e fundamentação teórica sólida, ser o agente que transforma essa permeabilidade em aprendizagem genuína.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições, 2003.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: jan. 2026.
- CALÇADA, Cássio; SAMPAIO, José Luís. **Física clássica**: termodinâmica, ondulatória e óptica. São Paulo: Atual, 1998. v. 2.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 2014.
- FREITAS, Savana dos Anjos; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano de. A utilização do jogo Angry Birds Space na aprendizagem de conceitos de lançamento de projéteis e de gravidade no ensino fundamental: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 1, n. 2, p. 214–225, jul./dez. 2018.
- GEE, James Paul. **What video games have to teach us about learning and literacy**. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**: mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1.
- KRAUSE, João Carlos; FELBER, Denise; VENQUIARUTO, Luciana Dornelles. O uso de jogos digitais como ferramenta de auxílio para o ensino de Física. **Revista Insignare Scientia**, v. 1, n. 2, 2018. DOI: 10.36661/2595-4520.2018v1i2.8152. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/8152>. Acesso em: jan. 2026.
- LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.
- MACÊDO, Josué Antunes de; DICKMAN, Adriana Gomes; ANDRADE, Isabela Silva Faleiro de. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. Especial 1, p. 562–613, set. 2012. DOI: 10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p562.
- MONTEIRO, Alcilene Balica et al. Proposta de UEPS para o estudo da Hidrostática no ensino médio, orientada por um kit didático: braço hidráulico e escavadeira hidráulica. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 3, n. Especial, p. 9–10, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3iEspecial.25851.
- MORAN, José Manuel. Educação híbrida: um conceito-chave para a educação hoje. In: BACICH, Lilian; TANZI NETO, Adolfo; TREVISANI, Fernando de Mello (org.). **Ensino híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011a.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005. (Série Focando a Aprendizagem; v. 1). Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011b.

MOREIRA, Marco Antônio. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas — UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011c.

MOREIRA, Marco Antônio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2012. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>.

PIAGET, Jean. **A epistemologia genética**. Petrópolis: Vozes, 1971.

PRENSKY, Marc. **Digital game-based learning**. New York: McGraw-Hill, 2001.

RAMALHO, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; TOLEDO, Paulo Antônio de. **Os fundamentos da física**: termologia, óptica, ondas. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007. v. 2.

SILVEIRA, Fernando Lang da; BARBOSA, Marcia Cristina Bernardes; SILVA, Roberto da. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, 2015. DOI: 10.1590/s1806-11173710001.

SILVA, João Batista da; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscileide Braga de. Gamificação como estratégia de aprendizagem activa no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, e20180309, 2019. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2018-0309.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**: mecânica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 1.

YAMAZAKI, Sérgio Choiti; YAMAZAKI, Regiani Magalhães de Oliveira. Jogos para o ensino de Física, Química e Biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado? **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 159–181, 2014. DOI: 10.3895/S1982-873X2014000100009.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Tradução: Cristhian Matheus Herrera. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A - PLANO DE AULA
Aprendizagem Significativa em estudo de fluidos por meio do Jogo Digital Subnautica

Disciplina:	Física
Ano/Série:	3º ano do Ensino Médio
Carga Horária:	50 minutos
Docente:	Francisco Remo Pereira Lourenço
Orientador:	Prof. Dr. Jefferson Mendes Aguiar Paixão
Banca Examinadora:	Prof. Afrânio Coelho / Prof. Daniel Brito
Conteúdo:	Pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica
Recurso tecnológico:	Jogo digital Subnautica (tablet)

OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Investigar o potencial do jogo digital Subnautica como ferramenta pedagógica para a promoção da aprendizagem significativa de conceitos de estudo de fluidos no Ensino Médio, à luz da teoria de Ausubel (2003) e Moreira (2011).

Objetivos Específicos

- Identificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos sobre pressão hidrostática, empuxo e hidrodinâmica por meio de questionário diagnóstico.
- Proporcionar um ambiente de diferenciação progressiva por meio da interação com o Subnautica, favorecendo a ancoragem de novos conceitos.
- Observar evidências de mudança conceitual nos alunos a partir da comparação entre os questionários pré e pós-atividade.

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DA BNCC

Competência	Habilidades
Competência 2 – Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base no conhecimento científico.	EM13CNT102 – Discutir e avaliar concepções científicas em diferentes contextos para compreender o papel da ciência e da tecnologia na construção de explicações sobre o mundo. EM13CNT301 – Construir e usar conceitos das ciências da natureza para explicar fenômenos, testar hipóteses e formular conclusões a partir de investigações.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Etapa	Fase	Duração	Descrição
1	Diagnóstico	10 min	Aplicação individual do questionário pré-atividade. Os alunos respondem sem intervenção do professor, garantindo que as respostas reflitam exclusivamente os conhecimentos prévios (subsunçores). Objetivo: mapear concepções alternativas e identificar pontos de ancoragem.
2	Contextualização teórica	10 min	Exposição conceitual introdutória conduzida pelo professor, com ênfase qualitativa — sem formalização matemática aprofundada. Conteúdos: pressão hidrostática (Lei de Stevin), empuxo (Princípio de Arquimedes) e hidrodinâmica (força de arrasto). Objetivo: ativar os subsunçores identificados no diagnóstico.
3	Exploração com o Subnautica	20 min	Interação com o jogo em grupos de 2 a 3 alunos, com rodízio de funções (jogador, anotador, observador). Cada grupo segue roteiro estruturado: (a) observar variação de pressão com a profundidade; (b) testar empuxo com 3 objetos distintos; (c) comparar locomoção sem nadadeiras, com nadadeiras e com veículo. Professor atua como mediador.
4	Reflexão e fechamento	10 min	Aplicação individual do questionário pós-atividade. Os alunos registram suas percepções sobre os conceitos trabalhados e avaliam a experiência com o jogo. Objetivo: identificar mudanças conceituais e evidências de diferenciação progressiva ou reconciliação integradora.

RECURSOS DIDÁTICOS

- 1 tablet com o jogo Subnautica previamente instalado (compartilhado entre os grupos)
- Roteiro de atividades impresso (1 por grupo)
- Questionários pré e pós-atividade impressos (1 por aluno)
- Quadro branco e marcador

AValiação da Aprendizagem

A avaliação é de caráter formativo e qualitativo, coerente com o delineamento metodológico

de estudo de caso. Os instrumentos utilizados são:

- Questionário diagnóstico (pré-atividade) — mapeamento de conhecimentos prévios
- Roteiro de atividades preenchido pelo grupo — registro das observações durante o jogo
- Questionário pós-atividade — identificação de mudanças conceituais
- Relato escrito individual — percepções subjetivas sobre a experiência

Não há atribuição de nota. A participação foi voluntária, com oferta de pontos extras pela instituição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, David Paul. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições, 2003.

GEE, James Paul. What video games have to teach us about learning and literacy. New York: Palgrave Macmillan, 2003.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1.

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da física, 2011.

PRENSKY, Marc. Digital game-based learning. New York: McGraw-Hill, 2001.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. física para cientistas e engenheiros: mecânica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 1.

ZABALA, Antoni. A prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE B**QUESTIONÁRIO PRÉVIO - CONHECIMENTOS SOBRE ESTUDO DE FLUIDOS****Nome:** _____**Data:** ____/____/____**1. O que você entende por pressão da água?**

Explique com suas palavras e, se puder, dê um exemplo.

2. Quando mergulhamos mais fundo, a pressão aumenta, diminui ou permanece igual?**Por quê?**

3. O que faz um objeto flutuar ou afundar na água?

Explique o que você acha que determina isso.

4. O que é empuxo para você?

Se não souber, descreva o que imagina que seja.

5. O que você espera aprender usando um jogo como Subnautica?

Escreva suas expectativas.

APÊNDICE C

ROTEIRO DE ATIVIDADES - SUBNAUTICA

Aluno 1: _____

Aluno 2: _____

Aluno 3: _____

Data: ____/____/____

1. Pressão e Profundidade

A) Utilize o personagem ou veículo para atingir as profundidades:

- 50 m
- 100 m
- 150 m
- 200 m
- 220 m

B) Registre o que muda em cada profundidade.

C) Há sinais de dano no equipamento? O que isso indica sobre a pressão?

Anotações:

2. Empuxo – Escolha livre de 3 objetos

O grupo deve escolher três objetos diferentes no ambiente de Subnautica.

Para cada objeto, registre:

Objeto 1: _____

O que aconteceu:

- () Flutuou
() Afundou
() Ficou parado (em equilíbrio)

Por que isso aconteceu?

Objeto 2: _____

O que aconteceu:

- () Flutuou
() Afundou
() Ficou parado (em equilíbrio)

Por que isso aconteceu?

Objeto 3: _____

O que aconteceu:

() Flutuou

() Afundou

() Ficou parado (em equilíbrio)

Por que isso aconteceu?

3. Hidrodinâmica e Movimento

A) Compare a movimentação:

- Sem nadadeiras
- Com nadadeiras
- Com veículos (quando possível)

B) Registre diferenças de velocidade, controle e esforço.

C) Relacione com resistência do fluido e formato do corpo/veículo.

Anotações:

4. Observações Gerais

Registre qualquer fenômeno físico observado durante o jogo:

- efeitos de luz em profundidade
- temperatura

Anotações:

APÊNDICE D

QUESTIONÁRIO PÓS-ATIVIDADE - SUBNAUTICA E ESTUDO DE FLUIDOS

Nome: _____

Data: ____ / ____ / ____

1. Pressão em profundidade

Após a atividade prática no Subnautica, explique com suas palavras o que acontece com a pressão da água quando aumentamos a profundidade.

Inclua um exemplo real observado no jogo.

2. Dano por pressão no Subnautica

Explique por que o personagem ou veículo começa a receber dano ao atingir grandes profundidades.

Qual princípio físico está relacionado a isso?

3. Empuxo

Descreva uma situação em que você percebeu o efeito do empuxo no Subnautica.

O que faz alguns objetos flutuarem e outros afundarem?

4. Movimento na água (hidrodinâmica)

Como o movimento do personagem mudou quando você:

- não tinha nadadeiras
- tinha nadadeiras
- usou um veículo

Explique por que essas diferenças acontecem.

5. Conceitos aprendidos

Qual conceito de física ficou mais claro para você após a prática com Subnautica?

Explique como o jogo ajudou nesse entendimento.

6. O que mais te ajudou a compreender os fenômenos físicos no Subnautica?

- () Ver a profundidade aumentando
- () Ver os danos causados pela pressão hidrostática
- () Testar empuxo com objetos
- () Mudar equipamentos e ver diferença na velocidade

() Outra coisa: _____
Explique sua resposta:

7. Avaliação da aula

Como foi aprender física usando um jogo?

8. Impressões sobre a metodologia

O que mais chamou sua atenção durante a atividade?

APÊNDICE E

FOLHA DE INSTRUÇÕES - ATIVIDADE PRÁTICA COM SUBNAUTICA

Professor: Francisco Remo Pereira Lourenço

Data: ____/____/____

1. Objetivo da Atividade

Nesta aula, vamos utilizar o jogo **Subnautica** para observar e compreender fenômenos de **Hidrostática e Hidrodinâmica**, como:

- Pressão e profundidade
- Empuxo
- Densidade
- Movimento em fluidos

Esses conceitos serão vistos na prática dentro do ambiente do jogo.

2. Como funcionará a atividade

Você e seu grupo irão:

1. **Responder um questionário prévio** individual.
2. Assistir a uma breve explicação sobre os conceitos de física.
3. Utilizar o jogo Subnautica para observar fenômenos físicos.
4. **Preencher o Roteiro de Atividades** (em grupo).
5. **Responder um questionário pós-atividade** individual.
6. Preencher um **relato final** sobre a experiência.

3. Regras da Atividade

- O tablet será compartilhado entre os membros do grupo.
- Apenas uma pessoa controla o jogo por vez.
- Os demais observam, discutem e **anotam no roteiro**.
- A atividade **não vale nota**, é parte de uma pesquisa educacional.
- Não existe resposta “errada” no relato ou no questionário.
- O mais importante é **ser sincero** e registrar tudo o que perceber.

4. O que cada grupo deve fazer no Subnautica

Durante a exploração:

Pressão

- Descer a várias profundidades e observar mudanças no ambiente ou danos.

Empuxo

- Escolher **3 objetos diferentes** e soltar na água.

- Registrar se flutuam, afundam ou ficam neutros.

Hidrodinâmica

- Comparar movimento:
 - sem nadadeiras
 - com nadadeiras
 - com veículo (se disponível)

Observações gerais

- Anotar qualquer fenômeno físico observado no jogo.

5. Papel de cada integrante do grupo

- **Jogador (1):** controla o personagem no jogo.
- **Anotador (1):** escreve no roteiro do grupo.
- **Observadores (1 ou mais):** ajudam a analisar o que acontece. Depois, cada aluno completa suas atividades individuais.
- **Mudança de papel:** cada membro do grupo exercerá uma nova função a cada atividade completada, com o objetivo de rotacionar a expe

6. O que será entregue ao final

Você deverá entregar:

Questionário pré-atividade

Questionário pós-atividade

Relato individual da experiência

Seu grupo entregará:

✓ **Roteiro de Atividades preenchido**

7. Importante

Esta atividade faz parte de uma **pesquisa acadêmica (TCC)**.

Os dados serão utilizados **apenas para fins educacionais**.

8. Dúvidas durante a atividade

Levante a mão ou chame o professor.

Perguntar faz parte do processo.