

Priscila Castilho Casassanta

**TracIm, CONCEPÇÃO DE UM JOGO DIGITAL EDUCATIVO  
PARA O ESTUDO DE FORMAÇÃO DE IMAGEM REAL EM  
LENTE CONVERGENTE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.  
Orientadora: Profa. Dra. Tatiana da Silva

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da  
UFSC.

Casassanta, Priscila Castilho

TracIm, CONCEPÇÃO DE UM JOGO DIGITAL EDUCATIVO  
PARA O ESTUDO DE FORMAÇÃO DE IMAGEM REAL EM LENTE  
CONVERGENTE / Priscila Castilho Casassanta ;  
orientadora, Tatiana da Silva, 2017.

117 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e  
Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Educação  
Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Jogos  
Digitais Educacionais para o Ensino de Física. 3.  
Teoria da Carga Cognitiva. 4. Visualização no Ensino  
de Matemática, Leitura e Educação Científica. 5.  
Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais. I. da  
Silva, Tatiana . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação  
Científica e Tecnológica. III. Título.


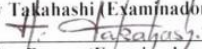
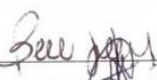



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

**“TraçIm, concepção de um jogo digital educativo para o estudo da formação de imagem real em lente convergente”**

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 09 DE MARÇO DE 2017.

Dra. Tatiana da Silva (Orientadora - CFM/UFSC):   
Dr. Eduardo Kojy Takahashi (Examinador - Instituto de Física/UFU):   
Dra. Daniela Karine Ramos (Examinadora - CED/UFSC):   
Dr. Nelson Canzian da Silva (Examinador - CFM/UFSC): \_\_\_\_\_  
Dr. Paulo José Sena dos Santos (Suplente - CFM/UFSC): \_\_\_\_\_

  
Prof. Dr. José Francisco Custódio Filho  
Coordenador do PPGECT

  
Priscila Castilho Casassanta  
Florianópolis, Santa Catarina, 2017



*“Se eu vi mais longe, foi  
por estar sobre ombros  
de gigantes”*

(Isaac Newton)



## AGRADECIMENTOS

Agradecer parece uma tarefa simples, mas não é. São tantas as pessoas e situações que contribuem direta ou indiretamente para a conclusão dessa etapa que, na hora de descrever, um “branco” vem a minha mente. Mas, tentarei enunciar todos que contribuíram para essa conquista, cada um ao seu modo, porém com a mesma importância.

Primeiro, queria agradecer ao meu pai, Eudóxio, a minha mãe, Márcia e ao meu irmão, Guilherme, por sempre terem me apoiado, me dado forças para continuar mesmo quando a distância parecia o infinito, por terem lutado para que eu conseguisse chegar em Florianópolis, por terem me abraçado todas as vezes que eu precisei e até quando parecia não precisar. Sem eles, nada do que vivi, produzi, caminhei e conquistei, seria possível. Portanto, agradeço por tudo à vocês, pois se consegui chegar até aqui é porque estavam comigo.

Gostaria de agradecer também, aos meus amigos de Uberlândia, em especial a Flávia e a Juliana, por todas as risadas, choros, cafés... São as irmãs que a vida me deu. Ao Matheus, Analice, Diego, Lucas, Daiane, Eduardo Takahashi, Mardey, Maryelly, Dominique e entre tantos outros que me deram forças para partir, forças para o conhecer e me acostumar com o novo, me ensinaram que para conservar a amizade não existe distância e que estavam presentes mesmo estando longe. Muito obrigada.

Sou imensamente grata pelo apoio, paciência, parceria e ajudas dadas pelo meu namorado, Danilo. Foi meu grande companheiro nessa jornada me mostrando que sempre sou mais capaz do que eu possa imaginar.

Obrigada Ana, minha querida prima, por ter feito parte dessa caminhada comigo, sempre preocupada e zelosa com o companheirismo e cumplicidade do laço ímpar que nos une.

Agradeço aos amigos que fiz, em especial o Michael e o Arthur, que me deram casa quando precisei e me fizeram sentir acolhida, como se eu já convivesse com eles anos e anos. Agradeço também, a Helen, Rosângela, Arthur (Panda), Leila, Bia e Jhonatan, pelas parceiras desenvolvidas e cumplicidades nos momentos de alegria e nos momentos mais difíceis, com eles tudo ficou mais fácil. Obrigada também, os demais colegas de turma, que foram essenciais na minha formação.

Sou grata a professora Tatiana, pela orientação sempre presente e objetiva, por ter acreditado em mim e no meu trabalho, e por sempre ter tido a paciência de me ajudar todas as vezes necessárias. Muito do que me tornei, foi porque ela fez parte diretamente dessa caminhada.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, por toda a formação pessoal e profissional que me proporcionou e, também, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que por meio da bolsa a mim concedida, foi possível executar e concluir o mestrado.



## RESUMO

O desenvolvimento e a utilização de um jogo digital para fins educacionais não são tarefas fáceis, mas são promissoras por permitirem que o aluno aprenda de maneira descontraída e divertida. Diferentes áreas disciplinares apontam resultados positivos relativos a seu uso tanto para o ensino quanto para a aprendizagem. Os jogos digitais são configurados com elementos verbais, visuais, desafios, *feedbacks*, metas, normas, sinais de entrada, sinais de saída, personagens, entre outros. Para que cada um desses elementos tenha um significado positivo na aprendizagem do jogador aprendiz, propomos neste trabalho uma articulação teórica entre distintos estudos que consideram: o processamento da informação na arquitetura cognitiva humana, apontando estratégias de elaboração para um material instrucional que não sobrecarregue cognitivamente, podendo prejudicar a aprendizagem; potencialidades e recomendações sobre os objetos de visualização; princípios de aprendizagem identificados em jogos digitais e elementos do *game design*. Construída a articulação teórica que permitiu identificar características facilitadoras da aprendizagem, fizemos uso da matriz de aprendizagem situada para desenhar uma proposta de um jogo digital educativo sobre ótica geométrica que contemplasse o diálogo entre os norteadores teóricos supracitados. No que tange ao conteúdo de Física a ser abordado, tomamos como ponto de partida, pesquisas que apontam as dificuldades conceituais dos estudantes sobre formação de imagem real em lente convergente e adotamos as atividades e tarefas propostas, uma delas, para desenvolver o jogo e suas respectivas fases. Na sua estrutura, procuramos respeitar o nível de conhecimento do jogador aprendiz, de modo que a progressão do conteúdo, assim como das fases, estivessem de acordo com as dificuldades e sucessos de cada um deles. Esperamos que, refletir na concepção de um jogo digital educativo, de modo que seja concebido segundo pressupostos teóricos, facilite a aprendizagem e contribua com o ensino de Física.

**Palavras-chave:** Jogo Digital Educativo de Física. Teoria da Carga Cognitiva. Visualização na Matemática. Leitura e Educação Científica. Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais. *Game Design*.



## ABSTRACT

The development and use of a digital game for educational purposes are not easy tasks, but they are promising for allowing the student to learn in a relaxed and fun manner. Different disciplinary areas show positive results for both teaching and learning. Digital games are configured with verbal, visual elements, challenges, feedbacks, goals, standards, input signals, output signals, and characters and so on. For each of these to have a positive meaning in apprentice player learning, we propose in this work a theoretical articulation between different studies that consider: the information processing in the human cognitive architecture pointing out elaboration strategies for an instructional material that does not overload cognitively, Learning, potentialities and recommendations about the objects of visualization, learning principles identified in digital games and elements of game design. After realizing the theoretical articulation that allowed identifying characteristics facilitating the learning, we made use of the situated learning matrix to design a digital educational game that contemplates the dialogue between the theoretical guides. For its conception, we take as a starting point researches that point out the conceptual difficulties of the students on the formation of real image in convergent lens and we adopted the activities and tasks proposed to develop the phases of the game. In the structure of the game, we try to respect the level of knowledge of the apprentice player, so that the progression of the content, as well as the phases, are in accordance with the difficulties and successes of each one of them. We hope that reflecting on the design of a digital educational game so that it is designed according to theoretical presuppositions facilitates learning and contributes to the teaching of Physics.

**Keywords:** Digital educational game of physics, Cognitive Load Theory, Visualization in Mathematics, Reading and Science Education, Learning Based on Digital Games, Game Design.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Potencialidades e desafios do uso de jogos digitais para fins educacionais .....	20
Figura 2 - Progressão dos desafios de acordo com o nível de conhecimento do jogador aprendiz.....	29
Figura 3 - Modelo conceitual de jogo .....	40
Figura 4 - Modelo da matriz de aprendizagem situada .....	56
Figura 5 – Matriz de aprendizagem situada para o jogo SWAT4 ....	58
Figura 6 - Modelo da matriz de aprendizagem situada para o jogo educativo proposto nesta pesquisa .....	62
Figura 7 - Divisão das perguntas do quiz em blocos.....	66
Figura 8 - Pergunta 1 do quiz .....	68
Figura 9 - Pergunta 2 do quiz .....	68
Figura 10 - Pergunta 3 do quiz .....	69
Figura 11 - Pergunta 4 do quiz .....	69
Figura 12 - Pergunta 5 do quiz .....	70
Figura 13 - Pergunta 6 do quiz .....	70
Figura 14 - Pergunta 7 do quiz .....	71
Figura 15 - Pergunta 8 do quiz .....	71
Figura 16 - Pergunta 9 do quiz .....	72
Figura 17 - Perguntas 1 e 2 do quiz programadas .....	72
Figura 18 - Tela representativa da entrada do centro de estudos.....	73
Figura 19 - Tela representativa de cada laboratório .....	74
Figura 20 - Prateleiras que estão presentes em cada laboratório do jogo.....	75
Figura 21 - Tela touch screen presente em cada fase do jogo .....	76
Figura 22 - Bancada ótica para as resoluções dos desafios .....	77
Figura 23 - Exemplo da apresentação de cada material que compõe as fases do jogo .....	84
Figura 24 - Representação de como aparecerá o desafio caso o jogador aprendiz precise recapitular o desafio proposto na fase 1 ...	85
Figura 25 - Opções de objetos luminosos oferecidos ao jogador aprendiz .....	87

Figura 26 - Componentes óticos disponibilizados ao jogador aprendiz .....	88
Figura 27 - Figuras de imagens formadas em lente convergente, disponibilizadas ao jogador aprendiz.....	90
Figura 28 - Diagrama desenhado por um estudante com o intuito de justificar para os autores porque desapareceria metade da imagem caso parte da lente fosse coberta.....	105
Figura 29 - Desenho apresentado pelos autores, feitos pelos estudantes, para justificarem suas respostas do que aconteceria com a imagem caso a tela fosse movida em direção a lente .....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinação entre os níveis de conhecimento de acordo com os acertos e erros do jogador/aprendiz para diagnosticar se ele é novato, intermediário ou especialista em cada fase do jogo.....	80
Tabela 2 - Tarefa 1 do artigo. A resposta destacada (*) representa a correta.....	103
Tabela 3 - Tarefa 2 do artigo. A resposta destacada (*) representa a correta.....	104
Tabela 4 - Tarefa 3 do artigo. A resposta destacada (*) representa a correta.....	105
Tabela 5 - Tarefa 4 do artigo. A resposta destacada (*) representa a correta.....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição da atividade 1 e seu desafio correspondente no jogo .....	110
Quadro 2 - Descrição da atividade 2 e seu desafio correspondente no jogo .....	111
Quadro 3 - Descrição da atividade 3 e seu desafio correspondente no jogo .....	112
Quadro 4 - Descrição da atividade 4 e seu desafio correspondente no jogo .....	112
Quadro 5 - Descrição da atividade 5 e seu desafio correspondente no jogo .....	113
Quadro 6 - Descrição da atividade 6 e seu desafio correspondente no jogo .....	114
Quadro 7 - Descrição da atividade 7 e seus desafios correspondentes no jogo .....	115
Quadro 8 - Descrição da atividade 8 e seu desafio correspondente no jogo .....	116



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>JOGOS DIGITAIS EDUCATIVOS</b> .....	19
1.1	O PORQUÊ .....	22
1.2	INQUIETAÇÃO.....	23
1.2.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	23
1.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	23
1.3	CONJECTURA .....	23
<b>2</b>	<b>NORTEADORES TEÓRICOS</b> .....	25
2.1	TEORIA DA CARGA COGNITIVA.....	25
2.2	VISUALIZAÇÃO NA MATEMÁTICA, LEITURA E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA .....	34
2.3	APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS ....	38
2.4	GAME DESIGN.....	40
<b>3</b>	<b>ARTICULAÇÃO TEÓRICA</b> .....	45
3.1	NÍVEL DE CONHECIMENTO .....	45
3.2	ELEMENTOS VISUAIS E AUDITIVOS.....	46
3.3	CONTEÚDO PROGRESSIVO COM O NÍVEL DE CONHECIMENTO.....	48
3.5	PROJEÇÃO DO PERSONAGEM .....	49
3.6	COLABORAÇÃO ENTRE OS JOGADORES.....	50
<b>4</b>	<b>MATRIZ DE APRENDIZAGEM SITUADA</b> .....	53
<b>5</b>	<b>ESBOÇO DO JOGO DIGITAL EDUCATIVO: TracIm</b> .....	61
5.1	MATRIZ DE APRENDIZAGEM SITUADA.....	61
5.1.1	<b>A história inicial</b> .....	64
5.1.2	<b>Quiz</b> .....	65
5.1.3	<b>Visão geral das fases do jogo</b> .....	73
5.1.3.1	Fase 1 – Laboratório 1 .....	83

<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	93
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	97
<b>8</b>	<b>APÊNDICES</b> .....	101

## 1 JOGOS DIGITAIS EDUCATIVOS

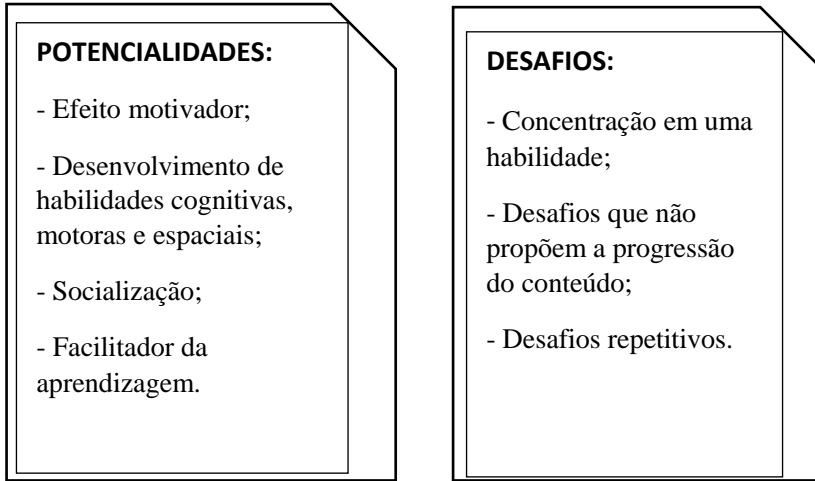
O desenvolvimento e a utilização de um jogo digital para fins educacionais, não é uma tarefa fácil, mas é promissora por permitir que o aluno aprenda de maneira descontraída e lúdica. Nessa perspectiva, pesquisas na área de Ensino de Matemática, Informática, Linguística e outras, vêm utilizando o jogo digital para ensino e aprendizagem (TAROUCO, *et al.*, 2004; EICHLER; JUNGES; PINO, 2005; PAULA; AGUIAR, 2008; SAVI; ULBRICHT, 2008; KESSLER, *et al.*, 2010; ALMEIDA; MOREIRA, 2014; CARDOSO; MIRANDA; KATO, 2014; FILHO, *et al.*, 2014; JESUS; GONÇALVES; FERREIRA, 2014; POETA; GELLER, 2014; SHAW; RIBEIRO, 2014; SILVA, *et al.*, 2014).

Segundo [Savi e Ulbricht](#) (2008):

“... tem aumentado o número de pesquisas que tentam encontrar formas de unir ensino e diversão com o desenvolvimento de jogos educacionais. Por proporcionarem práticas educacionais atrativas e inovadoras, onde o aluno tem a chance de aprender de forma mais ativa, dinâmica e motivadora, os jogos educacionais podem se tornar auxiliares importantes do processo de ensino e aprendizagem”.

Ainda segundo os autores, essa forma de unir ensino com diversão através dos jogos, apresenta potencialidades que são promissoras para o processo de ensino e aprendizagem, mas também apresenta desafios que se precisa considerar e pensar cuidadosamente quando for utilizar ou elaborar um jogo para fins educacionais (Figura 1).

Figura 1 – Potencialidades e desafios do uso de jogos digitais para fins educacionais



Fonte: Savi e Ulbricht (2008)

Na literatura, podemos destacar dois trabalhos que fizeram uso de jogos digitais para o ensino e aprendizagem de Física, abordando algumas das potencialidades apontadas por Savi e Ulbricht (2008). A primeira pesquisa, de Camara (2014), acreditando na potencialidade dos jogos digitais como efeito motivador para suas aulas de Física, utilizou um jogo desenvolvido para entretenimento, conhecido como *Angry Birds*, para motivar alunos do nono ano de uma escola pública e concluiu que houve uma melhora no envolvimento deles, inclusive daqueles que evitavam a sala de aula.

Campo, Oliveira e Silva (2014) desenvolveram um jogo digital educativo, com conceitos de Astronomia e Astrofísica aplicados, como estudo-piloto a estudantes do curso de licenciatura em Física, para averiguar a organização conceitual que eles possuem sobre esses temas. Os autores concluíram que é possível obter conceitos organizados, ou seja, sistematizados de acordo com a progressão do conteúdo no desenvolvimento do jogo, permitindo ao jogador aprendiz conduzir sua aprendizagem.

Os jogos digitais são estruturados por elementos visuais e verbais, *feedbacks*, desafios, objetivos, metas, entre outros. Para que se caracterize como um jogo digital educativo, precisamos definir cada um

desses elementos de acordo com pressupostos teóricos. Assim, neste trabalho, para propor um desenho de um jogo digital educativo que aborde a formação de imagem real em lente convergente, partimos de uma articulação entre os distintos norteadores teóricos adotados para considerar: como ocorre a aprendizagem através do processamento da informação, auxiliando em estratégias para elaborar recursos didáticos (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011); como os elementos inseridos em uma tela de um jogo digital auxiliam na visualização (objetos de visualização) para facilitar na aprendizagem (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010); como os elementos que estruturam o jogo digital podem propiciar a aprendizagem (GEE, 2004, 2008, 2009) e quais são os elementos que configuram um jogo digital (RABIN, 2012).

Para propor esse desenho, primeiro identificamos características importantes que podem facilitar a aprendizagem através de um diálogo entre os norteadores teóricos, e então, nos baseamos na matriz de Aprendizagem Situada de Gee (2008).

Essa matriz é estruturada com elementos que auxiliam a pensar no desenvolvimento de um jogo digital. Ela apresenta os elementos: identidade, que está relacionado à representação do personagem controlado pelo jogador; metas e normas, que remetem às ações, princípios e comportamentos que devem ser executados de acordo com a identidade social do personagem; modelos, que é a modelagem utilizada no cenário principal do jogo; o contexto para solução dos problemas, que são os cenários elaborados para solucionar os desafios; ferramentas e tecnologias, que correspondem a todos os objetos e personagens inteligentes que auxiliam o jogador em suas ações e resultados; e, por fim, o conteúdo, que são os objetivos educacionais inseridos no jogo.

Ao considerar os elementos dessa matriz e as características identificadas através da articulação teórica, foi possível desenhar uma proposta de um jogo digital educativo. Todos os desafios propostos no jogo (Apêndice B) e os objetos de interação para o jogador aprender a concluir suas metas foram elaborados a partir do trabalho de pesquisa de Goldberg e McDermott (1987), que tinha como objetivo identificar as dificuldades de aprendizagem de estudantes universitários sobre fenômenos relacionados à formação de imagem real em lente convergente.

As descrições de cada norteador teórico e como eles podem auxiliar na concepção do jogo proposto, neste trabalho, estarão melhor descritos no capítulo dois. No capítulo três apresentamos as características identificadas por meio da articulação teórica. No capítulo

quatro descrevemos a Matriz de Aprendizagem Situada e no capítulo cinco apresentamos o desenho do jogo digital educativo TracIm para exemplificar como as características articuladas e os pressupostos teóricos podem auxiliar no desenvolvimento desse recurso, com o intuito de facilitar a aprendizagem.

## 1.1 O PORQUÊ

Utilizar jogos digitais educativos para o ensino e aprendizagem de áreas disciplinares, deve ir além da preocupação sobre como os conceitos a ser aprendidos devem estar inseridos. É preciso considerar também os objetos de visualização adotados, que representam esses conceitos, de modo que as interações respeitem os níveis de conhecimento do jogador aprendiz.

Sendo assim, para desenhar a proposta de um jogo digital educativo, é necessário aprofundar em estudos que apontem instruções, recomendações, princípios, cuidados e estratégias que devemos ter no desenvolvimento dessa tecnologia, para facilitar a aprendizagem do jogador.

Nesse contexto, precisamos de aportes teóricos que nos direcionem, como: o indivíduo recebe, processa e armazena as informações na sua arquitetura cognitiva humana, além de apresentar estratégias de elaboração de um material instrucional que respeite seu nível de conhecimento (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), quais e como os objetos de visualização podem ser utilizados para a aprendizagem (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010), quais princípios de aprendizagem fazem parte dos elementos que compõem o jogo digital (GEE, 2004, 2008, 2009) e quais são os elementos que configuram um jogo digital (RABIN, 2012).

Portanto, esta pesquisa tem o intuito de colaborar com investigações que têm como lócus essa tecnologia, atuando como mediadora do processo de ensino e aprendizagem de Física, de modo que agregue conhecimentos sobre a sua concepção e seja compatível com as limitações de processamento das informações para facilitar a aprendizagem, para que os jogadores aprendizes possam criar esquemas mentais.

## 1.2 INQUIETAÇÃO

Esta pesquisa se depara com o seguinte questionamento: como articular diferentes norteadores teóricos para elaborar um jogo digital educativo que auxilie no processo de ensino e aprendizagem de ótica geométrica?

### 1.2.1 Objetivo Geral

Articular diferentes norteadores teóricos para contemplar aspectos cognitivos aliados aos de *Game Design*, a fim de propiciar a aprendizagem de jogadores aprendizes sobre alguns conceitos de ótica geométrica aplicados no desenho de um jogo digital educativo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar as potencialidades e recomendações para elaborar um jogo digital educativo nas concepções dos pressupostos teóricos;
- ✓ Relacionar os elementos que configuram o jogo digital educativo com estudos da Teoria da Carga Cognitiva, Visualização na Matemática, Leitura e Educação Científica e na Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais para identificar características que possam facilitar a aprendizagem;
- ✓ Propor um jogo digital educativo para a aprendizagem de formação de imagem real em lente convergente.

## 1.3 CONJECTURA

Os jogos digitais são estruturados por elementos visuais e verbais, *feedbacks*, desafios, objetivos, metas, entre outros. Esses, quando utilizados como mediadores do ensino e aprendizagem, que em sua concepção aliam os elementos que estruturam essa tecnologia com norteadores teóricos que respeitam o nível de conhecimento dos jogadores aprendizes, permitem proporcionar a construção do conhecimento de forma bem sucedida e descontraída.





## 2 NORTEADORES TEÓRICOS

Os norteadores teóricos adotados nesta pesquisa possibilitam identificar características que um jogo digital educativo pode ter para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Elas estão presentes no desenho do jogo digital educativo proposto, que aborda alguns conceitos da ótica geométrica.

O diálogo é fundamentado na articulação feita com quatro estudos. O primeiro é a Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), que nos permite compreender como o indivíduo processa as informações na arquitetura cognitiva humana. Por meio de princípios e efeitos, este estudo aponta as estratégias para elaborar um material instrucional que facilite a aprendizagem e não sobrecarregue a memória de trabalho.

O segundo é a Visualização na Matemática, Leitura e Educação Científica (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010). O jogo digital é estruturado com diversas representações que precisam ser elaboradas de acordo com a cognição do jogador. Assim, este estudo contribui para compreender as potencialidades, limitações e cuidados que devemos ter no uso dos objetos de visualização.

Os dois primeiros são os que subsidiam em maior profundidade a articulação teórica descrita no próximo capítulo, por permitirem compreender como, ao jogar, o jogador aprendiz poderá formar esquemas em sua memória de longo prazo.

Contudo, por se tratar de um recurso digital específico, é necessário que se entenda também como os elementos que configuram um jogo digital podem auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Portanto, os outros dois norteadores estão diretamente relacionados a jogos. Um, aborda princípios de aprendizagem identificados em jogos digitais de entretenimento, defendendo que bons jogos fazem uso deles (GEE, 2004, 2008, 2009). E por fim, o último, relacionado a estudos de *Game Design*, aponta os elementos que configuram um jogo digital, considerando o jogador, o jogo em si e a relação entre jogador-jogo.

### 2.1 TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC) propicia compreender como recebemos as informações do ambiente, como as processamos na memória de trabalho e como formamos esquemas na memória de longo prazo. Ela nos auxilia a pensar em estratégias para elaboração de um

material instrucional que seja compatível com níveis de conhecimento do indivíduo.

Para compreender este estudo, primeiro é preciso definir a arquitetura cognitiva adotada pelos autores.

O modelo de arquitetura cognitiva adotado na TCC foi o de Atkinson e Shiffrin's (1968 apud SWELLER, AYRES E KALYUGA, 2011), que se refere à organização dos componentes cognitivos, memória de trabalho e memória de longo prazo, agregados aos esquemas e à automação. Os sentidos visual e auditivo são os modos considerados para a percepção da informação do ambiente.

A memória de trabalho processa as novas informações recebidas do ambiente, possibilita formar esquemas na memória de longo prazo, ou seja, é a memória que nos permite monitorar, executar, reconhecer padrões, pensar, resolver problemas e elaborar estratégias.

Ela é formada por dois canais de processamento paralelos, entendidos como independentes, sendo um visual e o outro, auditivo. Possui uma capacidade de processamento limitada e de curta duração para informações novas, capaz de processar de dois até três elementos concomitantemente. Portanto, quando uma nova informação for apresentada ao indivíduo, é importante procurar utilizar esses dois canais que, por serem independentes, auxiliam na redução da carga cognitiva na memória de trabalho. Caso ocorra sobrecarga, o processo de aprendizagem será prejudicado.

A nova informação, quando processada e aprendida, é armazenada na memória de longo prazo. Essa memória tem tamanho ilimitado e a aprendizagem neste estudo se dá de acordo com os conhecimentos que forem adicionados a ela (esquemas).

Os esquemas são as formas como os conhecimentos são estruturados na memória de longo prazo. Eles podem ser automatizados através do reforço dado ao aprendiz, caracterizando seu nível de conhecimento, que pode ser de novato, intermediário ou especialista.

Para automatizar um esquema, é preciso praticar e receber as informações que se relacionam, por exemplo, uma criança, para aprender a ler e escrever, primeiro aprende o alfabeto, após praticar esse novo conhecimento ela aprende a formar palavras, depois frases e então, textos. Com a prática de cada aprendizado, de modo que os esquemas na memória de longo prazo sejam automatizados, essas crianças poderão escrever textos sem exigir cognitivamente como formar cada palavra e sim, pensar apenas no assunto sobre o qual está discorrendo.

Além de definir a arquitetura cognitiva adotada pelos autores, precisamos explicitar o que é carga cognitiva, para que os princípios e efeitos deste estudo sejam compreensíveis.

Ela é a demanda despendida pela memória de trabalho ao processar uma nova informação. É dividida em duas componentes: a carga cognitiva intrínseca, que está relacionada com a complexidade do conteúdo a ser aprendido, e a carga cognitiva estranha, relacionada com a configuração do material instrucional elaborado. Quando ocorre uma sobrecarga, a aprendizagem é prejudicada.

Portanto, esse norteador nos auxilia a compreender como ocorre o funcionamento do cérebro humano na aquisição de uma nova informação e aponta estratégias que colaboram para a elaboração de um material instrucional de modo que não ocorra uma sobrecarga cognitiva na memória de trabalho do jogador aprendiz. Para isso, a TCC dispõe de princípios que descrevem como recebemos e processamos as informações, e formamos esquemas na memória de longo prazo. São cinco princípios:

1. Armazenamento da informação;
2. Empréstimo e da reorganização;
3. Aleatoriedade como gênese;
4. Estreito limite de mudança;
5. Vinculação e organização ambiental.

E também dispõe de efeitos, que são estratégias de configuração de um material instrucional. São doze efeitos:

1. “Sem metas”;
2. Exemplo trabalhado;
3. Problema a completar;
4. Divisão de atenção;
5. Modalidade;
6. Redundância;
7. Experiência reversa;
8. Queda de direcionamento;
9. Autoexplicação;
10. Elemento interatividade;
11. Imaginação;
12. Memória de trabalho coletiva.

Para melhor entendimento de como esses princípios e efeitos estão inseridos nesta pesquisa, serão descritos e exemplificados apenas aqueles utilizados na articulação teórica feita para a elaboração da proposta do jogo digital educativo de ótica geométrica.

No entanto, é preciso primeiro apresentar uma síntese do jogo proposto. Ele tem como tema a formação de imagem real em lente convergente. Seus desafios são apropriados de uma pesquisa (GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987) (Apêndice A) que teve o intuito de diagnosticar as dificuldades conceituais de estudantes universitários sobre fenômenos relacionados a esse tema.

Sendo assim, o cenário do jogo é um centro de estudos especializado em formação de imagens. Como personagens, teremos: um estudante controlado pelo jogador aprendiz e uma Física especialista em formação de imagem real em lente convergente, controlada pelo sistema do jogo, responsável em oferecer os *feedbacks* e instruções para o jogador.

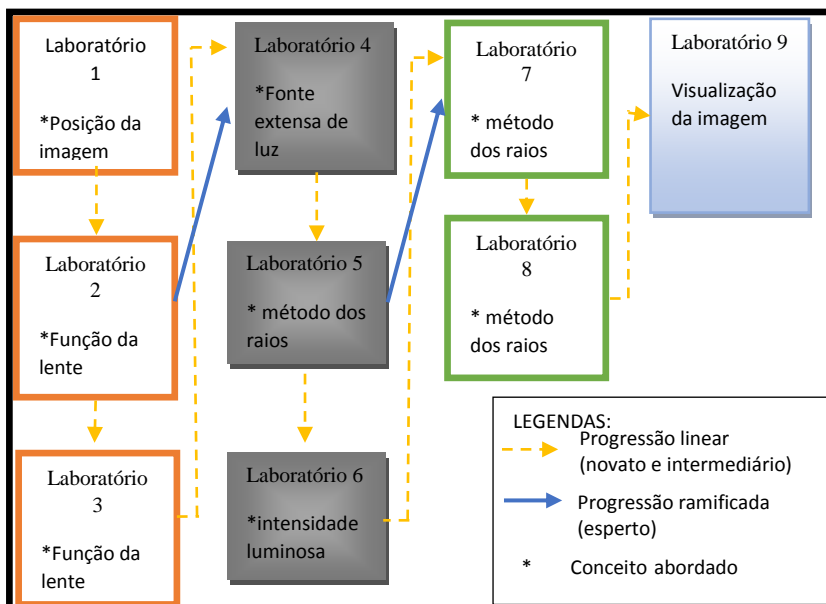
Os desafios propostos, apropriados da pesquisa apontada (GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987) (Apêndices A e B), resultaram em nove fases, sendo que cada uma acontecerá em um laboratório, por exemplo, o laboratório 1 corresponde à fase 1, o laboratório 2 corresponde à fase 2, e assim sucessivamente até o laboratório 9 (Figura 2).

A progressão do jogador aprendiz ocorrerá de dois modos: linear, que tem a permissão para jogar a fase seguinte assim que concluir a anterior, e ramificado, que possibilita ao jogador pular a fase seguinte da que concluiu.

Na figura 2, podemos observar esses dois modos de progressão, sendo que, apenas nas fases laboratórios 2 e 5, será possível que o jogador aprendiz avance de modo ramificado, desde que ele seja considerado especialista. Se ele for identificado como novato ou intermediário, poderá progredir apenas de modo linear.

A partir dessa breve introdução do jogo proposto, iremos exemplificar alguns princípios e efeitos da TCC (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

Figura 2 - Progressão dos desafios de acordo com o nível de conhecimento do jogador aprendiz



Fonte: A autora

## Princípios

O primeiro princípio é denominado pelos autores como **armazenamento da informação**. Ele aponta que as novas informações, após serem processadas pela memória de trabalho, formam esquemas na memória de longo prazo. Os esquemas, quando são automatizados, facilitam o processamento de uma nova informação. Para automatizar um esquema, como já foi mencionado, é necessária a prática do conhecimento aprendido através de problemas semelhantes.

A quantidade de conhecimentos armazenados na memória de longo prazo irá definir o nível de conhecimento do jogador aprendiz, pois para solucionar um problema, a memória de trabalho, enquanto processa a nova informação, utiliza-se dos seus esquemas para ajudar a encontrar um resultado positivo. Se o jogador não possuir conhecimentos que o auxiliem, será considerado novato; se tiver alguma

dificuldade, é considerado intermediário por possuir alguns esquemas relacionados aos conceitos que envolvem o problema, mas não estão automatizados, e se não encontrar nenhuma dificuldade, é considerado especialista.

Sendo assim, podemos pensar no jogo proposto com o seguinte exemplo: entende-se que o jogador aprendiz que for identificado como novato e intermediário, precisará reforçar o conhecimento para que automatize seus esquemas e se torne especialista. No jogo, um modo de fazer isso, é propor desafios semelhantes. Portanto, em algumas fases definidas no sistema de jogo, a qualidade do sucesso de conclusão do objetivo irá remeter ao nível de conhecimento demonstrado pelo jogador, de modo que, se o jogador aprendiz concluir o desafio como novato ou intermediário, irá progredir de modo linear, isso significa que ele não terá a opção de poder saltar uma fase. Caso ele conclua como especialista, irá progredir de modo ramificado, ou seja, ele terá a opção de não precisar jogar a fase seguinte (Figura 2).

O segundo princípio é denominado pelos autores como **empréstimo e reorganização**, que descreve o seguinte aspecto: temos dois conhecimentos classificados como biológicos, o primário e o secundário. O primário é aquele que ocorre sem instrução, ou seja, são aprendizados que desenvolvemos naturalmente ao longo da vida, como andar, imitar e falar. O secundário necessita de instrução, por exemplo, aprender a ler, escrever e calcular.

Precisamos do primário para adquirir o secundário. Sendo assim, quando alguém instrui, está “emprestando” seu conhecimento para o aprendiz. O aprendiz, por ter um conhecimento biologicamente primário, que é o ato de imitar, repete a instrução dada. Esta, altera o esquema que ele já possui na memória de longo prazo, formando um novo esquema.

Ao pensar nesse princípio diante da concepção para elaborar um jogo digital educativo, podemos considerá-lo nas relações entre os personagens controlados pelo sistema de jogo e os personagens controlados pelo jogador aprendiz. Para o que é proposto neste trabalho, temos um personagem, que é um estudante de Física controlado pelo jogador aprendiz, e o personagem controlado pelo sistema de jogo, que é uma Física especialista em formação de imagem real em lentes convergentes.

Essa especialista tem ações no jogo que são responsáveis por fornecer os *feedbacks* e as instruções para o personagem estudante, de modo que o jogador aprendiz tomará esses conhecimentos como ponto

de partida para elaborar suas estratégias, com o intuito de solucionar satisfatoriamente os desafios propostos no jogo.

O terceiro princípio aponta que, quando uma informação é recebida e não há esquemas na memória de longo prazo, ou seja, é uma informação nova, que começará a ser processada, o indivíduo se utilizará de testes aleatórios e, aqueles que não forem eficazes, serão descartados. Já os testes bem sucedidos serão armazenados na memória de longo prazo para formar um novo esquema. Esse princípio é intitulado pelos autores de **aleatoriedade como gênese**.

No jogo digital educativo, o jogador aprendiz, ao se deparar com um desafio que apresente novas informações, optará por tentativas de erros e acertos, ou seja, fará testes aleatórios de possíveis soluções. Aquelas tentativas que conduzirem ao sucesso, serão armazenadas na memória de longo prazo, e as que não resultarem em êxito, serão descartadas.

Essas tentativas são benéficas para a aprendizagem mediada por jogos digitais, pois permitem que o jogador aprendiz experimente soluções que serão avaliadas imediatamente pelos *feedbacks* oferecidos. E quando essas soluções forem positivas, serão armazenadas em sua memória de longo prazo, formando um novo esquema, que irá auxiliá-lo na elaboração de novas estratégias para solucionar desafios futuros.

O princípio do **estrito limite de mudança** é a interação com as informações visuais e auditivas provenientes do ambiente. Elas devem ser organizadas para que a memória de trabalho do indivíduo consiga processá-las de acordo com seu nível de conhecimento para não prejudicar a aprendizagem.

O **princípio da vinculação e organização ambiental** permite que um esquema seja selecionado na memória de longo prazo para auxiliar a memória de trabalho, a fim de processar a nova informação vinda do ambiente.

Esses dois últimos princípios têm como estrutura cognitiva principal, a memória de trabalho, e apontam como as informações provenientes do ambiente se relacionam com essa memória e como os esquemas, na memória de longo prazo, são utilizados para coordenar uma atividade.

No contexto de elaboração de um jogo digital educativo, o princípio do estrito limite de mudança e o princípio da vinculação e organização ambiental permitem refletir sobre a necessidade e importância de, sempre que possível, tentar utilizar os dois canais de processamento (visual e auditivo) para reduzir a possibilidade de

sobrecarga cognitiva na memória de trabalho, de modo que, as informações provenientes do ambiente se organizem e resgatem os esquemas convenientes na memória de longo prazo, para que assessor a coordenar a atividade necessária.

Um exemplo, pensar no modo como o desafio é apresentado ao jogador aprendiz. Ele deve ser fragmentado, ou seja, as tarefas que são contidas no desafio devem ser configuradas passo a passo e semelhantes aos desafios anteriores, para que o indivíduo armazene conhecimento na sua memória de longo prazo, de modo que o auxilie a elaborar estratégias de resolução. Além disso, o desafio pode estar disponível em texto na tela e em áudio, permitindo que o jogador aprendiz utilize ou adeque ao seu estilo de aprendizagem.

Além dos princípios descritos, os autores (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), apontam efeitos, que são estratégias de elaboração de um material instrucional que respeita os níveis de conhecimento.



#### Efeitos

Os efeitos são estratégias para elaboração de um material instrucional que respeita como recebemos, processamos e armazenamos as informações provenientes do ambiente, através dos canais de processamento visual e auditivo. Nesta pesquisa, estão descritos apenas cinco dessas estratégias, pois são as que auxiliaram a apontar características relevantes para alguns elementos que compõem o jogo digital educativo TracIm.

O primeiro efeito trata de uma estratégia denominada **exemplo trabalhado**. Ele aponta que, no processo de instrução, o instrutor resolve um exemplo completo dos conceitos abordados para depois pedir aos aprendizes que solucionem um problema semelhante.

Esse efeito, no jogo proposto, é utilizado em dois casos como estratégia instrucional. O primeiro, é na primeira fase. Como ela tem o intuito de inserir o jogador aprendiz no mundo virtual que ele está adentrando, cada ação proposta deverá ter uma instrução anterior, e ela será constituída, quando conveniente, por um exemplo trabalhado.

O segundo caso está relacionado ao nível de conhecimento. Durante a execução dos problemas inseridos dentro de cada fase do jogo, o jogador aprendiz será diagnosticado, através de seus erros e acertos, se é novato, intermediário ou especialista. Se ele for considerado novato, um modo de fornecer uma instrução ou um



*feedback* é, por exemplo, trabalhado sobre o conceito que ele se equivocou.

Utilizando o **efeito de problema complementar**, o instrutor apresenta um problema aos aprendizes e soluciona metade do resultado, solicitando que eles terminem sozinhos.

Podemos pensar nesse efeito ao considerar o nível de conhecimento do jogador aprendiz. Se ele for diagnosticado como intermediário, quando realizar uma tarefa proposta para solucionar o desafio, o *feedback* oferecido a ele será elaborado, quando conveniente, a partir de um exemplo a complementar sobre o conceito no qual se equivocou, de modo que o auxilie a pensar sobre o problema e ele possa então, solucioná-lo sozinho.

O **efeito da divisão de atenção** nos auxilia a pensar como elaborar melhor um material instrucional que, por exemplo, tenha uma figura e um texto explicativo sobre ela. Eles devem estar juntos temporal e espacialmente.

No jogo digital educativo, podemos utilizar esse efeito para apontar um erro ou um acerto do jogador aprendiz. Por exemplo, se ele formou uma imagem errada, optando, por exemplo, por uma imagem virtual ao invés de uma imagem real, a mensagem referente a esse erro deve estar imediatamente após a ação do jogador aprendiz e espacialmente ao lado do erro na tela.

O **efeito modalidade** está relacionado ao uso dos dois canais de processamento, auditivo e visual, para processar as informações a fim de evitar uma sobrecarga cognitiva na memória de trabalho.

Ao apresentar qualquer informação ao jogador aprendiz, nas telas que compõem o jogo digital educativo, é necessário tentar utilizar informações visuais e auditivas para o mesmo assunto. Por exemplo, o desafio referente à fase deve estar disponível em forma de texto e áudio. Porém, ele terá a opção de ler o desafio quando achar necessário e, se quiser, escutar o áudio.

No entanto, como se trata de um jogo, às vezes não será possível que todas as informações sejam apresentadas de modo visual e auditivo, pois dependem da estética, propósito e *design*.

O **efeito redundância** aponta que, quando há duas fontes de informações que podem ser compreendidas isoladamente, elas não devem estar juntas no material instrucional, pois isso pode acarretar um prejuízo para a aprendizagem.

Esse efeito justifica, por exemplo, o jogador aprendiz poder selecionar se ele quer ter acesso ao desafio proposto em determinada fase, de três modos: (1) de modo textual e auditivo, (2) apenas pelo texto, ou (3) apenas pelo áudio, pois a informação a ser transmitida é compreensível de modo isolado. Contudo, se o jogador aprendiz for novato em relação aos conceitos inseridos no desafio, para não sobrecarregar a memória de trabalho, é importante que ele utilize os dois canais de processamento. Se ele já tiver algum domínio, o contato com a informação do desafio pelos dois modos pode se tornar redundante e prejudicar a aprendizagem.

Podemos pensar nesse efeito em diversas situações de ensino e aprendizagem. Um exemplo seria considerar alunos que não aprendem com o professor lendo para eles (ou seja, auditivo), eles precisariam escutar o professor e acompanhar no seu texto o que está sendo dito.

E, por fim, o **efeito da memória de trabalho coletiva** aponta que, realizar trabalhos colaborativos ou cooperativos, facilita a aprendizagem.

Em um jogo digital educativo, com o intuito de facilitar a aprendizagem dos jogadores aprendizes, pode ser disponibilizado um *chat* para que eles compartilhem informações, discutir estratégias e seus desempenhos enquanto jogam.

## 2.2 VISUALIZAÇÃO NA MATEMÁTICA, LEITURA E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Visualização ainda é um campo de estudo aberto, existem na literatura diversas definições desse termo. Nesta pesquisa, utilizamos o livro escrito por Phillips, Norris e Macnab (2010) que, por meio de uma pesquisa bibliográfica com mais de 200 trabalhos em um período de 73 anos, definem o conceito de visualização e apontam as potencialidades e recomendações de utilização dessas representações na Matemática, leitura e educação científica.

Os autores propõem uma sistematização das diferentes definições em três grupos: (1) objetos físicos, por exemplo, imagens e animações; (2) objetos mentais, por exemplo, esquemas mentais e imagens mentais; e (3) processamento cognitivo, que são as funções cognitivas utilizadas na percepção visual, manipulação e transformação das representações.

Sendo assim, a partir desses grupos, os autores concluem três definições para visualização:

- i. Objetos de visualização: são objetos físicos, que são vistos e interpretados com o propósito de compreender algo e não o objeto em si, ou seja, o que ele representa. Por exemplo: fotos, representações 3D, representações esquemáticas, diagramas, animações e outros;
- ii. Visualização introspectiva: são os objetos mentais. É uma construção imaginativa de uma possível experiência visual;
- iii. Visualização interpretativa: são as interpretações das representações físicas e mentais. São as funções cognitivas para compreender os objetos físicos e mentais.

Os usos das visualizações, por objetos físicos ou objetos mentais, envolvem as propriedades do objeto em si, pois influenciam nas possíveis interpretações para compreender o que eles querem representar. Assim, o conceito de visualização científica contribui para entender como elementos representados podem ser elaborados adequadamente para não ocorrer uma sobrecarga cognitiva, e auxilia o desenvolvimento da habilidade de visualizar, permitindo que o indivíduo aprenda a transitar entre vários modelos e representações, bem como saiba escolher aquele/a que possibilite resolver novas situações.

O jogo digital é constituído por representações em todas as suas telas. Faz-se necessário pensar sobre como elaborar essas representações. Por isso, entender estudos sobre visualização no ensino de Ciências, possibilita refletir sobre a concepção e respectivas escolhas metodológicas para a elaboração do jogo digital educativo.

Esses estudos contemplam, por exemplo, compreender se um gráfico seria melhor representado por barras ou linhas; se para um conceito específico, de acordo com o nível intelectual do estudante, seria mais adequado a sua representação por uma imagem estática e/ou uma animação; se o fenômeno a ser representado é mais eficaz para a aprendizagem com cores e sons em imagens 3D ou 2D, entre outros aspectos. Essas considerações contribuem para apontar benefícios e cuidados com o modo de representar uma informação.

Sendo assim, os autores Phillips, Norris e Macnab (2010) apontam algumas potencialidades e recomendações pertinentes para utilizar ou desenvolver algum tipo de representação.

Sobre as potencialidades, podemos destacar algumas:

➤ **Auxilia a dar ênfase às informações contidas em textos:** os *feedbacks* oferecidos em um jogo digital educativo podem ser apresentados através de textos e recursos visuais, por exemplo, no jogo

TracIm, se o jogador aprendiz selecionar um objeto luminoso errado, ao invés de apresentar apenas em forma de texto o porquê dessa escolha não ser a correta, essa afirmação pode ser complementada por figuras do objeto correto e dos objetos errados em um determinado problema.

➤ **Possibilita representar estruturas e fenômenos microscópicos e em escalas menores:** muitos conceitos abstratos conseguem ser bem trabalhados e elaborados por meio de jogos digitais e simulações. Um exemplo são os desafios no jogo TracIm, relacionados ao uso da representação da luz.

➤ **Auxilia na solução de tarefas, possibilitando simplificar um conceito abstrato através de recursos visuais:** podemos pensar nessa potencialidade para o jogo proposto, quando o jogador aprendiz precisar realizar tarefas que solucionem o desafio correspondente aos traçados dos raios de luz, pois, para selecionar o correto, é preciso compreender seu ponto de partida e o que ele representa.

No entanto, apesar das diversas potencialidades, é preciso considerar alguns cuidados para que a representação utilizada ou elaborada não prejudique o processo de ensino e aprendizagem. Sendo assim, é possível listar algumas recomendações propostas pelos autores:

➤ **Os objetos de visualização devem ser cuidadosamente elaborados ou escolhidos para proporcionar uma aprendizagem.** Sendo assim, no jogo TracIm, os objetos ofertados ao jogador aprendiz, para solucionar os desafios, correspondem apenas ao tema do jogo, que trata de conceitos relacionados à formação de imagens reais em lentes convergentes;

➤ **Para elaborar um objeto de visualização, com a intenção de facilitar a compreensão de um texto, deve ser dada atenção à estrutura do objeto, sua relação com o texto, e às habilidades e experiências dos aprendizes.** Portanto, nos *feedbacks* oferecidos ao jogador aprendiz que tiverem imagens que se relacionem com o texto explicativo, é preciso que elas sejam cuidadosamente elaboradas para que não se tornem um equívoco no entendimento do conceito representado;

➤ **Recursos visuais devem ser relevantes para o objetivo da aula, devem estar bem articulados e apropriados com as tarefas, os conceitos científicos e as habilidades dos aprendizes.** Dessa forma, os objetos que compõem o cenário do jogo TracIm, correspondem ao tema formação de imagem real em lentes convergentes, mais especificamente, o jogador aprendiz poderá manusear e selecionar apenas aqueles objetos que serão utilizados para solucionar o desafio, de acordo com os conceitos científicos inseridos neles. Por exemplo, nos desafios que abordam o conceito de raios de luz, ele irá manusear e selecionar os raios de luz que forem pertinentes para obter êxito na sua solução. As representações desses objetos respeitarão o nível de conhecimento, pois ao selecionar algum item que esteja incorreto, instantaneamente será oferecido um *feedback* específico para o jogador que for novato e um outro *feedback* para o que for intermediário;

➤ **Palavras e objetos de visualização devem ser apresentados em proximidades espacial e temporal.** A explicação de um erro para o jogador aprendiz deve ser imediatamente após a sua ação e estar espacialmente localizada no equívoco.

➤ **Sempre que for possível, é necessário utilizar recursos visuais para complementar textos.** Sempre que for adequado, os *feedbacks* e instruções serão formulados utilizando textos e recursos visuais.

As potencialidades e recomendações auxiliam na elaboração de cada tela de um jogo digital, ao longo da programação do mesmo, inclusive considerando aspectos que remetam ao nível de conhecimento de cada jogador aprendiz para propor os *feedbacks* e instruções adequadas.

No final desse tópico, apresentamos os dois norteadores teóricos que permeiam as ideias centrais desta pesquisa. Os outros dois que serão discutidos, tratam especificamente sobre jogos digitais. Sendo que, o primeiro aponta relações entre a aprendizagem e jogos, e o segundo apresenta elementos técnicos de elaboração desse recurso.

## 2.3 APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS

Os jogos digitais, sejam de entretenimento ou educativos, são utilizados no processo de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, Gee (2004, 2008, 2009) diagnosticou princípios de aprendizagem que estão inseridos em jogos de entretenimento, fundamentados em pesquisas da ciência cognitiva.

Esses princípios apontam alguns elementos que configuram um jogo digital, propiciando o desenvolvimento de habilidades, estratégias, colaboração e aprendizagem. Mesmo que tenham sido diagnosticados em jogos de entretenimento, eles dão suporte para desenvolver um jogo digital educativo, por permitirem compreender como o jogador pode aprender com certos elementos.

Abaixo, temos as descrições de alguns desses princípios que são utilizados no jogo digital educativo proposto nesta pesquisa.

✓ **Identidade:** Assumir um papel representativo, ou seja, um personagem, faz com que o jogador aprenda valores, princípios, habilidades e conhecimento. Por exemplo, no jogo proposto, o personagem do estudante irá adquirir conhecimentos sobre ótica geométrica devido às ações designadas para essa identidade;

✓ **Interação:** Nada acontece até que o jogador crie metas e tome decisões. Daí em diante, o jogo reage, oferecendo *feedbacks* e novos desafios ao jogador. Em um bom jogo, as palavras e os atos são colocados no contexto de uma relação interativa entre o jogador e o mundo virtual;

✓ **Riscos:** Nos jogos, os jogadores podem errar e voltar de onde salvaram, ou seja, existem pontos programados no jogo que permitem reiniciar, caso eles encerrem a partida ou percam o desafio, sem precisar voltar ao início, permitindo correr riscos, perigos, explorar e tentar coisas novas, sem se prejudicar. No jogo, em todas as fases, o jogador aprendiz terá a opção de salvar para poder iniciar de onde parou, caso ele erre uma solução ou pare de jogar antes de concluir;

✓ **Boa ordenação dos problemas:** Pesquisas apontam que, ao deixar os aprendizes livres para procurarem soluções de um problema, permite a criatividade, porém, não os conduzem para as elaborações de boas hipóteses sobre como resolver problemas

posteriores, mesmo que fáceis. Em bons jogos, os problemas são ordenados de modo que os anteriores permitam que os jogadores elaborem estratégias para problemas mais complexos;

✓ **Desafio e consolidação:** Bons jogos possuem um conjunto de desafios que são semelhantes. Isso permite que os jogadores automatizem seus conhecimentos durante as soluções. Após essa automatização, um novo desafio é lançado, de modo que contemple os conhecimentos adquiridos anteriormente, agregando uma nova informação a ser consolidada. O ciclo de oferecer desafios semelhantes para automatizar o conhecimento, é denominado ciclo de conhecimento;

✓ **Na “hora certa” e “a pedido”:** Nos jogos há sempre a necessidade de uma informação verbal. Ela pode ser “na hora certa”, que aparecerá quando os jogadores precisarem dela e, então, eles poderão usá-la, ou a informação também pode ser “a pedido”, como se tivesse um manual e ele fosse buscar a informação no momento em que achasse pertinente. Em bons jogos, a informação deve estar distribuída dessas duas formas, pois uma informação verbal é mais compreensível se estiver relacionada com o contexto e aplicação. No TracIm, temos o manual de instrução como informação “a pedido” e os *feedbacks* como informações na “hora certa”;

✓ **Frustração prazerosa:** Dentro do jogo, os desafios devem ser difíceis e factíveis, pois assim os jogadores sentem que seu esforço está sendo reconhecido. Bons jogos ajustam os desafios e fornecem *feedbacks*. Oferecer *feedback* é mostrar ao jogador se ele está no caminho certo e, se não estiver, como pode chegar lá para ter sucesso nos objetivos do jogo. Todos os problemas propostos no jogo TracIm possuem *feedbacks* e instruções necessárias para auxiliar o jogador aprendiz na construção do conhecimento sobre alguns conceitos da ótica geométrica;

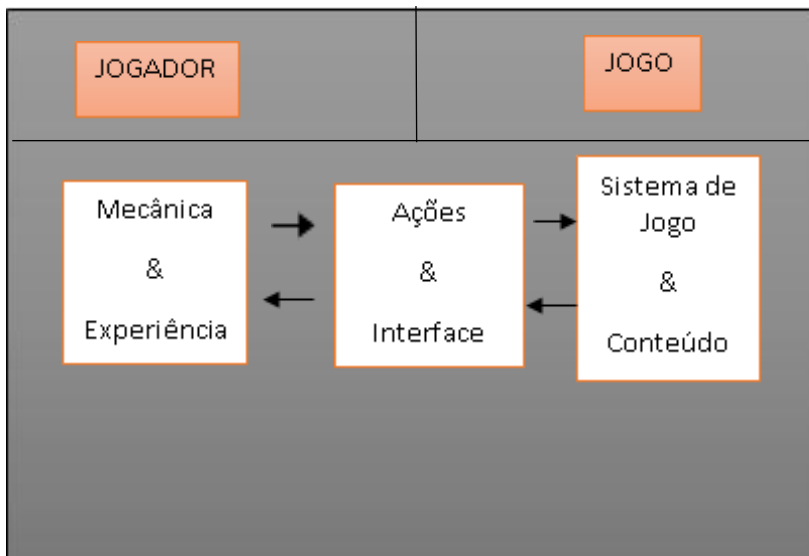
✓ **Explorar, pensar e revisar:** Os jogos permitem explorar a aprendizagem no próprio ritmo do jogador, o que propicia a oportunidade de pensar e revisar suas estratégias e ações, sem danos reais.

## 2.4 GAME DESIGN

O *game design* possibilita entender como ocorre a relação jogo e jogador. Aponta a relevância de pensar no jogador em todo o momento de criação do jogo, quais as técnicas possíveis para auxiliar na elaboração de um jogo e os conceitos fundamentais. O *game designer* é o responsável pela criação do jogo, ele o desenha e estrutura seus elementos.

Alguns modelos conceituais são elaborados para estruturar um jogo digital. Para esta pesquisa, consideramos o estudo de Rabin (2012). Em seu livro intitulado *Introdução ao Desenvolvimento de Games*, o autor aborda características do jogador, do jogo e da interação entre eles. Para isto, ele elabora um modelo conceitual de jogo (Figura 3).

Figura 3 - Modelo conceitual de jogo



Esse modelo conceitual (Figura 3) é para representar como os jogos são organizados e projetados.

Na Figura 3, são colocados dois blocos na parte de cima, o do lado esquerdo representa o JOGADOR e o do lado direito representa o JOGO. Em cada um desses blocos e na intersecção entre eles, existem



três pares de conceitos que são estruturados para os *designers* organizarem o projeto de elaboração dos jogos. É importante ressaltar que a comunicação entre o JOGO, o JOGADOR e a interação JOGO – JOGADOR é dinâmica, por isso as setas que apontam os pares conceituais percorrem o caminho de ida e volta.

Para compreender o modelo conceitual de jogo (Figura 3), as descrições serão dadas por partes: (I) bloco JOGADOR, com os conceitos de Mecânica & Experiência; (II) bloco JOGO, com os conceitos Sistema de Jogo & Conteúdo; e a (III) descreverá a interação JOGADOR–JOGO, que representa a intersecção do modelo conceitual de jogos por meio dos conceitos Ações & Interface.

### I. Bloco JOGADOR – Mecânica & Experiência

Na Figura 3, apresenta-se o domínio do bloco JOGADOR. Na elaboração de um jogo, é primordial que as características do JOGADOR sejam valorizadas e priorizadas, e ele deve ter um bom aproveitamento, além de se sentir descontraído ao jogar. Porém, é relevante ressaltar que dentro de um jogo específico, não necessariamente todas as características precisam estar inseridas.

Elas estão divididas entre elementos que se referem diretamente ao jogador, ao conceito de Mecânica e ao conceito de Experiência.

Podemos destacar três elementos do jogador, apontados por Rabin (2012), que vão ao encontro dessa pesquisa: memória operacional, atenção e desafios.

A **memória operacional** é um dos mais importantes componentes cognitivos, pois permite processar a informação recebida, porém é limitada, processando de dois a sete elementos por alguns segundos.

Nesta pesquisa, essa memória é entendida como equivalente à memória de trabalho, parte integrante da arquitetura cognitiva adotada por Sweller, Ayres e Kalyuga (2011), no estudo da Teoria da Carga Cognitiva.

A **atenção** é o processo de focar. Segundo este estudo, os *designers* devem considerar duas condições importantes para elaborar um jogo digital. A primeira é compreender que, para o jogador identificar duas mensagens com informações importantes ao mesmo tempo, é difícil, em virtude da limitada capacidade de processamento da memória operacional, e a segunda condição é que, se duas mensagens forem complementares, elas precisam estar temporal e espacialmente

interligadas, essa condição vai ao encontro do efeito da divisão de atenção (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

E por fim, outro elemento relacionado ao jogador, são os **desafios**, que devem ser cuidadosamente pensados no modo de apresentá-los e representá-los, pois influenciam na capacidade dos jogadores elaborarem estratégias para as soluções dos mesmos.

Como já mencionado, além dos elementos relacionados ao jogador, temos os elementos relacionados ao conceito de Mecânica e ao conceito de Experiência.

Podemos entender como Mecânica, ações que se aplicam ao jogador no jogo. E por Experiência, um conjunto de sentidos e memórias que são rotulados no contexto do jogo.

Como exemplos desses elementos, podemos citar as recompensas, a experiência social permitida por um jogo *online* ou um *chat* disponibilizado entre os jogadores, as coleções que são os itens que os jogadores coletam, porém, não utilizam, entre outros.

## II. Bloco JOGO – Sistema de Jogo & Conteúdo

No lado direito do modelo conceitual de jogos temos o bloco de domínio JOGO (Figura 3). Esse, possui dois conceitos: Sistema de Jogo & Conteúdo. Ao entender os elementos que compõem esse bloco, permite-se considerar os aspectos técnicos que devem ser projetados na elaboração de um jogo digital.

O conceito de Sistema de Jogo traz elementos que são procedimentos de recursos do jogo para produzir resultados, e o conceito de Conteúdo refere-se a objetos concretos como, por exemplo, os personagens.

Podemos destacar alguns elementos desse bloco, como:

➤ **Resultados:** nos jogos existe um conjunto de resultados corretos e incorretos que decorrem das ações dos jogadores. Eles devem ser mensuráveis, convenientes e apontar o nível de desempenho;

➤ **Sistema para salvar:** é a opção dada ao jogador para que ele possa salvar o jogo e, quando retornar, iniciar de onde parou;

➤ **Tema:** deve refletir a mensagem que o jogo quer transmitir. Por exemplo, no TracIm, o tema é formação de imagem real

em lente convergente, o que remete ao aprendizado que o jogador aprendiz deverá aprender enquanto joga;

➤ **Progressão:** representa como a experiência do jogador muda enquanto ele joga. Existem três tipos de progressão: (1) Linear, onde o jogador só poderá jogar o próximo nível após concluir com sucesso o nível anterior; (2) Ramificado, que dependendo do nível de conhecimento do jogador, ele pode ser direcionado a outros níveis e (3) Não linear, que tem todos os níveis abertos e o jogador decide qual ele quer jogar.

Esses elementos devem ser cuidadosamente elaborados, quando se tratar de um jogo digital educativo, pois influenciam na aprendizagem do jogador aprendiz.

### III. Intersecção entre os blocos JOGADOR-JOGO – Ações e Interface

O último bloco do modelo conceitual de Jogo (Figura 3) refere-se à intersecção entre o bloco do JOGADOR e o bloco do JOGO. Esse, contém dois conceitos: Ações & Interface, que são elementos técnicos responsáveis pela interação jogador-jogo.

Os elementos do conceito de Interface são um conjunto de componentes que permite ao jogador interagir com o jogo, por exemplo, interface física, controles, *feedbacks* e efeitos de áudio.

Interface física são os elementos gráficos que mostram as informações nas telas do jogo. Controles são os sistemas de entrada que convertem os sinais físicos em sinais digitais. *Feedbacks* são as informações que jogador recebe do jogo devido às suas ações. E por fim, efeitos de áudio são as experiências auditivas que devem ser colocadas sobre os objetos do jogo para que reforcem a informação apresentada.

Os elementos relacionados às Ações remetem às atitudes tomadas pelo jogador, por exemplo, as metas que direcionam suas ações, ou seja, são ações dele e não do *design* do jogo, porém, elas estão alinhadas aos objetivos a serem concluídos.

Partindo dos conceitos, princípios e efeitos apresentados nas descrições de cada norteador teórico, é possível articulá-los para identificar características importantes que podem ser consideradas no

desenvolvimento de um jogo digital educativo, de modo que respeite o nível de conhecimento dos jogadores aprendizes.

### 3 ARTICULAÇÃO TEÓRICA

Na perspectiva de elaborar um jogo digital educativo, consideramos relevante que uma questão seja refletida:

- ✚ Como cada elemento que constitui o jogo digital educativo pode favorecer a aprendizagem? Para isso, é fundamental entender quais são esses elementos que o constituem e como cada um deles se relaciona com a instrução e a aprendizagem.

Ao articular os norteadores teóricos adotados nesta pesquisa, é possível observar que eles se complementam, pois não podemos considerar a utilização desse recurso tecnológico digital para o processo de ensino e aprendizagem, sem refletir sobre a questão levantada. Esse diálogo permitiu identificar algumas características que podem favorecer a aprendizagem, mediada por jogos digitais educativos.

#### 3.1 NÍVEL DE CONHECIMENTO

O nível de conhecimento está relacionado com o domínio demonstrado pelos aprendizes e utilizaremos três classificações adotadas pela TCC: novatos, intermediários e especialistas (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

Entendemos que um material instrucional, que leve em consideração a aprendizagem do indivíduo, deve considerar os níveis de conhecimento. Para os novatos, é importante que toda nova informação seja apresentada por meio de exemplos resolvidos e utilize os canais de processamento visual e auditivo para processarem as novas informações. Para os intermediários, os problemas devem ser do tipo a complementar, ou seja, o instrutor resolve parte dele, dando o direcionamento da resolução, e os aprendizes resolvem o restante. Para os especialistas, é importante que eles resolvam os problemas sozinhos e num grau de dificuldade compatível com o domínio que têm do assunto para não ficarem desmotivados (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

A quantidade de representações inseridas e os modos de representações devem ser cuidadosamente utilizados também de acordo com o nível de conhecimento (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010).

Em um jogo digital educativo, os níveis de dificuldade dos desafios propostos podem ser desenvolvidos, partindo dos novatos até os especialistas, mas como já foi apontado, esses, não necessitam de

instrução para resolver os problemas. Assim, entendemos que a progressão apenas linear é inadequada e a mais promissora é a progressão ramificada (RABIN, 2012), pois contempla a linearidade e aleatoriedade. Portanto, os desafios desenvolvidos mensuram o nível de conhecimento do jogador aprendiz.

Quando os jogadores aprendizes são identificados como novatos, entendemos que eles precisam ser expostos a situações de aprendizagem que os possibilitem armazenar novas informações na memória de longo prazo para formar esquemas. Além disso, eles precisam automatizá-los, para isso é necessário o reforço do conhecimento (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). Portanto, os desafios para novatos irão seguir de maneira linear, com instruções por problemas resolvidos, até que estejam capacitados como especialistas.

Os jogadores aprendizes intermediários ainda precisam automatizar os esquemas na memória de longo prazo, e como já foi mencionado, isso acontece por meio do reforço da informação. De acordo com os critérios adotados, nos desafios de um jogo digital educativo que mesure o nível de conhecimento, aqueles que atingem o objetivo com êxito, porém apresentando certo nível de dificuldade que pode ser estabelecido por tempo, por número de tentativas e outros modos, devem progredir de modo linear.

Segundo Gee (2004, 2009), as habilidades num jogo podem ser automatizadas para que os jogadores se tornem especialistas em qualquer área. Ele denomina esse princípio de “desafios e consolidação”, que seria um ciclo, onde um conjunto de desafios semelhantes é lançado, e quando automatizadas as habilidades necessárias de resolução, novos desafios são propostos.

Esse ciclo é interessante apenas para os jogadores aprendizes novatos e intermediários, pois se forem especialistas, o jogo pode se tornar cansativo e redundante, por eles já possuírem os esquemas automatizados na memória de longo de prazo, sobre as informações contidas no desafio.

Sendo assim, para o jogo não se tornar tedioso e desmotivador para o jogador aprendiz especialista, ele poderá progredir nos níveis de modo ramificado.

### 3.2 ELEMENTOS VISUAIS E AUDITIVOS

Utilizar os canais visual e verbal/auditivo para processar as informações recebidas do meio externo, auxilia a memória de trabalho

no processamento da nova informação (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). Por exemplo, utilizar recursos visuais como complemento de textos, facilita a aquisição de esquemas na memória de longo prazo (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010). Por isso, consideramos importante que a comunicação de uma informação dentro do jogo esteja representada visual e verbalmente.

Além de não ,sobrecarregar a memória de trabalho, possibilita atender diferentes estilos de aprendizagem, contemplando um maior número de jogadores aprendizes na construção do conhecimento. Nesse sentido, Gee (2004, 2009) identifica um princípio denominado Customização. Este aponta que, em alguns momentos do jogo, o jogador pode personalizá-lo de acordo com seu estilo de aprender e jogar.

Nem todos os elementos que configuram os jogos digitais podem ter concomitantemente a mesma informação verbal e visual, pois depende do propósito, estética e *design*. Porém, quando existe um objetivo educativo, é importante considerar algumas estratégias para auxiliar os jogadores aprendizes na construção do conhecimento ao enfrentar os desafios propostos.

Para os novatos, é necessário utilizar as representações das novas informações de modo visual e auditivo para não prejudicar a aprendizagem durante o processamento da informação, no entanto, elas devem estar integradas temporal e espacialmente na tela do jogo (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011; RABIN, 2012). Para os especialistas, quando há duas fontes de informações que dizem a mesma coisa, elas não precisam estar integradas no material, para não tornar a aprendizagem redundante.

Quando for necessário oferecer um *feedback*, um reforço positivo, um reforço negativo e uma punição (RABIN, 2012), que são referentes às ações e decisões que os jogadores aprendizes elaboraram como estratégias de soluções para os desafios, essas mensagens em forma de textos ou diálogos devem estar ligadas ao recurso visual.

Portanto, lança-se mão do Efeito da Divisão de Atenção (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), no qual a informação de um *feedback*, um reforço positivo, um reforço negativo e uma punição (RABIN, 2012) não pode estar separada temporal ou espacialmente do recurso visual referente à ação do jogador aprendiz, para que não resulte em uma alta carga cognitiva estranha.

### 3.3 CONTEÚDO PROGRESSIVO COM O NÍVEL DE CONHECIMENTO

Os desafios propostos nos jogos digitais educativos devem variar de acordo com o nível de dificuldade, passando de problemas simples para problemas intermediários e, por fim, para problemas complexos.

Gee (2004, 2009) aponta o princípio denominado Boa Ordenação dos problemas, baseado em resultados de pesquisas, e diz que o jogador, ao ficar livre para resolver os níveis de dificuldades, tende a desenvolver estratégias criativas para as soluções dos problemas, porém, essas não são suficientes para formar esquemas na memória de longo prazo (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), que deem subsídios para resolver problemas posteriores. Sendo assim, bons jogos possuem uma boa progressão dos problemas.

Para isso, também é importante considerar as interações devido à quantidade de representações em uma mesma tela com o nível de conhecimento. Segundo Phillips, Norris e Macnab (2010), os *designers*, que são os desenhistas dos jogos, devem ter cuidados no desenvolvimento de animações e outros objetos de visualização, para que estejam de acordo com a cognição do jogador e com a tarefa a ser executada, pois o nível de interatividade pode gerar distrações.

Partir de problemas mais simples para problemas mais complexos, segundo Rabin (2012), é controlar o *design* do nível, podendo ser por uma progressão linear, não linear ou ramificada.

Ao manter uma boa ordenação dos problemas, que sejam condizentes com a linearidade dos níveis de dificuldades, considerando os níveis de conhecimento dos jogadores aprendizes e os modos de representações que serão apresentados, a progressão permite não sobrecarregar a memória de trabalho, assim os jogadores serão capazes de elaborar estratégias de resoluções dos problemas e desenvolver habilidades.

Dentro do jogo, seria interessante que as instruções estivessem presentes apenas como dicas e não soluções completas, nos desafios intermediários e complexos. Além disso, seria pertinente que os jogadores aprendizes especialistas tivessem a escolha de visualizar ou não essas instruções, para que eles tivessem o domínio e conseguissem perceber se possuíam dificuldades ou não de entendimento dos conteúdos relacionados ao desafio.



### 3.4 SIMPLIFICAÇÃO

Quando uma nova informação é apresentada com alto grau de interatividade, ou seja, um conceito complexo, o material instrucional deve facilitar a discussão desse conceito para não sobrecarregar cognitivamente. É preciso simplificá-lo, partindo dos elementos simples para os mais complexos, fragmentando-o e instruindo por partes.

No jogo digital educativo, a fase que representar um novo desafio que exija habilidades a serem desenvolvidas e um conceito complexo, deve ser dividida em vários objetivos, para que os jogadores aprendizes possam compreender e aprender seus significados e não prejudicar a aprendizagem.

Os objetos de visualização utilizados para simplificar o conceito a ser aprendido devem ser simples, ordenados, cuidadosamente pensados sobre o quão realistas eles precisam ser e estar, de acordo com o desafio, para não gerar distrações e nem prejudicar a aquisição do conhecimento (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010).

### 3.5 PROJEÇÃO DO PERSONAGEM

O personagem é um dos elementos que configura o conteúdo do jogo digital (RABIN, 2012). Ele pode ter uma história e ser significativa para uma projeção na vida real do jogador aprendiz devido aos seus valores éticos, morais e seus conhecimentos (GEE, 2008).

Integrando-se o Princípio do Empréstimo e da Reorganização, descrito na Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), um professor quando ensina algo para o aluno, está comunicando seu conhecimento e o aluno usará esse conhecimento como ponto de partida para formar seus esquemas.

O aprendiz “toma emprestado” o conhecimento, porque segundo a TCC, o conhecimento é aprendido por dois meios biológicos: (1) conhecimento biologicamente primário, que ocorre sem instrução, por exemplo, falar, andar e imitar, e (2) conhecimento biologicamente secundário, que só é possível por instrução, por exemplo, aprender a ler, escrever e calcular.

Portanto, o aluno “imita” o professor, seja em seu modo de pensar ou resolver um problema. Porém, a imitação não será perfeita, pois esses conhecimentos “emprestados” serão ancorados nos esquemas mentais que os alunos já possuem em sua memória de longo prazo, sofrem uma reorganização, formam então um novo esquema. A prática

desse novo esquema deve ser realizada, de modo que ele se torne automatizado, ou seja, problemas semelhantes devem ser utilizados como reforço para aprimorar as elaborações de estratégias e fixar o aprendizado.

Como exemplo, ao considerar um jogo digital educativo, o personagem controlado pelo aprendiz pode ser um estudante que seria instruído por outro personagem especialista, controlado pelo sistema do jogo ao enfrentar os desafios. Ao articular a ideia dos personagens como especialista e estudante, podemos pensar no princípio de aprendizagem diagnosticado por Gee (2004,2009), classificado como Identidade.

Portanto, o personagem controlado pelo jogador aprendiz em suas ações solucionaria os desafios de acordo com a representatividade social, ética e profissional do especialista, podendo aprender seus conhecimentos específicos e habilidades, além de valores e princípios sociais.

Para utilizar o significado do personagem no processo de ensino e aprendizagem, é preciso investigar suas habilidades e conhecimentos, estar inserido como protagonista na narrativa do jogo e ter um papel significativo no desenvolvimento do jogo.

### 3.6 COLABORAÇÃO ENTRE OS JOGADORES

Realizar trabalhos colaborativos facilita a aprendizagem (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011). O jogo digital proporciona essa colaboração de diversas maneiras, podendo ser jogos em rede *on-line*; vários jogadores no mesmo espaço físico; janelas de *chats* enquanto jogam; e comunidades para jogadores de um determinado jogo.

Essas colaborações auxiliam na aquisição do conhecimento por grupo e permitem a socialização entre os jogadores.

A aprendizagem é facilitada, pois os jogadores aprendizes dividem entre si o processamento das informações para solucionar os desafios, o que na TCC é denominado efeito da memória de trabalho coletiva.

Esse apontamento também articula com o princípio de ferramentas inteligentes (GEE, 2009), que é a colaboração e integração entre pessoas reais e virtuais, que com suas habilidades e conhecimentos se auxiliam para solucionar as metas do jogo.

Após descrever as características identificadas por meio da articulação teórica, é preciso inseri-las no jogo digital educativo. Para esquematizar elementos importantes na sua concepção com essas características, nos basearemos na Matriz de Aprendizagem Situada (GEE, 2008).



## 4 MATRIZ DE APRENDIZAGEM SITUADA

Aliar jogos digitais e aprendizagem não é uma tarefa fácil, pois o *design* de um jogo não é acidentalmente relacionado com a aprendizagem, ele deve ser pensado, considerando como ocorre a construção do conhecimento.

Para que favoreça a aprendizagem, é preciso conhecer estudos sobre *Game Design* e sobre aprendizagem, com o intuito de que esses se comuniquem para elaborar um jogo digital educativo.

O pesquisador Gee (2008), em seu trabalho sobre jogos e aprendizagem, aborda aspectos de como aprendemos e como isso se relaciona com os jogos, a partir das condições de experiência, e apresenta um método para aliar estudos de *Game Design* com estudos contemporâneos sobre a aprendizagem, denominado Matriz de Aprendizagem Situada, para favorecer a construção do conhecimento dos jogadores, desenvolvendo jogos bem concebidos.

Sendo assim, todo o texto escrito neste capítulo, será baseado nesse trabalho, com o intuito de facilitar a compreensão de como será elaborado o jogo digital educativo, proposto nesta pesquisa.

O autor parte do argumento de que as pessoas aprendem devido às experiências armazenadas na memória de longo prazo.

Sendo assim, para propiciar a aprendizagem, ele diz que são necessárias as “condições de experiências”, ou seja, os jogos oferecem essas experiências aos jogadores e recrutam uma aprendizagem como forma de prazer, desde que na sua elaboração estejam inseridas essas condições.

São cinco condições de experiências:

I. As experiências são mais úteis para solucionar problemas se forem estruturadas por objetivos específicos;

II. As experiências, para serem úteis nas resoluções de problemas futuros, precisam ser interpretadas. Interpretar uma experiência é pensar em ação e depois da ação. Significa também, por meio de lições já aprendidas, antecipar quando e onde elas podem ser úteis;

III. É preciso que as pessoas recebam *feedback* imediato durante suas experiências, para que possam avaliar os seus erros e ver onde suas expectativas falharam;

IV. As pessoas precisam de amplas oportunidades para aplicar suas experiências anteriores e interpretá-las em situações similares, para que elas possam melhorar suas interpretações gradualmente para além dos contextos específicos;

V. As pessoas precisam aprender com as experiências e interpretações de outras pessoas especializadas, ou seja, precisam ser instruídas por diálogos, modelagem, exemplos resolvidos e outras formas de instrução.

Quando as condições abaixo são utilizadas na construção de um jogo digital, as experiências são organizadas na memória dos jogadores para que eles possam elaborar estratégias que lhes permitam preparar-se para futuras ações.

Os elementos de experiência, como os objetivos, práticas, explicações, esclarecimentos e *feedbacks*, precisam ser oferecidos, ao jogador aprendiz, de algum lugar. Por exemplo, sou um observador de pássaros e tenho muita experiência à procura de pássaros, mas esse domínio foi moldado por outras pessoas especialistas em pássaros e instituições dedicadas a pássaros.

Querer se tornar um observador especialista em pássaros, é uma identidade social e o seu conhecimento foi adquirido por se inserir em um grupo social de especialistas em pássaros.

A identidade social é crucial para a aprendizagem, pois requer uma participação em algum grupo social que ajude a compreender as experiências e dar sentido a elas.

Outro aspecto importante que o autor também aborda, é o bom *design* de um jogo, uma vez que eles são bons, em sua essência, para propiciar a construção do conhecimento por meio de desafios, reconhecimento de padrões, resolução de problemas, diversão e interação.

Jogos digitais são um conjunto de experiências, nas quais o jogador participa sob particulares perspectivas, projetados para estabelecer determinados objetivos. Os níveis de dificuldade permitem que os jogadores testem suas habilidades e conhecimentos adquiridos anteriormente, através dos desafios semelhantes, de modo que possam interpretar suas ações em cada uma das situações propostas no jogo.

Enquanto os jogadores procuram solucionar os desafios propostos, o jogo incentiva as interpretações de suas experiências por meio de seus próprios recursos, como aumentar o grau de dificuldade ao

longo dos desafios propostos, e também, através das instruções, como guias de estratégias, fóruns e comunicações com outros jogadores, seja no mesmo espaço físico ou em salas de *chats*.

Os aspectos discutidos, segundo o autor, são cruciais para jogos digitais com objetivos educacionais, pois oferecem aos jogadores aprendizes experiências em um mundo virtual que podem estar conectadas fortemente ao mundo real, propiciando uma aprendizagem com envolvimento e prazer.

Uma maneira para aliar os aspectos discutidos sobre as condições de experiência que auxiliam na aprendizagem do indivíduo e elementos do *Game Design*, o autor denomina como Matriz de Aprendizagem Situada.



### O modelo

Gee (2008), para descrever a Matriz de Aprendizagem Situada, parte da premissa que qualquer experiência de aprendizagem tem algum conteúdo, ou seja, fatos, princípios, informações e habilidades que precisam ser dominadas.

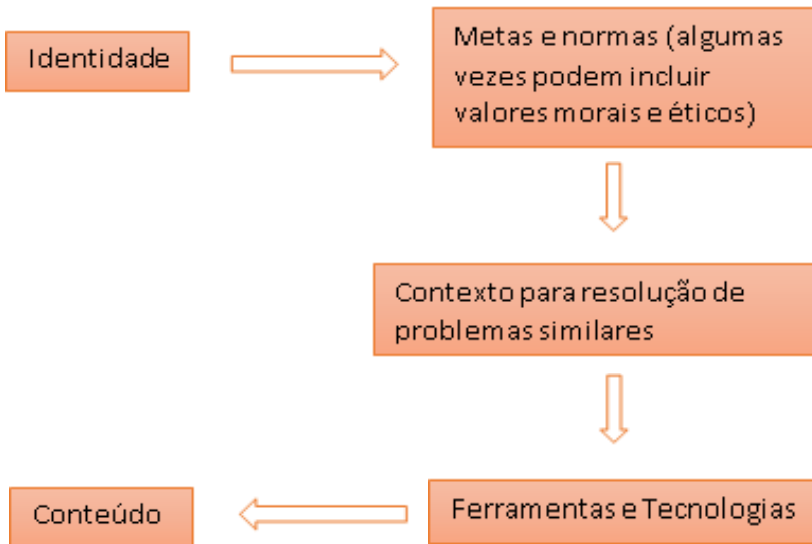
Apesar de ter esse conteúdo, essa matriz não é iniciada com o foco nele, mas sim na identidade social, ou seja, na representatividade do personagem.

Essa representatividade está associada a dois aspectos principais:

(1) as características dos objetivos e metas do conhecimento a serem adquiridos; e (2) as normas e regras compostas de princípios para agir e avaliar as ações.

Sendo assim, tem-se o seguinte modelo de matriz (Figura 4):

Figura 4 - Modelo da matriz de aprendizagem situada



Fonte: GEE, 2008

A identidade (Figura 4), como observamos, tem uma representatividade social que, por meio das metas e normas impostas ao jogador aprendiz, orienta as ações que ele deve tomar e permite avaliar as suas tentativas.

Para cumprir as metas, é necessário dominar um conjunto de habilidades, princípios, fatos e procedimentos. Portanto, é preciso que ele adquira os conhecimentos do conteúdo.

No entanto, para adquirir o domínio do conteúdo, o jogador aprendiz recebe um conjunto de ferramentas e tecnologias que são utilizadas em contextos de resolução de problemas propostos de acordo com o enredo, cenário, história e modelagem dos desafios no jogo.

Entende-se por ferramentas e tecnologias, duas características:

I. Todos os objetos disponibilizados no jogo que propiciam uma interação para resolução de problemas, por exemplo, armas, munições, manuais de instrução, dispositivos de comunicação, entre outros;

II. Personagens artificialmente inteligentes, controlados pelo sistema do jogo, que interagem com o personagem controlado pelo jogador aprendiz, por meio de instrução, *feedbacks* e explanação. Esses

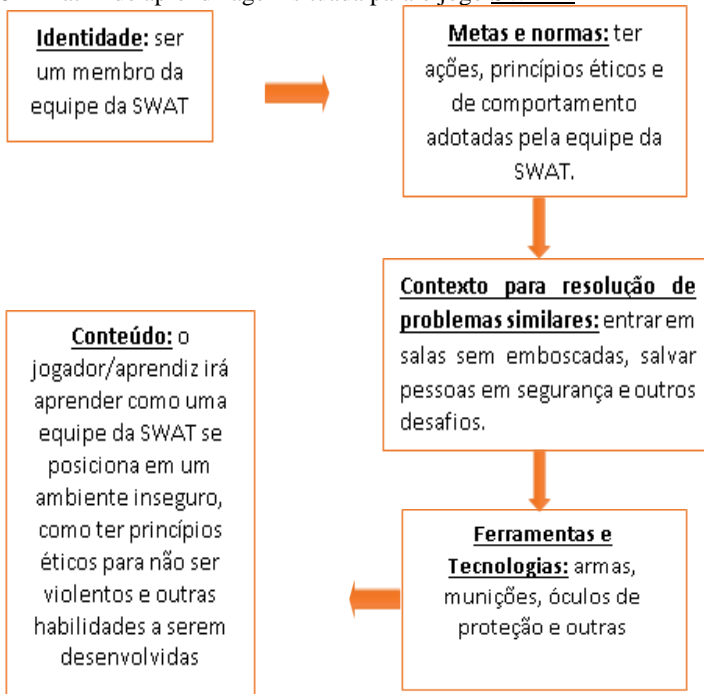


personagens, por serem especialistas do conteúdo inserido, transmitem habilidades corretas e seus conhecimentos para o aprendiz.

As ferramentas e tecnologias, devido às suas características, mediam a relação entre a identidade e o conteúdo do jogo, isso significa que o jogador aprendiz aprende em contexto específico, ou seja, experiências específicas relacionadas aos conhecimentos do conteúdo inserido.

O autor, para que facilite a compreensão dessa matriz, aborda um exemplo relacionado ao jogo SWAT4. Esse jogo tem, como conteúdo a ser aprendido, o treinamento para ser membro de uma equipe tática americana, especializada para atuar em situações especiais de grandes riscos, conhecida como SWAT (*Special Weapons and Tactics*).

No esquema da Figura 5, podemos observar como cada elemento da matriz de aprendizagem situada (Figura 4) é estruturado de acordo com o jogo SWAT4.

Figura 5 – Matriz de aprendizagem situada para o jogo SWAT4

Fonte: GEE, 2008

No caso desse jogo, a identidade social é ser membro da equipe da SWAT ao qual está inserido no grupo social SWAT. Possui normas e metas estipuladas de acordo com esse grupo, e o conteúdo a ser aprendido está conectado a ser um membro experiente da equipe. Por meio das ferramentas e tecnologias disponibilizadas de acordo com esse contexto para solucionar desafios, adquire-se o conhecimento necessário para obter domínio do conteúdo.

Contudo, o autor aponta um elemento importante que ele não considerou parte da matriz (Figura 4), mas ressalta que é preciso estar inserido. A esse elemento ele denomina como modelos e argumenta que são cruciais para a aprendizagem por meio dos jogos.

Gee (2008) define modelos no sentido mais amplo, como sendo uma representatividade simplificada de tudo que é real, podendo ser abstrato ou realista. Salienta que devemos considerar essas

representações na construção dos jogos com fins educacionais, por ser um aspecto em que a aprendizagem e o *game design* se cruzam.

A Matriz de Aprendizagem Situada (Figura 4) apresenta uma estrutura conceitual de como a identidade, as metas e normas, os desafios, as representações e o conteúdo se comunicam para proporcionar as condições de experiência aos jogadores aprendizes, para que eles possam adquirir as habilidades e os conhecimentos sobre determinada área de domínio específico, abordado no jogo. Sendo assim, essa pesquisa se utiliza dela no esboço do jogo digital educativo proposto, com o intuito de estruturar os elementos que favorecem a aprendizagem.

No próximo capítulo, estará descrito o jogo digital educativo proposto nesta pesquisa, com o tema formação de imagem real em lente convergente e apresentaremos como esse modelo de matriz auxilia a esquematizar os elementos e objetos importantes para facilitar na aprendizagem do jogador aprendiz.



## 5 ESBOÇO DO JOGO DIGITAL EDUCATIVO: TracIm

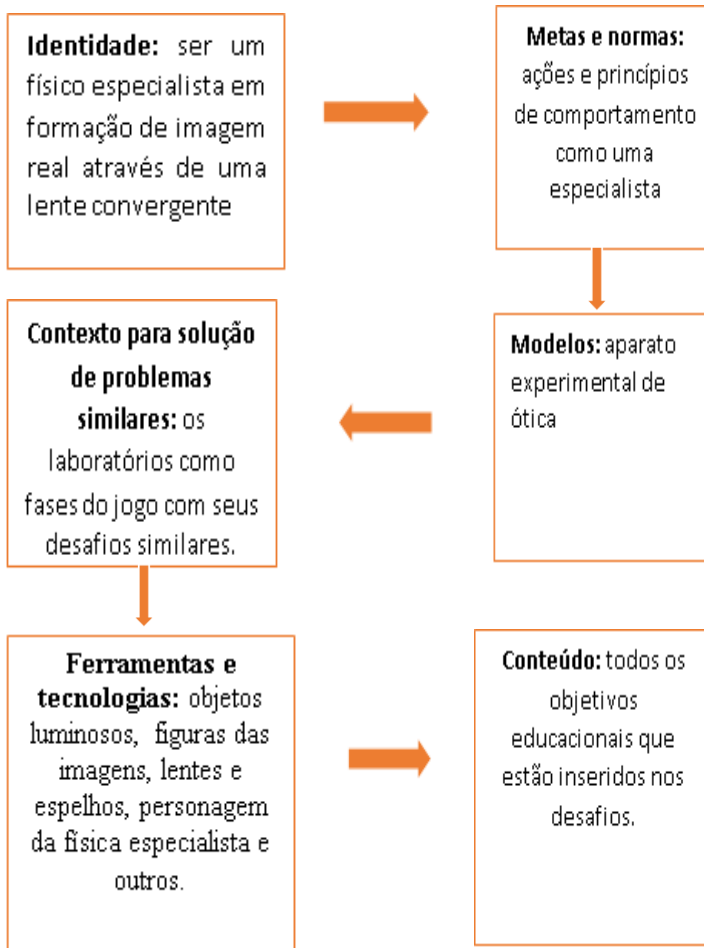
### 5.1 MATRIZ DE APRENDIZAGEM SITUADA

Nos capítulos anteriores, apresentamos a articulação teórica que fundamenta o nosso desenho do jogo digital educativo TracIM, que tem os seguintes objetivos educacionais:

- Compreender o que é um objeto luminoso;
- Assimilar o que é uma lente convergente;
- Aprender o que é uma imagem e quais são as suas propriedades para o caso específico abordado nesta pesquisa;
- Entender como monta esse aparato experimental;
- Interpretar que, sem a lente, não haverá imagem a ser formada;
- Compreender que os raios de luz que saem do objeto luminoso se espalham em todas as direções;
- Entender as condições em que é formada uma imagem em lente convergente;
- Assimilar que, ao aproximar a tela em direção à lente, a imagem fica distorcida a priori e depois, ela irá desaparecer;
- Compreender que conseguimos ver uma imagem mesmo que não tenhamos uma tela no aparato experimental.

Para alcançá-los, estruturamos seus elementos essenciais a partir da articulação supracitada com a elaboração da matriz de aprendizagem apresentada na figura 6. É a partir deles que iremos apresentar características que podem auxiliar no ensino e aprendizagem através dessa tecnologia.

Figura 6 - Modelo da matriz de aprendizagem situada para o jogo educativo proposto nesta pesquisa



Fonte: A autora

A matriz de aprendizagem situada tem como foco central as experiências do jogador aprendiz. Segundo Gee (2008), ela parte da **identidade social**, que é o primeiro elemento relevante de como podemos aprender por meio dos jogos. Ela tem uma representatividade, ou seja, precisa ser uma identidade que quer fazer parte de um grupo específico que tenha contribuições sociais. Essa representatividade está associada a três aspectos: (1) as características dos objetivos e metas a

serem adquiridos devido a sua identidade social, e (2) as normas e regras de especialistas para avaliar as ações da sua identidade social.

Sendo assim, esses aspectos estão refletidos nas escolhas dos dois personagens para o jogo digital proposto. Porque ambos estão inseridos em uma sociedade representada por Físicos, mais especificamente, especialistas em formação de imagem real através de uma lente convergente. O personagem controlado pelo sistema do jogo é a Física especialista, que dita **normas** e regras, dá instruções e feedbacks, para possibilitar ao jogador aprendiz, que tem a identidade de um estudante de Física, que torne-se um especialista.

As **metas e normas** estão relacionadas com os objetivos de aprendizagem determinados para as ações do jogador aprendiz, de forma a permitir que esse conhecimento seja adquirido. Nesse jogo, aparecem estipulados nos desafios, ou seja, o jogador aprendiz precisa ter ações e princípios de comportamento como um especialista em formação de imagem real através de uma lente convergente. Para isso ele deve compreender o que é um objeto luminoso, uma lente convergente e uma imagem real, que o tornará especialista após aprender como ocorrem os fenômenos físicos determinados nos desafios.

Os **modelos** utilizados partem da apropriação de um aparato experimental real, que é acessível a qualquer estudante de Física, para o mundo virtual do jogo, ao qual subsidia todas as suas ações. Além do aparato, são utilizadas as representações da ótica geométrica para: representação da luz (segmento de reta orientado), os instrumentos óticos e o procedimento para formação de imagens. Esses objetos e propriedades das imagens são assumidos como conhecimentos prévios que o jogador aprendiz precisa ter para começar a jogar. Eles são avaliados através do *Quiz*.

O **contexto para solução de problemas** similares se enquadra exatamente no modelo utilizado para todos os desafios do jogo, que se difere em problemas similares para que possam construir o conhecimento sobre formação de imagem real, invertida e maior que o objeto, através de uma lente convergente.

As **ferramentas e tecnologias** são a lente convergente, as prateleiras, os objetos luminosos, os instrumentos óticos, as figuras das imagens, o manual de instrução, uma tela *touch screen* e outros.

Estamos aptos a esboçar o jogo digital TraçIm. Ele é composto por partes: (1) uma história inicial, que articula a interação entre os personagens do jogo, (2) um *quiz*, com o objetivo de diagnosticar se os

conhecimentos mínimos já foram adquiridos antes de iniciar os desafios de cada fase, e (3) os desafios.

### 5.1.1 A história inicial

O jogo tem dois personagens centrais, como já foi dito. O primeiro, controlado pelo jogador, representa um estudante do curso de Física, que poderá ser um homem ou uma mulher - o jogador aprendiz definirá no início do jogo - e o segundo personagem será uma Física especialista em formação de imagem através de lentes convergentes. As escolhas dos personagens foram refletidas considerando as condições de experiências e a identidade (GEE, 2009), descritas no capítulo anterior.

A **identidade** tem uma representatividade social, no sentido do jogador aprendiz sentir-se inserido em um grupo social. As condições de experiências estão relacionadas tanto com o personagem estudante quanto com a personagem da Física especialista, pois essas abordam situações de experiências e suas interpretações, de modo que trata os problemas a serem oferecidos ao jogador/aprendiz e de como serão dadas as instruções, *feedbacks* e outras situações.

Esses personagens estão inseridos em uma história inicial, para apresentar ao jogador aprendiz como eles interagem e em qual grupo social estarão inseridos. A história iniciará com esse estudante caminhando, seus óculos de grau caem e quebra uma das lentes. Esses óculos são para correção de hipermetropia. Então, ele se questiona sobre como se forma a imagem através de uma lente e decide aprender sobre esse assunto. Para isso, procura um lugar que aborde o tema, e então, encontra o centro de estudos aplicados em formação de imagem através de uma lente.

Ao chegar nesse centro, ele é recepcionado pela Física especialista, ela apresenta o local, que possui dez salas, sendo nove laboratórios e uma sala com telas *touch screen* para estudos. Durante esse percurso, ela irá dizer ao estudante que estará disponível para oferecer *feedbacks*, instruções necessárias e apresentar os objetivos a serem concluídos em cada uma das salas.

O *Quiz* é o primeiro objetivo a ser concluído pelo jogador aprendiz. Ele responderá questões que abordam alguns conceitos iniciais básicos da ótica geométrica, necessários para a discussão que será proposta.

Os laboratórios correspondem às fases do jogo. O cenário inicial de cada uma dessas fases terá: (1) uma prateleira com objetos para a



montagem da bancada ótica, (2) uma prateleira com componentes óticos, (3) uma prateleira com instrumentos óticos, (4) uma prateleira com figuras de imagens dos objetos que se diferenciam de acordo com as características específicas, por exemplo, real, invertida, e outras, (5) uma prateleira que terá materiais necessários referentes ao desafio proposto em determinada fase.

Nessas salas também terá uma tela com as instruções sobre ótica geométrica para que o jogador aprendiz possa consultar quando achar necessário.

Ele também poderá solicitar a presença da personagem da Física especialista, caso precise que ela repita algum *feedback* ou instrução dada. Para que isso ocorra, basta acionar um botão presente na tela.

### 5.1.2 Quiz

O *quiz* tem como objetivo trabalhar os conceitos iniciais da ótica geométrica e suas representações, que são fundamentais para a resolução dos desafios propostos no jogo. Não obstante, os trabalhos citados no Apêndice A evidenciam problemas no reconhecimento de instrumentos óticos e do que vem a ser o método dos raios e sua adequação na representação da luz como um raio, na forma de um segmento de reta orientado que possui direção e sentido de propagação. Ele contém nove perguntas fechadas e cada alternativa para responder é visualizada por representações.

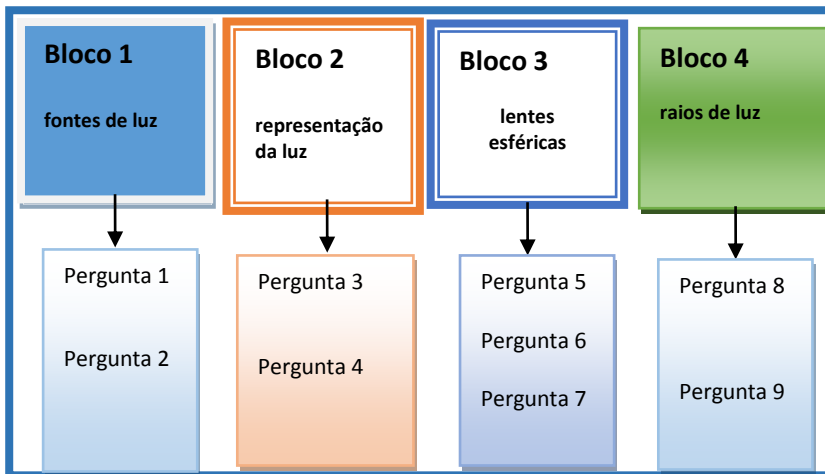
Algumas perguntas possuem quatro alternativas de respostas e outras, três. Em cada uma das perguntas, o jogador aprendiz será avaliado quanto ao seu nível de conhecimento. Pois, nesse *quiz*, por apresentar os conceitos fundamentais que são propostos nos desafios do jogo TracIm, é obrigatório que o jogador aprendiz conclua como intermediário ou especialista para poder jogar as fases do jogo.

Consideramos o nível intermediário apto a jogar por ter alguns conhecimentos sobre a ótica geométrica, de modo que, através dos desafios no jogo, será possível reforçar esses conceitos na memória de longo prazo para que eles sejam automatizados.

As perguntas estarão separadas em blocos na mensuração do nível de conhecimento, totalizando quatro blocos (Figura 7). O critério escolhido para separar os blocos de perguntas são as semelhanças conceituais. No bloco 1, as perguntas tratam de fontes de luz, no bloco 2, sobre representação da luz, no bloco 3, lentes esféricas e no bloco 4, traçados dos raios de luz.

Sendo assim, o jogador aprendiz será avaliado em cada pergunta de cada bloco e quando chegar ao último, será possível ter o nível final.

Figura 7 - Divisão das perguntas do *quiz* em blocos



Em todas as perguntas, ele terá duas chances para escolher a alternativa correta. Caso acerte na primeira tentativa, será considerado especialista, e se acertar na segunda tentativa, será considerado intermediário. Quando errar na primeira chance, receberá uma mensagem de *feedback* para consultar a instrução. Caso ele erre na segunda tentativa, as perguntas serão reiniciadas dentro daquele bloco, por ser considerado novato. Antes de reiniciar, o jogador aprendiz receberá uma mensagem de *feedback* para explicar seus erros e alertar que precisará jogar o bloco novamente.

O *feedback* oferecido ao jogador será uma mensagem com exemplo e comparações entre a alternativa correta e as alternativas erradas, apontando porque cada uma das outras são equivocadas de acordo com o problema proposto.

O Bloco 1 é composto pelas perguntas 1 (Figura 8) e 2 (Figura 9). Para mensurar o nível de conhecimento, temos algumas combinações, lembrando que o jogador aprendiz novato não é incluído nessa probabilidade porque as perguntas serão reiniciadas. Como são duas perguntas, o jogador aprendiz poderá ser:

- Intermediário:
  - Intermediário nas perguntas 1 e 2;
  - Intermediário na pergunta 1 e especialista na pergunta 2;
  - Especialista na pergunta 1 e intermediário na pergunta 2.
  
- Especialista:
  - Especialista nas perguntas 1 e 2


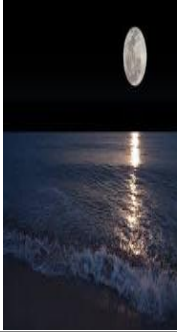
Os Blocos 2 e 4, por terem apenas duas perguntas (Figura 7), possuem a mesma probabilidade de nível de conhecimento que o Bloco 1. No entanto, o Bloco 3 possui três perguntas, sendo assim, temos as seguintes possibilidades de nível de conhecimento:

- Intermediário:
  - Intermediário nas perguntas 5, 6 e 7;
  - Intermediário nas perguntas 5 e 6, e especialista na pergunta 7;
  - Intermediário nas perguntas 5 e 7, e especialista na pergunta 6;
  - Especialista na pergunta 5 e intermediário nas perguntas 6 e 7;
  - Especialista nas perguntas 5 e 6, e intermediário na pergunta 7;
  - Especialista nas perguntas 5 e 7, e intermediário na pergunta 6;
  - Intermediário na pergunta 5 e especialista nas perguntas 6 e 7.
  
- *Expert*
  - *Expert* nas perguntas 5, 6 e 7.

Ao concluir o último bloco, ou seja, Bloco 4, quando o jogador aprendiz for intermediário ou especialista, temos as seguintes condições: (1) se em algum dos blocos ele concluir como intermediário, iniciará as fases do jogo como intermediário, ganhando 50 pontos para o *ranking*, e (2) se ele concluir todos os blocos como especialista, iniciará as fases do jogo ganhando 100 pontos para o *ranking*.

Nas figuras 8 a 16, temos todas as perguntas que fazem parte do *quiz* com suas devidas alternativas para respostas.

Figura 8 - Pergunta 1 do quiz

1) Qual dos objetos é uma fonte primária de luz?			
<p>a. livros</p> 	<p>b. lâmpada apagada</p> 	<p>c. lâmpada acesa</p> 	<p>d. Lua</p> 





Fonte: A autora

Figura 9 - Pergunta 2 do quiz

2) Qual dos objetos é uma fonte secundária de luz?			
<p>a. Sol</p> 	<p>b. Lua</p> 	<p>c. Lâmpada acesa</p> 	<p>d. Lanterna acesa</p> 





Fonte: A autora

Figura 10 - Pergunta 3 do quiz

3) Na ótica geométrica qual das figuras aponta o modo que representamos a luz?			
a. Semirretas orientadas	b. Linhas pontilhadas	c. Semirretas	d. Curvas
			

Fonte: A autora





Figura 11 - Pergunta 4 do quiz

4) Como é representado um raio de luz?			
a. Semirretas orientadas	b. Linhas pontilhadas orientadas	c. Linhas pontilhadas	d. Semirretas
			

Fonte: A autora

Figura 12 - Pergunta 5 do quiz



**5) Na ótica geométrica, como geralmente é representado um objeto, cuja imagem formada será estudada a partir do uso de diferentes instrumentos óticos?**

a.	b.	c.	d.
			

Fo

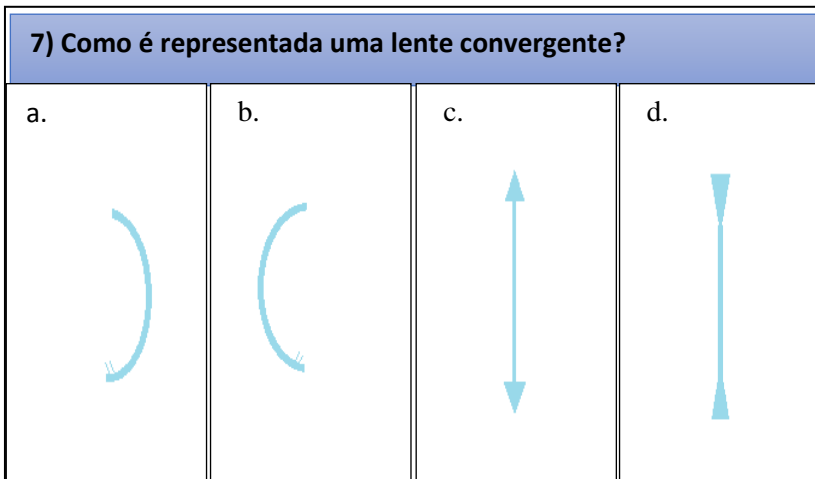
Figura 13 - Pergunta 6 do quiz

**6) Qual das figuras corresponde as lentes esféricas?**

a. Óculos de grau e lupa	b. Espelho odontológico	c. Retrovisor de carro	d. Espelho plano
			

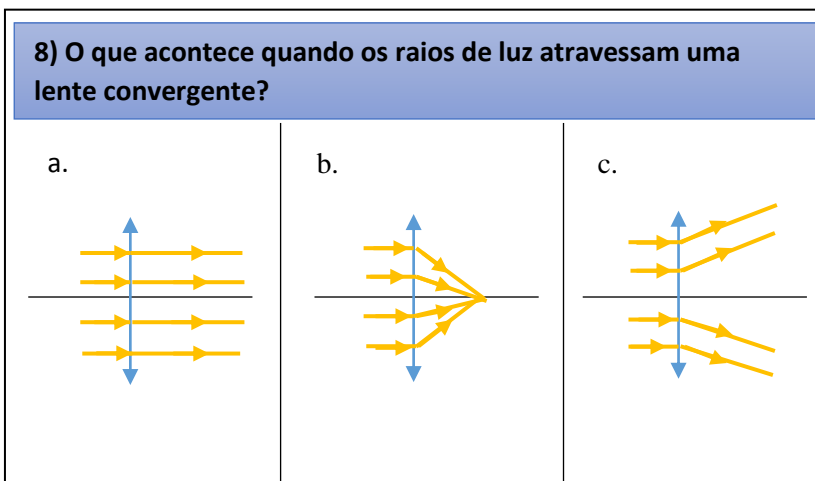
Fonte: A autora

Figura 14 - Pergunta 7 do quiz

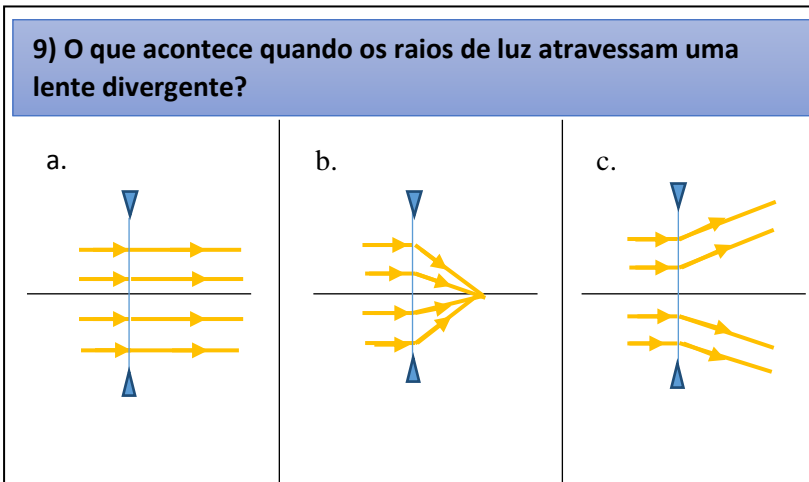


Fonte: A autora

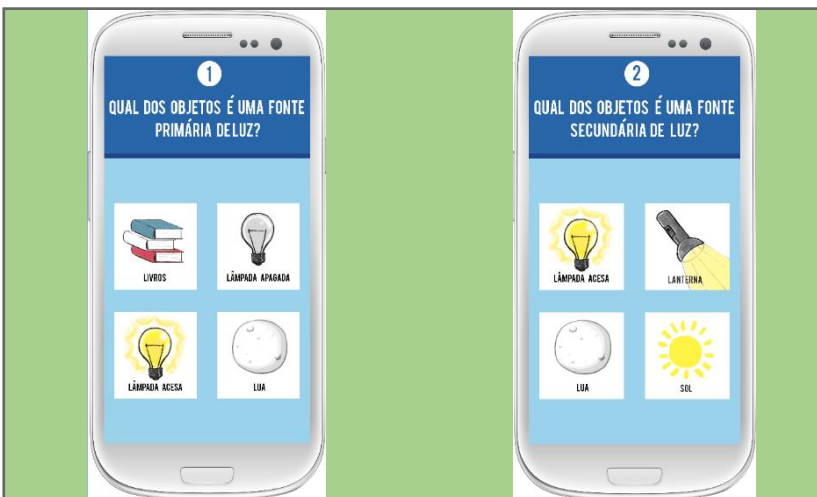
Figura 15 - Pergunta 8 do quiz



Fonte: A autora

Figura 16 - Pergunta 9 do *quiz*

Fonte: A autora

Figura 17 - Perguntas 1 e 2 do *quiz* programadas

Fonte: A autora

Um código inicial de programação para as perguntas do *quiz* foi elaborado. Utilizamos da linguagem de programação LUA



(CELES;FIGUEIREDO; IERUSALIMSKY, 2004) e o *software* Corona SDK para desenvolvê-lo. Na figura 17, podemos observar como será o *layout* disponível ao jogador aprendiz e o código que se refere aos acertos e erros em cada questão encontra-se em desenvolvimento.

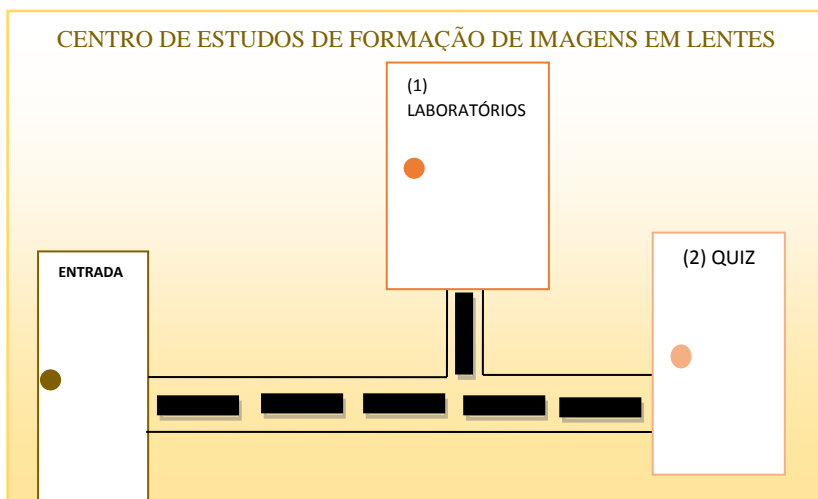
### 5.1.3 Visão geral das fases do jogo



#### Cenário e seus objetos

Para adentrar ao mundo virtual do jogo digital educativo proposto, esse centro de estudos é composto por salas, que são laboratórios, e cada laboratório corresponde a uma fase do jogo e uma sala para responder o *quiz* (Figura 18).

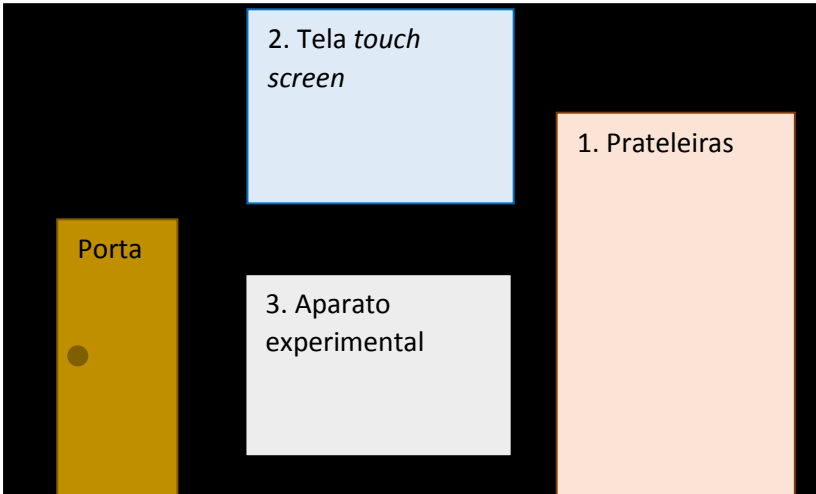
Figura 18 - Tela representativa da entrada do centro de estudos



Observando a figura acima, podemos descrever os seguintes cenários: (1) laboratórios correspondem a cada fase do jogo, ou seja, laboratório 1 equivale a fase 1, laboratório 2 equivale a fase 2, e assim sucessivamente até o laboratório 9, e (2) temos a sala do *quiz* com uma tela *touch screen* que será utilizada para o jogador aprendiz através do controle que tem sobre seu personagem para responder às perguntas.

Em cada laboratório temos: (1) cinco prateleiras, (2) uma tela *touch screen*, e (3) o aparato experimental (Figura 19).

Figura 19 - Tela representativa de cada laboratório

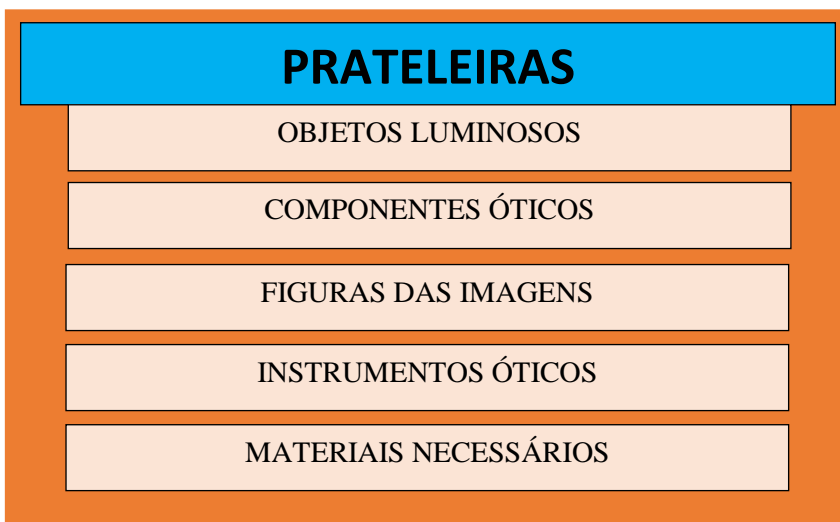


Segundo Phillips, Norris e Macnab (2010), os recursos visuais devem ser relevantes para os objetivos de ensino e aprendizagem, eles devem ser apropriados para as tarefas e articulados com os conceitos científicos.

Nesse contexto, o cenário e os objetos que o compõem estão relacionados com os conceitos de formação de imagem em lentes, e os demais acessórios são para auxiliar o jogador aprendiz a solucionar os desafios e interagir com o mundo virtual em que está inserido.

Sendo assim, com relação às prateleiras, temos uma para os objetos luminosos; uma, para os componentes óticos; uma, para as figuras que representam as imagens dos objetos; uma, para instrumentos óticos e a última, que terá o que for necessário para solucionar o desafio específico quando as outras prateleiras não satisfizerem as tarefas, por exemplo, nos desafios sobre raio de luz, teremos nessa prateleira os traçados para que o jogador aprendiz selecione o que achar correto na solução dos problemas (Figura 20).

Figura 20 - Prateleiras que estão presentes em cada laboratório do jogo

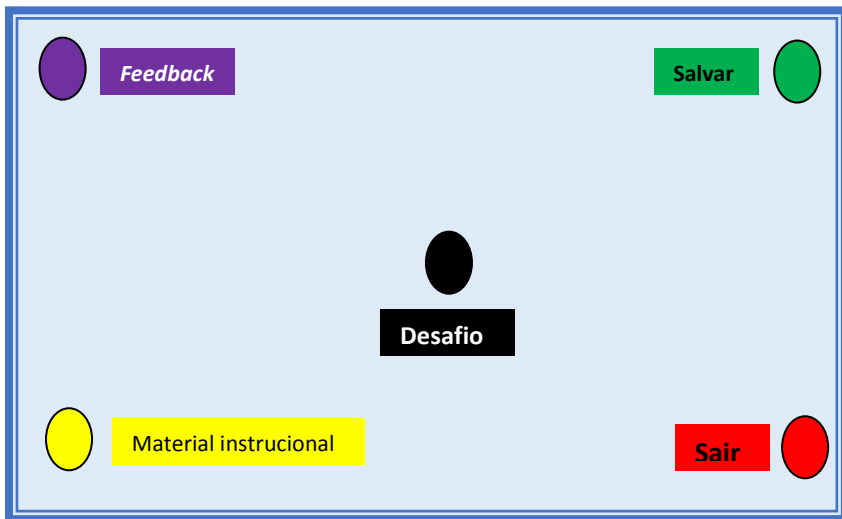


Na tela *touch screen* temos vários botões. Um, para acessar o material instrucional com todos os conceitos abordados no *quiz* e nas fases propostas, que poderá ser consultado em todos os momentos do jogo, um botão para ter acesso ao último *feedback* oferecido pela personagem controlada pelo sistema do jogo, um botão para poder revisar e escutar o desafio proposto, um botão para sair do jogo e um para salvar, porém apenas nas primeiras fases de cada mundo (Figura 21). Os botões que possuem informações como as instruções, por exemplo, ao serem acionados, as instruções aparecerão na tela. Algumas dessas informações, como os *feedbacks*, serão textos e áudios.

A necessidade de, sempre que possível, tentar apresentar as informações por meio de elementos visuais e auditivos é para não sobrecarregar a memória de trabalho (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

Segundo a característica apresentada no capítulo três, intitulada elementos visuais e auditivos, reforça essa importância de sempre que possível utilizar os dois canais de processamento, pois permite atender a um maior número de aprendizes, respeitando seu estilo de aprendizagem a partir do momento que ele escolhe se quer receber a informação de modo visual e auditivo ou só visual (GEE, 2004, 2009).

Figura 21 - Tela touch screen presente em cada fase do jogo



Nos laboratórios que representam as fases do jogo, também temos o aparato experimental, componente fundamental para a resolução dos desafios propostos.

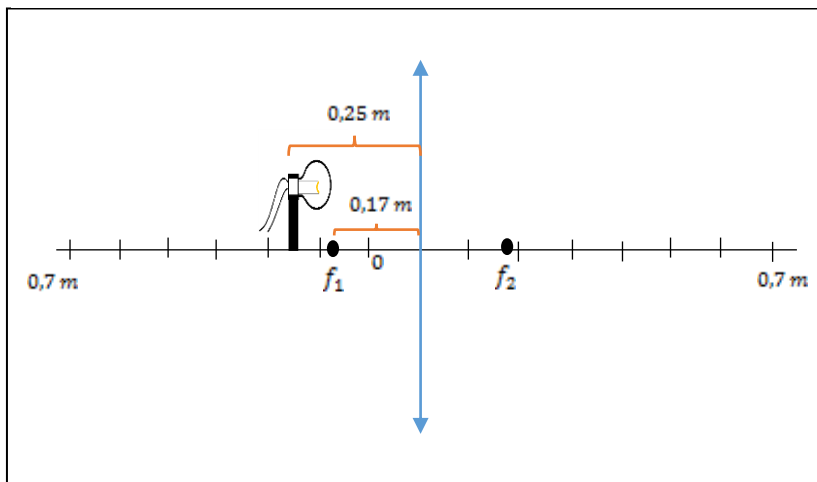
Como os desafios propostos são apropriados do trabalho realizado por Goldberg e McDermott (1987) (Apêndice A), o aparato experimental precisa ter as mesmas condições das atividades realizadas pelos autores.

Sendo assim, há uma bancada ótica (Figura 22), na qual o eixo principal está em uma escala de **0,7** a **0** metros do lado esquerdo e de **0** a **0,7** metros do lado direito. A posição **0** metros é a correta para o jogador aprendiz fixar a lente convergente. O eixo principal se encontra com essas medidas, pois o caso de imagem real em lente convergente que permeia as atividades do jogo e a pesquisa dos autores (GOLDBER; MCDERMOTT, 1987) (Apêndice A), considera o objeto luminoso na posição de **0,25** metros, a imagem na posição **0,53** metros e uma distância focal de **0,17** metros (Figura 22).

A necessidade de manter as posições adequadas apontadas é para respeitar um dos casos de formação de imagem real em lentes convergentes, pois elas variam com a posição do objeto e, no jogo, utilizamos somente o que remete a uma imagem real, invertida e maior que o objeto.

Para que o jogador aprendiz entenda essas questões e esse caso, a primeira fase do jogo trata apenas de montar o aparato experimental nessas condições.

Figura 22 - Bancada ótica para as resoluções dos desafios



#### ✚ Comunicação

O jogo TracIm não é *on-line*, ou seja, ele não é jogado com vários jogadores ao mesmo tempo para que possam, juntos, auxiliar nas estratégias, sendo assim, é preciso que algo supra essa distância, pois segundo o efeito da memória coletiva (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), realizar trabalhos coletivos, facilita a aprendizagem.

Portanto, uma página virtual pode ser criada em forma de fórum para que eles se comuniquem, exponham suas dúvidas e compartilhem suas estratégias.

#### ✚ Desafios

Os desafios, conforme exposto no capítulo 2, foram extraídos de pesquisas realizadas com o intuito de investigar as dificuldades conceituais dos estudantes de graduação sobre alguns fenômenos relacionados à formação de imagem real em lente convergente, para um caso específico, no qual o objeto está posicionado depois do foco

(GOLDBERG; MCDEMORTT, 1987; BLIZAK; CHAFIQI; KENDIL, 2009) (Apêndice A).

Goldberg e McDermott (1987), realizaram um estudo durante um período de dois anos (1982 a 1984) para investigar a compreensão de estudantes de graduação a respeito de imagem formada por lentes convergentes ou espelhos côncavos. Este estudo foi conduzido pelo Grupo de Ensino de Física da Universidade de Washington e faz parte de um trabalho maior de investigação de dificuldades conceituais apresentadas por estudantes de disciplinas introdutórias de física em nível de graduação. A maior parte dos estudantes envolvidos neste estudo estava cursando disciplina introdutória de física baseada em álgebra ou cálculo da Universidade de Washington e os demais no segundo semestre de uma disciplina de física baseada em álgebra ofertada pela Universidade do Oeste da Virgínia. Cerca de metade deles não haviam estudado ótica geométrica na universidade e a outra metade havia estudado recentemente o tema. Aproximadamente 80 estudantes universitários participaram das entrevistas individuais que visavam diagnosticar suas dificuldades de aprendizagem sobre formação de imagem real em lentes convergentes e envolviam atividades individuais de demonstração. No entanto informações complementares foram obtidas envolvendo outras duas fontes: grupo de demonstração usando-se questionários e testes de múltipla escolha. Estes grupos envolveram aproximadamente 200 estudantes.

Na etapa individual, os estudantes foram divididos em dois grupos um de pré-estudantes composto por aqueles que ainda não haviam feito a disciplina de ótica na graduação e o outro os pos-estudantes, composto por alunos que já efetivaram a disciplina de ótica.

Antes de realizar as atividades de observações no laboratório através de um aparato experimental, foi pedido aos investigados que eles fizessem um exercício para encontrar as propriedades da imagem formada através de uma lente convergente e a sua posição. Os dados do problema foram: a posição do objeto luminoso de 0,25 metros e a distância focal da lente de 0,17 metros. Foi calculado que a imagem se encontra na posição de 0,53 metros e ela é real, invertida e maior que o objeto.

Esse exercício foi necessário para contextualizar os estudantes sobre as quatro tarefas que eles iriam realizar no laboratório, observando fenômenos relacionados a formação de uma imagem real em lente convergente. Para cada tarefa executada, os pesquisadores realizaram

uma entrevista individual com o objetivo de compreender as concepções e dificuldades desses estudantes.

As análises dos dados revelaram que no desempenho inicial das tarefas não haviam muitas diferenças de acertos e erros entre os pre estudantes e pos estudantes, porém durante a entrevista, os estudantes que já tinham feito a disciplina de ótica apontaram mais facilidades em rever suas respostas incorretas. Em consequência disso, eles apresentaram melhores resultados em todas as tarefas que o grupo de estudantes que não tiveram a instrução sobre ótica na universidade. Todas as observações e resultados de dificuldades apresentados por Goldberg e McDermott (1987) podem ser encontrados no Apêndice A.

Das quatro tarefas que os pesquisadores realizaram com os estudantes, resultou em nove desafios (equivalentes às nove fases do jogo) que respeitam o nível de conhecimento do jogador aprendiz.

O jogador poderá progredir no jogo de modo ramificado ou linear, ou seja, quando ele concluir o desafio como intermediário ou novato, irá progredir de modo linear, pois entendemos que ainda é necessário reforçar o conhecimento para que forme esquemas na memória de longo prazo. Caso conclua como especialista, poderá progredir de modo ramificado.

Considerar o avanço no jogo, de acordo com o nível de conhecimento, permite estabelecer o modo de representação dos *feedbacks*, atender o tempo de aprendizagem do indivíduo, ordenar melhor os problemas de acordo com a progressão conceitual e permite que o jogador aprendiz explore, pense e reflita sobre as estratégias adotadas para solucionar os desafios.

A escolha dos desafios que permitem essas diferentes progressões, se deu por meio da semelhança dos problemas propostos nas fases seguintes. Por exemplo, o desafio que corresponde à fase três é semelhante ao da fase dois, para que o jogador aprendiz que precisar jogá-las, consiga reforçar os conceitos trabalhados. E para saber em qual nível de conhecimento ele concluiu o desafio, teremos uma combinação das soluções necessárias dentro de cada fase, que será explicado melhor no item “regras”.

## Regras

É necessário que, na elaboração de um jogo digital, sejam estabelecidas regras para o jogador aprendiz poder progredir, saber se está no caminho certo, entre outros fatores.

Algumas regras são estabelecidas antes da programação do jogo, enquanto outras são definidas ao longo desse desenvolvimento.

Segundo Rabin (2012), as regras fortalecem a relação entre o jogador e o jogo. Em seu estudo, existem alguns tipos de regras: regras formais, que permitem ao jogador explorar diferentes estratégias; regras explícitas, que são as normas estabelecidas no sistema do jogo; regras sistêmicas são as regras que definem algumas condições do jogo como seus eventos, recursos, pontuações e penalidades; e, por fim, regras operações, que definem as ações que o jogador poderá ter em determinados momentos do jogo.

Como neste trabalho apontamos a necessidade de respeitar o nível de conhecimento do aluno, a regra já estabelecida é para apontar como ele será diagnosticado enquanto novato, intermediário ou especialista, em cada uma das fases. Com esse diagnóstico, teremos a pontuação para o *ranking*, no intuito de motivá-lo a terminar o jogo, e as recompensas que serão dadas a ele.

Com essa regra, conseguimos também estabelecer como deve ser o *feedback* e a instrução dada ao jogador aprendiz quando ele for novato, intermediário ou especialista.

Para diagnosticar o nível de conhecimento, fragmentamos os problemas inseridos para solucionar o desafio de cada fase. Sendo assim, teremos uma combinação entre os três níveis de conhecimento e o número de problemas para saber em qual nível ele concluiu a fase.

Para melhor entendimento, podemos exemplificar, supondo que: para concluir o primeiro desafio, é necessário solucionar três problemas. Em cada problema, ele poderá ser novato, intermediário ou especialista. Para saber então o nível de conhecimento dele para esse desafio específico, teremos a combinação dos diagnósticos entre os problemas (Tabela 1).

Tabela 1 - Combinação entre os níveis de conhecimento de acordo com os acertos e erros do jogador/aprendiz para diagnosticar se ele é novato, intermediário ou especialista em cada fase do jogo

<b>PROBLEMA 1</b>	<b>PROBLEMA 2</b>	<b>PROBLEMA 3</b>	<b>NÍVEL DE CONHECIMENTO NA CONCLUSÃO DO DESAFIO DE CADA FASE</b>
<b>Novato</b>	Novato	Novato	Novato



<b>Novato</b>	Novato	Intermediário	Novato
<b>Novato</b>	Novato	Especialista	Novato
<b>Intermediário</b>	Intermediário	Intermediário	Intermediário
<b>Novato</b>	Intermediário	Intermediário	Intermediário
<b>Novato</b>	Intermediário	Especialista	Intermediário
<b>Novato</b>	Especialista	Especialista	Intermediário
<b>Intermediário</b>	Intermediário	Especialista	Intermediário
<b>Especialista</b>	Especialista	Especialista	Especialista

O jogador aprendiz, sempre que for observado como novato entre dois dos três problemas para solucionar o desafio correspondente, será novato, porque entendemos que ele não possui conhecimentos armazenados na memória de longo prazo, referentes aos conceitos abordados no desafio proposto, de modo que, no outro problema, pode não ter sido novato apenas por tentativa e erro.

As tentativas de acertar e errar, para um jogo digital educativo, não são ruins, mas é preciso que o aprendiz receba um *feedback* imediato, de acordo com o nível de conhecimento, para que ele possa refletir sobre as estratégias utilizadas, acompanhar sua progressão no jogo e ter a sensação do seu erro ser positivo, para que ele armazene em sua memória de longo de prazo que, nesse determinado problema, essa estratégia utilizada não resolve o desafio, e então, consiga assimilar as estratégias que o solucionam.

Nesta pesquisa, entende-se por *feedback* imediato, uma resposta instrucional e motivacional dada ao jogador aprendiz imediatamente após sua ação, seja para reforçar um acerto ou explicar e exemplificar o motivo do seu erro.

Para os casos em que ele poderá ser intermediário na conclusão do desafio, basta que seja diagnosticado com esse nível de conhecimento em um dos três problemas. Pois, entende-se que o esperto não tem dúvidas sobre as soluções dos problemas, pois seus esquemas na memória de longo prazo já são automatizados, enquanto que o

intermediário precisa reforçar o conhecimento para automatizar seus esquemas.

Por esses motivos, também, as progressões nos desafios são lineares para os jogadores aprendizes novatos e intermediários, e ramificadas para os especialistas.

As pontuações no *ranking* e as recompensas variam de acordo com o nível de conhecimento na conclusão de cada fase e também a ordem de cada mundo.

Para o final de cada fase, a pontuação e o *ranking* são:

- **Novato:** 10 pontos no *ranking* e uma lente convergente como recompensa;
- **Intermediário:** 50 pontos no *ranking* e como recompensa uma lente convergente e uma divergente;
- **Especialista:** 100 pontos no *ranking* e óculos como recompensa.

Para o final de cada mundo temos as respectivas pontuações no *ranking* e recompensas:

- **Mundo 1:** 10 pontos e uma lupa;
- **Mundo 2:** 20 pontos e uma luneta;
- **Mundos 3:** 30 pontos e um microscópio;
- **Mundo 4:** 40 pontos e um projetor de *slides*.

A priori, as regras já estabelecidas para a proposta do jogo digital educativo TracIm, atendem alguns apontamentos já discutidos nos capítulos anteriores, respeitando o tempo de aprendizagem do jogador aprendiz e simplificando os desafios propostos, através do reconhecimento do nível de conhecimento por problemas específicos em cada uma das fases, para não sobrecarregar a memória de trabalho, principalmente quando ele for novato.

As demais regras necessárias para a conclusão do desenvolvimento do jogo, assim como outros elementos importantes que não foram discutidos ao longo do trabalho, estarão presentes em trabalhos futuros, sendo que o primeiro será programar e disponibilizar esse recurso digital educativo para auxiliar no ensino e aprendizagem de Física.



## Instrução e *feedbacks*

Nesta proposta temos a instrução, que será o material instrucional disponibilizado ao jogador aprendiz para que ele consulte quando achar necessário e os *feedbacks*, que serão oferecidos quando necessários nas resoluções de cada problema que permeiam os desafios, através da personagem controlada pelo sistema de jogo, a Física especialista em formação de imagem real em lentes.

É pertinente ter esses dois tipos de informações por alguns motivos. Primeiro, porque segundo Gee (2008), em seu princípio denominado “na hora certa e a pedido”, bons jogos têm dois tipos de informação, ou seja, para o TracIm, a informação deve ser oferecida em um determinado momento quando ele erra, através dos *feedbacks*, e a pedido, quando ele consulta o material instrucional. Esses dois meios de informações sobre os conceitos auxiliam o indivíduo a relacionar suas ações com o que deve ser aprendido.

O segundo motivo é para poder oferecer o *feedback* adequado com o nível de conhecimento. Se o jogador aprendiz for novato, é interessante que seja, por exemplo, trabalhado, se ele for intermediário é relevante que seja, por exemplo, complementar e, caso ele seja especialista, não receberá *feedback*, mas poderá consultar o material instrucional se achar pertinente.

Outro aspecto que deve ser considerado no momento de transmitir a informação como *feedback*, é que seja apontado exatamente qual foi o erro, e a mensagem com a informação para auxiliá-lo a corrigir sua estratégia esteja temporal e espacialmente conectada com esse erro.

Para exemplificar, como os itens descritos dialogam com as fases do jogo proposto, iremos discorrer somente sobre alguns elementos da fase 1, que correspondem ao desafio que tem como objetivo inserir o jogador aprendiz no mundo virtual. As tarefas que compõem todas as fases do jogo estão descritas no Apêndice A. A concepção e programação do jogo completo foge dos objetivos deste trabalho, que deve se adequar ao tempo disponível de um trabalho de dissertação, que é de 24 meses.

### 5.1.3.1 Fase 1 – Laboratório 1

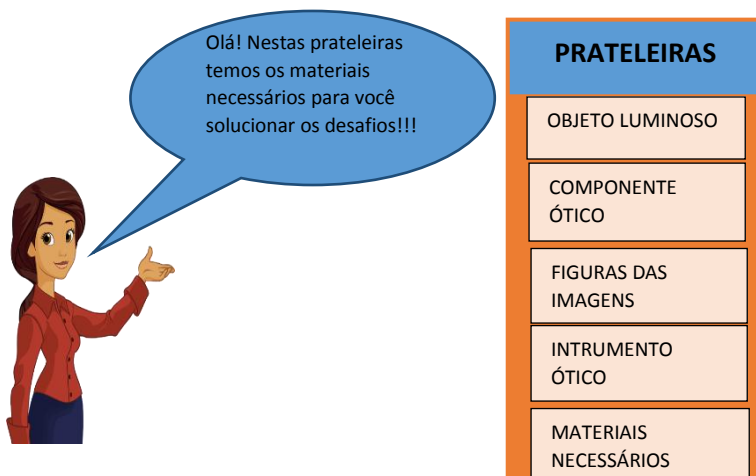
Essa primeira fase tem a importância de inserir o jogador aprendiz no contexto do mundo virtual, para que ele compreenda os objetos e desafios das próximas fases.

Sendo assim, o primeiro desafio é montar o experimento, de modo que ele entenda a posição do objeto, da lente e a posição e propriedades da imagem, para o caso específico de formação de imagem real em lente convergente, no qual o objeto está posicionado depois do foco, obtendo uma imagem real, invertida e maior que o objeto.

É importante que nessa fase, a Física especialista forneça instruções o tempo todo, para que ele saiba aonde colocar o objeto, a lente e a imagem. Na tela do jogo, esses valores já estarão fixos de modo a não permitir posicionar nenhum dos itens em outras posições, pois todos os outros desafios consideram a mesma posição do objeto e da lente.

Para iniciar a descrição dessa fase, partiremos do cenário. Na figura 19 mostramos um modelo de como será o laboratório. Portanto, assim que o jogador aprendiz adentrar no laboratório 1, a Física especialista irá apresentar a ele o que compõe esse cenário, por exemplo, irá apresentar cada prateleira e dizer que ali estão os objetos, imagens, instrumentos óticos e outros materiais que talvez sejam necessários para solucionar os desafios de todas as fases

Figura 23 - Exemplo da apresentação de cada material que compõe as fases do jogo



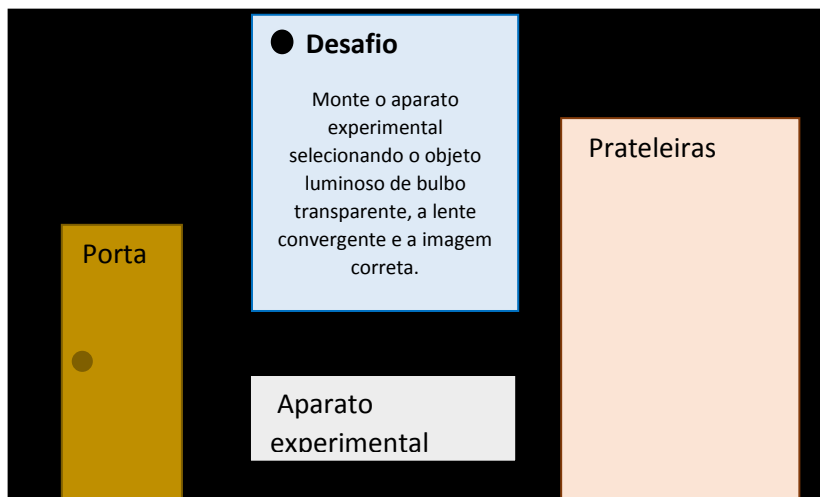
Fonte: A autora

Essa apresentação é importante para que o jogador aprendiz saiba aonde explorar, procurar, selecionar e sintonizar com o tema do jogo, os desafios, elaborar estratégias de solução, visualizar como pode ser um laboratório real e fazer suas ações.

Para cada objeto que forma o cenário do laboratório, uma apresentação será feita de modo específico, como apresenta a figura 23, de modo que a informação a ser passada se conecte com a representada visualmente na tela.

Após essas apresentações, a Física especialista irá propor o desafio e dizer que, sempre que ele precisar reler e ouvir esse problema, ela estará disponível em uma das opções inseridas na tela *touch screen* (Figura 24).

Figura 24 - Representação de como aparecerá o desafio caso o jogador aprendiz precise recapitular o desafio proposto na fase 1



Fonte: A autora

Antes de o jogador aprendiz iniciar suas ações, a Física especialista irá fornecer uma explicação do que é o foco, objeto luminoso, instrumento ótico e as propriedades das imagens que variam com a posição do objeto. Essas explicações devem ter elementos visuais

e verbais, de modo que elas estejam juntas temporal e espacialmente para não sobrecarregar a memória de trabalho.

Caso o aprendiz necessite ter acesso a essa instrução, basta selecionar a opção *feedback* na tela *touch screen*, de modo análogo ao exemplo utilizado na figura 24, para a opção desafio.

Após todas essas instruções e apresentação do desafio, é possível que o personagem do estudante inicie suas ações. Para diagnosticar seu nível de conhecimento, a montagem do aparato experimental foi dividida em três problemas: (1) selecionar o objeto luminoso, (2) selecionar o instrumento ótico e (3) selecionar a figura da imagem que apresenta as propriedades corretas de acordo com a posição do objeto e tipo de instrumento ótico.

Fragmentar o desafio em vários problemas, atende à discussão apresentada no capítulo três, denominada simplificação. Pois articulamos que a instrução deva ser facilitada para não sobrecarregar a memória de trabalho, de modo que prejudique a aprendizagem, principalmente quando se tratar de uma nova informação, com alto grau de interatividade.

Nesse contexto, consideramos que a primeira fase do jogo TracIm é para inserir o jogador aprendiz no mundo virtual, ou seja, partimos do pressuposto que ele está tendo o primeiro contato com as interações, telas, desafios, entre outros, de modo que consideramos que todas essas informações sejam novas para ele.

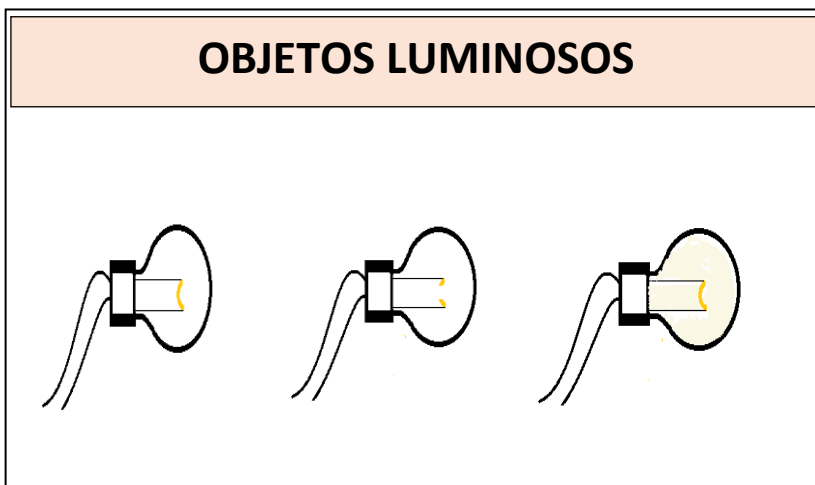
Portanto, esse passo a passo dos três problemas será desenvolvido primeiro, pela instrução da Física especialista, apontando qual deve ser a primeira ação executada pelo jogador, depois, ele deverá selecionar o que foi pedido e, por fim, um *feedback*.

Para que seja possível compreender esse passo a passo, ou seja, cada problema, iremos descrevê-los, salientando os critérios de diagnóstico para o nível de conhecimento, *feedbacks* e instruções.

➤ Primeiro problema: selecionar o objeto luminoso

Na prateleira de objetos luminosos, o jogador aprendiz terá as seguintes opções: lâmpada de bulbo transparente, lâmpada de bulbo transparente queimada (por meio da representação na tela será possível visualizar que o filamento da lâmpada está solto) e uma lâmpada de bulbo fosco, que não será usada nesse desafio, mas em outros (Figura 25).

Figura 25 - Opções de objetos luminosos oferecidos ao jogador aprendiz



Fonte: A autora

A Física especialista irá dizer ao personagem do estudante que ele precisa selecionar um objeto luminoso para colocar na posição adequada da bancada ótica e começar a montar o aparato experimental. Sendo assim, ele terá sua primeira meta e, como ação, irá selecionar o objeto.

Diante disso, temos o primeiro critério para averiguar o nível de conhecimento de acordo com a escolha.

Se ele selecionar a lâmpada de bulbo transparente, como pede o desafio, será especialista e a Física especialista irá fornecer uma mensagem dizendo que ele concluiu essa tarefa com sucesso e já poderá passar para a próxima, que será selecionar o instrumento ótico.

Caso o jogador aprendiz selecione a lâmpada de bulbo transparente queimada, será considerado intermediário, pois entendeu que precisava ser de bulbo transparente, mas não observou o filamento da lâmpada. Sendo assim, no momento da seleção, a Física especialista dará um *feedback* através de um exemplo complementar sobre uma lâmpada queimada e uma lâmpada que não esteja queimada.

E por fim, se ele selecionar a lâmpada de bulbo fosco, será novato, por não conseguir compreender nem o que pedia o desafio. Portanto, a Física especialista irá apresentar um exemplo resolvido sobre

uma imagem com uma lâmpada de bulbo transparente e uma lâmpada de bulbo fosco.

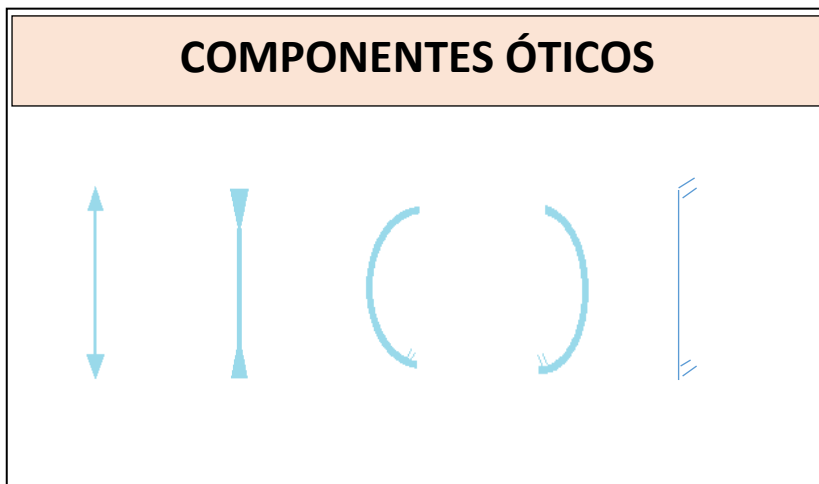
Considerando essas três opções, o jogador aprendiz terá quantas chances quiser para selecionar o objeto correto, porque o objetivo não é que ele reinicie a fase, mas sim, que ele compreenda os conceitos envolvidos e os *feedbacks* oferecidos. No entanto, para definir o nível de conhecimento que ele concluirá os problemas, será pela primeira escolha que ele fez tanto nesse problema, quanto nos próximos.

Para o intermediário e novato, assim que eles selecionarem o objeto correto, irão receber uma mensagem dizendo que concluíram a primeira tarefa e, portanto, podem passar para a segunda, que é selecionar o instrumento ótico.

➤ Segundo problema: instrumento ótico

Na prateleira de instrumento ótico, o jogador aprendiz terá as seguintes opções: lente convergente, lente divergente, espelho plano, espelho côncavo e espelho convexo (Figura 26).

Figura 26 - Componentes óticos disponibilizados ao jogador aprendiz



Fonte: A autora

Caso ele selecione a lente convergente, será considerado esperto e receberá a mensagem que pode passar para o próximo problema, no qual



deverá selecionar a figura da imagem que é formada através da posição do objeto luminoso e a lente convergente.

Se ele selecionar a lente divergente, será considerado intermediário, pois compreende o que é lente, mas não sabe diferenciá-las. Sendo assim, receberá uma instrução por meio de um exemplo complementar que mostra o que é uma lente divergente e apresenta um problema de lente convergente, mas perguntando qual tipo de lente.

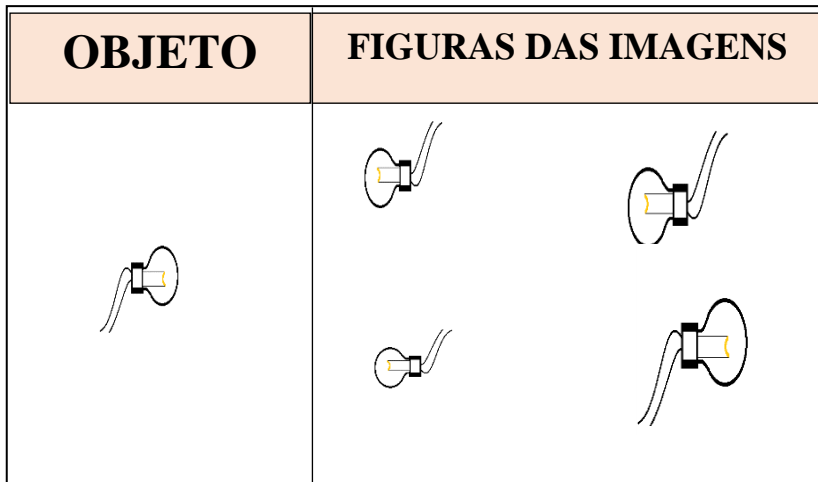
Por fim, se o jogador aprendiz selecionar qualquer um dos tipos de espelho, será considerado novato, por mostrar que não sabe diferenciar os instrumentos óticos representados na tela. Por ser novato, receberá um *feedback* por meio de um exemplo resolvido que mostra um fenômeno com espelho, um fenômeno com lente divergente e um fenômeno com lente convergente.

Após o intermediário e novato selecionarem o instrumento correto, receberão a mensagem que concluíram o problema e podem resolver o próximo, que é selecionar a figura da imagem que é formada através da posição do objeto luminoso e a lente convergente.

➤ Terceiro problema: selecionar a figura da imagem

Na prateleira com as figuras das imagens teremos as seguintes opções para oferecer ao jogador aprendiz: imagem real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto; imagem real, invertida e menor que o objeto; imagem real, invertida e maior que o objeto; e uma imagem virtual, direita e maior que o objeto (Figura 27). Essas imagens abordam os casos que representam formação de imagem em lente convergente, e os *feedbacks* reforçam a informação dada no início da fase, que existem outros casos, mas as fases do jogo permeiam apenas imagem real, invertida e maior que o objeto.

Figura 27 - Figuras de imagens formadas em lente convergente, disponibilizadas ao jogador aprendiz



Fonte: A autora

Diante dessas opções, temos as seguintes considerações para os níveis de conhecimento: **especialista**, ao selecionar a figura com a imagem real, invertida e maior que o objeto; **intermediário**, se escolher qualquer outra imagem real por demonstrar que precisa reforçar sobre o tamanho da imagem, e **novato**, caso opte pela imagem virtual, pois entendemos que ele não compreendeu que as imagens reais formadas em lente convergente são todas invertidas e não direita.

Quanto aos *feedbacks* que serão oferecidos, para o especialista, terá uma mensagem dizendo que ele concluiu a primeira fase e poderá jogar a segunda. O intermediário receberá a instrução de um exemplo complementar que aponte e esclareça os tipos de imagens reais em lente convergente, e o novato receberá um exemplo resolvido com a imagem real do caso apropriado para o jogo e um exemplo resolvido da imagem virtual em lente convergente.

É importante dizer que a quantidade de instruções dadas pela Física especialista, apontando quais devem ser as ações do jogador aprendiz, não pode acontecer em todas as fases para que ele elabore suas próprias estratégias, ou seja, devem estar presentes apenas na fase inicial, para inseri-lo no mundo virtual, e naquelas fases que abordarem

uma nova informação e exigirem uma nova habilidade. Mas, os *feedbacks* devem ser dados de acordo com o nível de conhecimento.

Após concluir esse último problema é possível definir o nível de conhecimento final do jogador aprendiz, dando a ele as pontuações correspondentes no *ranking* e sua recompensa.

Existem detalhes no decorrer do desenvolvimento das fases, como elementos a serem considerados e discutidos, que será possível apontar quando iniciarmos a programação, pois teremos a opção de fazer testes de validação, analisar outros aspectos e até excluir o que não for necessário.

Para apontar como as discussões apresentadas no capítulo três, que se deram através da articulação entre os norteadores teóricos, podem estar inseridas na concepção de um jogo digital educativo, descrevemos a visão geral do jogo proposto, TracIm, e exemplificamos por meio da fase inicial alguns itens discutidos.

Espera-se que as considerações feitas auxiliem a refletir sobre como elaborar um jogo digital educativo que, concebido através de pressupostos teóricos, facilite a aprendizagem



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizar jogos digitais educativos é promissor, o jogador aprendiz tem a oportunidade de aprender de modo descontraído, sem precisar se preocupar com os riscos de estratégias e punições.

No entanto, uma inquietação é pensar quais são os cuidados que devemos ter na elaboração desse recurso para que as representações não prejudiquem a aprendizagem e os conceitos sejam inseridos corretamente.

Com o intuito de tentar sanar essa aflição, partimos para os estudos de pressupostos teóricos que pudessem auxiliar na concepção de elaboração de um jogo digital educativo. Sendo assim, foram utilizados quatro norteadores.

O primeiro, a Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011), que nos permitiu compreender como recebemos, processamos e armazenamos as informações, respeitando o nível de conhecimento. O segundo, a Visualização na Matemática, Leitura e Educação Científica (PHILLIPS; NORRIS; MACNAB, 2010), que contribui com os cuidados que devemos ter nas representações das telas.

A Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais apontou como elementos importantes podem ter uma influência direta e positiva na aprendizagem do jogador aprendiz (GEE, 2004, 2008, 2009), como por exemplo, os personagens. E, por fim, para compreendermos quais elementos configuram um jogo digital, mergulhamos em um estudo de *Game Design* (RABIN, 2012).

Por meio desses norteadores teóricos, conseguimos articular algumas ideias que eles apresentam, e então, foi possível identificar seis características que consideramos relevantes para estarem presentes na elaboração de jogos digitais educativos, como descritas no capítulo três: (1) nível de conhecimento, (2) elementos visuais e auditivos, (3) progressão do conteúdo com o nível de conhecimento, (4) simplificação, (5) projeção do personagem e (6) colaboração entre os jogadores.

Para mostrarmos como essas características podem estar inseridas em um jogo digital educativo, elaboramos a matriz de aprendizagem situada do jogo e consolidamos uma proposta, o jogo TracIm, com o tema formação de imagem real em lentes convergentes.

Como apontado no capítulo quatro, a Matriz de Aprendizagem Situada mostra meios para podemos aprender com alguns aspectos relevantes inseridos nos jogos: (1) as condições de experiência, (2) a identidade social e (3) os outros elementos que a compõe.

Na Figura 7, apresentamos o modelo proposto e ele nos ajudou a estruturar elementos do jogo TracIm, de modo que ele fosse configurado para auxiliar na aprendizagem sobre formação de imagem real em lente convergente.

O primeiro passo foi atender às condições de experiência, dado que o autor (GEE, 2008) aponta que, quando elas estão presentes na elaboração de um jogo, as experiências são organizadas na memória de longo prazo do jogador, propiciando que eles elaborem estratégias para futuras ações no jogo.

A primeira condição de experiência diz que as experiências são mais úteis para solucionar problemas se forem estruturadas por objetivos específicos. Sendo assim, o jogador aprendiz precisa se deparar com desafios específicos, mas que somados, permitam que eles compreendam problemas gerais.

A fragmentação de uma informação que o jogador aprendiz precisa enfrentar para construir o conhecimento, desenvolver habilidades e estratégias, facilita a formação de esquemas na memória de longo prazo por não sobrecarregar a memória de trabalho. Trabalhar o conceito por partes, fragmentando-o, dialoga com a característica para um jogo educativo, apontada no capítulo três como simplificação.

Nesse contexto, foram desenvolvidas várias fases para o jogo proposto, de modo que cada uma delas trabalhe especificamente os desafios para que o jogador aprendiz possa construir o conhecimento e desenvolver as habilidades necessárias sobre os conceitos envolvidos na formação de imagem real, invertida e maior que o objeto em lente convergente.

A segunda condição de experiência aponta que as experiências são úteis nas resoluções de problemas futuros, se forem interpretadas. Para interpretar, é preciso pensar em ação e depois da ação, ou seja, por meio de lições já aprendidas, antecipar quando e onde elas podem ser úteis.

O jogo digital, quando estruturado por níveis de dificuldades, permite interpretar as experiências anteriores, pois para concluir o desafio seguinte é preciso reforçar os conceitos aprendidos anteriormente.

Para o jogo desta pesquisa, os desafios são progressivos, permitem que o jogador aprendiz, que já conseguiu interpretar ações anteriores, flua no jogo de modo ramificado e, aquele que não conseguiu interpretar a experiência obtida, passe para um nível com o desafio semelhante, de modo que reforce o conceito.

Outro aspecto do jogo, que atende essa segunda condição de experiência, é o fato de que em todas as fases propostas ele terá que interpretar os princípios básicos utilizados para formação de imagem real em lente convergente, por exemplo, o que é um objeto luminoso, onde ele estará localizado, o que é uma imagem e quais são algumas de suas propriedades. Esses objetivos educacionais são utilizados em todas as fases do jogo, direta ou indiretamente.

A terceira condição de experiência relata que as pessoas necessitam de *feedbacks* imediatos durante suas experiências para que possam avaliar seus erros e expectativas.

Nesse sentido, para todas as ações, desde selecionar o objeto e até a meta final, o personagem da Física especialista em formação de imagem real em lente convergente aparecerá para dar os *feedbacks* necessários, inclusive aqueles que remetem a uma mensagem positiva, para demonstrar que o raciocínio está correto.

A quarta condição de experiência aponta que é necessário dar amplas oportunidades para as pessoas aplicarem suas experiências anteriores e interpretá-las em situações similares. Por essa condição, o jogo proposto não expande o conteúdo abordado de ótica geométrica, apenas se apropria de questionamentos feitos em uma pesquisa (GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987) (Apêndices A e B) para aprofundar determinados conceitos de modo que automatizem na memória de longo prazo.

E, por fim, a quinta condição de experiência diz que as pessoas precisam aprender com as experiências e interpretações de pessoas especializadas, ou seja, precisam ser instruídas por meio de diálogos, modelagem, exemplos resolvidos e outras estratégias de instrução.

Nesse contexto se dá o primeiro aspecto para a escolha de um personagem, sendo uma Física especialista em formação de imagem real em lente convergente, que será responsável por instruir e dar os *feedbacks* necessários.

Além desse personagem, tem as instruções disponíveis na tela *touch screen* para o jogador aprendiz, no momento em que ele sentir a necessidade de consultar, que permitem instruí-lo tanto no *quiz* quanto em qualquer fase do jogo, por meio de figuras, esquemas e exemplo resolvido.

Como podemos observar, o jogo digital educativo proposto, atende todas as condições de experiência. Sendo assim, é possível compreender como se dá a Matriz de Aprendizagem Situada.

Na construção dos desafios, nos apropriamos da pesquisa realizada por Goldberg e McDermott (1987) (Apêndices A e B), que investigaram as dificuldades conceituais de estudantes de graduação sobre fenômenos relacionados ao tema do jogo. As tarefas realizadas por eles resultaram em nove fases no TracIm, porém, terminar as descrições e articulações teóricas para as outras fases, além da primeira descrita neste trabalho, é um trabalho futuro.

Descrevemos a primeira fase, por dois motivos. Apontar os itens descritos na visão geral do jogo, que já é abordada com as características identificadas através da articulação teórica entre os pressupostos, e por ser a fase inicial, aquela que precisa de várias instruções e detalhes para poder inserir o jogador aprendiz no mundo virtual, contextualizando o cenário com o tema, para que nas próximas fases ele consiga exercer suas estratégias sozinho.

Consideramos importante que o estudo e aprofundamento dessa discussão seja um trabalho futuro, pois como se trata de uma dissertação produzida em dois anos, “mergulhar” nesses trabalhos exige mais tempo.

Outro trabalho futuro é programar esse jogo e aplicá-lo. Uma possível escolha de linguagem de programação é conhecida como LUA (CELES; FIGUEIREDO; IERUSALIMSCHY, 2004). Ela foi desenvolvida por um grupo de pesquisa da PUC, com o propósito de solucionar problemas da Petrobras. No entanto, ela foi apropriada para o desenvolvimento de jogos por ser gratuita, extensível e permitir integrar programas hospedeiros, por exemplo, escritos em C e C++.

Programar este jogo é importante para testar e validar as características apontadas como relevantes no terceiro capítulo. E, então, poder disponibilizar para que seja mais um recurso didático disponível, acessível a todo, para contribuir com o ensino e aprendizagem de Física.



## 7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.C.; MOREIRA, J.A.M. Aprendizagem baseada em jogos digitais na esfera do real e do virtual. In: CONFERENCIA DE CIÊNCIAS E ARTES DOS VIDEOJOGOS, 2014.

BLIZAK, D.; CHAFIQI, F.; KENDIL, D. Students misconceptions about light in Algeria. *Optical Society of America Technical Digest Series*, 2009.

CARDOSO, V.C.; MIRANDA, E.S.; KATO, L.A. Jogos Digitais e Fatoração de Expressões Algébricas no Ensino Fundamental. In: ENCONTRO PARANAENSE DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 12, 2014.

CELES, W.; FIGUEIREDO, L.H.; IERUSALIMSCHY, R. A Linguagem LUA e suas aplicações em Jogos. Disponível em: <<https://www.lua.org/doc/wjogos04.pdf>>. Acesso em 5 de outubro de 2016.

D'AVILA, G. UMA INTRODUÇÃO NO DESENVOLVIMENTO MÓVEL DE JOGOS COM FRAMEWORK MULTI-PLATAFORMA. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Desenvolvimento de Jogos Digitais) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Centro Paula Souza, Americana, 2012.

EICHLER, M.L.; JUNGES, F.; PINO, J.C.D. O papel do jogo no ensino de radioatividade: os softwares Urânio-235 e Cidade do Átomo. *Novas Tecnologias na Educação*, v.3, n.1, 2005.

FILHO, C.A.C.L.; et al. Um Jogo Educacional na Web no Contexto do Ensino Fundamental. *Novas Tecnologias na Educação*, v.12, n.1, 2014.

GEE, J.P. *Learning by design: Games as learning machines. Interactive Educational Multimedia*, n.8, p. 15-23, 2004.

GEE, J.P. *Learning and Games*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2008.

GEE, J.P. Bons videogames e boa aprendizagem. Revista Perspectiva, v.27, n.1, p. 167-178, 2009.

GOLDBERG, F.M.; MCDERMOTT, L.C. An Investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. American Association of Physics Teachers, v.55, n.2, 1987.

GUERREIRO, M.A.S. Os efeitos do Game Design no processo de criação de Jogos Digitais utilizados no Ensino de Química e Ciências – O que devemos considerar?. 2015. 298f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2015.

JESUS, A.M.; GONÇALVES, D.A.S.; FERREIRA, L.A.C. Aplicação de Desenvolvimento de Jogos Digitais como um Meio de Motivação em Diferentes Níveis de Ensino de Computação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 3, 2014.

KESSLER, M.C.; et al. Impulsionando a aprendizagem na universidade por meio de jogos educativos digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 21, 2010.

PAULA, B.H.; VALENTE, J.A. A criação de jogos digitais como abordagem pedagógica. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN, 2014.

PHILLIPS, L.M.; NORRIS, S.P.; MACNAB, J.S. Visualization in Mathematics, Reading and Science Education. New York: Springer, 2010.

POETA, C.D.; GELLER, M. Jogos Digitais Educacionais: concepções metodológicas na prática pedagógica de matemática no Ensino Fundamental. Educação Matemática em Revista, v.1, n.15, p. 49-64, 2014.

RABIN, S. Introdução ao Desenvolvimento de Games. Editora: Cengage Learning, v.1, 2012

RAUBER, M.F. Sistema tutor inteligente aplicado ao ensino de ciências: uma proposta de arquitetura. 2016. 158f. Dissertação

(Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SAVI, R.; ULBRICHT, V.R. Jogos Digitais Educacionais: Benefícios e Desafios. *Novas Tecnologias na Educação*, v.6, n.2, 2008.

SHAW, G.L.; RIBEIRO, M.S. Games no Ensino de Ciências: desafios e possibilidades. *REVASF*, v.4, n.6, p. 98-110, 2014.

SILVA, B.C.; et al. Jogo digital educacional como instrumento didático no processo de ensino-aprendizagem das operações básicas de matemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 3, 2014.

SOFFA, M.M.; ALCANTARA, P.R.C. O uso de software educativo: reflexões da prática docente na sala de aula informatizada. Disponível em:

<  
[http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2008/anais/pdf/335\\_357.pdf](http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2008/anais/pdf/335_357.pdf)>. Acesso em 1 de outubro de 2016.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive Load Theory*. New York: Springer, 2011.

TAROUCO, L.M.R.; et al. Jogos Educacionais. *Novas Tecnologias na Educação*, v.2, n.1, 2004.



## 8 APÊNDICES

### APÊNDICE A - Pesquisas de apoio

Para auxiliar na escolha do tema e da estrutura dos desafios, nos baseamos em uma pesquisa realizada por Goldberg e McDermott (1987), que tinha como objetivo identificar as dificuldades conceituais dos estudantes referentes a alguns conceitos de ótica geométrica.

Além desse trabalho, nos inspiramos na pesquisa desenvolvida por Blizak, Chafiqi e Kendil (2009). Esses autores investigaram se algumas dificuldades conceituais dos estudantes sobre ótica, apontadas nas pesquisas há 30 anos atrás, ainda permaneciam.

As pesquisas são descritas de forma detalhada, com o intuito de ressaltar a relevância desses trabalhos no ensino e aprendizagem de ótica, assim como para o jogo digital educativo proposto.



Goldberg e McDermott (1987)

Fred Goldberg e Lillian McDermott são pesquisadores do grupo renomado de ensino de Física na Universidade de Washington. Dentre os seus diversos trabalhos, esse, apontado nesta pesquisa, trata de uma investigação sobre as compreensões dos estudantes universitários em relação à formação de imagem real através de uma lente convergente e um espelho côncavo.

Os principais questionamentos feitos aos estudantes não foram por perguntas diretas, mas sim, através de um experimento no laboratório, de modo que eles pudessem visualizar como ocorria cada fenômeno envolvido. Sendo assim, foram realizadas entrevistas individuais, questionário e teste de múltipla escolha para coletar os dados.

Foram realizadas quatro tarefas para cada componente ótico. Na descrição delas iremos abordar apenas as referentes à lente convergente, pois é o tema abordado no jogo educativo proposto e elas remetem aos desafios nele presentes.

Para realizar as tarefas e analisar os dados coletados na investigação, os pesquisadores trabalharam com dois grupos de estudantes, denominados: (1) pré-estudantes, que seriam aqueles que não haviam recebido nenhuma instrução de ótica geométrica, e (2) pós-

estudantes, que foram os que receberam instruções sobre ótica geométrica.

Diante dos resultados, é possível notar que os pós-estudantes tiveram melhor desempenho nas tarefas do que os pré-estudantes. Porém, não foi porque responderam aos questionamentos das tarefas corretamente logo no início, mas sim, pelo fato de terem recebido instruções anteriormente, quando os pesquisadores, nas entrevistas individuais, debatiam de modo que eles refletissem as respostas, fazendo com que eles conseguissem concluir adequadamente.

Antes de realizar as quatro tarefas principais sobre formação de imagem real através de uma lente convergente utilizando o experimento, foi pedido aos alunos que respondessem a um exercício com o seguinte problema: dada a distância focal de  $17\text{ cm}$ , a posição do objeto em  $25\text{ cm}$ , encontre a posição da imagem através da equação da lente e pelo e diagrama de raios.

Após os alunos resolverem o exercício, eles foram levados ao laboratório e foi pedido para providenciarem na bancada ótica a localização do objeto e da imagem, de acordo com os dados do problema.

O intuito, nesse caso, era identificar se os alunos tinham dificuldades de partir das representações simbólicas para a estrutura na bancada ótica e poucas foram diagnosticadas. No entanto, quando os questionamentos iniciaram modificando situações relacionadas ao experimento, diversas dificuldades se destacaram.

Nas tabelas abaixo, podemos observar as dificuldades encontradas pelos estudantes nas quatro tarefas relacionadas a essas modificações nos experimentos. Os dados apresentados são divididos para os grupos de pré-estudantes e pós-estudantes, sendo que o número de alunos envolvidos nas diferentes formas de coletas de dados não são os mesmos, de modo que, para o primeiro grupo, foram utilizadas entrevistas individuais e questionário, e para o segundo, foram utilizadas entrevistas individuais e teste de múltipla escolha. Contudo, na tarefa quatro não foi possível concluir resultados através do questionário e do teste, portanto, são apresentados apenas os referentes às entrevistas individuais.

Tabela 2 - Tarefa 1 do artigo. A resposta destacada (\*) representa a correta.

<b>Tarefa 1: se remover a lente, algo mudaria na tela?</b>				
<b>Respostas</b>	<b>Pré-estudantes</b>		<b>Pós-estudantes</b>	
	<i>Grupo de entrevista individual (N = 38) %</i>	<i>Grupo do questionário (N = 172) %</i>	<i>Grupo de entrevista individual (N = 22) %</i>	<i>Grupo do teste de múltipla escolha (N= 222) %</i>
<b>Não tem imagem*</b>	35	35	50	55
<b>Imagem direita</b>	60	60	40	45
<b>Outras</b>	5	5	10	0

Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

Observando a tabela 2, podemos notar que a maioria dos pré-estudantes não responderam corretamente ao questionamento feito. E mesmo os pós-estudantes tendo melhor desempenho, a diferença de porcentagem representada entre os que responderam de modo correto e os que não responderam, é baixa.

Tabela 3 - Tarefa 2 do artigo. A resposta destacada (\*) representa a correta.

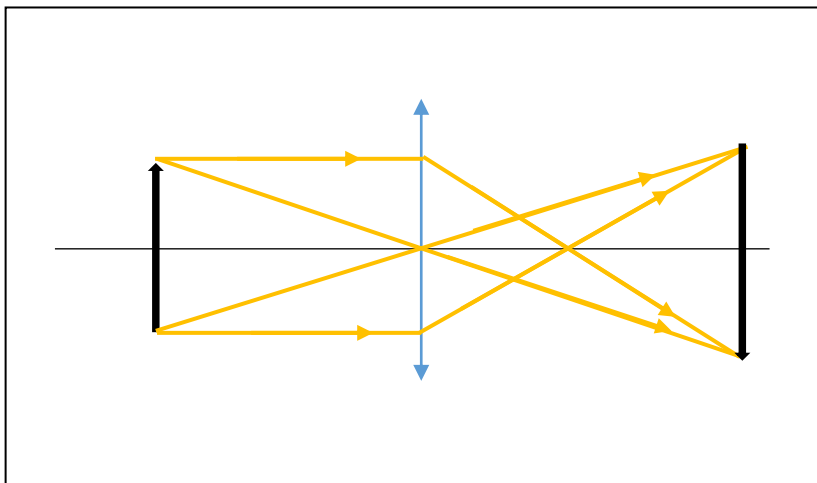
<b>Tarefa 2: se a metade da lente fosse coberta, algo mudaria na tela?</b>				
<b>Respostas</b>	<b>Pré-estudantes</b>		<b>Pós-estudantes</b>	
	<i>Grupo de entrevista individual (N = 36) %</i>	<i>Grupo do questionário (N = 172) %</i>	<i>Grupo de entrevista individual (N = 23) %</i>	<i>Grupo do teste de múltipla escolha (N= 222) %</i>
<b>A imagem permanece inteira*</b>	0	10	35	25
<b>Metade da imagem desaparece</b>	95	90	55	75
<b>Outras</b>	5	0	10	0

Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

Os pré-estudantes, quase em sua totalidade, não conseguem compreender o método dos raios, por esse motivo, a maioria não conseguiu responder corretamente como seria formada a imagem caso a lente fosse coberta pela metade (Tabela 3). Para concluir isso, os autores se basearam nos traçados dos raios elaborados pelos estudantes para justificar suas respostas (Figura 28).



Figura 28 - Diagrama desenhado por um estudante com o intuito de justificar para os autores porque desapareceria metade da imagem caso parte da lente fosse coberta



Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

Tabela 4 - Tarefa 3 do artigo. A resposta destacada (\*) representa a correta.

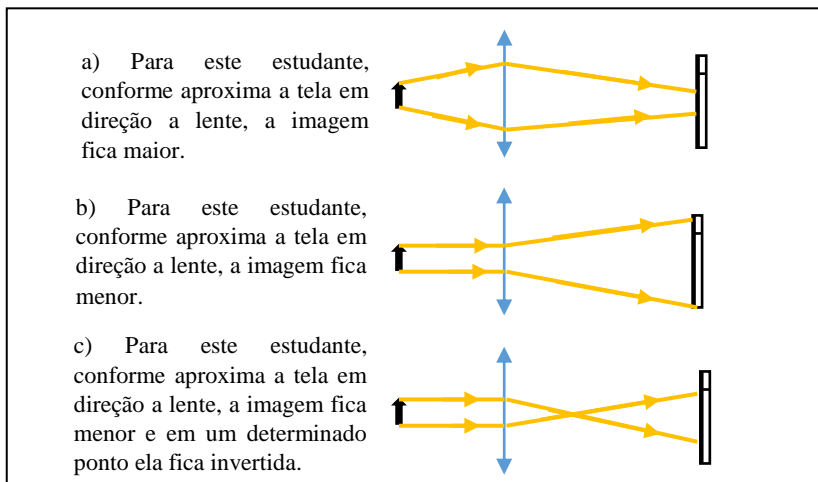
<b>Tarefa 3: se a tela for movida até a lente, algo mudaria nela?</b>				
<b>Respostas</b>	<b>Pré-estudantes</b>		<b>Pós-estudantes</b>	
	Grupo de entrevista individual (N = 37) %	Grupo do questionário (N = 172) %	Grupo de entrevista individual (N = 19) %	Grupo do teste de múltipla escolha (N= 170) %
<b>Não haveria imagem*</b>	10	5	40	35

<b>A imagem muda de tamanho e fica distorcida</b>	20	10	35	65
<b>A imagem muda de tamanho e fica mais clara</b>	70	85	25	

Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

As respostas dos estudantes para o questionamento apontado na tarefa 3 (Tabela 4), estão relacionadas às compreensões que eles possuem sobre o método dos raios para formar uma imagem. Na figura 29 podemos observar claramente as concepções de porque a imagem mudaria de tamanho, ora seria maior e ora seria menor.

Figura 29 - Desenho apresentado pelos autores, feitos pelos estudantes, para justificarem suas respostas do que aconteceria com a imagem caso a tela fosse movida em direção a lente



Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

Na tarefa 4, devido ser necessário observar o experimento, foi possível diagnosticar as respostas dos estudantes apenas pelas entrevistas individuais (Tabela 5).

Tabela 5 - Tarefa 4 do artigo. A resposta destacada (\*) representa a correta.

<b>Tarefa 4 (este questionamento ocorreu enquanto os estudantes olhavam para a imagem): qual a localização da imagem ao remover a tela?</b>		
<b>Respostas</b>	<b>Pre estudantes: entrevistas individuais (N = 15) %</b>	<b>Pos estudantes: Entrevistas individuais (N = 21) %</b>
<b>Na mesma posição que a tela estava*</b>	0	25
<b>Em algum lugar entre a lente e o olho</b>	10	25
<b>Na localização da lente</b>	90	20
<b>Entre a lâmpada e a lente</b>	0	30

Fonte: GOLDBERG; MCDERMOTT, 1987

Em algumas tarefas, devido à quantidade de respostas equivocadas dos estudantes, os autores modificavam algumas situações, por exemplo, trocavam a lâmpada de bulbo transparente por uma de bulbo fosco e abordavam o fenômeno a ser estudado. Contudo, demos destaque apenas para as tarefas centrais da pesquisa.

Observando os resultados de todas as tarefas, é possível notar que, em nenhuma, os desempenhos foram satisfatórios, no sentido de uma elevada porcentagem de acertos comparados aos erros. Os autores concluíram que é preciso trabalhar os fenômenos que ocorrem através dos componentes óticos, em instruções de ótica geométrica, pois ficou evidente que os estudantes sabem representar simbolicamente, porém, não compreendem dois importantes aspectos: (1) as funções dos

componentes óticos, e (2) que o método dos raios é apenas para localizar a imagem e não formar a imagem.

Em concordância com os autores, essa pesquisa se apropria dos questionamentos feitos por eles aos estudantes, para elaborar os desafios propostos no jogo digital educativo, com o intuito de contribuir para instruções de ótica geométrica e propiciar uma aprendizagem descontraída e descompromissada.



Blizak, Chafiqi e Kendil (2009)

Na literatura há trabalhos relevantes que abordam as dificuldades conceituais dos estudantes sobre a ótica geométrica. Partindo de alguns desses trabalhos, os autores desenvolveram uma pesquisa, sendo que um dos intuítos foi investigar se, após 20 anos de resultados, esses equívocos ainda permaneciam. Dentre esses equívocos, podemos destacar:

- Os estudantes não indicam as direções nas representações da luz;
- Não compreendem o método dos raios e a posição da imagem;
- Acreditam que a imagem está posicionada de acordo com as localizações dos observadores;
  - Não compreendem as funções dos componentes óticos;
  - Concluem que, se cobrir metade de uma lente, resultará em uma meia imagem;
  - Pensam que cada ponto em um objeto luminoso emite luz em apenas uma direção;
  - Acreditam que o tamanho da imagem depende do tamanho da lente;

Portanto, Blizak, Chafiqi e Kendil (2009) aplicaram um teste de múltipla escolha, contendo 12 perguntas para 246 estudantes universitários que receberam instruções sobre ótica geométrica no nível secundário.

Para elaborarem as perguntas, eles partiram dos trabalhos encontrados na literatura, modificando apenas o que fosse necessário. As questões abordavam: visão, propagação da luz, sombras, formação de imagens através dos espelhos e formação de imagens através das lentes.

Diante dos diversos resultados encontrados, ressaltamos os seguintes:

- 45% dos estudantes compreendem cientificamente a relação entre os olhos, a fonte de luz e a imagem;
- Quase metade dos alunos acredita que é necessário o ar para a luz se propagar;
- Que, quando não tem ar, a luz se propaga na horizontal;
- Os estudantes acreditavam que, quando a tela se deslocasse em direção à lente ou se distanciasse dela, a imagem tornava-se maior ou menor;
- Ao cobrir metade da lente, a maioria dos estudantes apresentou respostas equivocadas, por exemplo, que formaria meia imagem, que a imagem iria desaparecer, entre outras;
- Acreditavam que, para formar uma imagem, o raio de luz deveria passar pelo centro da lente.

Os resultados encontrados apontam, segundo os autores, que não houve mudanças entre as dificuldades conceituais encontradas há 20 anos e atualmente. Sendo assim, eles contribuem com este trabalho para que professores ou pesquisadores que queiram abordar a ótica geométrica, partam desses equívocos para suas abordagens e instruções.

## APÊNDICE B – OS DESAFIOS PROPOSTOS NO JOGO TracIm

Para melhor compreensão dos desafios, partiremos para as descrições de todas as tarefas realizadas por Goldberg e McDermott (1987), o modo de apropriação delas para cada fase do jogo e os objetivos educacionais a serem atingidos quando concluem com sucesso os problemas propostos.



### Tarefa 1

A tarefa 1 contém três atividades que correspondem a três fases do jogo, sendo respectivamente, o laboratório 1, laboratório 2 e laboratório 3.

Quadro 1 - Descrição da atividade 1 e seu desafio correspondente no jogo

**ATIVIDADE 1: dada a distância focal de **0,17** metros, a distância do objeto de **0,25** metros da lente, calcule a posição da imagem e a desenhe pelo método dos raios.**

**RESULTADOS: praticamente todos os estudantes encontraram a resposta correta para a distância da lente até a imagem, sendo de aproximadamente **0,50** metros, e conseguiram desenhar utilizando o método dos raios. Após solucionarem essa atividade, foram levados a um laboratório que tinha uma bancada ótica com uma lâmpada de bulbo transparente como objeto luminoso, uma lente convergente e uma tela, posicionados de acordo com os dados oferecidos para resolução do problema e os dados encontrados. Esse aparato experimental subsidia todas as outras atividades.**

**LABORATÓRIO 1: o desafio proposto nesta fase possui algumas diferenças da atividade para que o jogador aprendiz possa compreender como será o jogo. Portanto, ele deverá montar o aparato experimental formado por uma lâmpada de bulbo transparente, uma lente convergente e a imagem correspondente, sendo real, invertida e maior que objeto, como na instrução disponibilizada.**

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS:** aprender a montar o experimento, entender a posição do objeto, da lente, da imagem e as propriedades dela para o caso abordado no jogo.

Quadro 2 - Descrição da atividade 2 e seu desafio correspondente no jogo

**ATIVIDADE 2:** esta atividade é o primeiro questionamento feito pelos pesquisadores após os estudantes entrarem no laboratório e visualizarem o aparato experimental já descrito nos resultados encontrados na atividade 1. Sendo assim, eles fizeram o seguinte questionamento: Se a lente for removida, há alguma mudança na tela?

**RESULTADOS:** A maioria dos estudantes disse que formaria uma imagem direita na tela, como se a lente tivesse a função apenas de produzir a imagem invertida.

**LABORATÓRIO 2:** o personagem da Física especialista encontra o personagem do estudante para apresentar o desafio que ele deve concluir, este desafio, como já apontado, ficará escrito na tela *touch screen*. Essa possibilidade estará presente em todas as fases. Nesse desafio, o primeiro momento para o jogador aprendiz é montar o aparato experimental do modo que ele considere correto para responder ao questionamento proposto na atividade 2. Como nesse desafio não haverá imagem a ser formada porque a lente será removida, na prateleira que contém as figuras de imagens corretas e incorretas, também terá uma figura toda branca que ele deverá colocar sobre a tela para responder corretamente.

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS:** compreender que sem a lente não haverá imagem a ser formada.

Devido a maioria dos estudantes ter errado a resposta da atividade 2, respondendo que formaria uma imagem direita, os pesquisadores propuseram uma terceira atividade, trocando a lâmpada de bulbo transparente para a lâmpada de bulbo fosco, porém, com o mesmo

questionamento. Por esse motivo, consideramos a fase Laboratório 2 como a possibilidade de ter uma progressão ramificada.

Quadro 3 - Descrição da atividade 3 e seu desafio correspondente no jogo

<b><i>ATIVIDADE 3:</i> trocando a lâmpada de bulbo transparente para uma lâmpada de bulbo fosco, foi feito o mesmo questionamento da atividade anterior aos estudantes: Se a lente for removida, há alguma mudança na tela?</b>
<b><i>RESULTADOS:</i> comparando com os resultados encontrados na atividade anterior, um número maior de estudantes acertou a resposta, dizendo que não formaria imagem, porém, a maioria dos estudantes ainda errou.</b>
<b><i>LABORATÓRIO 3:</i> o jogador aprendiz que progredir no jogo de modo linear, após concluir a fase Laboratório 2, deverá para essa fase, montar o experimento, colocando a lâmpada agora exigida e colocar a figura branca no local da imagem para que signifique que, sem a lente, não haverá imagem a ser formada.</b>
<b><i>OBJETIVOS EDUCACIONAIS:</i> compreender que sem a lente não haverá imagem a ser formada.</b>



## Tarefa 2

As atividades realizadas na Tarefa 2 têm como objetivo explorar que todas as partes da superfície de uma lente contribuem para a formação de uma imagem.

Essa tarefa contém três exercícios, que correspondem respectivamente às seguintes fases: laboratório 4, laboratório 5 e laboratório 6.

Quadro 4 - Descrição da atividade 4 e seu desafio correspondente no jogo

<b><i>ATIVIDADE 4:</i> os pesquisadores fizeram aos estudantes o seguinte questionamento: Suponha que eu traga esse cartão para baixo e cubra a metade superior da lente, deixando a metade inferior descoberta. Aconteceria alguma mudança na tela? O objeto</b>
---



**luminoso para essa atividade volta a ser a lâmpada com bulbo transparente.**

**RESULTADOS: a maioria dos estudantes deram duas respostas: (1) que metade da imagem iria desaparecer, e (2) que a imagem toda iria desaparecer.**

**LABORATÓRIO 4: nessa fase, o aparato experimental estará montado e uma animação aparecerá para representar a ação de colocar um cartão cobrindo metade da lente. Após o problema proposto estar pronto, o jogador aprendiz deverá, através dos raios de luz que estarão disponibilizados, utilizá-los adequadamente para formar a imagem correta.**

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS: compreender que cada ponto da superfície de uma lente reflete luz em todas as direções, ou seja, uma “fonte de luz extensa” pode ser entendida como um conjunto de fontes pontuais alinhadas.**

Como a maioria dos estudantes errou a resposta da atividade 4, por afirmar que metade da imagem desapareceria e demonstrou que não compreende o método dos raios, os pesquisadores propuseram mais dois questionamentos.

O questionamento da fase do Laboratório 5 é o segundo desafio que permite ao jogador aprendiz progredir no jogo de modo ramificado, pois a sexta atividade é para reforçar o conhecimento anterior, e partimos do pressuposto que o sucesso nessa atividade o caracteriza como especialista.

Quadro 5 - Descrição da atividade 5 e seu desafio correspondente no jogo

**ATIVIDADE 5: Alguma coisa acontece na tela se um cartão de papelão com um orifício em seu centro, um pouco mais largo do que o filamento da lâmpada de bulbo transparente, for colocado em frente à lente, alinhado com o centro da mesma?**

**RESULTADOS: A maioria dos estudantes disse que a imagem apareceria em sua totalidade, mas nenhum disse que seu brilho iria diminuir. Ainda não compreendiam que os raios de luz são**

espalhados em todas as direções por todas as partes da superfície da lente e, por isso, seria possível formar uma imagem apenas com um brilho mais fraco.

**LABORATÓRIO 5:** nessa fase, o aparato experimental estará montado e uma animação aparecerá para representar a ação de colocar um cartão com o orifício de acordo com a atividade. Após o problema proposto estar pronto, o jogador aprendiz deverá, através dos raios de luz que estarão disponibilizados, utilizá-los adequadamente para formar a imagem correta. Caso ele conclua com sucesso esse desafio, poderá avançar para a fase Laboratório 7.

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS:** compreender que os raios de luz espalham em todas as direções e o fato de cobrir a lente com esse cartão contendo a dimensão apontada do orifício, diminui o brilho da imagem.

Quadro 6 - Descrição da atividade 6 e seu desafio correspondente no jogo

**ATIVIDADE 6:** a lente é coberta com um cartão de papelão que possui um orifício menor que o filamento da lâmpada de bulbo transparente alinhado com o centro da lente. Nessas condições, algo acontece com a imagem?

**RESULTADOS:** metade dos estudantes disse que a imagem desapareceria.

**LABORATÓRIO 6:** nessa fase, o aparato experimental estará montado e uma animação aparecerá para representar a ação de colocar um cartão com o orifício de acordo com a atividade. Após o problema proposto estar pronto, o jogador aprendiz deverá, através dos raios de luz, que estarão disponibilizados, utilizá-los adequadamente para formar a imagem correta.

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS:** Compreender as condições em que são formadas imagens através de lentes convergentes.



### Tarefa 3

Essa tarefa contém apenas uma atividade, porém, ela é fragmentada em duas fases para o jogo educativo proposto.

Quadro 7 - Descrição da atividade 7 e seus desafios correspondentes no jogo

<p><b><u>ATIVIDADE 7:</u></b> Suponha que eu mova a tela em direção à lente. Haveria alguma mudança na tela?</p>
<p><b><u>RESULTADOS:</u></b> A maioria dos estudantes concluiu que a imagem ficaria distorcida, mas que em nenhum momento ela iria desaparecer.</p>
<p><b><u>LABORATÓRIO 7:</u></b> No sistema do jogo estará programado um valor numérico correspondente à escala disponível no eixo principal do aparato experimental. Quando o personagem da Física especialista for apresentar o desafio que o jogador aprendiz deverá concluir, já estará nessas condições, por exemplo, ela dirá a ele que, se ele mover a tela para a posição <b>0,4</b> metros no eixo principal o que irá acontecer com a imagem? Portanto, ele deverá montar o experimento com essas condições e escolher os objetos de interação, principalmente a figura da imagem adequada para a resposta correta. Além disso, como no desafio anterior, ele terá raios de luz disponíveis para que justifique a escolha da imagem. Quando concluir, o <i>feedback</i> será dado de acordo com o resultado.</p>
<p><b><u>LABORATÓRIO 8:</u></b> partindo dos resultados encontrados pelos pesquisadores, que nenhum estudante compreendeu que em um momento a imagem iria desaparecer, será proposto no jogo um desafio semelhante ao anterior, ou seja, o jogador aprendiz será desafiado a compreender o que acontece com a imagem, por exemplo, se ele tiver a posição da tela em <b>0,15</b> metros. Para isso, ele deverá selecionar a figura correta que representaria a ausência de imagem e também selecionar diagramas de raios para exemplificar a escolha feita.</p>
<p><b><u>OBJETIVOS EDUCACIONAIS:</u></b> Compreender o método dos raios</p>

no sentido de que ele representa uma posição exata da imagem e quando arrastamos a tela para outras posições, ela fica distorcida até desaparecer.



#### Tarefa 4

Essa tarefa tem apenas uma atividade, com o objetivo de fazer compreender qual o papel da tela na visualização de uma imagem.

Quadro 8 - Descrição da atividade 8 e seu desafio correspondente no jogo

**ATIVIDADE 8: os pesquisadores fazem o seguinte questionamento aos estudantes: seria possível ver a imagem de onde você está se a tela for removida?**

**RESULTADOS: a maioria dos estudantes declara que precisaria da tela para ver a imagem. Entre a minoria, alguns disseram que seria possível ver a imagem projetada na parede da sala mesmo a uma distância maior que a tela e outros disseram que, se tiverem posicionados em frente ao feixe de luz, seria possível ver a imagem aérea na posição em que ela é formada no eixo principal.**

**LABORATÓRIO 9: o jogador aprendiz deverá montar o aparato experimental de acordo com o questionamento apontado na atividade 8. No entanto, para compreender a imagem, eles deverão colocar a figura no lugar que acreditam ser possível vê-la.**

Após concluírem esse desafio, o personagem da Física especialista deverá questioná-lo com duas perguntas fechadas: (1) Seria possível ver a imagem se você tiver em alguma outra posição?, (2) Quais seriam essas posições? Para cada possibilidade de posicionamento do estudante, uma animação, após a resposta selecionada, aparecerá como instrução e visualização.

**OBJETIVOS EDUCACIONAIS: Compreender a função de uma tela para visualizar a imagem.**

Espera-se que, com esses desafios propostos para o jogador aprendiz, seja possível auxiliá-lo na aprendizagem dos conceitos de

ótica geométrica inseridos no jogo, considerando seu nível de conhecimento, a progressão de acordo com esse nível e o uso de elementos visuais e verbais, sempre que possível, ao transmitir uma informação para facilitar o processamento na memória de trabalho.