

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Janaína Ribeiro do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS COMO RECURSO DIDÁTICO PARA AULA DE FÍSICA  
NO ENSINO MÉDIO**

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
Fevereiro de 2013

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Janaína Ribeiro do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS COMO RECURSO DIDÁTICO PARA AULA DE FÍSICA  
NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes - Campos/RJ, como requisito parcial para obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, D.Sc.

Co-orientador: Eduardo Shimoda, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
Fevereiro de 2013

JANAÍNA RIBEIRO DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS COMO RECURSO DIDÁTICO PARA AULA DE FÍSICA  
NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes - Campos/RJ, como requisito parcial para obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada em 22/02/2013.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. João José de Assis Rangel, D.Sc. (Orientador)  
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – CAMPOS

---

Prof. Eduardo Shimoda, D.Sc.(Co-orientador)  
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – CAMPOS

---

Prof. Francisco de Assis Léo Machado, D.Sc.  
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – CAMPOS

---

Prof. Milton Baptista Filho, D.Sc  
INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE - QUISSAMÃ

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
2013

A minha filha, minha mãe, ao meu irmão,  
ao meu pai e ao meu marido pelo  
incentivo e apoio nos momentos em que  
mais preciso.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Agradeço a minha família pelo amor e incentivo.

Ao meu orientador pelos ensinamentos e apoio.

Ao meu coorientador pela ajuda e disponibilidade

Ao Instituto Federal Fluminense (IFF) pelo incentivo.

Aos professores do Mestrado pela dedicação.

Aos meus amigos que me ajudaram e apoiaram no decorrer dos estudos.

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS COMO RECURSO DIDÁTICO PARA AULA DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Este trabalho tem como objetivo avaliar uma aplicação em ambiente real de um modelo de Simulação a Eventos Discretos (SED) utilizados como ferramenta de suporte didático em aula de Física no Ensino Médio. A proposta se apresenta devido à facilidade atual para elaboração de modelos de simulação com alto grau de detalhes, a baixo custo e de forma rápida com os softwares de simulação discreta (Versão Livre). Foi construído um modelo de simulação envolvendo conceitos associados à reflexão e refração da luz para ser utilizado em aula. Este modelo foi utilizado em sala de aula e posteriormente uma avaliação foi aplicada. A análise foi realizada em 3 turmas do último ano do ensino médio brasileiro. O quantitativo de alunos avaliados foi de 98 alunos de 2 escolas públicas diferentes, ambas na área periférica da cidade de Campos dos Goytacazes (RJ/ Brasil). As análises estatísticas da utilização dos modelos em sala de aula demonstraram o potencial deste recurso como ferramenta adicional ao ensino de física no ensino médio. A utilização de simuladores aproximou os alunos da prática do assunto, facilitando a compreensão do tema, tornando, assim, a aula mais agradável e produtiva. Além disso, uma avaliação das principais características de modelos de simulação construídos com linguagem de propósito geral (Java) e também construídos em ambiente de simulação discreta (Arena) foi realizada. Os resultados mostraram que os simuladores podem ser equivalentes quanto ao propósito. No entanto, o modelo construído em Arena foi elaborado por um professor em 7 horas, já o outro foi estimado por um programador experiente na linguagem Java em aproximadamente 50 horas de programação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação a eventos discretos (DES); Recurso didático; Reflexão; Refração; Física.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF A MODEL OF SIMULATION DISCRETE EVENTS HOW TO SCHOOL TEACHING RESOURCE IN HIGH SCHOOL PHYSICS

This study aims to evaluate an application in a real environment of a model of Discrete Event Simulation (DES) used as a support tool for teaching physics class in high school. The proposal is presented due to the current facility for developing simulation models with high detail, low cost and quickly with discrete simulation software (Version Available). It was built a simulation model involving concepts associated with the reflection and refraction of light to be used in class. This model was used in the classroom and later an evaluation was applied. The analysis was performed in 3 groups of the last year of high school Brazilian. The quantity of students assessed were 98 students from two different schools, both in the peripheral area of the city of Campos dos Goytacazes (RJ / Brazil). Statistical analyzes of the use of models in the classroom demonstrated the potential of this resource as an additional tool for teaching high school physics. The use of simulators approached students practice the subject, facilitating the understanding of the subject, thus making the class more enjoyable and productive. Additionally, a review of the main features of a simulation model constructed using general-purpose language (Java) and also constructed in discrete simulation environment (Arena) was performed. The results showed that the simulators may be equivalent to the purpose. However, the model built in Arena was designed by a teacher for seven hours since the other was estimated by an experienced programmer in Java in about 50 hours of programming.

**KEYWORDS:** Discrete Event Simulation (DES); Appeal Didactic; Reflection, Refraction; Physics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos sistemas para fins de modelagem .....	18
Figura 2 – Passos da modelagem e simulação .....	21
Figura 3 – Modelo de simulação elaborado Arena. ....	25
Figura 4 – Instante de execução do modelo de simulação elaborado em Arena. ....	25
Figura 5 – Classificação dos artigos quanto ao país de nacionalidade do autor do artigo. ....	28
Figura 6 – Classificação dos artigos quanto ao seu ano de publicação.....	28
Figura 7 – Gráfico do número de publicação dos artigos nos últimos anos. ....	29
Figura 8 – Classificação dos artigos considerando revistas e congressos onde foram publicados.....	30
Figura 9 – Classificação dos artigos considerando suas áreas de aplicação .....	31
Figura 10 – Área do simulador desenvolvido pelo PhET. ....	43
Figura 11 – Modelo conceitual dos fenômenos de reflexão e refração – Trajetória Água – Ar .....	50
Figura 12 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 3 instantes diferentes da execução do modelo de simulação em Arena. ....	52
Figura 13 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 1 instante de execução quando o ângulo incidente escolhido é maior do que o ângulo – Reflexão total da luz.....	53
Figura 14: Planilha eletrônica responsável por fazer a interface com o simulador.....	53
Figura 15 – Porcentagem de acertos de acordo com recurso didático utilizado.....	55

Figura 16 – Variação da probabilidade de acertos de acordo com recurso didático utilizado .....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Revistas e congressos onde os artigos foram publicados.....31

Tabela 2 – Legenda do modelo conceitual de simulação.....50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	23
1.2	OBJETIVO GERAL .....	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4	JUSTIFICATIVAS E CONSIDERAÇÕES.....	14
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Vantagens e Desvantagens da Simulação</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Etapas de desenvolvimento de modelos de simulação</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Ambientes e softwares de simulação</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Aplicações Típicas da SED</b> .....	<b>26</b>
2.2	BIBLIOMETRIA .....	26
<b>2.2.1.</b>	<b>Análise dos artigos</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Descrição dos Conteúdos dos Artigos</b> .....	<b>33</b>
2.2.2.1.	Informática .....	33
2.2.2.2.	Engenharia de Produção.....	34
2.2.2.3.	Simulação .....	35
2.2.2.4.	Física.....	35
2.2.2.5.	Estatística.....	37
<b>2.2.2.</b>	<b>Outras Áreas</b> .....	<b>37</b>
2.3	CONCLUSÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	37
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO COMO RECURSO DIDÁTICO</b> .	<b>39</b>

3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	39
3.2	INTRODUÇÃO.....	39
3.3	UTILIZAÇÃO DE SED NO ENSINO E TREINAMENTO .....	41
3.4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE FÍSICA.....	43
3.5	METODOLOGIA.....	45
3.5.1	<b>Desenvolvimento do Modelo .....</b>	<b>45</b>
3.5.2	<b>Avaliação Qualitativa do Modelo .....</b>	<b>46</b>
3.5.3	<b>Avaliação Quantitativa do Modelo .....</b>	<b>46</b>
3.5.4	<b>Avaliação Através da Percepção Do Professor .....</b>	<b>49</b>
3.6	RESULTADOS .....	49
3.6.1	<b>Modelo de Simulação Conceitual para Reflexão e Refração Da Luz..</b>	<b>49</b>
3.6.2	<b>Avaliação Qualitativa do Simulador Proposto e o do Phet .....</b>	<b>54</b>
3.6.3	<b>Avaliação Quantitativa do Simulador (Em Sala de Aula).....</b>	<b>55</b>
3.6.4	<b>A Realidade da Sala de Aula na Percepção do Professor.....</b>	<b>58</b>
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
4.1	CONCLUSÕES .....	61
4.2	TRABALHOS FUTUROS.....	62
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
	APÊNDICE I : PUBLICAÇÃO ORIGINADA.....	67
	APÊNDICE II : QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA AVALIAÇÃO.....	82
	APÊNDICE III : QUADRO 1: RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES .....	84

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A simulação é um processo no qual um modelo é criado para imitar o comportamento do sistema real. Este modelo poderá sofrer alterações sem que o sistema real seja alterado. Além disso, essas mudanças poderão ser adotadas ou não após testes e verificação.

A história da simulação computacional se confunde muitas vezes com a própria história da computação. A invenção do computador foi um marco para a resolução dos problemas de simulação. A simulação evoluiu as margens dos avanços tecnológicos de *hardware* e *software*.

Segundo Chwif e Medina (2007), a simulação computacional pode ser classificada em três categorias básicas: Simulação “Monte Carlo”, simulação contínua e simulação de eventos discretos. A simulação Monte Carlo utiliza-se de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, onde o tempo não é necessariamente uma variável. A simulação contínua é utilizada para analisar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, por exemplo, o resfriamento de uma bebida. A temperatura da bebida diminui gradativamente no tempo. Já a simulação a eventos discretos (SED) é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo. Um exemplo dado por Chwif e Medina (2007) é o preparo do chá que pode ser dividido em três eventos: a

colocação da água quente na xícara, colocação do chá na água quente e a disponibilização do chá.

Além disso, de acordo com as aplicações a simulação pode ser dividida em duas categorias segundo White Jr. e Ingalls (2009). A primeira é a utilização em treinamentos e/ou entretenimento, sendo esta mais associada ao propósito de estudo deste trabalho. Já a segunda relaciona-se à construção de modelos para a análise de sistemas e auxílio à decisão, onde a simulação é mais amplamente utilizada.

Em recentes trabalhos, como Silva e Rangel (2011), Van der Zee e Slomp (2009), dentre outros, foi demonstrada uma utilização alternativa para a simulação a eventos discretos (SED) como um instrumento para elaboração de recursos para auxílio didático. Assim, levantou-se a possibilidade de explorar a fronteira da SED para além das tradicionais aplicações de análise de sistemas dinâmicos e estocásticos, como em aplicações típicas de logística e manufatura. Essa hipótese surgiu devido à facilidade atual em se construir modelos de simulação, com alto grau de detalhes, a baixo custo e de forma rápida nos softwares de simulação discreta. Ou seja, a ideia é a construção de modelos de simulação como uma ferramenta de suporte didático para enriquecer uma aula com exemplos dinâmicos do assunto abordado.

Assim, um professor, mesmo que não domine amplamente as linguagens de programação, pode construir, com menor grau de dificuldade, um modelo de simulação utilizando os ambientes de desenvolvimento de SED para demonstrar conceitos a serem exemplificados em sala de aula. Caso haja a necessidade de alterar o modelo, o próprio professor poderá fazê-lo, adequando-o às necessidades exigidas por um assunto. A construção dos modelos didáticos não necessita de grandes recursos laboratoriais, uma vez que se utilizem os ambientes de simulação discreta. Apesar disso, as animações são dinâmicas e possibilitam que os alunos visualizem o desencadear do fenômeno estudado com maior grau de detalhes. Com a adoção desses modelos de simulação em aulas, pode-se alcançar um melhor rendimento da relação ensino-aprendizagem. Essas animações aproximam os alunos do aspecto prático do assunto, utilizando apenas um computador, podendo tornar, assim, a aula mais agradável e produtiva.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este presente trabalho traz como objetivo avaliar o ganho da utilização da simulação de eventos discretos para construção de modelos para serem empregados como recursos de auxílio didático em aula de física no Ensino Médio.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Construir um modelo de simulação para ser utilizado como ferramenta de auxílio didático em aulas de física no Ensino Médio;
- Avaliar a diferença entre os tempos e dificuldades para a construção dos modelos de simulação discreta e outros simuladores construídos em linguagens de uso comum;
- Avaliar a diferença entre as características dos modelos de simulação discreta e outros simuladores construídos em linguagens de uso comum;
- Avaliar o ganho da utilização de um modelo de simulação como recurso didático em sala de aula.

## 1.4 JUSTIFICATIVAS E CONSIDERAÇÕES

A utilização de tecnologias de comunicação e informação na educação é uma realidade cada vez mais constante no Brasil. Essa verdade promove o aumento da

interatividade em sala de aula, possibilitando que o aluno tenha uma relação mais estreita com o conhecimento.

Com essa nova realidade, surge à busca de novos recursos para aperfeiçoamento e complemento das aulas teóricas e práticas. Assim, a simulação de eventos discretos (SED) se apresenta como uma alternativa para auxiliar os conceitos ensinados nas salas de aula.

Na física, por exemplo, os conceitos apresentados muitas vezes se tornam abstratos para os alunos, quando não relacionados a uma prática laboratorial. Esse problema pode ser resolvido com o uso da simulação. É possível construir um modelo de simulação animado que mostre o desencadear do fenômeno em estudo, possibilitando que o aluno compreenda melhor o assunto.

É importante ressaltar que os modelos de simulação se apresentam como uma ferramenta complementar das aulas teóricas e não substituem a aulas práticas.

No caso da SED essas animações podem ser construídas pelo próprio professor da disciplina não necessitando este ser um programador. A construção desses modelos em ambientes de simulação é bastante simples e intuitivo, pois esses ambientes possuem uma estrutura com muitos recursos, possibilitando a construção de modelos com alto grau de detalhes, em um tempo relativamente curto.

## 1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo abrange a confecção e análise de simuladores didáticos desenvolvidos com o ambiente de simulação do Arena. O *software* Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação desenvolvido pela empresa Rockwell Automation, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados. Os simuladores traduzem os conceitos de reflexão e refração da luz, abordados pela Física no ensino médio.

Os assuntos demonstrados pelos simuladores são normalmente difíceis de serem entendidos pelos alunos quando não associados a práticas laboratoriais. Porém, a grande maioria das escolas públicas do Brasil não possui estrutura para a realização dessas aulas práticas. Assim a utilização dos modelos de simulação em

sala de aula se apresenta como uma alternativa para promover a aproximação dos alunos com a concretização do conhecimento teórico.

No presente trabalho uma avaliação dos modelos foi realizada em duas escolas públicas localizadas em Campos dos Goytacazes, no interior do estado do Rio de Janeiro em uma zona periférica. Uma comparação também foi realizada entre dois modelos de simulação: um desenvolvido por um professor no ambiente de simulação Arena, outro desenvolvido por especialista em Java. Anteriormente, um levantamento das principais características de cada um, além do tempo de desenvolvimento foi realizado.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A seção 1 apresenta a contextualização da simulação e as suas aplicações dentro da área educacional. Ainda neste item, a justificativa para a realização de tal trabalho é apresentada. Além disso, esta seção destaca os objetivos e a delimitação do trabalho.

Na seção 2 é apresentada revisão da literatura. São demonstrados os conceitos de simulação e ambiente de simulação. Ainda nesta seção é realizada uma bibliometria para demonstrar a evolução dos trabalhos relacionados à utilização da SED como instrumento de auxílio didático. E conclui-se esta seção apresentando a contribuição desta dissertação no contexto da pesquisa realizada.

A seção 3 apresenta em formato de um artigo para futura publicação, os principais aspectos metodológicos e os resultados desta pesquisa.

Na seção 4, conclui-se o presente trabalho. E finalmente, na seção 5 alguns trabalhos futuros são sugeridos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Goldsman *et al.* (2010) divide a história da simulação em 3 fases: A Era Pré-computador (1777-1945), O Período Formativo (1945-1970) e o Período de Expansão (1970-1982). A primeira fase é destacada pelo começo das experiências com a simulação utilizando o método Monte Carlo originado com o experimento “agulha de Buffon”. Este método consiste em jogar aleatoriamente “agulhas” em uma dada região simetricamente separada. O objetivo é testar o modelo estatístico, para chegar ao valor  $\pi$ .

A segunda Fase chamada de Período Formativo é marcada pela criação dos primeiros computadores e a utilização destes para resolver problemas de simulação. Além disso, a criação das primeiras linguagens de simulação como o GPSS (Sistema de Simulação de Uso Geral), SIMSCRIPT e SIMULA também foi nessa fase. Já em 1967 é criado o WINTER SIMULATION CONFERENCE (WSC), o mais importante fórum internacional para a divulgação de avanços recentes no campo da simulação do sistema. Na Terceira Fase, marcada por melhorias, ampliações e acréscimos em toda a arte e a ciência da simulação de eventos discretos, no que diz respeito ao ensino, pesquisa e práticas.

Freitas Filho (2008) contempla a simulação como todo o processo de experimentação que busca a descrição do sistema, construção de hipóteses e a previsão de comportamentos futuros em função da alteração de parâmetros

White e Ingalls (2009) definem simulação como a experimentação de um modelo, onde este imita aspectos relevantes do sistema em estudo. Ou seja, a simulação envolve a criação de um modelo que imita os comportamentos de um sistema de interesse.

Segundo Freitas Filho (2009) sistemas podem ser definidos como um grupo de componentes que recebem estímulos ou entradas e produzem respostas ou saídas. São os componentes e suas relações, tanto internas quanto externas ao próprio sistema, que determinam como este converte estímulos em resposta.

De acordo com Chwif e Medina (2007) um modelo de simulação é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real.

De acordo com Freitas Filho (2009) a classificação dos sistemas para propósito de modelagem é mostrada na Figura 1.

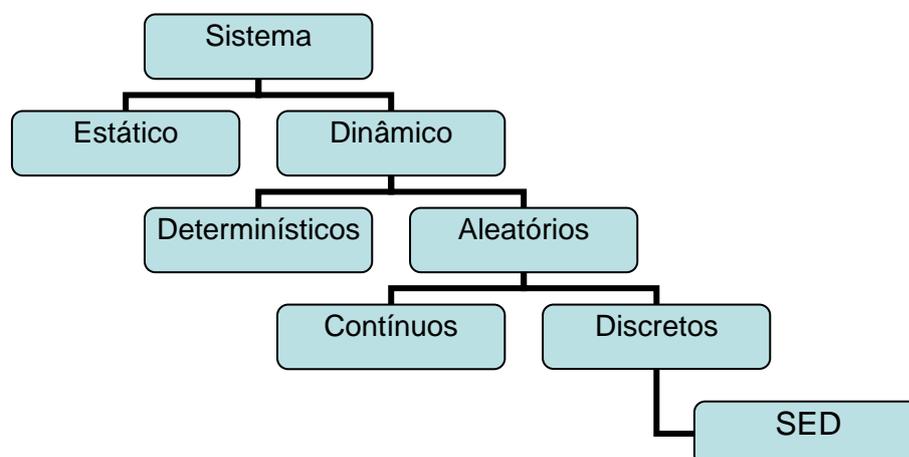


Figura 1 – Classificação dos sistemas para fins de modelagem

Nos sistemas estáticos as variáveis de estado que os representam não se alteram ao longo do tempo. Já nos sistemas dinâmicos essas variáveis mudam à medida que o tempo evolui. Os sistemas dinâmicos podem ser classificados como determinísticos ou aleatórios, quanto a previsão do seu comportamento em um tempo futuro. Nos sistemas determinísticos o comportamento é previsível, ou seja, é

possível determinar qual será o seu estado no tempo futuro. Já os sistemas aleatórios apresentam um comportamento não passível de previsão.

Os sistemas aleatórios são classificados como contínuos ou discretos, dependendo de como os sistemas são modelados. A simulação a eventos discretos está associada aos sistemas dinâmicos, aleatórios e discretos.

Freitas Filho (2009) ainda destaca que alguns modelos contínuos podem ser discretizados, isto é, tratados como modelos discretos, após algumas considerações realizadas sobre as variáveis de estado. Como foi o caso desse estudo, a luz é caracterizada como uma variável contínua, porém foi possível a sua discretização.

### **2.1.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação**

De acordo com Freitas Filho (2009), algumas vantagens da simulação podem ser apresentadas:

- Os modelos de simulação podem ser utilizados inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Essa metodologia de análise permite a avaliação de um sistema mesmo que seus dados de entrada não estejam consolidados;
- A simulação é considerada um método de aplicação mais fácil do que os analíticos;
- As informações geradas pelos modelos permitem analisar praticamente todas as medidas concebíveis;
- Devido ao grau de detalhamento dos modelos, novas políticas, regras ou procedimentos podem ser criados sem que o sistema real seja perturbado;
- Hipóteses podem ser testadas sem que o sistema real seja alterado;
- Nos modelos de simulação, o tempo pode ser controlado. Os fenômenos podem ser reproduzidos de forma lenta ou acelerada possibilitando melhor análise;
- Com a simulação é possível verificar o grau de importância e interação das variáveis entre si e com outros elementos do sistema;
- Permite a identificação de “gargalos” do sistema;

O processo de simular apresenta algumas desvantagens que também segundo Freitas Filho (2009) são:

- Um treinamento especial é necessário para a construção dos modelos;
- Em alguns casos os resultados são de difícil interpretação;
- A modelagem e a experimentação dos modelos consomem muitos recursos, principalmente tempo. Além disso, a tentativa de simplificar a modelagem ou experimentos objetivando a economia de recursos, muitas vezes leva a resultados insatisfatórios.

No âmbito deste trabalho, puderam-se levantar algumas vantagens particulares à utilização da simulação em treinamento, dentre as quais se destacam:

- Em caso de treinamentos de alto risco, a simulação é uma alternativa segura. O profissional treinará em um modelo idêntico ao real antes de testar seus conhecimentos na prática.
- Em sala de aula, a simulação apresenta-se como uma alternativa simples e barata para escolas com nenhum ou poucos recursos de práticas profissionais. Além disso pode ser utilizada como um apoio nas aulas teóricas.
- O treinamento se torna possível sem que as configurações do sistema real sejam alteradas.
- Situações hipotéticas poderão ser simuladas, para que o profissional visualize qual a melhor decisão a ser tomada.

### **2.1.2 Etapas de desenvolvimento de modelos de simulação**

As etapas para o desenvolvimento de modelos de simulação são apresentadas pelos principais trabalhos e fontes pertinentes ao assunto, citando alguns dos textos clássicos como Pagden (1995), Law (2007) Kelton, Sandowski e Sutorrock (2007) e Banks *et al* (2009).

As principais etapas abordadas por estas fontes serão apresentadas, conforme a Figura 2.

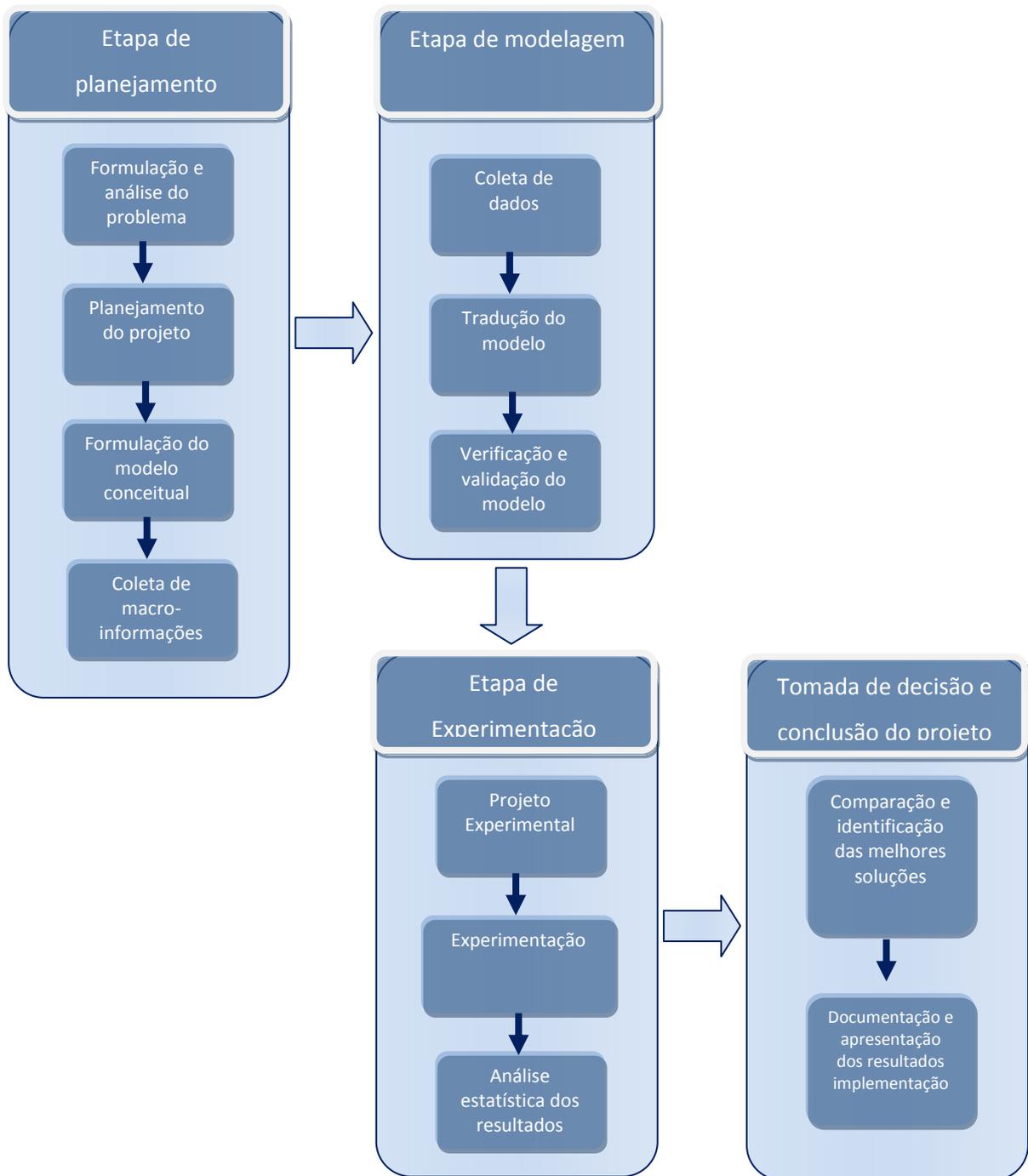


Figura 2 – Passos da modelagem e simulação

A etapa de planejamento trabalha os requisitos necessários para o início do desenvolvimento dos modelos. A formulação e análise do problema, o planejamento do projeto, a formulação do modelo e a coleta de macro-informações compõem essa etapa.

Na formulação e análise do problema o propósito e o objetivo devem ser analisados e claramente definidos. Nesta etapa devem ser respondidas algumas questões tais como o porquê o problema está sendo estudado, quais são as respostas que o estudo espera alcançar, os critérios para a avaliação da performance do sistema, as hipóteses e prerrogativas. Além disso, as restrições e os limites esperados das soluções devem ser detalhados nesta etapa.

No planejamento do projeto é verificada a existência, necessidade e custo dos recursos necessários para a realização do projeto, tais como o pessoal, suporte, gerência, hardware e software. Além disso, um cronograma temporal das atividades que serão desenvolvidas, bem como a descrição dos cenários que serão investigados, devem ser incluídos nesta etapa.

Na formulação do modelo conceitual deve ser traçado um esboço do sistema. Os componentes devem ser definidos descrevendo as variáveis suas interações lógicas. Seguem a seguir algumas questões abordadas por esta etapa:

- Qual a estratégia de modelagem?
- Que quantidade de detalhes deve ser incorporada ao modelo?
- Como o modelo reportará os resultados?
- Como os dados serão colocados no modelo?

Na coleta de macroinformações, os fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos são coletados. Essa coleta objetiva conduzir os futuros esforços de coleta de dados voltados a alimentação de parâmetros do sistema modelado.

Após a etapa de planejamento, é iniciada a etapa de modelagem. A coleta de dados, a tradução do modelo e a verificação e validação do modelo fazem parte dessa etapa.

Uma boa coleta de dados é importante para a elaboração de um modelo fiel ao sistema real. Caso seja utilizado um histórico de dados ruim toda a análise dos resultados estará comprometida.

A tradução do modelo é codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada. Além disso, a comunicação entre os responsáveis pela programação e gerência do projeto, interpretação do modelo pelo usuário do sistema e documentação são tratados neste passo.

Na verificação e validação do modelo é verificado se o modelo opera de acordo com a intenção do analista e se os resultados são fieis ao modelo do sistema real. Sargent (2010), aborda questões pertinentes à verificação e validação de modelos de simulação.

Já a etapa de experimentação é composta dos seguintes passos: projeto experimental, experimentação e análise dos resultados.

O projeto experimental é responsável por projetar um conjunto de experimentos que produza resultados desejados, determinando como cada teste deve ser realizado. Posteriormente na experimentação as simulações para geração de dados desejados são executadas e a sensibilidade é analisada. E finalmente na análise estatísticas dos resultados são tratadas as interferências sobre os resultados. Além disso, são realizadas estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados. É possível que haja a necessidade de aumentar o número de replicações para que a precisão estatística dos resultados seja alcançada.

Na tomada de decisão e conclusão do projeto as diferenças entre as diversas alternativas do sistema são identificada e a melhor solução é apontada. Finalizando o processo de modelagem, a documentação é importante para que futuras consultas aos resultados e modificações do modelo possam ser realizadas.

A descrição apresentada é genérica para o desenvolvimento de modelos de simulação. Essa formulação auxilia o professor no desenvolvimento dos modelos, porém, as etapas do processo deverão ser adaptadas à necessidade de cada projeto. As etapas de planejamento e modelagem são executadas normalmente na elaboração dos modelos para auxílio didático, porém as etapas de experimentação e tomada de decisão não são necessárias visto que a análise não é o objetivo final desta aplicação. É importante ressaltar que com a utilização do ambiente de simulação, esses passos se tornam mais simples e intuitivos.

### **2.1.3 Ambientes e softwares de simulação**

De acordo com Law (2007), os modelos de simulação podem ser construídos de duas formas:

- Linguagem de programação

- Software de simulação

As linguagens de programação mais utilizadas para a construção de modelos são C, C++ e Java. Estas linguagens normalmente exigem um conhecimento mais específico e aprofundado para a confecção de simuladores. Por outro lado, a utilização dos softwares de simulação reduz o tempo de elaboração e conseqüentemente seu custo de projeto. Além disso, é mais fácil encontrar erros e modificar os modelos construídos nos softwares de simulação.

Além disso, os softwares de simulação são classificados em dois grupos:

- Linguagem de simulação
- Ambientes de simulação

As linguagens de simulação são bibliotecas formadas por conjuntos de comandos das linguagens de propósito geral. Estas linguagens apresentam grande flexibilidade de modelagem, porém são difíceis de serem utilizadas.

Já os ambientes de simulação são fáceis de compreender e manusear. Essas ferramentas são normalmente desenvolvidas utilizando alguma linguagem de simulação. O usuário não precisa digitar nenhuma linha de comando durante o desenvolvimento dos modelos. Estes ambientes possuem interfaces gráficas que facilitam o processo de simular.

Os ambientes de simulação são bem mais amigáveis do que as linguagens de simulação. Segundo Law (2007), os ambientes de simulação oferecem uma gama de recursos para o desenvolvimento de modelos de simulação tais como gráficos, mostradores, contadores entre outros, além de permitir a animação desses modelos. Com a utilização dessas ferramentas, é possível construir modelos de simulação animados de forma rápida e fácil.

O presente trabalho utiliza um ambiente de simulação (Arena) para construir os modelos propostos. Neste ambiente não é necessário escrever nenhuma linha de código, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, e de maneira integrada, utilizando blocos gráficos que representam várias funções. Porém há a possibilidade de escrita de código como alternativa ao modo gráfico. O Arena, conforme mostrado na Figura 3, possui muitos recursos para modelagem de processos, desenho, animação, análise estatística e análise de resultados.

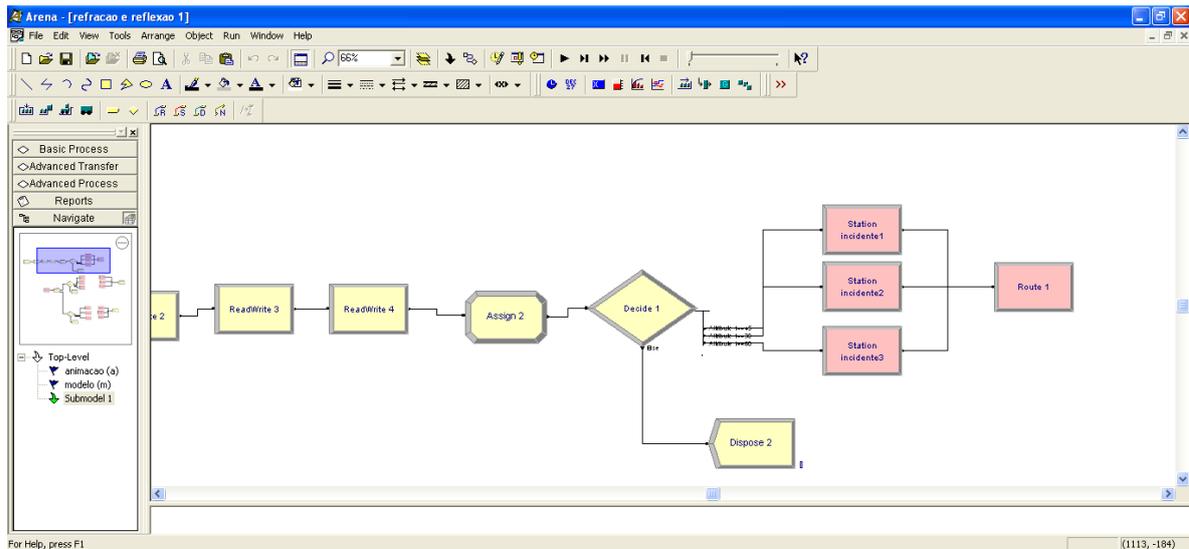


Figura 3 – Modelo de simulação elaborado Arena.

A Figura 3 mostra um modelo elaborado em Arena, é possível verificar que programação foi feita em blocos e cada bloco representa uma função. Várias funções e diversos recursos são oferecidos pela área de trabalho do Arena.

Além disso, é possível animar o modelo, conforme é mostrado na Figura 4. A animação é feita de maneira independente ao modelo. É possível copiar figuras da *web* ou outras fontes e colar diretamente no modelo em Arena. Assim é mais fácil fazer a animações dos modelos.

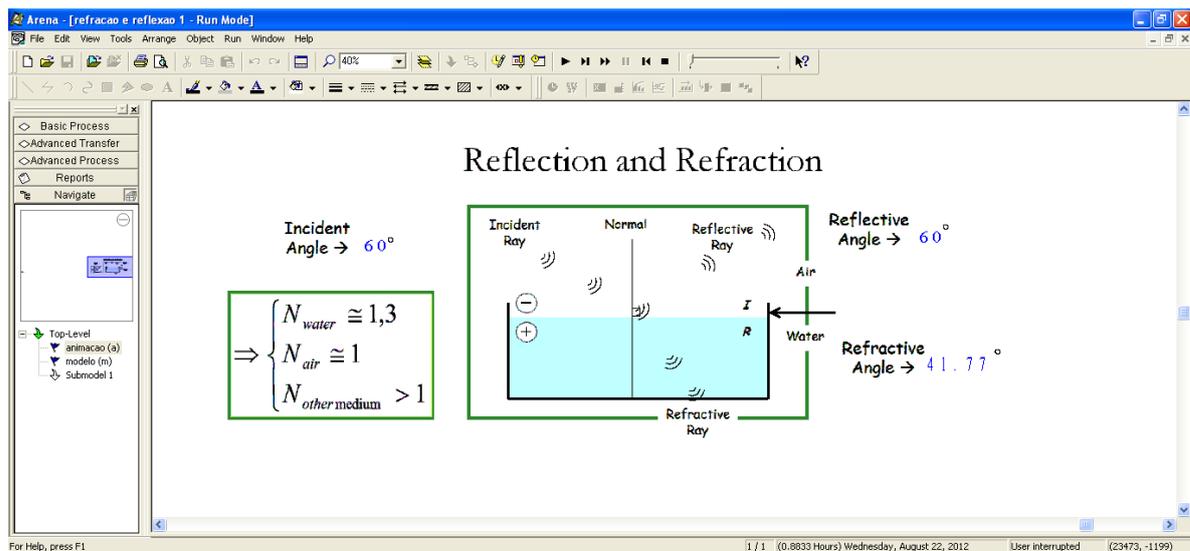


Figura 4 – Instante de execução do modelo de simulação elaborado em Arena.

### 2.1.4 Aplicações Típicas da SED

Banks *et al.* (2009), cita os sistemas de produção, transporte e estocagem, computacionais, administrativos e de prestação de serviços direto ao público como algumas das aplicações da simulação.

Normalmente, segundo Freitas Filho (2008), a simulação é utilizada por três razões:

- Quando o sistema real ainda não existe: planeja o futuro do sistema. O impacto de uma nova fábrica ou um novo hospital.
- Quando experimentar no sistema real é dispendioso: quais os benefícios de se investir em um novo equipamento, por exemplo;
- Quando experimentar no sistema real não é apropriado: o atendimento em dias de catástrofes, por exemplo.

Banks *et al.* (2009) afirma que a simulação permite níveis de detalhamentos bem amplos, diferentemente das abordagens tradicionais, isso justifica a sua utilização. Além disso, a economia de tempo e recursos proporcionados pela utilização dos modelos resulta em aumento de produtividade e qualidade.

A aplicação da simulação tradicionalmente está ligada a solução de problemas relacionados ao sistema modelado. O presente trabalho busca utilizar essa consolidada ferramenta de análise, como uma alternativa para a construção de modelos didáticos.

## 2.2 BIBLIOMETRIA

Para demonstrar a evolução dos trabalhos relacionados à utilização da SED como instrumento de auxílio didático, foi realizada uma revisão da literatura, com base no estudo de publicações acadêmicas. Para identificar os artigos de revistas acadêmicas que descrevem o tema relacionado foi realizada uma pesquisa usando bases de dados de bibliotecas. Foram pesquisados os artigos de periódicos e congressos. A pesquisa foi realizada em outubro de 2012.

Para efeitos desta análise, o ano de 1993 foi encontrado como ponto de partida para a pesquisa. Com base na pesquisa, 20 trabalhos de 11 jornais acadêmicos apareceram sobre o assunto de SED aplicada em treinamentos. Os artigos em revistas acadêmicas foram identificados, analisados, classificados, e registados sob um esquema de classificação, que é mostrado na Tabela no Apêndice II . Cada artigo foi classificado por: autores, nacionalidade do autor, ano de publicação, revista ou conferencia de publicação e área de aplicação.

A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: Science Direct, Scielo e Google Acadêmico. As palavras chave utilizadas foram: simulação a eventos discretos e treinamento ou estudantes ou didático ou ensino ou educação. Embora esta análise não possa garantir a classificação de todos os artigos existentes relacionados ao tema, abrange uma grande parte das publicações sobre SED aplicada em treinamentos, sendo assim uma fonte útil para consulta de pesquisadores e profissionais.

### **2.2.1. Análise Bibliométrica dos Artigos**

Os Estados Unidos é o país onde mais autores se interessam em escrever sobre SED aplicada em treinamento. Dos 23 artigos 7 (30%) são de nacionalidade americana como é mostrado pela Figura 5. O Brasil aparece em segundo lugar, sendo o país de origem dos autores de 3 artigos encontrados. Esse fato mostra que a simulação associado a treinamentos é um assunto ainda pouco abordado no País.

## País Origem Autor

País do Autor	Artigos	%
Estados Unidos	6	30%
Brasil	3	15%
Holanda	2	10%
Inglaterra	2	10%
Alemanha	1	5%
Suécia	1	5%
Espanha	1	5%
França	1	5%
Indonésia	1	5%
México	1	5%
Grécia	1	5%
Total	20	100%

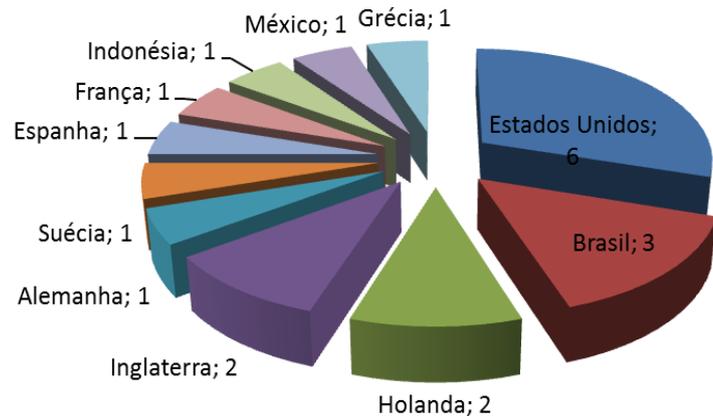


Figura 5 – Classificação dos artigos quanto ao país de nacionalidade do autor do artigo.

Conforme a Figura 6, no ano de 1993 foi publicado o primeiro artigo, Merten (1993), relacionando SED e treinamento. Os dados da Figura 7 mostram que o interesse pelo tema cresceu na última década.

Ano	Artigos	%
2011	3	15%
2010	2	10%
2009	3	15%
2008	2	10%
2007	2	10%
2005	3	15%
2003	1	5%
2002	1	5%
1999	1	5%
1996	1	5%
1993	1	5%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

## Ano de Publicação dos Artigos

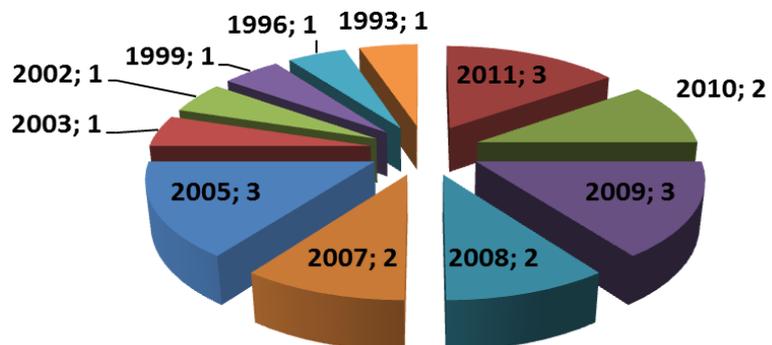


Figura 6 – Classificação dos artigos quanto ao seu ano de publicação.

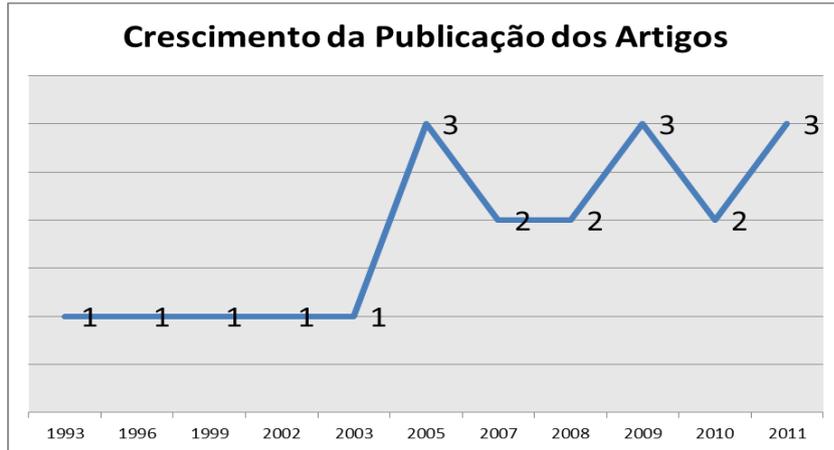


Figura 7 – Gráfico do número de publicação dos artigos nos últimos anos.

O Winter Simulation Conference, conforme mostrado na Figura 8 e na Tabela 1 foi o congresso que mais publicou artigos relacionados ao tema SED aplicada em treinamento. Este congresso sozinho publicou 45% dos artigos pesquisados.

## Revistas / Conferências

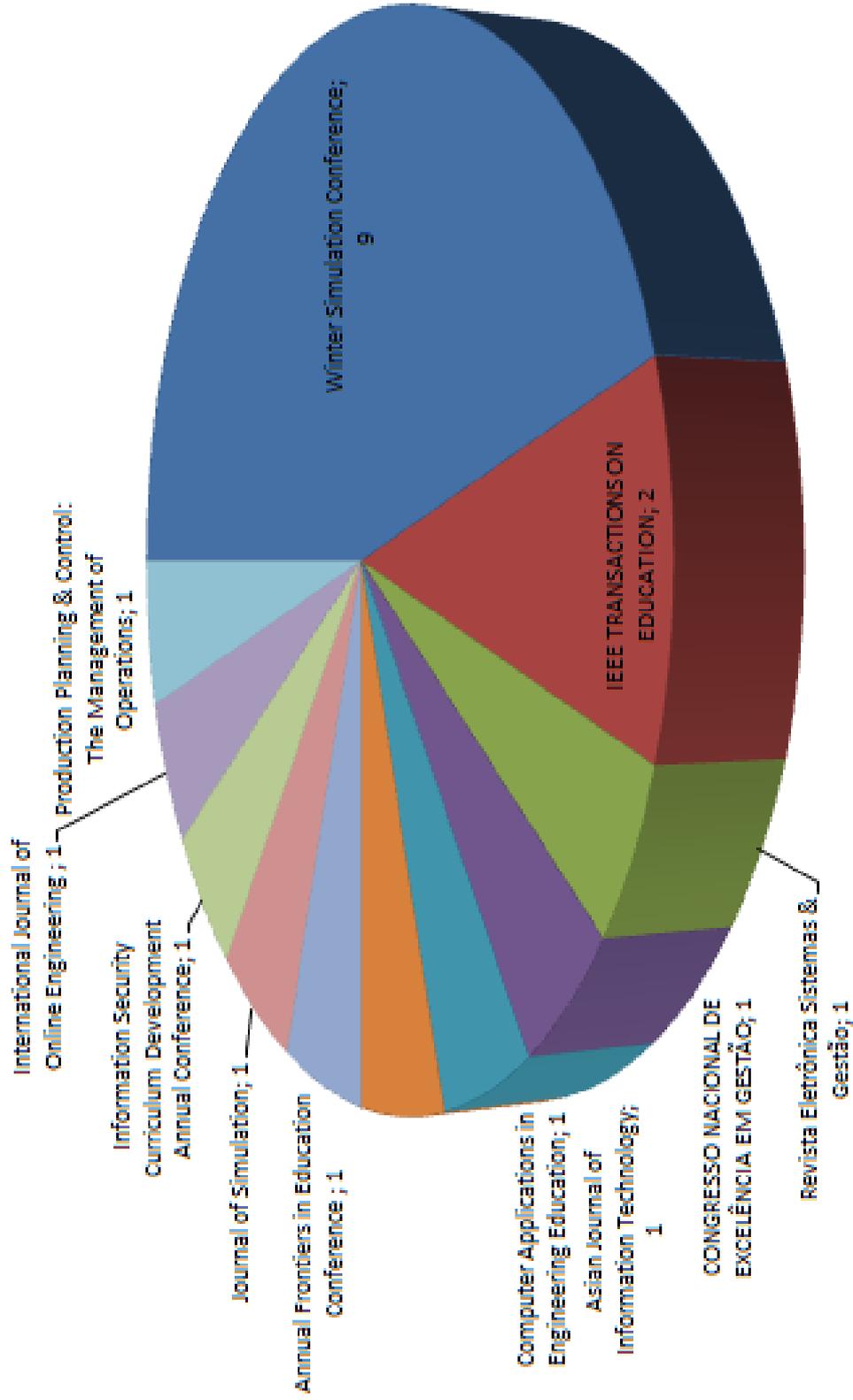


Figura 8 – Classificação dos artigos considerando revistas e congressos onde foram publicados.

Tabela 1 – Revistas e congressos onde os artigos foram publicados.

<b>Journal / Conference</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Winter Simulation Conference	9	45%
IEEE transactions on education	2	10%
Revista Eletrônica Sistemas & Gestão	1	5%
Congresso Nacional de Excelência em Gestão	1	5%
Asian Journal of Information Technology	1	5%
Computer Applications in Engineering Education	1	5%
Annual Frontiers in Education Conference	1	5%
Journal of Simulation	1	5%
Information Security Curriculum Development Annual Conference	1	5%
International Journal of Online Engineering	1	5%
Production Planning & Control: The Management of Operations	1	5%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

Os artigos foram classificados em 10 áreas de utilização. A figura 9 mostra a classificação de acordo com as áreas de utilização, bem como, a quantidade de artigos publicados em cada área.

<b>Área</b>	<b>Artigos</b>	<b>%</b>
<b>Informática</b>	4	20%
<b>Engenharia de produção</b>	4	20%
<b>Simulação</b>	2	10%
<b>Física</b>	2	10%
<b>Militar</b>	2	10%
<b>Estatística</b>	2	10%
<b>Telecomunicações</b>	1	5%
<b>Economia</b>	1	5%
<b>Automação</b>	1	5%
<b>Administração de Empresas</b>	1	5%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

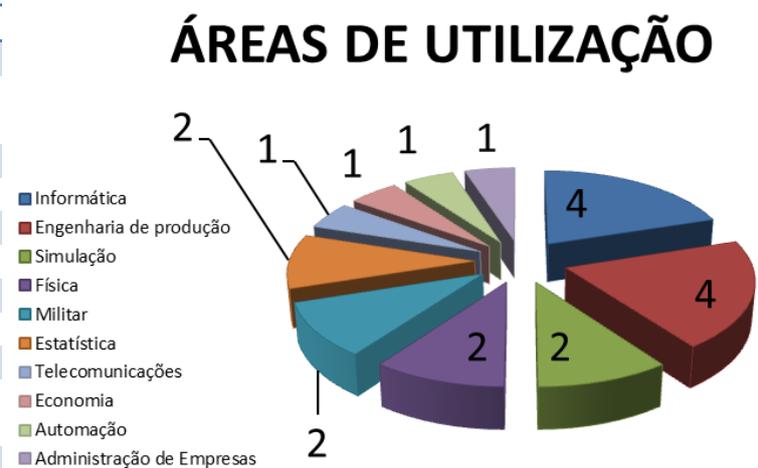


Figura 9 – Classificação dos artigos considerando suas áreas de aplicação

## 2.2.2. Descrição dos Conteúdos dos Artigos

Com a Bibliometria verificou-se que a informática e engenharia de produção foram as áreas mais tratadas pelos artigos pesquisados, cada uma com 4 artigos. Seguidos pela simulação, física, militar e estatísticas, cada área com 2 artigos cada. Já telecomunicações, economia, automação e administração de empresas apresentaram 1 artigo cada.

### 2.2.2.1. Informática

Na informática, Nugroho e Suhartanto (2010) propõem a utilização da SED para ensinar conceitos de redes de computadores em escolas da Indonésia. O modelo criado simula uma rede de ensino eletrônico ou ensino a distância em dois cenários diferentes.

Garrido e Bandyopadhyay (2009) utilizaram a SED para criar modelos para educar e treinar estudantes e profissionais que trabalham com segurança da informação. Uma coleção de ferramentas de simulação de ensino foi criada. O objetivo principal deste projeto é desenvolver mais recentes ferramentas de simulação e abordagens para a educação em computação. Dois modelos de simulação foram discutidos: um modelo de uma negação de serviço distribuída (DDoS) e um modelo de simples sistema de firewall. O modelo de simulação DDoS foi implementado usando a linguagem de simulação OOSimL. Já o modelo de simulação Firewall foi implementado em Java. Os autores ainda destacaram que as ferramentas de simulação são muito úteis no treinamento de estudantes e profissionais nas áreas de segurança da informação, ciência da computação, engenharia de software, tecnologia da informação, e em outras disciplinas relacionadas.

Christou *et al* (2007) relacionaram a SED a criação de experimentos que auxiliem no estudo de sensores de redes de computadores. Este artigo descreve os desafios pedagógicos e técnicos que os autores enfrentaram no desenvolvimento de um laboratório distribuído para a execução de experimentos científicos virtuais, para um curso no sensor redes de que faz parte do Mestrado em Redes de Informação

(MSIN) programa oferecido conjuntamente pela *Carnegie Mellon University* (CMU), EUA e *Athens Information Technology*, Atenas, Grécia. O programa MSIN utiliza tecnologias em sala de aula virtuais. As universidades interagem uma com a outra através de vídeo aulas e para cursos foi desenvolvido o simulador utilizado no laboratório virtual. O simulador foi avaliado e testado por um grupo de 25 alunos. De uma forma geral os alunos avaliaram positivamente o simulador. Uma crítica realizada foi a respeito da interface gráfica. Os alunos sentiram falta de uma interface que mostrasse as mudanças em tempo real.

Já Varga (1999), contribuiu para o ensino de redes de computadores, sistemas paralelos e distribuídos, apresentando um sistema de simulação que é ideal para uso educacional. Foi mostrado que o sistema de simulação é ideal para uso educacional em função dos fatos que (a) que tem um ambiente de execução poderoso GUI (2), que implementa um modelo de programação fácil e natural, e (3) que é open-source .

O objetivo dos desenvolvedores é a de alcançar a paridade com os produtos comerciais nesta área de simulação de eventos discretos. Instituições de ensino e pessoas interessadas devem ter a alternativa open-source, livre para caros produtos comerciais.

#### 2.2.2.2. Engenharia de produção

Na área de engenharia de produção, Martinez e Canãdas (2010) apresentam uma nova aplicação para o ensino de sistemas de manufatura. Esta aplicação simula os sistemas de produção modelados, com adicionais extensões facilitando a obtenção de informações específicas. Neste artigo, o problema abordado foi o projeto de uma nova ferramenta informatizada que automaticamente simula os sistemas de produção modelados e cronometrados. Quando comparado com outros similares, alguns pontos comuns, como a interface gráfica e a simulação da rede. Por outro lado, a principal diferença é que esta ferramenta se concentra especificamente para fabricação de sistemas.

Van der Zee e Slomp (2005) ilustraram como simulação e jogos podem ser usados para apoiar os sistemas de manufatura enxuta, em particular um exemplo de caso da indústria, linha de montagem de inserção de correspondências de forma automatizada.

Adams (2005) propõem melhorar o processo de aprendizagem do aluno nos princípios de gestão da cadeia de fornecedores utilizando as animações das simulações. Essas animações são mais intuitiva para os alunos. As simulações permitem demonstrar cenários e repetições rapidamente que o tempo não nos permite fazer com as mãos em uma sala de aula. Os estudantes podem facilmente mudar vários parâmetros dos simuladores e aprender a partir de experiências com os modelos.

Já Smeds (2003), um método para acelerar aprendizagem em gestão industrial é apresentado. Os requisitos essenciais para o uso de simulação: a validade dos modelos e do processo de aprendizagem e o ambiente de aprendizagem são discutidos. As diferenças entre os modelos computacionais e modelos de simulação conceituais são apresentadas, bem como a ideia de combiná-los em jogos de simulação. O papel da tecnologia da informação e comunicação no desenvolvimento de ambientes de aprendizagem inovadores e processos de aprendizagem são discutidos. As aplicações de simulação em aplicações de ensino e desenvolvimento de aplicações de processo são brevemente introduzidos

#### 2.2.2.3. Simulação

Na simulação, Garcia e Garcia (2008), apresentam uma metodologia para projetar um jogo de simulação interativa, útil para ensinar SED para cursos de graduação. O principal objetivo do jogo é criar um ambiente para facilitar a compreensão dos alunos sobre a simulação, de tal forma que eles possam aprender os benefícios do uso da simulação como modelagem e ferramenta de análise, além de receber treinamento sobre os conceitos de tomada de decisão.

Taylor e Siemer (1996) propõem a utilização de um tutorial inteligente no ensino da SED. O papel da simulação na educação é discutido. Além disso, o modelo do tutorial, bem como ele pode ser utilizado na educação são descritos.

#### 2.2.2.4. Física

Na física, a SED foi utilizada por Rangel *et al* (2011) que apresenta uma análise da utilização de um modelo de simulação a eventos discretos de uma reação nuclear de fusão para auxiliar o ensino de Física em turmas de ensino médio. Os

autores destacaram que o ensino da disciplina de Física apresenta certos desafios para professores do Ensino Médio, principalmente quando o tema aborda conceitos muito abstratos. A utilização da informática e, particularmente, da simulação computacional tem sido estimulada como recurso didático de modo a facilitar o aprendizado dos alunos, uma vez que a visualização de um fenômeno em um ambiente gráfico pode proporcionar melhor compreensão. O modelo foi testado em sala de aula em uma turma de pré-vestibular comunitário, dividida em três aulas, ministradas para 3 grupos diferentes, cujos alunos foram escolhidos aleatoriamente. A utilização do modelo de simulação, associado a uma prévia aula expositiva levou a um aumento no índice de acertos de questões relacionadas ao tema da aula, especialmente conforme as questões aumentaram o grau de dificuldade.

Além disso, Silva *et al* (2011), apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, para o ensino de eletricidade. Segundo os autores a simulação no Arena se mostrou eficiente no que diz respeito ao assunto abordado, além de ser uma ferramenta excelente para simulação, já que sua programação não exige um conhecimento elevado de linhas de comandos, sendo este uma ferramenta de programação em blocos. Resultados satisfatórios foram alcançados, nota-se que mesmo o Arena não sendo indicado para este tipo de simulação, este se mostrou eficaz no assunto abordado, devido a sua riqueza na biblioteca e certa facilidade na implementação das simulações, apesar de ter sido utilizado apenas a versão Student por ser gratuita. O simulador foi testado em sala de aula e os resultados mostraram que a utilização do mesmo despertou nos alunos um maior interesse na disciplina, e percebeu-se também que o uso da simulação junto com a aula expositiva elevou a média de acertos dos estudantes a medida que o nível de dificuldade das questões iam aumentando. Isso, segundo os autores, leva a uma concepção de que a simulação pode realmente influenciar positivamente na aprendizagem dos alunos.

#### 2.2.2.5. Militar

Para uso militar a simulação foi usada por Davenport *et al* (2007) e Merten (1993). O primeiro artigo apresenta um modelo de simulação discreto evento usado para explorar várias possibilidades para melhorar o contínuo treinamento no Corpo de Fuzileiros Navais Escola de Comunicação-Eletrônica. Já

Merten (1993) desenvolveu um sistema para treinamentos militares e exemplifica como a tecnologia simulação pode ser usada para permitir uma melhor relação custo-benefício no treinamento.

#### 2.2.2.5. Estatística

Na estatística, Van Til *et al* (2009) descreve a utilização de um software de simulação na confecção de modelos. Estes modelos ilustram os efeitos de alterar a distribuição de probabilidade de eventos sobre o comportamento de um sistema ou para gerar dados aleatórios a serem utilizados para analisar o comportamento de um sistema. As atribuições laboratoriais são descritas e os resultados da avaliação obtidos até à data são apresentados. Em conversa com vários alunos, a maioria parecia ser ou neutro positivo na avaliação do software.

Rosenshine *et al* (2002) montaram um painel para promover o uso da simulação como uma ferramenta de ensino a acelerar o aprendizado e mais importante, a compreensão da teoria da probabilidade. A tese sobre a qual este painel se baseia é que a abordagem de simulação é mais eficaz do que uma abordagem matemática tradicional.

#### 2.2.2.6. Outras áreas

Nas outras áreas merecem destaque, Silva e Rangel (2011) que desenvolveram modelos de animação para representar conceitos em telefonia digital na área de telecomunicações. Os modelos de animação desenvolvidos para a disciplina de telefonia digital foram adequados como uma didática complementar no ensino das disciplinas oferecidas. Os modelos podem representar e apresentar dinamicamente as abordagens estáticas e teóricas desenvolvidas em sala de aula.

Van der Zee e Slomp (2009) propõe o uso alternativo de simulação para o treinamento de trabalhadores da indústria em novos procedimentos de trabalho classificado como uso para administração de empresas. O exemplo do caso utilizado é derivado da indústria e envolve a operação de linha de montagem. O jogo foi testado e jogado tanto no empresa e em dois cursos de engenharia. Em geral, os autores descobriram que os modelos de simulação de eventos discretos e a ferramenta aplicada são bastante adequados no apoio ao treinamento.

Na Economia, Ståhl (2005) utilizou SED no curso sobre Análise de Decisão (DA). O autor discutiu vários tipos de problemas e os métodos adequados que foram encontrados. O autor afirma que a SED provou ser eficaz para promover a compreensão dos alunos de DA.

Em automação, Marangé *et al* (2008), descreve a utilização a SED no ensino de automação, garantindo a segurança do equipamento e do operador.

### 2.3 CONCLUSÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho apresentou uma revisão da literatura sobre SED aplicada ao treinamento com 20 artigos sendo em 11 revistas acadêmicas. Para este efeito, uma classificação foi desenvolvida para organizar cada artigo de acordo com sua área de utilização. Além disso, os artigos no esquema proposto foram classificados de acordo com o país de origem do autor, o ano de publicação, a revista ou conferência que publicou o artigo.

Através dessa revisão, verificou-se que a SED, apesar de difundida e consolidada na área de análise, ainda é pouco utilizada em ensino e treinamentos. O uso da simulação para este assunto vem crescendo ao longo dos anos, visto que sua utilização é mais vantajosa por questões de segurança e econômicas. Estes simuladores conseguem, sem necessitar de grandes recursos laboratoriais, apresentar, de forma dinâmica, a abordagem teórica e estática que tenha sido desenvolvida previamente com os alunos em uma aula.

A simulação pode ser utilizada nas mais diversas áreas de atuação conforme constatado na revisão bibliográfica. Após a análise dos artigos foi identificada a possibilidade da utilização da simulação a eventos discretos (SED) como um instrumento para elaboração de recursos para auxílio didático ou treinamento.

Diante deste contexto o presente trabalho se propôs avaliar o ganho da utilização de um modelo de simulação como recurso didático em sala de aula. Além disso, a diferença entre os tempos para construção dos modelos no ambiente simulação discreta e utilizando linguagens de uso geral também foi avaliada. Outro

fator relevante é a comparação entre o grau de especialização dos profissionais para construção dos modelos.

### **3 ANÁLISE DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO COMO RECURSO DIDÁTICO**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo do texto descreve um artigo que foi produzido com os resultados obtidos da pesquisa no contexto desta dissertação. Desta forma, os itens 3.2 e 3.3 trazem, de forma mais sintetizada, os mesmos conteúdos descritos nos itens 1 e 2. Assim, caso o leitor já tenha lido em detalhes estas seções do texto, é sugerido que se dirija aos itens seguintes.

As demais seções descrevem os experimentos, resultados e análises obtidos da avaliação e comparação de dois simuladores (um feito em linguagem geral de programação e o outro feito em Arena) e da avaliação do simulador feito em Arena em sala de aula.

#### **3.2 INTRODUÇÃO**

O objetivo deste trabalho é avaliar uma aplicação em ambiente real de um modelo de Simulação a Eventos Discretos (SED) utilizado como ferramentas de auxílio didático. Estas ferramentas podem ser usadas para enriquecer uma aula com

exemplos dinâmicos do assunto abordado. Esta proposta explora a fronteira da SED para além das tradicionais aplicações de análise de sistemas dinâmicos e estocásticos, como em aplicações típicas de logística e manufatura. Além disso, o trabalho procurou demonstrar também o ganho que pode ser alcançado com a utilização desses modelos em sala de aula.

Segundo White e Ingalls (2009), existem duas amplas categorias de aplicações da simulação. A primeira é a utilização das simulações para a formação e/ou de entretenimento. Profissionais utilizam os ambientes simulados para aperfeiçoar suas habilidades e aprender os procedimentos de emergência, por exemplo. Esses ambientes são seguros das consequências da inexperiência e fracasso. Já na esfera do entretenimento, destacam-se os jogos de computadores. A segunda categoria inclui a análise e projeto de artefatos e processos. Esta categoria é a mais comumente associada à simulação e explorada em seus ambientes.

Os ambientes de SED se desenvolveram bem ao longo das últimas décadas. Segundo Law (2007), os ambientes de simulação oferecem uma gama de recursos para o desenvolvimento de modelos de simulação tais como gráficos, mostradores, contadores entre outros, além de permitir a animação gráfica. Hoje esses ambientes são softwares de grande capacidade ao ponto de permitir a construção de modelos de simulação em tempo curto e com alto grau de detalhes. Nestes ambientes não é necessário escrever muitas linha de código, pois o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, e de maneira integrada, utilizando blocos gráficos que representam várias funções.

O presente artigo está organizado então da seguinte forma. No item 2 a seguir é realizada uma explanação dos trabalhos encontrados com a SED sendo empregada como recurso de auxílio didático em diversas área de aplicação. No item 3 é apresentado um simulador elaborado em Java encontrado em um site especializado, bem como a apresentação dos conceitos da Física trabalhados por ele. Já no item 4 o simulador feito no ambiente de simulação é apresentado. Sendo o subitem 4.1, a apresentação do modelo conceitual e suas características de funcionamento, e o 4.2 o simulador propriamente dito. No item 5 os experimentos e os resultados são apresentados. No subitem 5.1 os resultados da comparação entre os simuladores (Java e Arena) são apresentados. Já o 5.2 explica como foi realizada

a avaliação em sala de aula do simulador elaborado pelo professor. O subitem 5.3 apresenta os resultados das análises estatísticas referentes à aula aplicada com o simulador. O subitem 5.4 descreve a experiência em sala de aula na percepção o professor. E Finalmente o item 6 traz as considerações finais.

### 3.3 UTILIZAÇÃO DE SED NO ENSINO E TREINAMENTO

A literatura apresenta diversos trabalhos relacionados à utilização da SED como instrumento de auxílio didático. Recentemente, Nascimento e Rangel (2012) apresentaram um detalhamento maior destes trabalhos. Dentre as áreas de aplicação encontradas, informática e engenharia de produção foram às áreas mais abordadas pelos artigos pesquisados por eles. Em menor número foram encontrados trabalhos também com aplicações na área de simulação, física, militar, estatística, telecomunicações, economia, automação e administração.

Na informática, Nugroho e Suhartanto (2010) propuseram a utilização da SED para ensinar conceitos de redes de computadores em escolas. Garrido e Bandyopadhyay (2009) aproveitaram a SED para criar modelos para educar e treinar estudantes e profissionais que trabalham com segurança da informação. Christou *et al* (2007) relacionaram a SED à criação de experimentos que auxiliem no estudo de sensores de redes de computadores. Já Varga (1999) contribuiu para o ensino de redes de computadores, sistemas paralelos e distribuídos, apresentando um sistema de simulação que é ideal para uso educacional.

Na área de engenharia de produção, Martinez e Canãdas (2010) apresentaram uma nova aplicação para o ensino de sistemas de manufatura. Van der Zee e Slomp (2005) ilustraram como simulação e jogos podem ser usados para apoiar os sistemas de manufatura enxuta. Adams (2005) propôs melhorar o processo de aprendizagem do aluno nos princípios de gestão da cadeia de fornecedores. Já em Smeds (2003), um método para acelerar aprendizagem em gestão industrial foi apresentado.

Na própria área de simulação, Garcia e Garcia (2008) mostraram uma metodologia para projetar um jogo de simulação interativa. Taylor e Siemer (1996) propõem a utilização de um tutorial inteligente no ensino da SED. Na área de Física, a SED foi utilizada por Rangel *et al* (2011) para a criação de um modelo de simulação a eventos discretos a fim de representar uma reação nuclear de fusão. Além disso, Silva *et al* (2011) apresentaram o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, para o ensino de eletricidade. Para uso militar, a simulação foi usada por Davenport *et al* (2007) e Mertens (1993). O primeiro artigo apresenta um modelo de simulação com objetivo de explorar várias possibilidades para melhorar o contínuo treinamento no Corpo de Fuzileiros Navais. Já o segundo exemplifica como a simulação pode ser usada para permitir uma melhor relação custo-benefício no treinamento. Na estatística, Van Til *et al* (2009) utilizaram simulações para ilustrar o efeito de alterar a distribuição de probabilidade de eventos sobre o comportamento de um sistema. Rosenshine (2002) propõe o uso de simulação como uma ferramenta de ensino para acelerar o aprendizado.

Nas outras áreas, merecem destaque, Silva e Rangel (2011), que desenvolveram modelos de animação para representar conceitos em telefonia digital na área de telecomunicações. Van der Zee e Slomp (2009) propõe o uso alternativo de simulação para o treinamento de trabalhadores da indústria em novos procedimentos de trabalho. Na Economia, Ståhl (2005) utilizou SED no curso sobre Análise de Decisão (DA). E finalmente, Marangé *et al* (2008) que utilizaram a SED no ensino de automação, garantindo a segurança do equipamento e do operador.

No entanto, um fato que pode ser ressaltado é que apenas dois trabalhos encontrados avaliaram o simulador em sala de aula, Rangel *et al* (2010) e Silva *et al* (2011). Além disso, os trabalhos encontrados não discutiram a diferença entre os tempos de elaboração dos modelos no ambiente de simulação discreta e usando linguagens de uso geral. De posse destas constatações, foi proposto então o presente trabalho. De uma forma geral, o que se buscou neste estudo foi encontrar elementos que possam demonstrar se há realmente alguma vantagem em se utilizar a simulação e, de forma mais específica, a SED com um instrumento de auxílio didático em aulas.

### 3.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE FÍSICA

Segundo Arantes *et al* (2010), materiais didáticos digitais vêm sendo cada vez mais produzidos e utilizados em todos os níveis de ensino. A simulação é um dos tipos mais disseminados dessas ferramentas de suporte em sala de aula. Os autores citam ainda como exemplo uma iniciativa na produção de simulações para o ensino de Física, protagonizada por Carl Wieman, laureado com o Nobel de Física de 2001. PhET - sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física - é um programa da Universidade do Colorado nos EUA que pesquisa e desenvolve simulações na área de ensino de Ciências (<http://phet.colorado.edu>) e as disponibiliza em seu portal para serem usadas on-line ou serem baixadas gratuitamente pelos usuários.

Um dos exemplos encontrados no PhET pode ser visualizada na Figura 10. O exemplo aborda conceitos da reflexão e refração da luz. O simulador foi elaborado pelos programadores do PhET utilizando Java. O modelo oferece a opção de escolha dos ângulos, dos materiais e dos índices de refração. Além disso, permite visualizar os ângulos através de um transferidor e permite, também, visualizar a propagação da onda de luz podendo alterar a sua velocidade.

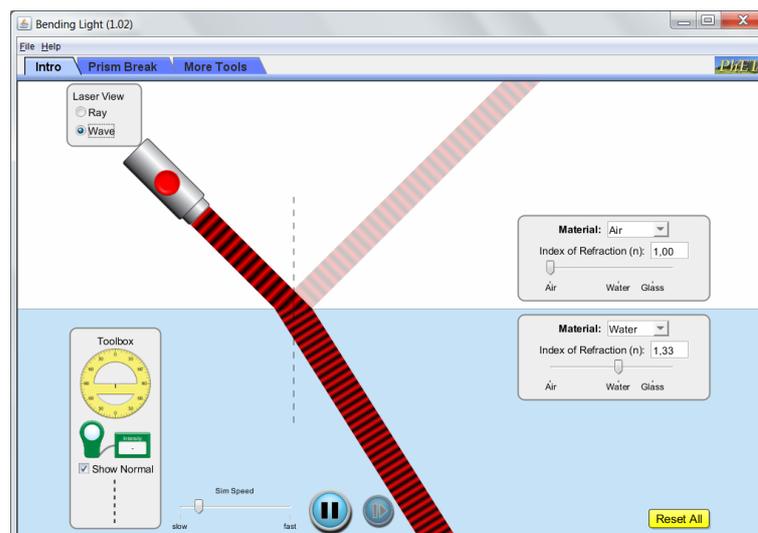


Figura 10 – Área do simulador desenvolvido pelo PhET.

Fonte: (<http://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light>)

O simulador mostrado na Figura 10 trabalha com alguns conceitos da óptica geométrica. Dentre eles a lei da reflexão define que o ângulo de reflexão ( $\theta_1'$ ) de um feixe de luz incidente sobre uma superfície regular é igual ao ângulo de incidência ( $\theta_1$ ). Quando a incidência ocorre sobre outro meio físico transparente ou semitransparente conforme é mostrado pelo simulador, parte do feixe é transmitido ( $\theta_2$ ). Este raio transmitido atravessa outro meio com uma velocidade de propagação diferente da velocidade da luz no vácuo e isto caracteriza um caminho diferente do feito em relação ao que seria percorrido no meio anterior.

A lei da refração ou lei de Snell, mostrada na equação (1), expressa bem esta diferença de caminho em termos do ângulo de projeção dos raios de luz e sua relação com os índices de refração de cada meio,  $n_1$  e  $n_2$ , e  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , respectivamente.

$$N_1 \text{sen} \theta_1 = N_2 \text{sen} \theta_2 \quad (1)$$

O índice de refração de um meio é definido, conforme mostrado na equação (2), como uma relação entre a velocidade de propagação no vácuo e a velocidade de propagação naquele meio.

$$N_{\text{meio}} = \frac{V_{\text{vácuo}}}{V_{\text{meio}}} \quad \text{onde} \quad V_{\text{vácuo}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (2)$$

Num caso especial, um raio de luz que se propaga em um meio e adentra um meio com índice de refração menor que o meio de origem pode não ter um raio refratado. A partir de um certo ângulo de incidência, todo o raio incidente passa a ser refletido, o que caracteriza a chamada reflexão total.

Assim, este trabalho se propôs então a construir e avaliar um modelo de SED, semelhante ao apresentado na Figura 2, para ser utilizado em uma aula expositiva sobre a reflexão e refração da luz para alunos de Física do ensino médio brasileiro. Buscou-se então levar o modelo de simulação para a realidade de uma aula onde o assunto pudesse estar dentro do contexto programado e investigar a sua viabilidade como recurso didático.

É importante concluir aqui que conceitos apresentados por matéria desta natureza, muitas vezes, se tornam abstratos para os estudantes, quando não relacionados a uma prática laboratorial. Entretanto a grande maioria das escolas públicas não possui a infra-estrutura necessária para a realização de tais demonstrações de forma prática. Esse problema pode ser amenizado com a utilização dos simuladores desenvolvidos nos ambientes SED. Os modelos de SED podem ser instalados e utilizados, por exemplo, nos laboratórios de informática, que hoje podem ser encontrados mais facilmente nas diversas escolas brasileiras. A utilização de tecnologias da informação na educação é uma realidade cada vez mais constante no Brasil. Essa questão promove o aumento da interatividade em sala de aula, possibilitando que o aluno tenha uma relação mais estreita com o conhecimento.

### 3.5 METODOLOGIA

Neste item serão apresentadas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do modelo no ambiente de simulação Arena, para a realização da avaliação qualitativa e quantitativa do simulador.

#### 3.5.1 Desenvolvimento do Modelo

A elaboração do modelo de simulação com fins educativos seguiu basicamente as mesmas etapas tradicionais para construção de modelos de SED, como descrito em Law (2007) e Banks *et al.* (2009), dentre diversos outros, citando apenas autores consagrados da literatura do assunto. Assim, o desenvolvimento do modelo de simulação específico para apresentação dos conceitos de reflexão e refração de luz, chamado neste trabalho de simulador didático para reflexão e refração da luz, seguiu as seguintes etapas: Definição do escopo do projeto,

elaboração do modelo conceitual, construção do modelo de simulação Arena (versão livre), verificação e validação e testes.

Apesar de a luz ser contínua, os fenômenos da reflexão e refração puderam ser representados em um modelo de simulação a eventos discretos, onde a entidade foi a onda de luz.

### **3.5.2 Avaliação Qualitativa do Modelo**

Um levantamento das principais características dos dois modelos de simulação, o construído em Arena e o feito em Java, foi realizado. Algumas questões sobre os modelos foram respondidas para a realização de tal levantamento:

- Qual foi ambiente de desenvolvimento?
- Quem foi o desenvolvedor do modelo?
- Qual o tipo de licença?
- O modelo possui interatividade?
- O modelo permite alteração?
- O modelo é dinâmico?
- O modelo permite ajuste de visualização?
- Qual é o grau de detalhamento do modelo?
- Qual foi o tempo de desenvolvimento do modelo?

### **3.5.3 Avaliação Quantitativa do Modelo**

Para avaliar a utilização do simulador proposto como instrumento de auxílio do ensino e treinamento, uma aula de física foi realizada onde os conceitos referentes ao simulador puderam ser empregados. A avaliação foi acompanhada de uma análise estatística para verificação do ganho obtido com a utilização dos softwares de SED em salas de aula.

A análise foi realizada em 3 turmas do último ano do ensino médio brasileiro, ou seja, o último ano antes de ingressar no ensino superior. O quantitativo de alunos avaliados foi de 98 alunos de 2 escolas públicas diferentes, ambas localizadas na área periférica da cidade de Campos dos Goytacazes (RJ/ Brasil). Na primeira escola, uma turma de 24 alunos foi avaliada. Já na segunda escola, duas turmas de 37 alunos cada foram também avaliadas. Cada turma foi dividida em 4 grupos iguais e cada grupo foi avaliado separadamente dos demais.

Foi adotado um delineamento fatorial  $2^k$ , sendo utilizados dois níveis (ausência ou presença do recurso) e  $k=2$  recursos didáticos (aula teórica e aula com o simulador), constituindo os 4 grupos analisados. O Quadro 1 apresenta o delineamento dos experimentos realizados com as turmas.

Quadro 1 – Delineamento do experimento para avaliação do simulador em sala de aula

<i>Grupos de alunos</i>	<i>Aula Teórica</i>	<i>Aula com Simulador</i>
A	Não	Não
B	Sim	Não
C	Não	Sim
D	Sim	Sim

Um questionário foi criado contendo 6 questões sobre o tema relacionado. Estas questões possuíam diferentes níveis de resolução, sendo 2 fáceis, 2 médias e 2 difíceis. As questões consideradas fáceis abordavam conceitos mais intuitivos. Uma questão perguntava qual fenômeno está associado ao espelho e a outra dava o conceito da refração e pedia para dizer qual era o fenômeno anunciado. As questões medianas abordavam conceitos mais aprofundados. Uma questão perguntava sobre reflexão e a outra qual é a relação entre os ângulos de reflexão e refração. Já as questões consideradas difíceis perguntavam sobre o índice de refração. As duas questões mostravam uma figura e perguntavam a respeito do índice de refração das duas superfícies mostradas pela imagem.

Cada turma foi dividida em quatro grupos de alunos (A, B, C e D), conforme é mostrado no Quadro 2. No grupo A apenas o questionário foi aplicado sem qualquer exposição prévia. No grupo B foi apresentado o conteúdo da aula teórica e

posteriormente o questionário foi aplicado. No grupo C, apenas o simulador foi apresentado e depois o questionário foi respondido pelos alunos. Já no grupo D, a aula teórica foi exposta seguida da utilização do simulador como recurso de auxílio didático. Ao fim desta exposição o questionário também foi aplicado.

Com esta estrutura de experimentação foi possível visualizar através da análise estatística, a influência da aula teórica e do simulador juntos, ou não, nos acertos dos diferentes níveis das questões apresentadas. Além disso, o coeficiente de rendimento (CR) e a última nota de física foram utilizados para demonstrar a influência dos recursos (aula teórica e/ou simulador) nos diferentes perfis de alunos. Os dados utilizados como referência (CR e última nota de física) na análise em questão foram passados pelas respectivas escolas avaliadas. O Quadro 2 mostra o quantitativo de cada grupo avaliado.

Quadro 2 – Delineamento do experimento para avaliação do simulador em sala de aula

GRUPO	TOTAL	DIFICULDADE			CR		FÍSICA	
		FÁCEIS	MÉDIAS	DIFÍCEIS	<6	>=6	<6	>=6
A	23	23	23	23	6	17	10	13
B	25	25	25	25	12	13	19	6
C	25	25	25	25	7	18	12	13
D	25	25	25	25	7	18	12	13

O simulador didático para reflexão e refração da luz foi executado utilizando computadores *desktop* com monitores CRT (tubo de raios catódicos) de 14 polegadas. Esta configuração de computador é a realidade da maioria das escolas públicas no Brasil. Não foi possível avaliar os modelos em sala de aula com recursos multimídia e televisor. O objetivo foi avaliar a utilização do simulador em laboratórios de informática, onde cada aluno pode operar uma máquina com o modelo proposto.

A seguir, os resultados foram submetidos à análise através de regressão logística, obtendo-se as razões de probabilidade (*odds ratio*), que permitiram identificar quantas vezes mais chances um aluno que teve acesso a determinado recurso didático tem de acertar uma questão em relação ao aluno privado deste recurso.

O tempo de execução foi ajustado em relação à inicialização do fenômeno físico. Não foi importante haver nenhum tipo de compatibilidade de sincronismo entre o tempo de simulação e o tempo de relógio.

### **3.5.4 Avaliação Através da Percepção Do Professor**

Durante a realização das aulas experimentais com o modelo de simulação, o professor fez diversas anotações para traduzir a experiência em sala de aula. O professor procurou descrever a diferença entre a aula apenas teórica e quando o simulador foi utilizado.

## **3.6 RESULTADOS**

### **3.6.1 Modelo de Simulação Conceitual para Reflexão e Refração Da Luz**

A Figura 11 e Quadro 3 mostram o modelo conceitual do sistema referente à apresentação dos conceitos de refração e reflexão de luz para serem utilizados em uma aula de Física. A entidade (L) gerada pelo modelo representa a onda de luz. O atributo neste modelo é o ângulo de incidência, escolhido pelo aluno em uma interface através de uma planilha eletrônica, mostrada na Figura 14. Além disso, na própria planilha o ângulo limite também pode ser definido. A trajetória da luz é escolhida através de 3 funções “ou” (X1, X2 e X3), que direcionam a entidade de acordo com o ângulo de incidência, comparando-o com o ângulo limite. A onda de luz segue uma trajetória particular dependendo do atributo escolhido.

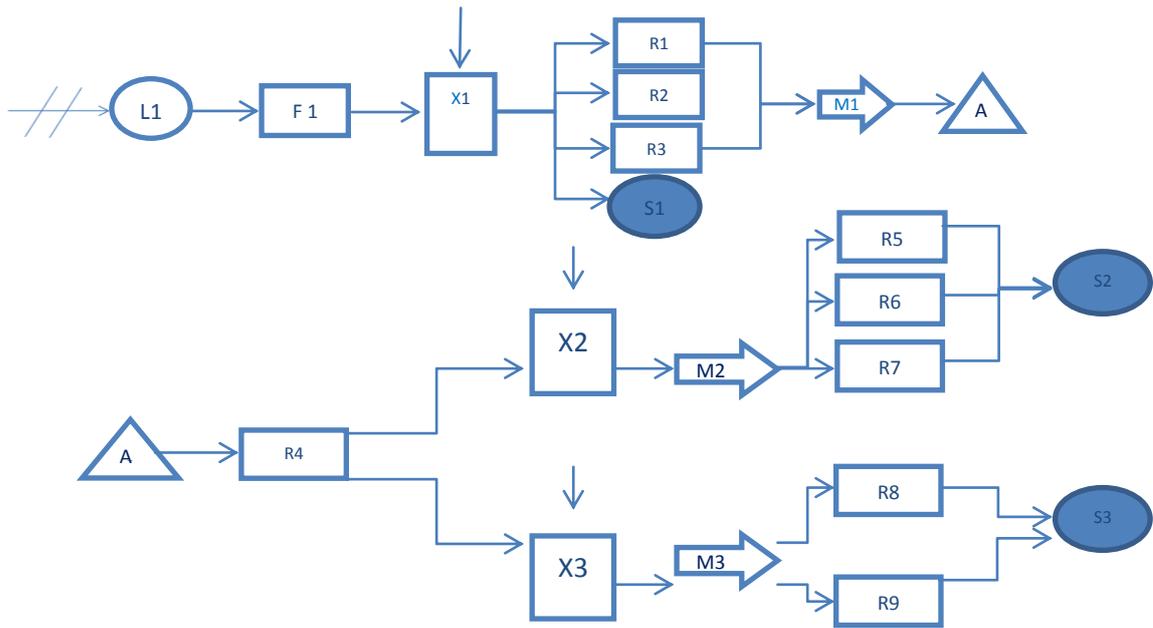


Figura 11 – Modelo conceitual dos fenômenos de reflexão e refração – Trajetória Água – Ar

Quadro 3 – Legenda do modelo conceitual de simulação

Item	Descrição	Parâmetros
L1	Entidade onda de luz	<b>Constante, 1 hora; 2 por vez</b>
F1	Fila onda de luz	<b>Quantidade: 1</b>
X1	Função ou	<b>Se ângulo &lt; L segue para R1 Se ângulo = L segue para R2 Se ângulo &gt; L segue para R3</b>
R1 A R3	Raios incidentes	<b>Quantidade: 3</b>
M1	Movimentação para R4	<b>Quantidade: 1</b>
R4	Meio – mudança na trajetória do raio / mudança de meio (água → ar)	<b>Quantidade: 1</b>
X2	Função ou	<b>Se ângulo &lt; L segue para R5 Se ângulo = L segue para R6 Se ângulo &gt; L segue para R7</b>
X3	Função ou	<b>Se ângulo &lt; L segue para R8 Se ângulo = L segue para R9</b>
R5 A R7	Raios Refletidos	<b>Quantidade: 3</b>
R8 E R9	Raios Refratados	<b>Quantidade: 2</b>
S1 a S3	Saídas	<b>Quantidade: 3</b>

Em X1, se o ângulo incidente (atributo) escolhido for menor do que o ângulo limite, a entidade seguirá para R1. Caso o ângulo incidente seja igual ao ângulo limite, a entidade irá para R2. Agora, se o ângulo for maior do que o ângulo limite a

entidade seguirá pra R3. Posteriormente, todas as entidades, independente da trajetória percorrida, chegarão em R4 (Mudança de meio). De R4, as entidades novamente percorrerão trajetórias diferentes, dependendo do ângulo de incidência.

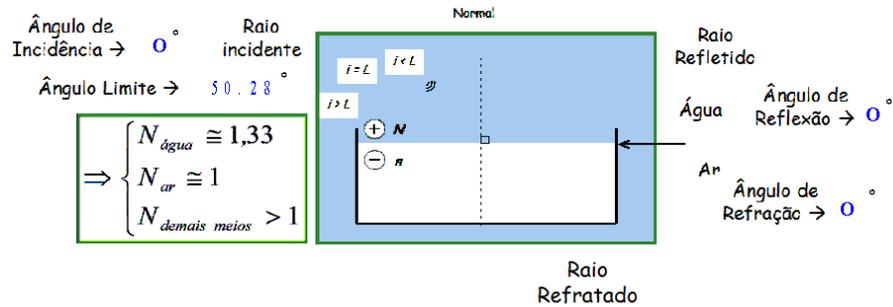
Em X2 e X3, se o ângulo incidente for menor do que o ângulo limite, a entidade será duplicada e seguirá para R5 (raio refletido) e para R8 (raio refratado). Se o ângulo for igual ao ângulo limite a entidade será duplicada e seguirá para R6 (raio refletido) e para R9 (raio refratado). Porém, se o ângulo incidente for maior do que o ângulo limite, a entidade seguirá apenas para R7 (raio refletido). Neste caso, acontece à reflexão total da luz e conseqüentemente não existe raio refratado.

A Figura 12 mostra alguns instantes da animação de um modelo de simulação para ilustrar conceitos de reflexão e refração da luz. O referido modelo foi desenvolvido com a versão livre do software de simulação Arena. Esta versão pode ser baixada, instalada e utilizada por professores e/ou estudantes sem qualquer ônus financeiro.

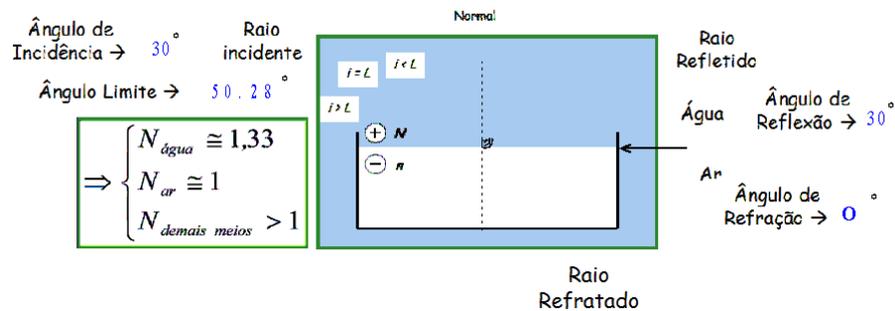
Os modelos de simulação que representaram a ilustração dos conceitos físicos de reflexão e refração de propagação da luz puderam ser construídos em ambientes SED mesmo a luz sendo um fenômeno contínuo. O modelo de simulação foi desenvolvido pelo próprio professor da disciplina após ter realizado um treinamento de 20 horas para utilizar o ambiente de desenvolvimento do Arena.

O exemplo mostra a trajetória da luz ao propagar-se da água para o ar. Além de desenhar a trajetória e indicar o ângulo limite pré-definido, a animação mostra o ângulo de reflexão e refração em função do ângulo de incidência escolhido. Como o ângulo escolhido foi de  $30^\circ$  (ângulo de incidência menor do que o ângulo limite), o ângulo de reflexão será de  $30^\circ$  e o de refração, de  $41^\circ$ . O usuário poderá escolher outros valores para o ângulo de incidência e dependendo da sua classificação (menor, igual ou maior do que o ângulo limite), o raio percorrerá uma trajetória diferente, variando também os ângulos de reflexão e refração.

## Reflexão e Refração



## Reflexão e Refração



## Reflexão e Refração

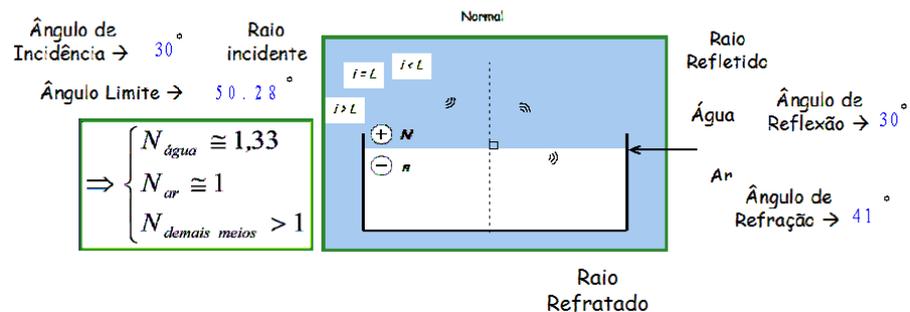


Figura 12 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 3 instantes diferentes da execução do modelo de simulação em Arena.

Se o ângulo incidente escolhido for maior do que o ângulo limite, acontece a reflexão total da luz, sendo a luz apenas refletida e não mais refratada. A Figura 13 mostra o modelo de simulação que representa esse fenômeno. No exemplo ilustrado pelo modelo, o ângulo limite é de  $50,28^\circ$ .

## Reflexão e Refração

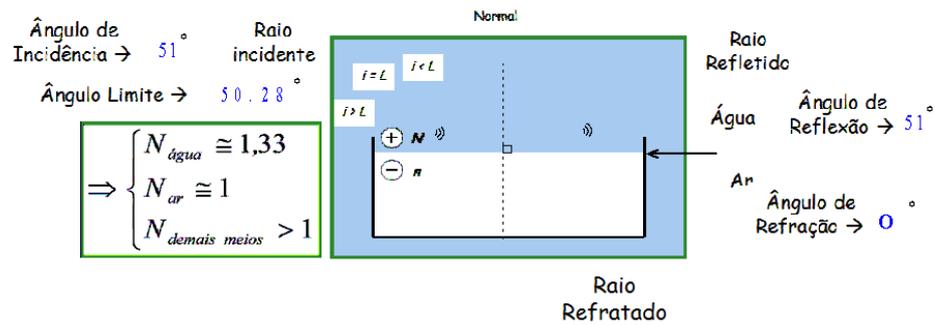


Figura 13 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 1 instante de execução quando o ângulo incidente escolhido é maior do que o ângulo – Reflexão total da luz

A Figura 14 mostra a interface dos alunos com o modelo de simulação. Essa interface é feita em Excel e através dela é possível alterar o ângulo de incidência.

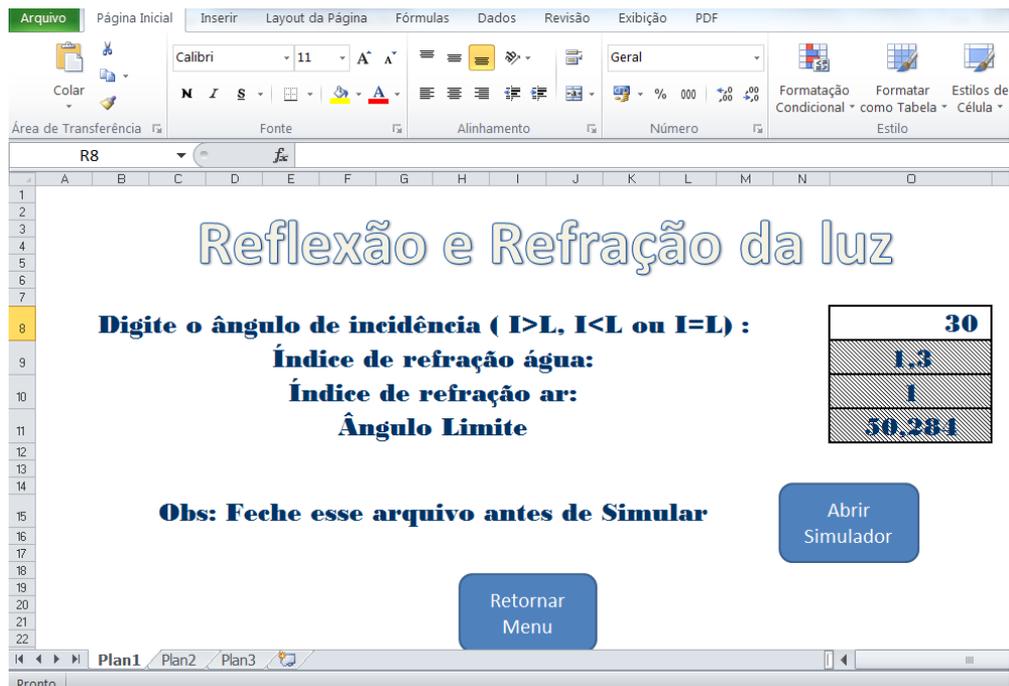


Figura 14: Planilha eletrônica responsável por fazer a interface com o simulador

### 3.6.2 Avaliação Qualitativa do Simulador Proposto e o do Phet

Os modelos apresentados seja o feito em Java, ou o feito em Arena trabalham os mesmos conceitos de Física (reflexão e refração de luz) de forma dinâmica.

Uma comparação dos modelos é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparação do Simulador PhET e o simulador em Ambiente SED

<b>Características</b>	<b>Simulador PhET</b>	<b>Simulador em Ambiente SED</b>
Ambiente de desenvolvimento	Java	ARENA
Desenvolvedor	Programador	Professor da disciplina
Licença	Não	Não (Versão Acadêmica)
Interatividade	Sim	Sim
Permite alteração	Não	Sim
Modelo dinâmico	Sim	Sim
Ajuste de visualização	Não	Sim
Grau de detalhamento	Maior	Menor
<b>Tempo de desenvolvimento</b>	50 a 60 horas *	7 horas

\* Tempo estimado por um programador experiente com a linguagem Java.

O simulador encontrado no PhET oferece maior número de detalhes relativos ao conceito físico simulado quando comparado ao feito em Arena. Este modelo foi elaborado por programadores na linguagem Java, exigindo conhecimentos avançados nessa linguagem de programação para confecção de modelos similares.

Já o modelo feito no ambiente de simulação Arena, apesar de possuir um grau de detalhamento menor, é adequado às necessidades reais da sala de aula. Como o desenvolvedor é o próprio professor da disciplina, caso haja o desejo de executar futuras mudanças, o próprio professor poderá fazê-las.

Os ambientes SED oferecem diversos recursos que, explorados, poderão dar dinamicidade a variadas disciplinas. Além disso, a utilização de simuladores em sala de aula não dependerá de encontrar essas ferramentas na internet.

O tempo estimado para a confecção do modelo feito no ambiente SED foi de aproximadamente 7 horas. Vale lembrar que o professor (desenvolvedor) recebeu apenas um treinamento equivalente há 20 horas.

### 3.6.3 Avaliação Quantitativa do Simulador (Em Sala de Aula)

Os resultados obtidos após a análise estatística realizada com os questionários respondidos são mostrados no Gráfico 1 e no Gráfico 2.

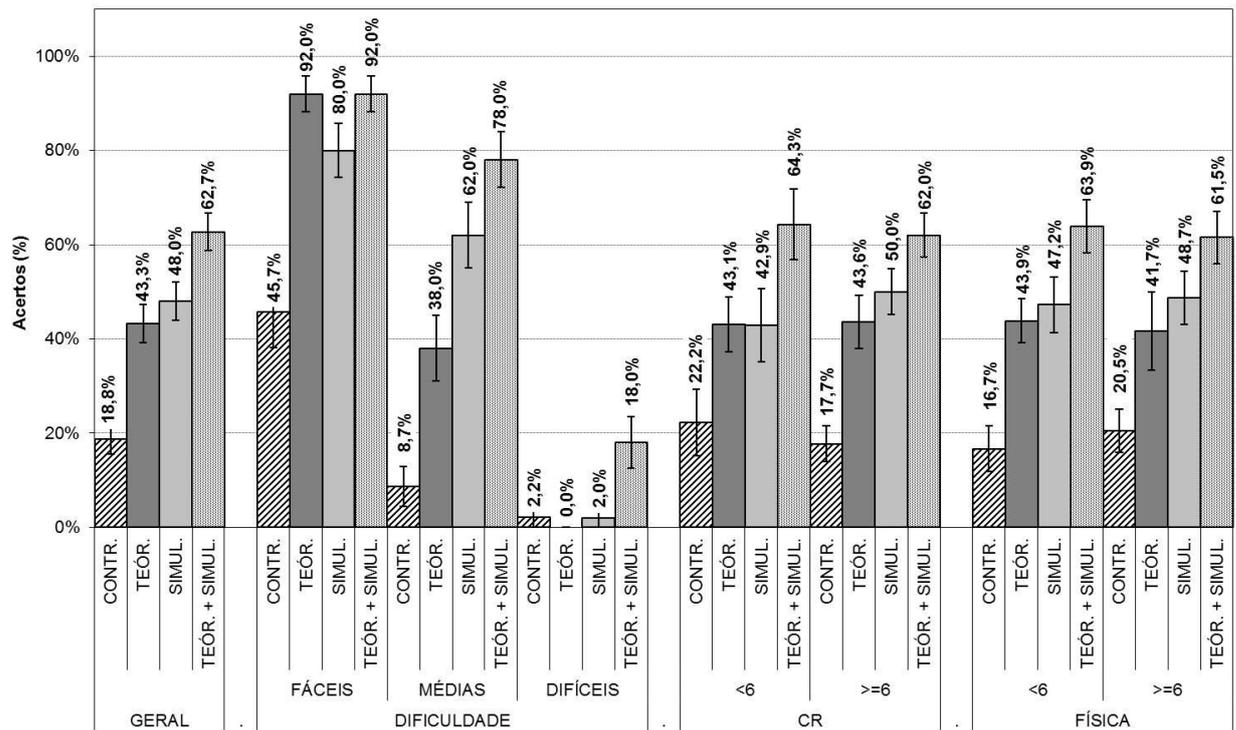


Figura 15 – Porcentagem de acertos de acordo com recurso didático utilizado

A Figura 15 mostra o resultado da análise estatística. Os resultados foram apresentados seguindo o delineamento do experimento (Quadro 1). O controle (contr.) mostra o grupo que não utilizou nenhum recurso, nem a aula teórica nem o simulador foram utilizados. A aula teórica (teor.) representa o grupo onde apenas a aula teórica foi utilizada como recurso. O simulador apresenta o grupo onde somente o simulador foi utilizado. Já a aula teórica e o simulador (teór. + simul) representa o grupo que experimentou os dois recursos.

Após analisar a Figura 15, é possível visualizar que as porcentagens de acertos nas questões fáceis foram iguais quando a aula teórica e associação da aula

teórica com o simulador foram utilizados (92%). Nas questões medianas, os alunos que fizeram somente a aula com o simulador acertaram cerca de 62% das questões enquanto os que fizeram somente a aula teórica acertaram cerca de 38%. Já os alunos que fizeram as duas aulas, conseguiram responder a 78% das perguntas de maneira correta. A medida que o nível de dificuldade das questões aumenta, aumenta também a influência do simulador na quantidade de acertos. Quando as questões são mais fáceis qualquer nível de conhecimento é suficiente para se responder essas perguntas de forma correta. Agora, quando as questões se tornam mais difíceis o simulador faz a diferença por aproximar o aluno da real execução dos fenômenos físicos.

Os alunos com coeficiente de rendimento menor do que 6 acertaram 64,3% das questões quando assistiram as duas aulas. Já nos alunos com médias mais elevadas, o simulador teve uma influência maior (50%) do que a aula teórica (43,6%). Geralmente, alunos que possuem médias mais elevadas são alunos mais interessados, por isso o simulador desperta ainda mais a curiosidade pelo conhecimento nestes discentes.

Analisando as notas de física, os alunos obedecem a uma mesma tendência não importando a média. O simulador infere mais nos acertos do que aula teórica. Assim como, a associação dos dois recursos, causa um impacto ainda maior (positivo) no número de acertos.

De um modo geral, o uso do simulador influenciou mais no número acertos do que a aula teórica. Já a associação dos dois recursos aumentou ainda mais a quantidade de acertos

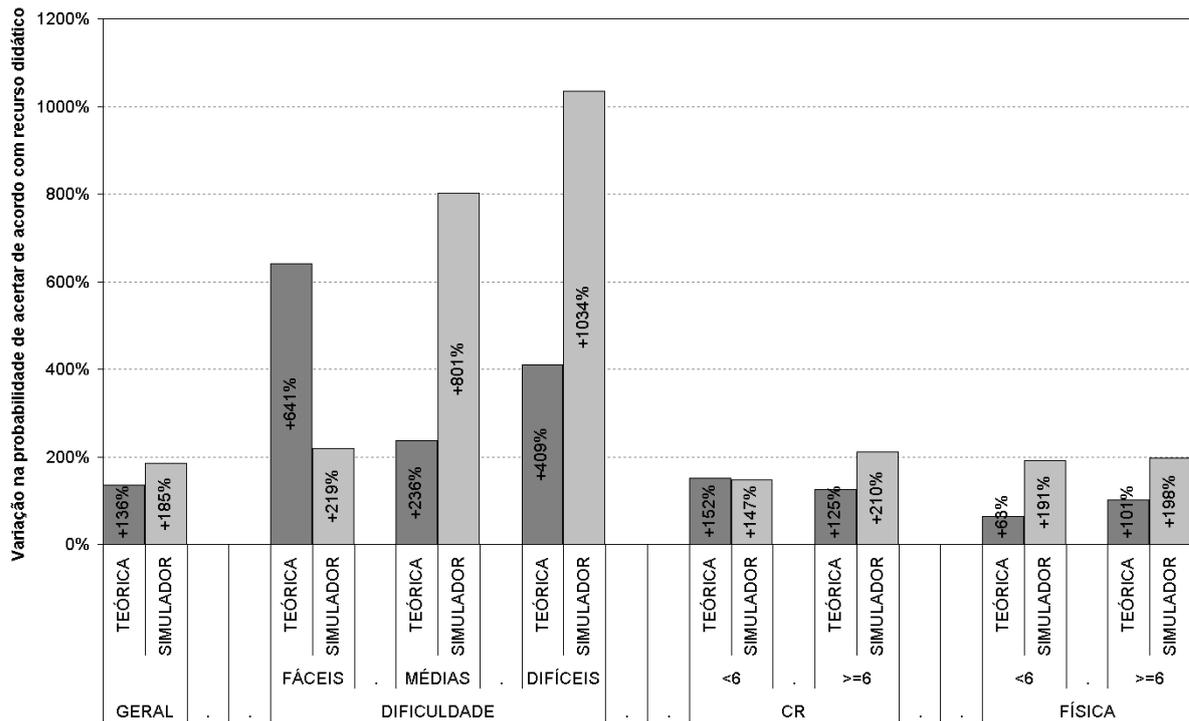


Figura 16 – Variação da probabilidade de acertos de acordo com recurso didático utilizado

A Figura 16 mostra que a utilização do simulador promove um aumento de 185% na probabilidade de acerto, enquanto aula teórica promove um aumento de apenas 136%.

Para responder as questões fáceis, a aula teórica foi o suficiente. Para as questões médias o aumento da probabilidade foi de 801% quando o aluno fez a aula com o simulador. Para as questões difíceis esse valor foi ainda maior, cerca de 1034%. Novamente nota-se que medida que a dificuldade das questões aumenta um conhecimento mais aprofundado se faz necessário.

O uso do simulador trouxe maior impacto no desempenho dos alunos com média maiores ou iguais a 6. Com a aplicação dos modelos, o aumento na probabilidade dos alunos acertarem as perguntas foi de 210% enquanto a dos alunos que fizeram somente a aula teórica foi de 125%.

Os resultados extraídos da análise estatística, conforme Gráfico 1 e Gráfico 2, comprovam que os simuladores oferecem um ganho ao rendimento dos alunos em sala de aula, reforçando o elemento ensino-aprendizagem. Os simuladores aumentaram significativamente as chances dos alunos acertarem as questões da avaliação. Quando o uso dos simuladores foi associado à aula teórica a eficiência

desta ferramenta foi ainda maior. Isso pode ser explicado pelo fato de um recurso complementar o outro. A aula teórica fornece conhecimentos prévios a utilização do simulador. E o simulador fornece à aula teórica a aproximação com a prática.

Em Silva *et al* (2011), foi aplicado um experimento similar ao apresentado por este trabalho e os resultados foram semelhantes. A utilização dos dois recursos (aula teórica e simulador) elevou a porcentagem de acertos numa proporção maior do que quando os recursos foram utilizados separadamente.

Já em Rangel *et al* (2010), verificou-se uma tendência de que quanto maior o grau de dificuldade das questões, maior é a eficiência devido à utilização do simulador. O resultado também se assemelhou ao encontrado pelo presente estudo.

#### **3.6.4 A Realidade da Sala de Aula na Percepção do Professor**

A experiência com o simulador em sala de aula, segundo o professor, superou as expectativas. Os alunos surpreenderam, demonstrando muito interesse pelo simulador e pelo tema proposto. O modelo, apesar de simples, ilustrou muito bem o conteúdo ministrado e adicionou movimento aos conceitos apresentados. Quando trabalham com o computador, os discentes perceptivelmente se tornam mais dedicados ao conteúdo exposto.

Durante a avaliação do simulador, verificou-se que os alunos matriculados nas escolas analisadas, em sua maioria pertencem a classes sociais menos favorecidas. As escolas analisadas sofrem com a falta de recursos para realização de aulas práticas. Apesar das dificuldades, as duas escolas possuíam um laboratório de informática. Os Laboratórios foram utilizados como recursos para exposição, durante a análise.

Segundo os próprios estudantes, a utilização do modelo de simulação tornou os conceitos mais compreensíveis. Os alunos declararam que os modelos tornaram a aula mais prazerosa. A utilização desse novo recurso, além do professor e do quadro, transformou completamente a aula, contribuindo positivamente para o ensino-aprendizagem.

Outro ponto que demonstrou a aplicabilidade do modelo de simulação como recurso didático, foi o fato dos grupos de alunos selecionados somente para responder o questionário e para aula teórica terem solicitado participar posteriormente de uma aula com o simulador.

### 3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises estatísticas da utilização do modelo feito com Arena em sala de aula demonstraram o potencial deste recurso como ferramenta adicional ao ensino de física no ensino médio. Quando o uso dos simuladores foi associado à aula teórica a eficiência desta ferramenta foi ainda maior.

Através da revisão realizada pelo presente trabalho, verificou-se que a SED, apesar de difundida e consolidada na área de análise, ainda é pouco utilizada em ensino e treinamentos. O uso da simulação para este assunto vem crescendo ao longo dos anos, visto que sua utilização é mais vantajosa por questões de segurança e econômicas. Estes simuladores conseguem, sem necessitar de grandes recursos laboratoriais, apresentar, de forma dinâmica, a abordagem teórica e estática que tenha sido desenvolvida previamente com os alunos em uma aula.

Apesar de não substituir as práticas laboratoriais, o uso de simuladores pode representar uma alternativa interessante em escolas com poucos recursos. Infelizmente, essa ainda é uma realidade constante no Brasil. A construção desses modelos necessita apenas de um computador com a versão gratuita do software (ambiente de simulação) instalado. Atualmente, a maioria das escolas possui um laboratório de informática. Esses laboratórios podem ser utilizados na construção e apresentação dos modelos em sala de aula. Posteriormente, uma análise desta abordagem no ambiente brasileiro pode ser um fator importante em novas pesquisas conduzindo a novas descobertas.

Vale ressaltar que o modelo desenvolvido em Arena foi construído pelo professor da disciplina, que não é um especialista em programação. Assim, uma vez que o próprio professor é o modelador, ele pode fazer alterações no modelo,

adaptando-o às necessidades exigidas para facilitar a exemplificação dos conceitos a serem abordados. O fato do próprio professor elaborar os modelos pode ser um estímulo para reforçar o elemento ensino-aprendizagem. Essa afirmação deverá ser discutida em trabalhos futuros.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

### 4.1 CONCLUSÕES

A avaliação do modelo de simulação em sala de aula comprovou a viabilidade e o potencial da utilização dos ambientes SED na construção de recursos de auxílio didático. Os resultados mostraram que o simulador aumentou significativamente as chances dos alunos acertarem as questões da avaliação. Quando o uso dos simuladores foi associado à aula teórica a eficiência desta ferramenta foi ainda maior. Esta evidência mostra que o simulador complementa o ensino teórico. Apesar de não substituir as práticas laboratoriais, o uso deste tipo de recurso pode ser uma alternativa interessante principalmente para escolas com pouca estrutura.

A verificação do simulador foi realizada em duas escolas públicas. As escolas avaliadas não possuem laboratórios para realização de práticas, com isso as aulas de físicas são sempre teóricas. Com a apreciação do modelo, confirmou-se que este recurso agrada os estudantes, tornando a aula mais prazerosa e interessante. A visualização dos fenômenos físicos de reflexão e refração através da simulação permitiu que o aluno tivesse uma relação mais estreita com o conhecimento.

Na comparação do modelo construído em Arena com o modelo construído em Java, verificou-se que a construção dos modelos de simulação nos ambientes SED é muito mais rápida. Além disso, como o próprio professor é o construtor do modelo qualquer mudança que se faça necessária poderá ser executada sem problemas. O modelo feito no ambiente de simulação Arena, apesar de possuir um grau de

detalhamento menor, é adequado às necessidades reais da sala de aula. Já o modelo em Java é mais completo, porém é elaborado por especialistas, exigindo conhecimentos avançados nessa linguagem de programação para confecção de modelos similares.

Através da revisão bibliográfica realizada, averiguou-se que a SED ainda é pouco utilizada em ensino e treinamentos. O uso da simulação para este assunto vem crescendo ao longo dos anos, visto que sua utilização é vantajosa por questões de segurança e econômicas. Estes simuladores conseguem, sem necessitar de grandes recursos laboratoriais, apresentar, de forma dinâmica, a abordagem teórica e estática desenvolvida previamente com os alunos em uma aula.

A construção desses modelos necessita apenas de um computador com a versão gratuita do software (ambiente de simulação) instalado. Segundo o censo escolar de 2011, atualmente a maioria das escolas públicas de ensino médio regular no Brasil cerca de 91,8%, possui um laboratório de informática. Esses laboratórios podem ser utilizados na construção e apresentação dos modelos em sala de aula. Na ausência de laboratórios experimentais reais, a simulação pode auxiliar na construção de experimentos virtuais. As experiências com simuladores concretizam conteúdos antes considerados abstratos.

## 4.2 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de encaminhamento no estudo referente a utilização de ambiente de simulação a eventos discretos como ferramentas para construção de simuladores didáticos sugere-se:

- Uma análise mais detalhada da utilização desses modelos de simulação no ambiente brasileiro, conduzindo a novas descobertas.
- Discutir sobre se o fato do próprio professor elaborar os modelos pode ser um estímulo para reforçar o elemento ensino-aprendizagem.
- Experimentar o simulador em outros segmentos de ensino (técnico, tecnólogo e engenharia) comparando os resultados obtidos com o presente trabalho.

- Desenvolver modelos de simulação em outras áreas da física, testando em sala de aula para averiguar os resultados.
- Treinar professores de física, para que os mesmos possam desenvolver modelos para serem utilizados em aula. Posteriormente medir o impacto da utilização desses modelos.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Jeffrey *et al*; Combining hands-on, spreadsheet and discrete event simulation to teach supply chain management, **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. 2005 2329-2337

ARANTES, Alessandra Riposati *et al*. Objetos de aprendizagem no ensino de física **Física na Escola**, v. 11, n. 1, 2010

BANKS, Jerry *et al*. **Discrete-event system simulation**. 5<sup>a</sup> ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009. 640 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Censo da educação básica: 2011 – resumo técnico**. –Brasília:, 2012 35-36.

CHRISTOU, Ioannis T., *et al*. Grid-based virtual laboratory experiments for a graduate course on sensor networks. **IEEE Transactions on Education** Fevereiro de 2007 50(1): 17-26.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. São Paulo: Bravarte, 2007.

DAVENPORT, Jon, *et al.* Using discrete event simulation to examine marine training at the Marine Corps Communication-Electronics School, **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference 2007**, 1387-1394

DE GIUSTID, Marisa Raquel *et al.* Simulation framework for teaching in modeling and simulation areas. **European Journal of Engineering Education** Outubro-Novembro - 2008 Vol. 33, Nos. 5–6,587-596.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GARCIA, Heriberto e GARCIA, Eduardo. Enhancing simulation as improvement and decision support system tool , **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference 2008** 2549-2554

GARRIDO, Jose M. e BANDYOPADHYAY, Tridib. Simulation model development in information security education, **Information Security Curriculum Development Conference** Kennesaw, GA New York, NY, USA, 2009

GOLDSMAN, David, e NANCE, Richard Brief History of Simulation Revisited **In Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. 2010 567 – 574

LAW, A. M. **Simulation modeling & analysis**. 4.ed . New York: McGraw-Hill, 2007.

KELTON, D.W., SADOWSKI, R.P., STURROCK, D.T. **Simulation with Arena**, 4 ed. New York: McGraw Hill, 2007.

KINCAID, J. P e WESTERLUND, K, K. Simulation in Education and Training **In Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference** Institute for Simulation and Training 3100 Technology Parkway University of Central Florida Orlando, FL 32826 USA. 2009 273-280

MARANGE, Pascale, *et al.* Safety validation of automation systems: Application for teaching of discrete event system contro. **International Journal of Online Engineering**. 2008

MARTÍNEZ, María. A. e CAÑADAS, Mario. A tool for the educational study of manufacturing systems. **Computer Applications in Engineering Education** 2010. 18(1): 130-143.

MERTENS, Sherry. Corps battle simulation for military training, **In Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference** Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology 4800 Oak Grove Drive Pasadena, California 91109, U.S.A. 1993.

MONTEVECHI, José Arnaldo Barra *et al.* Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company. **Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference**, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2010. 1624-1635.

NASCIMENTO, Janaína. Ribeiro e RANGEL, João. José. Assis. Modelos de Simulação a Eventos Discretos como Recursos Didáticos no Ensino Médio. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2012, Rio de Janeiro. XVI CLAIO - XLIV SBPO, 2012. p. 1-10

NUGROHO, Ivo Bahar. e SUHARTANTO Heru. Design and simulation of Indonesian education grid topology using gridsim toolkit. **Asian Journal of Information Technology** 2010. 9(5): 263-271.

PEGDEN, Claude Dennis. Future directions in future directions in simulation modeling. **In Winter Simulation Conference, 2005**, Piscataway, New Jersey. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. 2005. p. 1-35.

RANGEL, João José de Assis *et al.* Simulação a eventos discretos como recurso didático em disciplina de física no Ensino. **Modelo de S & G. Sistemas & Gestão**, 2011. v.6, 56-71.

ROSENSHINE, Matthew Panel: using simulation to teach probability **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference** 2002. 1815- 1822.

SIEMER, Julika. e Taylor Simon. J.E. Enhancing simulation education with intelligent tutoring systems. **In Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference** 1996. 675-680.

SILVA, Thiago. Miranda. Paravidino; Rangel, João. José. de Assis Discrete event simulation as didactic support to the teaching of telecommunications systems: applications in digital telephony. **Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference** New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2011. 3893-3903

SILVA, Jonathan Velasco da. *et al.* Utilização do software de simulação Arena para criação de ferramentas de apoio ao ensino. **VII Congresso nacional de excelência de gestão** 2011

SMEDS, Riitta. Simulation for accelerated learning and development in industrial management **Production Planning & Control: The Management of Operations** 2003. 107-110

STÅHL, Ingolf. Using discrete event simulation in the teaching of decision analysis **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, 2005.. 2280-2289.

STANDRIDGE, Charles. R. Teaching simulation using case studies **Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference**, 2000. 1630- 1634

TAYLOR Simon. J. E., Siemer, Julika. Enhancing simulation education with intelligent tutoring systems **Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference** 1996 675-680

VAN DER ZEE, D. J. e Slomp J. Simulation as a tool for gaming and training in operations management - A case study. **Journal of Simulation** 2009 3(1): 17-28.

VAN DER ZEE, D. J. e Slomp J. Simulation and gaming as a support tool for lean manufacturing systems – a case example from industry **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**. 2304- 2313

VAN TIL, R., M. Banachowski, *et al.* Using a discrete event simulation program in an engineering probability and statistics course **39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference Session**. 2009, M2E1 - M2E-5

VARGA, Andras. Using the OMNeT++ discrete event simulation system in education. 1999 **IEEE Transactions on Education** 42(4): 372.

WHITE JR, K. Preston.; Ingalls, Ricki. G. Introduction to simulation. **In Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference**, 2009. 12-23. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

## **APÊNDICE I – PUBLICAÇÃO ORIGINADA**

O artigo apresentado abaixo foi publicado no congresso SBPO 2012.

### **MODELOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS COMO RECURSOS DIDÁTICOS NO ENSINO MÉDIO**

**Janaína Ribeiro do Nascimento**

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos

Rua Anita Peçanha,100. Parque São Caetano. Campos dos Goytacazes - RJ

Janaina\_rn@yahoo.com.br

**João José de Assis Rangel**

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos

joao@ucam-campos.br

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo avaliar o emprego da simulação a eventos discretos como um instrumento para auxílio didático em aulas de Física no Ensino Médio. A proposta se apresenta devido à facilidade atual para elaboração de modelos de simulação com alto grau de detalhes, a baixo custo e de forma rápida com os softwares de simulação discreta. A utilização de simuladores pode aproximar os alunos da prática do assunto, facilitando a compreensão do tema, tornando, assim, a aula mais agradável e produtiva. Procuraram-se avaliar modelos de simulação construídos com linguagem de propósito geral (Java) e também ambiente de simulação discreta (Arena). Os resultados mostraram que os simuladores podem ser equivalentes quanto ao propósito. No entanto, o modelo construído em Arena foi

elaborado por um professor em 7 horas, já o outro foi estimado por um programador experiente na linguagem Java em aproximadamente 50 horas de programação.

**PALAVARAS CHAVE. Simulação a eventos discretos, Ensino, Treinamento.**

**Área principal: SIM – Simulação.**

## **ABSTRACT**

This study aims to evaluate the use of discrete event simulation as a tool to didactic aid in Physics classes in high school. The proposal presents itself due to the current facility for development of simulation models with high details, low cost and in a fast way with discrete simulation software. The use of simulators can approach the students to the practice of the subject, facilitating understanding of the subject, thus making the class more enjoyable and productive. Simulation models built with general-purpose language (Java) and also discrete simulation environment (Arena) were tried to evaluate. The results showed that the simulators may be equivalent regarding the purpose. However, the model built in Arena was designed by a teacher in seven hours; the other has been estimated by an experienced programmer in the Java language in about 50 hours of programming.

**KEYWORDS. Discrete event simulation. Education. Training.**

**Main area: SIM – Simulation.**

## **1. INTRODUÇÃO**

Em recentes trabalhos, como Silva e Rangel (2011), Van der Zee e Slomp (2009), dentre outros, foi demonstrada uma utilização alternativa para a simulação a eventos discretos (SED) como um instrumento para elaboração de recursos para auxílio didático. Assim, levantou-se a possibilidade de explorar a fronteira da SED para além das tradicionais aplicações de análise de sistemas dinâmicos e estocásticos, como em aplicações típicas de logística e manufatura. Essa hipótese surgiu devido à facilidade atual em se construir modelos de simulação, com alto grau de detalhes, a baixo custo e de forma rápida nos softwares de simulação discreta. Ou seja, a idéia é a construção de modelos de simulação como uma ferramenta de suporte didático para enriquecer uma aula com exemplos dinâmicos do assunto abordado.

Assim, um professor, mesmo que não domine amplamente as linguagens de programação, pode construir, com menor grau de dificuldade, um modelo de simulação utilizando os ambientes de desenvolvimento de SED para demonstrar conceitos a serem exemplificados em sala de aula. Caso haja a necessidade de alterar o modelo, o próprio professor poderá fazê-lo, adequando-o às necessidades exigidas por um assunto. A construção dos modelos didáticos não necessita de grandes recursos laboratoriais, uma vez que se utilizem os ambientes de simulação discreta. Apesar disso, as animações são dinâmicas e possibilitam que os alunos visualizem o desencadear do fenômeno estudado com maior grau de detalhes. Com a adoção desses modelos, as aulas podem tornar-se menos teóricas e estáticas. Essas animações aproximam os alunos do aspecto prático do assunto, utilizando apenas um computador, podendo tornar, assim, a aula mais agradável e produtiva.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar como tem sido utilizada a SED como recurso didático para o ensino e treinamento. Para este propósito, um grupo de referência foi estabelecido com base em um esquema de classificação que incluiu 20 trabalhos publicados. Além disso, este trabalho também mostra dois exemplos de simuladores utilizados como ferramentas didáticas e a comparação entre eles. O primeiro simulador foi desenvolvido por programadores utilizando a linguagem de programação Java. Este simulador é normalmente utilizado em aulas de Física para o ensino médio. Já o outro modelo de simulação foi elaborado utilizando um ambiente de SED para ser empregado em uma aula de um curso técnico de nível médio. Neste segundo caso, foi o próprio professor da disciplina quem desenvolveu o modelo de simulação para auxiliar a aula.

## **2. UTILIZAÇÃO DE SED NO ENSINO**

Segundo Goldsman *et al.* (2010), a história da simulação pode ser escrita a partir de perspectivas como as citadas a seguir:

- Utilização da simulação (análise, formação, investigação);
- tipos de modelos de simulação (discretos, contínuos, e combinados);
- linguagens de programação ou ambientes de desenvolvimento (GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, SLAM, Arena, AutoMOD, Simio); e
- domínios de aplicação ou comunidades de interesse (comunicações,

fabricação, militares, transporte).

Por outro lado, White Jr. e Ingalls (2009) mostram que as aplicações da simulação são divididas em duas categorias. A primeira é a utilização em treinamentos e/ou entretenimento, sendo esta mais associada ao propósito de estudo deste trabalho. Já a segunda relaciona-se à construção de modelos para a análise de sistemas e auxílio à decisão.

Assim, para demonstrar a evolução dos trabalhos relacionados à utilização da SED como instrumento de auxílio didático, foi realizada uma revisão de literatura com base no levantamento de publicações, onde o assunto foi tratado. Para efeitos desta análise, o ano de 1993 foi encontrado como ponto de partida das publicações. Com base na pesquisa, 20 trabalhos de 11 periódicos científicos apareceram sobre o assunto de SED aplicada ao ensino e treinamentos. Os artigos foram identificados, analisados, ordenados, e registrados sob um esquema que é mostrado no Quadro 1 em Apêndice. Cada artigo foi classificado por autores, nacionalidade dos autores, ano de publicação, revista ou conferência e área de aplicação.

A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: *Science Direct*, Scielo e Google Acadêmico. As palavras chave utilizadas foram simulação a eventos discretos, treinamento, estudantes, didático, ensino e educação. Embora esta análise não possa garantir a classificação de todos os artigos existentes relacionados ao tema, abrange uma parcela para caracterizar as publicações sobre SED aplicada ao ensino e treinamentos.

Os Estados Unidos são o país onde mais autores se interessam em escrever sobre SED aplicada ao ensino e treinamento. Dos 20 artigos, 6 (30%) são de nacionalidade americana como é mostrado pela Tabela 1. O Brasil aparece em segundo lugar, sendo o país de origem dos autores de 3 artigos encontrados. Os artigos brasileiros sobre o tema são também os mais recentes. Isto demonstra que o interesse no assunto acabou de ter início no país.

Tabela 1 – Classificação dos artigos quanto ao país de nacionalidade do autor do artigo.

País do Autor	Artigos	%
---------------	---------	---

Estados Unidos	6	30%
Brasil	3	15%
Holanda	2	10%
Inglaterra	2	10%
Alemanha, Espanha, França, Grécia, Indonésia, México, Suécia	1 cada país	5% cada país
Total	20	100%

No ano de 1993 foi publicado o primeiro artigo, Merten (1993), relacionando SED e treinamento. A classificação dos artigos quanto ao ano de publicação é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos artigos quanto ao seu ano de publicação.

Ano	Artigos	%
2011	3	15%
2010	2	10%
2009	3	15%
2008 e 2007	2 em cada ano	10% em cada ano
2005	3	15%
2003, 2002, 1999, 1996, 1993	1 em cada ano	5% em cada ano
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

O congresso que mais publicou artigos relacionados ao tema SED aplicada ao treinamento foi o *Winter Simulation Conference* (evento que tem como organizações patrocinadoras IEEE, INFORMS, IIE, dentre outras), conforme mostrado na Tabela 3. Este congresso publicou 45% dos artigos pesquisados.

A Tabela 4 mostra a classificação de acordo com as áreas de utilização, bem como a quantidade de artigos publicados em cada área.

Informática e engenharia de produção foram as áreas mais abordadas pelos artigos pesquisados. Na informática, Nugroho e Suhartanto (2010) propõem a utilização da SED para ensinar conceitos de redes de computadores em escolas.

Garrido e Bandyopadhyay (2009) aproveitaram a SED para criar modelos para educar e treinar estudantes e profissionais que trabalham com segurança da informação. Christou *et al* (2007) relacionaram a SED à criação de experimentos que auxiliem no estudo de sensores de redes de computadores. Já Varga (1999) contribuiu para o ensino de redes de computadores, sistemas paralelos e distribuídos, apresentando um sistema de simulação que é ideal para uso educacional.

Na área de engenharia de produção, Martinez e Canãdas (2010) apresentaram uma nova aplicação para o ensino de sistemas de manufatura. Esta aplicação simula os sistemas de produção com adicionais extensões, facilitando a obtenção de informações específicas. Van der Zee e Slomp (2005) ilustraram como simulação e jogos podem ser usados para apoiar os sistemas de manufatura enxuta, em particular um exemplo de caso da indústria, linha de montagem de inserção de correspondências de forma automatizada. Adams (2005) propôs melhorar o processo de aprendizagem do aluno nos princípios de gestão da cadeia de fornecedores. Já em Smeds (2003), um método para acelerar aprendizagem em gestão industrial foi apresentado.

Tabela 3 – Classificação dos artigos considerando revistas e congressos onde foram publicados.

Nome	Congresso/ Revista	N	%	Ano de publicação
Winter Simulation Conference	Congresso	9	45%	2011, 2008, 2007, 2005, 2002, 1996 e 1993
IEEE Transactions on Education	Revista	2	10%	2007 e 1999
Annual Frontiers in Education Conference	Congresso	1	5%	2009
Asian Journal of Information Technology	Revista	1	5%	2010
Computer Applications in Engineering	Revista	1	5%	2010

Education					
Congresso Nacional de Excelência Em Gestão	Congresso	1	5%	2011	
Information Security Curriculum Development Annual Conference	Congresso	1	5%	2009	
International Journal of Online Engineering	Revista	1	5%	2008	
Journal of Simulation	Revista	1	5%	2009	
Production Planning & Control: The Management of Operations	Revista	1	5%	2003	
Revista Eletrônica Sistemas & Gestão	Revista	1	5%	2011	
<b>Total</b>		20	100%	---	

Tabela 4 – Classificação dos artigos considerando suas áreas de aplicação

Área	Artigos	%
Engenharia de Produção e Informática	4 cada área	20% cada área
Simulação, Estatística, Física e Militar	2 cada área	20% cada área
Administração, Automação, Economia e Telecomunicações	1 cada área	5% cada área
<b>Total</b>	20	100%

Na simulação, Garcia e Garcia (2008) mostraram uma metodologia para projetar um jogo de simulação interativa, útil para ensinar SED para cursos de graduação. Taylor e Siemer (1996) propõem a utilização de um tutorial inteligente no ensino da SED.

Na área de Física, a SED foi utilizada por Rangel *et al* (2011) para a criação de um modelo de simulação a eventos discretos a fim de representar uma reação nuclear de fusão. Essa ferramenta foi criada com o objetivo de auxiliar o ensino de

Física em turmas de ensino médio. Além disso, Silva *et al* (2011) apresentaram o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, para o ensino de eletricidade.

Para uso militar, a simulação foi usada por Davenport *et al* (2007) e Mertens (1993). O primeiro artigo apresenta um modelo de simulação com objetivo de explorar várias possibilidades para melhorar o contínuo treinamento no Corpo de Fuzileiros Navais. Já o segundo exemplifica como a simulação pode ser usada para permitir uma melhor relação custo-benefício no treinamento.

Na estatística, Van Til *et al* (2009) utilizaram simulações para ilustrar o efeito de alterar a distribuição de probabilidade de eventos sobre o comportamento de um sistema. Além disso, geraram dados aleatórios a serem utilizados para analisar o comportamento de um sistema. Rosenshine (2002) propõe o uso de simulação como uma ferramenta de ensino a acelerar o aprendizado e, mais importante, a compreensão da teoria da probabilidade.

Nas outras áreas, merecem destaque, Silva e Rangel (2011), que desenvolveram modelos de animação para representar conceitos em telefonia digital na área de telecomunicações. Van der Zee e Slomp (2009) propõe o uso alternativo de simulação para o treinamento de trabalhadores da indústria em novos procedimentos de trabalho, classificado como uso para administração de empresas. Na Economia, Ståhl (2005) utilizou SED no curso sobre Análise de Decisão (DA). Marangé *et al* (2008) utilizaram a SED no ensino de automação, garantindo a segurança do equipamento e do operador.

#### **4. SIMULADOR PARA ENSINO DE FÍSICA**

Segundo Arantes *et al* (2010) materiais didáticos digitais vêm sendo cada vez mais produzidos e utilizados em todos os níveis de ensino. A simulação é um dos tipos mais disseminados dessas ferramentas de suporte em sala de aula.

Arantes *et al* (2010) citam como exemplo uma iniciativa na produção de simulações para o ensino de Física, protagonizada por Carl Wieman, laureado com o Nobel de Física de 2001. PhET - sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física - é um programa da Universidade do Colorado (EUA) que pesquisa e desenvolve simulações na área de ensino de Ciências (<http://phet.colorado.edu>) e as disponibiliza em seu portal para serem usadas on-line ou serem baixadas gratuitamente pelos usuários.

Um dos exemplos encontradas no PhET pode ser visualizada na Figura 2. O exemplo aborda conceitos da reflexão e refração da luz. O simulador foi elaborado pelos programadores do PhET utilizando Java. O modelo oferece a opção de escolha dos ângulos, dos materiais e dos índices de refração. Além disso, permite visualizar os ângulos através de um transferidor e permite, também, visualizar a propagação da onda de luz podendo alterar a sua velocidade.

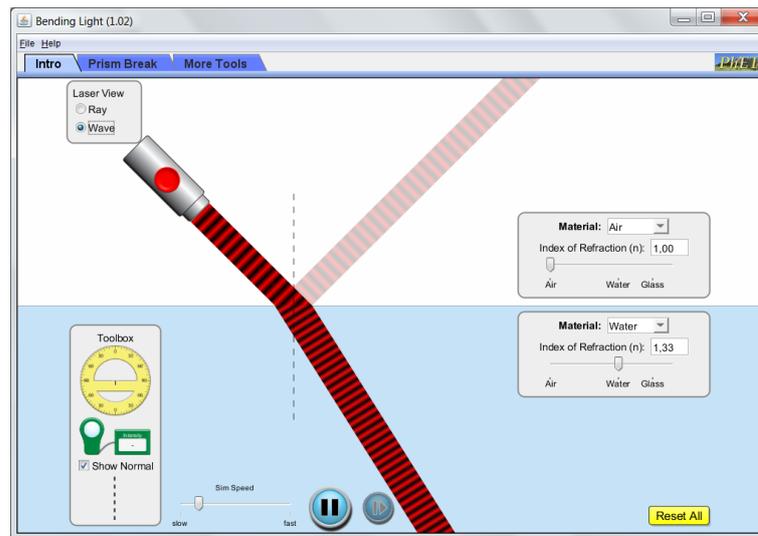


Figura 2 - Área do simulador desenvolvido pelo PhET

Fonte: (<http://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light>)

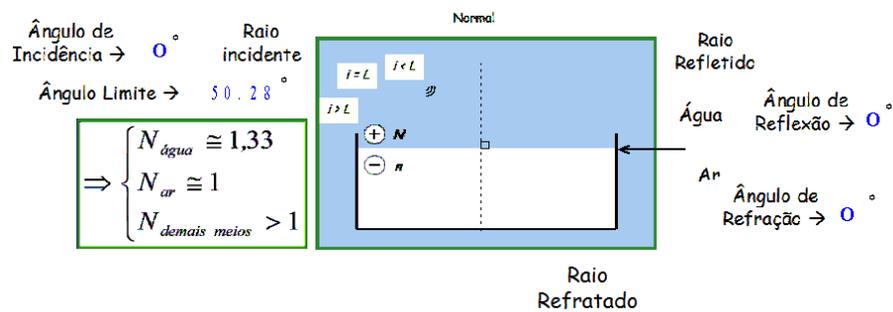
## 5. SIMULADOR CONSTRUÍDO COM UM AMBIENTE DE SED

A Figura 3 mostra alguns instantes da animação de um modelo de simulação para ilustrar conceitos de reflexão e refração da luz. O referido modelo foi desenvolvido com a versão livre do software de simulação Arena. Esta versão pode ser baixada, instalada e utilizada por professores e/ou estudantes sem qualquer ônus financeiro.

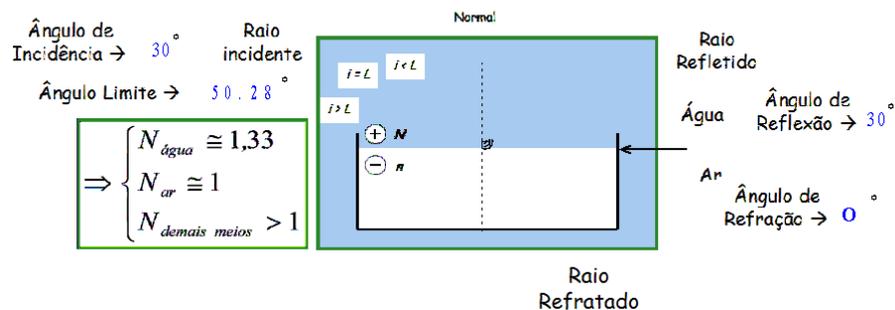
Apesar de a luz ser um fenômeno contínuo, os modelos de simulação que representaram a ilustração dos conceitos físicos de reflexão e refração de propagação da luz puderam ser representados em um modelo de simulação discreta, onde a entidade foi a onda de luz. O modelo de simulação foi desenvolvido pelo próprio professor da disciplina após ter realizado um treinamento de 20 horas para utilizar o ambiente de desenvolvimento do Arena.

O exemplo mostra a trajetória da luz ao propagar-se da água para o ar. Além de desenhar a trajetória e indicar o ângulo limite pré-definido, a animação mostra o ângulo de reflexão e refração em função do ângulo de incidência escolhido. Como o ângulo escolhido foi de  $30^\circ$  (ângulo menor do que o ângulo limite), o ângulo de reflexão será de  $30^\circ$  e o de refração, de  $41^\circ$ . O usuário poderá escolher outros valores para o ângulo de incidência e dependendo da sua classificação (menor, igual ou maior do que o ângulo limite), o raio percorrerá uma trajetória diferente, variando também os ângulos de reflexão e refração.

## Reflexão e Refração



## Reflexão e Refração



## Reflexão e Refração

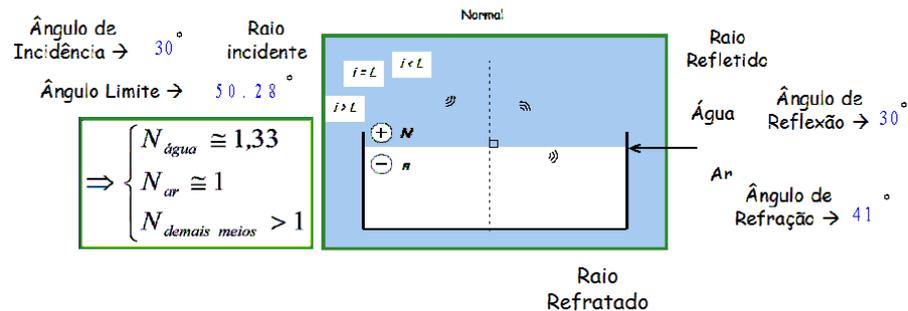


Figura 3 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 3 instantes diferentes da execução do modelo de simulação em Arena.

Se o ângulo incidente escolhido for maior do que o ângulo limite, acontece a reflexão total da luz, sendo a luz apenas refletida e não mais refratada. A Figura 4 mostra o modelo de simulação que representa esse fenômeno. No exemplo ilustrado pelo modelo, o ângulo limite é de 50,28°.

## Reflexão e Refração

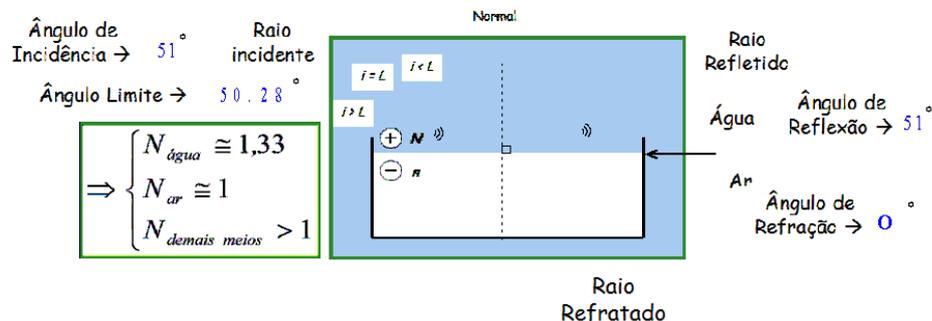


Figura 4 - Animação dos fenômenos de reflexão e refração em 1 instante de execução quando o ângulo incidente escolhido é maior do que o ângulo – Reflexão total da luz

## 6. COMPARAÇÃO ENTRE OS SIMULADORES APRESENTADOS

Os dois modelos apresentados trabalham os mesmos conceitos de Física (reflexão e refração de luz) de forma dinâmica. Uma comparação dos modelos é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparação do Simulador PhET e o simulador em Ambiente SED

<b>Características</b>	<b>Simulador PhET</b>	<b>Simulador em Ambiente SED</b>
Ambiente de desenvolvimento	Java	ARENA
Desenvolvedor	Programador	Professor da disciplina
Licença	Não	Não (Versão Acadêmica)
Interatividade	Sim	Sim
Permite alteração	Não	Sim
Modelo dinâmico	Sim	Sim
Ajuste de visualização	Não	Sim
Grau de detalhamento	Maior	Menor
Tempo de desenvolvimento	50 a 60 horas *	7 horas

\* Tempo estimado por um programador experiente com a linguagem Java.

O simulador encontrado no PhET é mais completo, oferece mais recursos do que o desenvolvido em Arena. Este modelo foi elaborado por programadores na linguagem Java, exigindo conhecimentos avançados nessa linguagem de programação para confecção de modelos similares.

Já o modelo feito no ambiente de simulação Arena possui um grau de detalhamento menor. Como o desenvolvedor é o próprio professor da disciplina, este modelo é adequado às necessidades reais da sala de aula. Caso haja o desejo de executar futuras mudanças, o próprio professor poderá fazê-las.

Os ambientes SED oferecem diversos recursos que, explorados, poderão dar dinamicidade a variadas disciplinas. Além disso, a utilização de simuladores em sala de aula não dependerá de encontrar essas ferramentas na internet.

O tempo estimado para a confecção do modelo feito no ambiente SED é de aproximadamente 7 horas. Vale lembrar que o professor (desenvolvedor) recebeu apenas um treinamento equivalente há 20 horas.

## 7. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão da literatura sobre SED aplicada ao treinamento com 20 artigos em 11 revistas acadêmicas. Para este efeito, uma classificação foi desenvolvida para organizar cada artigo de acordo com sua área de utilização. Além disso, os artigos no esquema proposto foram classificados de acordo com o país de origem do autor, o ano de publicação, a revista ou conferência que publicou o artigo.

Através dessa revisão, verificou-se que a SED, apesar de difundida e consolidada na área de análise, ainda é pouco utilizada em ensino e treinamentos. O uso da simulação para este assunto vem crescendo ao longo dos anos, visto que sua utilização é mais vantajosa por questões de segurança e econômicas. Estes simuladores conseguem, sem necessitar de grandes recursos laboratoriais, apresentar, de forma dinâmica, a abordagem teórica e estática que tenha sido desenvolvida previamente com os alunos em uma aula.

Vale ressaltar que o modelo desenvolvido em Arena foi construído pelo professor da disciplina, que não é um especialista em programação. Assim, uma vez que o próprio professor é o modelador, ele pode fazer alterações no modelo, adaptando-o às necessidades exigidas para facilitar a exemplificação dos conceitos a serem abordados.

Uma avaliação interessante para trabalhos futuros poderia ser a comparação do tempo exato de elaboração dos modelos desenvolvidos em um ambiente de simulação discreta e também em outra linguagem de programação como Java. Além do tempo, o grau de especialização dos programadores dos modelos e a compatibilidade obtida pelos diferentes simuladores em aula. Uma outra abordagem para a avaliação neste contexto seria observar o ganho que poderia ser alcançado pelos alunos após a utilização deste recurso em aula.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ADAMS, J., J. FLATTO, et al.** (2005). Combining hands-on, spreadsheet and discrete event simulation to teach supply chain management, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference* 2329-2337 M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

**ARANTES A. R., MIRANDA M. S. e STUDART N.** (2010) Objetos de aprendizagem no ensino de física *Física na Escola*, v. 11, n. 1,

**Christou, I. T., S. Efremidis, et al.** (2007). Grid-based virtual laboratory experiments for a graduate course on sensor networks. *IEEE Transactions on Education* 50(1): 17-26.

**DAVENPORT, J., C. NEU, et al.** (2007). Using discrete event simulation to examine marine training at the Marine Corps Communication-Electronics School, *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference* S. G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew, and R. R. Barton, eds.. 1387-1394

**GIUSTI, M de. R., A. J. Lira, et al.** (2008). Simulation framework for teaching in modeling and simulation areas. *European Journal of Engineering Education* 33(5-6): 587-596.

**GARCIA, H. e GARCIA, E.** (2008) Enhancing simulation as improvement and decision support system tool , *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference* S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler eds. 2549-2554

**GARRIDO, J. M. e BANDYOPADHYAY, T.** (2009). Simulation model development in information security education, Kennesaw, GA. 2009 Information Security Curriculum Development Conference New York, NY, USA

**GOLDSMAN, D, A e NANCE, R, E.** (2010) A Brief History of Simulation Revisited *In Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* eds B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan 567 – 574 Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

**MARANGE, P., F. GELLOT, et al.** (2008). Safety validation of automation systems: Application for teaching of discrete event system contro. *International Journal of Online Engineering* .

**MARTÍNEZ, M. A. e M. CAÑADAS** (2010). A tool for the educational study of manufacturing systems. *Computer Applications in Engineering Education* 18(1): 130-143.

**MERTENS, S.** (1993). Corps battle simulation for military training, *In Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference* 1053- 1056 G. W. Evans, M. Mollaghasemi, E.C. Russell, W.E. Biles (eds.)

**NUGROHO, I. B. and H. SUHARTANTO** (2010). Design and simulation of Indonesian education grid topology using gridsim toolkit. *Asian Journal of Information Technology* 9(5): 263-271.

**RANGEL J. J. A., TEIXEIRA a. C. T., SHIMODA e., LISBÔA R. T.** (2010) Simulação a eventos discretos como recurso didático em disciplina de física no Ensino. *Modelo de S & G. Sistemas & Gestão*, v.6, 56-71.

**ROSENSHINE, M.** (2002) Panel: using simulation to teach probability *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference* E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, eds. 1815- 1822.

**SILVA, T. M. P; RANGEL, J. J. D. S** (2011) Discrete event simulation as didactic support to the teaching of telecommunications systems: applications in digital telephony. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu, eds. 3893-3903 -Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

**SILVA, J. V.; VIANNA, D. S; SHIMODA E; LISBOA R. T.** (2011) Utilização do software de simulação Arena para criação de ferramentas de apoio ao ensino. *VII Congresso nacional de excelência de gestão*

**SMEDS, R.** (2003) Simulation for accelerated learning and development in industrial management *Production Planning & Control: The Management of Operations* 107-110

**STÅHL, I.** (2005) Using discrete event simulation in the teaching of decision analysis *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference* M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds. 2280-2289.

**TAYLOR S. J. E., SIEMER, J.** (1996) Enhancing simulation education with intelligent tutoring systems *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference* ed. J. M. Charnes, D. J. Morrice, D. T. Brunner, and J. J. Swain 675-680

**VAN DER ZEE, D. J. e SLOMP J.** (2009) Simulation as a tool for gaming and training in operations management - A case study. *Journal of Simulation* 3(1): 17-28.

**VAN DER ZEE, D. J. e SLOMP J.** (2005) Simulation and gaming as a support tool for lean manufacturing systems – a case example from industry *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference* M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds. 2304- 2313

**VAN TIL, R., M. BANACHOWSKI, et al.** (2009). Using a discrete event simulation program in an engineering probability and statistics course *39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference Session M2E1 - M2E-5*

**Varga, A.** (1999). Using the OMNeT++ discrete event simulation system in education. *IEEE Transactions on Education* 42(4): 372.

**WHITE Jr, K. P.; INGALLS, R. G.** Introduction to simulation. *In Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, eds. M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, and R. G. Ingalls, 12-23. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

## **APÊNDICE II - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA AVALIAÇÃO.**

1. Quando olhamos o espelho qual fenômeno é possível observar:

- a) a refração
- b) a reflexão
- c) a ressonância
- d) a interferência
- e) a difração

2) Complete a frase: “A..... é o fenômeno ondulatório que ocorre com a onda quando esta muda de meio.”

- a) a refração
- b) a reflexão
- c) a ressonância
- d) a interferência
- e) a difração

3. O que é reflexão:

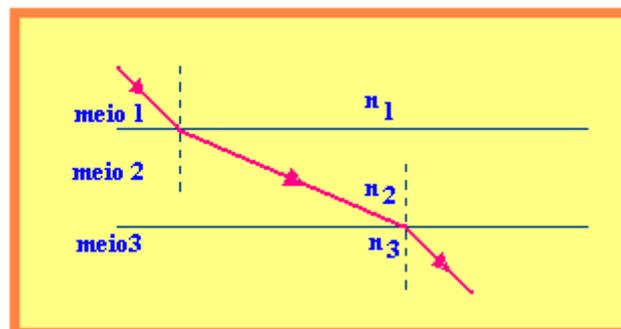
- a) Quando a luz que se propaga por um meio e encontra em seu caminho uma superfície, pode ser rebatida e voltar ao mesmo meio em que se propagava, mudando de direção e conservando a velocidade.

- b) Quando a luz que se propaga por um meio e encontra em seu caminho uma superfície, mas continua seu caminho, mantendo a direção e conservando a velocidade.
- c) Quando a luz que se propaga por dois meios
- d) Quando a luz muda direção e conserva a velocidade
- e) Quando a luz que se propaga por um meio e encontra em seu caminho um obstáculo.

4. Com relação aos ângulos de reflexão e refração podemos afirmar que:

- a) São iguais
- b) O ângulo de reflexão é o dobro do ângulo de refração
- c) O ângulo de reflexão é a metade do ângulo de refração
- d) O ângulo de reflexão é o ângulo de refração mais o ângulo de incidência
- e) O ângulo de reflexão é o ângulo de refração menos o ângulo de incidência

3) Um raio de luz monocromática atravessa três meios ópticos de índices de refração absolutos  $n_1$ ,  $n_2$  e  $n_3$ , conforme a figura:

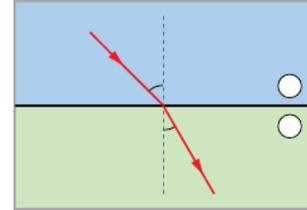


Sendo paralelas as superfícies de separação do meio 2 com os outros dois meios, é correto afirmar que:

- a)  $n_1 > n_2 > n_3$
- b)  $n_1 > n_3 > n_2$
- c)  $n_2 > n_3 > n_1$
- d)  $n_2 > n_1 > n_3$
- e)  $n_3 > n_1 > n_2$

5) A figura ao lado mostra um raio de luz monocromática que passa do meio 1 para o meio 2 e sofre uma refração. Considerando  $i$  o ângulo de incidência e  $r$  o de refração, pode-se afirmar que:

- a) o meio 2 é mais refringente do que o meio 1.
- b) o meio 1 é mais refringente do que o meio
- c) a velocidade da luz no meio 2 é maior do que no meio 1.
- d) a velocidade da luz é igual em ambos os meios.
- e) o índice de refração  $n$  do meio 1 é maior do que o do meio 2  $n$



### APÊNDICE III - QUADRO 1: RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES

	PRIMEIRO AUTOR	NACIONALIDADE PRIMEIRO AUTOR	ANO	REVISTA/ EVENTO	ÁREA
1	Silva	Brasil	2011	Winter Simulation Conference	Telecomunicações
2	Rangel	Brasil	2011	Revista Eletrônica Sistemas & Gestão	Física
3	Silva	Brasil	2011	Congresso Nacional de Excelência em Gestão	Física
4	Nugroho	Indonésia	2010	Asian Journal of Information Technology	Informática
5	Martinez	Espanha	2010	Computer Applications in Engineering Education	Engenharia de Produção
6	Van Til	Estados Unidos	2009	39th Annual Frontiers in Education Conference: Imagining and Engineering Future CSET Education, FIE 2009	Estatística
7	van der Zee	Holanda	2009	Journal of Simulation	Administração de Empresas
8	Garrido	Estados Unidos	2009	2009 Information Security Curriculum Development Annual Conference,	Informática

InfoSecCD'09					
9	Garcia	México	2008	Winter Simulation Conference	Simulação
10	Marangé	França	2008	International Journal of Online Engineering	Automação
11	Davenport	Estados Unidos	2007	Winter Simulation Conference	Militar
12	Christou	Grécia	2007	IEEE Transactions on Education	Informática
13	Ståhl	Suécia	2005	Winter Simulation Conference	Economia
14	Van der Zee	Holanda	2005	Winter Simulation Conference	Engenharia de produção
15	Adams	Estados Unidos	2005	Winter Simulation Conference	Engenharia de produção
16	Smeds	Inglaterra	2003	Production Planning & Control: The Management Operations	Engenharia de produção
17	Rosenshine	Estados Unidos	2002	Winter Simulation Conference	Estatística
18	Varga	Alemanha	1999	IEEE Transactions on Education	Informática
19	Taylor	Inglaterra	1996	Winter Simulation Conference	Simulação
20	Merten	Estados Unidos	1993	Winter Simulation Conference	Militar