

APRENDIZAGEM INTERATIVA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS ATRAVÉS DE UMA DINÂMICA COM PEÇAS LEGO®

Fabiano Leal

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, n.1303, bairro Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil
fleal@unifei.edu.br

Isabela Passos Alvim

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, n.1303, bairro Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil
isabelalalvim@hotmail.com

Alexandre Ferreira de Pinho

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, n.1303, bairro Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil
pinho@unifei.edu.br

RESUMO

Um curso de modelagem e simulação a eventos discretos não deve apenas desenvolver nos alunos habilidades relacionadas ao uso da linguagem de programação e análise estatística. O aluno deve ser capaz de abstrair o sistema real na forma de modelo. Esta abstração não envolve somente ciência, mas também arte. Desta forma, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma dinâmica de ensino para cursos de simulação a eventos discretos, que seja capaz de desenvolver no aluno a habilidade de abstração e representação de sistemas reais em modelo conceitual e computacional. Para isto, foram utilizados na dinâmica bloquinhos de montagem Lego®*MindStorms*, para a montagem de uma ratoeira. Na dinâmica, os alunos foram orientados a utilizar a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, que possibilita uma modelagem conceitual com foco na lógica de simulação. Os resultados mostraram que a dinâmica atingiu seu objetivo, motivando e preparando os alunos para futuros projetos de simulação.

PALAVRAS CHAVE. IDEF-SIM, Simulação, Aprendizagem interativa.

Área principal : EDU - PO na Educação

ABSTRACT

A course on modeling and discrete event simulation must not only develop in students skills related to the use of the programming language and statistical analysis, but also the real system that is presented as a model. This abstraction involves not only science but also art. Thus, this study aims to develop an educational dynamic for courses of discrete event simulation, which should be able to develop in each student the ability of abstraction and representation of real systems in conceptual and computational models. Little blocks of LEGO®*MindStorms* were used for the assembly of a trap. In dynamic, students were instructed to use the conceptual modeling technique IDEF-SIM, which allows a conceptual modeling with a focus on simulation logic. The results showed that the dynamic has achieved its goal, motivating and preparing students for future simulation projects.

KEYWORDS. IDEF-SIM, Simulation, Interactive learning.

Main area: EDU - OR in Education

1. Introdução

A modelagem e simulação é um método de pesquisa muito discutido na literatura. Law (2006) afirma que o uso de modelos de simulação vem a substituir experimentações diretamente em sistemas reais (existentes ou não), nos quais os experimentos se tornam inviáveis economicamente, ou mesmo impossíveis de se realizar.

Embora o nome “simulação” sugira apenas a construção de um modelo computacional, este método de pesquisa envolve diferentes etapas. Montevechi *et al.* (2010) apresentam um fluxograma com várias atividades que constituem um projeto de modelagem e simulação. Estas atividades estão divididas em três grandes blocos: concepção, implementação e análise.

Estes blocos se caracterizam, sobretudo, por traduzirem o sistema real a ser simulado em três sucessivos modelos. A etapa de concepção é caracterizada pela confecção do modelo conceitual, que representa a abstração do sistema real registrada de forma visual. A partir deste modelo conceitual, é confeccionado o modelo computacional, fazendo-se uso de um *software* de simulação. Esta modelagem ocorre na etapa de implementação. Por fim, estando o modelo computacional devidamente verificado e validado através de técnicas presentes na literatura (LEAL *et al.*, 2011), diz-se que o modelo computacional está apto à realização de experimentos, ou seja, diz-se que o modelo está operacional (etapa de análise).

Para Kleijnen (1995), a visão completa do processo de modelagem e simulação envolve arte e ciência. A partir desta afirmação pode-se constatar que um curso de modelagem e simulação não deve apenas desenvolver nos alunos habilidades relacionadas ao uso da linguagem de programação e análise estatística. O aluno deve ser capaz de abstrair o sistema real na forma de modelo. Esta abstração, com forte característica de arte e ciência, deve ser considerada uma habilidade a ser desenvolvida em alunos que desejam elaborar projetos de simulação.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma dinâmica de ensino para cursos de simulação a eventos discretos, que seja capaz de desenvolver no aluno a habilidade de abstração e representação de sistemas reais em modelo conceitual e computacional.

A dinâmica fará uso de bloquinhos de montagem Lego® *MindStorms*. Os alunos participantes desta dinâmica serão organizados em uma linha de montagem com postos de trabalho definidos. O produto final desta linha será uma espécie de ratoeira. Depois de produzidas as ratoeiras, os alunos deverão confeccionar o modelo conceitual e o modelo computacional deste sistema. A expectativa é utilizar esta dinâmica de ensino em cursos de simulação a eventos discretos, independente do software de simulação escolhido.

2. Modelagem conceitual através da técnica IDEF-SIM

A modelagem conceitual corresponde a uma fase da simulação a eventos discretos, como mostram Chwif e Medina (2006); Law e Kelton (2000). Porém, os próprios autores Chwif e Medina (2006, p.55) afirmam em seu trabalho que “(...) a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação (...) embora muitos livros e muitos analistas pulem esta etapa.”

Para Hernandez-Matias *et al.* (2008), não há um único método de modelagem conceitual que pode modelar completamente um sistema complexo de manufatura. Como resultado das limitações destas técnicas, diferentes métodos integrados de modelagem têm sido desenvolvidos.

O modelo conceitual deve ser uma descrição independente do software de simulação. Para Brooks e Robinson (2001), o modelo conceitual pode orientar a coleta de dados, de forma a definir os pontos de coleta no processo, facilitando a posterior confecção do modelo computacional.

É comum na modelagem conceitual o uso de técnicas de mapeamento de processos, como o fluxograma, IDEF (*integrated definition methods*), DFD (*data flow diagrams*), UML (*unified modeling language*) entre outras. Podem-se perceber, em projetos de simulação publicados, que muitas vezes os benefícios do modelo conceitual são pouco explorados, principalmente porque estas técnicas de mapeamento não foram concebidas focando a lógica da simulação.

Buscando um melhor aproveitamento do modelo conceitual, trabalhos como Leal, Almeida e Montevechi (2008); Leal (2008) e Montevechi *et al.* (2010) apresentam uma técnica de modelagem conceitual com foco na lógica da simulação, chamada de IDEF-SIM (*integrated definition methods-Simulation*). Este nome se deve ao fato da técnica ser uma adaptação da simbologia do IDEF com novos elementos, buscando uma representação conceitual mais próxima da lógica da simulação. A Tabela 1 mostra a simbologia do IDEF-SIM.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Locais		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E
	 x	Regra OU
	 o	Regra E/OU
Transporte		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Tabela 1 – Simbologia utilizada no IDEF-SIM

A função detalhada de cada um dos elementos são as seguintes:

- Entidade: são os itens que irão passar por processamento pelo sistema, podendo representar entre outros: matéria-prima, produtos e pessoas. Esses itens podem ser agrupados ou divididos durante o processo e sua movimentação pode ser feita tanto de forma própria quanto por um recurso;
- Locais: representam os locais onde a entidade irá sofrer uma ação. Em linhas gerais, os locais são os postos de trabalho, postos de atendimento (modificam as entidades), filas, estoques (controlam o fluxo desta entidade no tempo), entre outros;
- Fluxo de Entidade: refere-se ao direcionamento da entidade no modelo, fazendo referência tanto aos momentos de entrada quanto saída das entidades dos locais;
- Recursos: representam os elementos responsáveis pela movimentação das entidades e por executar atividades nos locais, podendo representar pessoas ou equipamentos. Esses recursos podem ainda sofrer outra classificação: os estáticos são aqueles em

que não existe movimentação enquanto os dinâmicos são dotados de uma possibilidade de movimento, dentro de um caminho pré-definido;

- Controles: são as regras utilizadas nos locais para definir as diretrizes das ações às quais as entidades serão submetidas;
- Regras para Fluxos Paralelos e/ou Alternativos: essas regras são baseadas na técnica IDEF3, sendo dentro desse contexto chamadas de junções. A intenção desses blocos é fornecer uma relação lógica que pode ser aplicada logo após uma função. Após uma função ser realizada mais de um caminho pode ser tomado e nestes casos as regras lógicas E, OU e E/OU devem ser aplicadas;
- Transporte: representa uma movimentação de entidade, considerada pelo modelador como relevante dentro do contexto do modelo. Ao representar este estado, espera-se na implementação computacional uma programação específica que forneça um detalhamento de dados como tempo gasto no transporte e recursos utilizados;
- Informação Explicativa: objetiva inserir no modelo uma explicação visando facilitar o entendimento do modelo;
- Fluxo de Entrada no Sistema Modelado: define a entrada ou criação de entidades dentro do modelo;
- Ponto Final do Sistema: define o final de um caminho dentro do fluxo de modelagem;
- Conexão com Outra Figura: utilizada para possibilitar a divisão do modelo em diferentes figuras, mantendo uma fácil visualização do sequenciamento entre os modelos.

A técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM apresenta a característica de independência ao *software* de simulação. Os comandos que realizam a lógica representada no IDEF-SIM são característicos de cada *software*. Na dinâmica descrita neste trabalho, o *software* utilizado foi o Promodel 2011®. Como exemplo desta aplicabilidade do IDEF-SIM com outros *softwares* de simulação, pode-se citar o trabalho de Rangel e Nunes (2011), que utilizaram o IDEF-SIM antecedendo a modelagem computacional com o *software* Arena®.

3. Aprendizagem interativa

Autores como McIntyre e Wolff (1998) já destacavam em seu trabalho que os alunos não aprendem simplesmente recebendo informações, mas sim de forma construtiva através de um processo de reflexão sobre o material e interação com ele, criando assim um entendimento. Assim, a interatividade é um ingrediente importante na aprendizagem eficaz, permitindo o aluno se engajar e refletir sobre questões problemáticas. Esta aprendizagem interativa pode ser operacionalizada através de jogos educacionais.

Os jogos educacionais representam uma ótima ferramenta na área da educação e estudos acerca deste tema têm se tornado cada vez mais frequentes no campo acadêmico. Existe a expectativa entre professores de que os jogos educacionais possam trazer benefícios para os processos de ensino e aprendizagem. Autores como Savi e Ulbricht (2009) apontam diversos jogos desenvolvidos e utilizados em diferentes níveis de ensino e disciplinas.

Porém, embora se tenha indícios de que os jogos educacionais possam ser ferramentas capazes de aprimorar o processo de ensino-aprendizagem (PRENSKY, 2001; GARRIS; AHLERS e DRISKELL, 2002), e que este tipo de recurso atraia a atenção de professores e alunos, muitas vezes não se conhece o grau de contribuição que determinados jogos educacionais podem trazer.

A avaliação dos jogos educacionais geralmente é limitada e, por vezes, inexistente (CONNOLLY, STANSFIELD e HAINEY, 2007). Hays (2005) comenta que em muitos casos a decisão em se utilizar jogos educacionais é baseada em suposições de seus benefícios, ao invés de ser fundamentada em avaliações mais formais e concretas. Alguns pesquisadores, baseados em diferentes tipos de avaliação de jogos educacionais, têm proposto modelos de avaliação, como é o

caso de Savi *et al.* (2010) que propuseram um modelo para avaliação de jogos educacionais baseado em alguns referenciais teóricos como o modelo de avaliação de Kirkpatrick (KIRKPATRICK, 1994), o modelo ARCS (KELLER, 2009) e a taxonomia de Bloom (BLOOM, 1956).

No campo educacional, a motivação para aprender é um elemento essencial em qualquer sistema, segundo Keller (2009). Por isso os ambientes de aprendizagem precisam ser projetados com cuidado para provocarem um nível adequado de motivação nos estudantes (HUANG, HUANG e TSCHOPP, 2010). Há princípios comuns encontrados na literatura das teorias motivacionais no processo de aprendizagem. Keller (1987) identificou e classificou os princípios motivacionais nas seguintes categorias: atenção, relevância, confiança e satisfação. Após alguns anos de pesquisa, esses princípios ficaram conhecidos como o modelo ARCS (*Attention, Relevance, Confidence and Satisfaction*).

4. A Dinâmica

4.1. Apresentação

A dinâmica foi nomeada como “dinâmica da ratoeira”, devido ao produto final montado pelos alunos ser uma ratoeira. Para a realização desta dinâmica, foram utilizados conjuntos de montagem Lego®.

O sistema LEGO® é um brinquedo cujo conceito se baseia em partes que se encaixam permitindo inúmeras combinações. Criado pelo dinamarquês Ole Kirk Christiansen, as peças Lego® são fabricadas em escala industrial em plástico injetado desde meados da década de 1950, popularizando-se em todo o mundo desde então.

Os produtos LEGO® encontram-se em massa nos grandes institutos de educação nos países desenvolvidos, desde a pré-escola, onde as linhas tradicionais do grupo divertem as crianças e estimulam a sua concentração e criatividade, até à universidade, onde linhas tecnológicas como a LEGO *Technic* e a LEGO *Mindstorms* permitem aos estudantes aperfeiçoarem-se em design, robótica e mecatrônica (LINDH e HOLGERSSON, 2007).

Nesta dinâmica, foram utilizados os conjuntos de montagem LEGO *Mindstorms*, acompanhados de conjuntos de peças extras, chamados de LEGO *Resource set*. Estes conjuntos estão representados na Figura 01.



Figura 01 – Conjunto de peças Lego *Resource set* e Lego *Mindstorms*

O produto final desta dinâmica é uma ratoeira, cujo projeto detalhado de montagem está disponível em <http://www.nxtprograms.com>. A Figura 02 representa o produto final da dinâmica.



Figura 02 – Produto final da dinâmica: a ratoeira

A dinâmica foi aplicada em um laboratório de ensino, chamado na instituição de LMAI (Laboratório de Métodos de Aprendizagem Interativa). Este laboratório contém quatro mesas e cadeiras, monitor de TV, câmera filmadora e armários para armazenamento das peças de montagem. O projeto original da montagem da ratoeira foi dividido em sete etapas de montagem, constituindo assim sete postos de trabalho (cada posto de trabalho com um aluno). A Figura 03 mostra a disposição destes sete postos de trabalho. Outros alunos são alocados em posições que permitam a cronometragem dos tempos e em locais que permitam uma observação geral do processo, contribuindo assim no momento de construir o modelo conceitual.

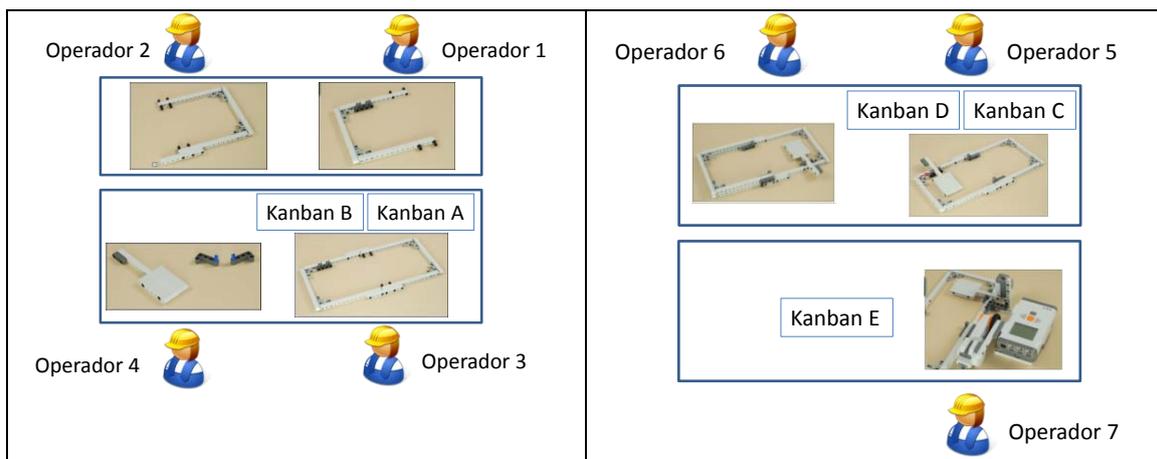


Figura 03 – Disposição dos sete postos de trabalho da dinâmica

A ratoeira é produzida seguindo uma linha de montagem. Todos os alunos alocados nos postos de trabalho dispõem de folhas de trabalho padrão. A Figura 04 mostra algumas destas instruções nos postos de trabalho.



Figura 04 – Instruções de trabalho e material disponível para a dinâmica, nas operações 1 e 4, respectivamente na foto.

4.2 Modelagem conceitual e aspectos observados

Ao iniciar a dinâmica, somente os operadores 1, 2 e 4 iniciam suas respectivas montagens. O operador 1, ao encerrar sua montagem, levanta-se da cadeira e leva sua parte montada até o *kanban* A. Este *kanban* é um espaço delimitado em uma folha, com capacidade de armazenar uma única peça. Da mesma forma, o operador 2, ao encerrar sua montagem, levanta-se da cadeira e leva sua parte montada até o *kanban* B, também com capacidade de uma unidade. O operador 4, ao encerrar sua montagem, também levanta-se da cadeira e leva sua parte montada até o *kanban* D.

O operador 3 aguarda o abastecimento dos *kanbans* A e B para iniciar sua montagem (união das partes entregues pelos operadores 1 e 2). O operador 3, ao encerrar sua montagem, levanta-se da cadeira e leva sua parte montada até o *kanban* C.

O operador 5 aguarda o abastecimento dos *kanbans* C e D para iniciar sua montagem (união das partes entregues pelos operadores 3 e 4). O operador 5, ao encerrar sua montagem, entrega o resultado de sua montagem ao operador 6 (neste caso não há *kanban*).

O operador 6, ao receber a montagem do operador 5, finaliza o produto. A seguir, este operador levanta-se da cadeira e leva o produto até o *kanban* E. O operador 7 retira a montagem do *kanban* E e faz o teste da ratoeira, acoplando-a em um microcomputador previamente programado. Após acoplada ao microcomputador, a ratoeira (de forma segura) prende a mão do aluno ao ser acionada. Este movimento indica que as partes foram corretamente montadas ao longo da linha.

O número de ratoeiras montadas dependerá do número de conjuntos Lego® disponibilizados para a dinâmica. É importante deixar as peças previamente separadas antes do início da montagem. Além dos sete alunos que participam diretamente da montagem, outros alunos assumem o papel de cronometristas, a fim de se obter os tempos de cada operação e dos transportes envolvidos. No total, esta dinâmica é aplicada com 15 alunos, somando operadores, cronometristas e observadores.

Ao final da montagem, com o auxílio do professor, os alunos devem montar o modelo conceitual, utilizando a técnica IDEF-SIM. Como já descrito na revisão bibliográfica, esta técnica induz o aluno a mapear o processo com a mesma lógica utilizada na simulação. Neste momento, os alunos desenvolvem a capacidade de abstração, registrando o processo real que presenciaram em uma representação visual padronizada. A elaboração deste modelo conceitual é feito através de uma discussão com todos os alunos envolvidos nas operações e na observação. Os principais elementos a serem percebidos pelos alunos e representados no IDEF-SIM são:

- Locais de entrada do modelo: é importante que os alunos identifiquem no sistema os pontos de entrada de matéria-prima. Estes postos de trabalho são caracterizados por iniciarem o trabalho logo no início do período de simulação, sem dependerem de outros postos de trabalho. Encaixam-se nesta situação as operações 1, 2 e 4 (OP1,

OP2 e OP4, de acordo com a Figura 05). As entidades (MP) chegam nestes locais no IDEF-SIM caracterizadas pelo conector de entrada (fluxo de entrada no sistema modelado, como mostra a Tabela 01).

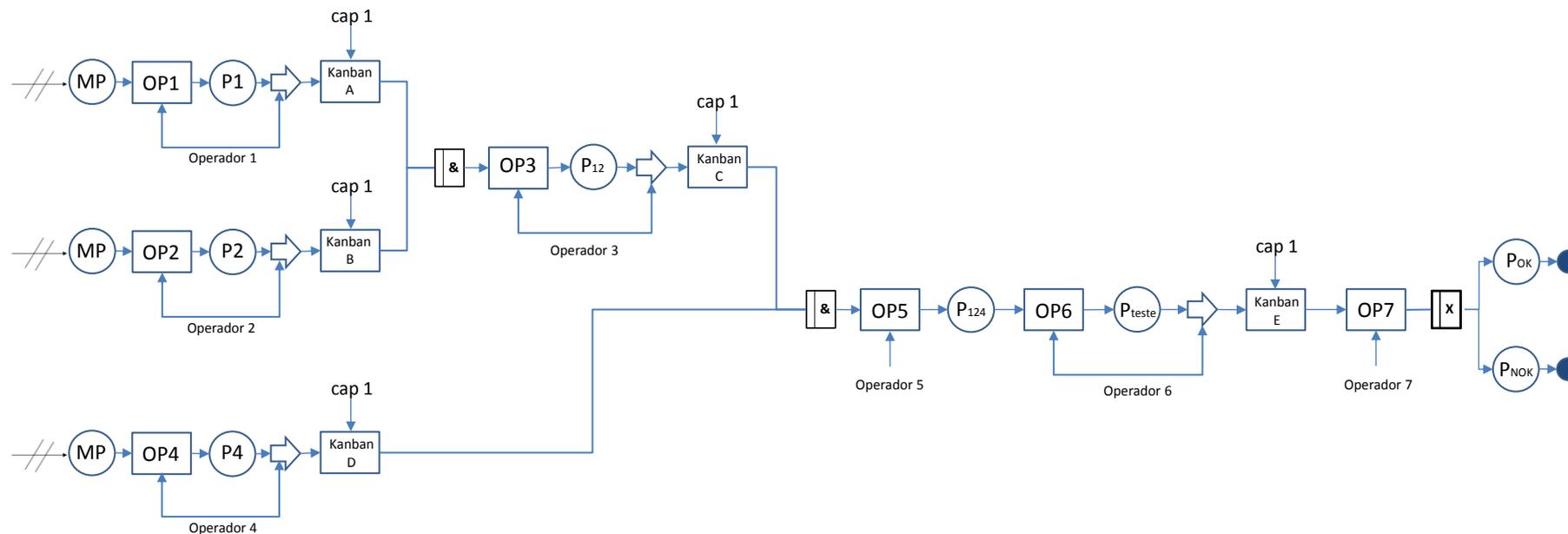
- Locais que modificam as entidades ou alteram seu *lead time* no fluxo: nesta categoria se encaixam todas as operações e todos os *kanbans*. Estes locais são registrados no IDEF-SIM através de retângulos. Informações de controle consideradas importantes devem ser conectadas nos locais (retângulos) através de setas por cima. Uma informação importante para a simulação é a capacidade dos *kanbans*.
- Entidades processadas no sistema real: neste momento os alunos devem identificar as transformações ocorridas na matéria-prima e nas montagens originadas ao longo do processo. Uma vez identificadas, estas entidades são representadas por círculos no IDEF-SIM.
- Transportes: durante a dinâmica os alunos responsáveis pelas operações 1, 2, 4 e 6 tiveram que se deslocar na sala para entregar ao posto subsequente sua montagem. Na modelagem conceitual, os alunos registram estes transportes através do símbolo definido (símbolo de transporte, mostrado na Tabela 01).
- Atuação dos recursos: em modelos de simulação é importante definir as atribuições de cada recurso. Nesta dinâmica, os recursos são os próprios operadores (alunos). Desta forma, os alunos devem registrar no modelo conceitual em IDEF-SIM os recursos utilizados nos locais e nos transportes. Este registro é feito através de setas que tocam os símbolos de local e transporte por baixo. Pode-se notar no IDEF-SIM que os operadores responsáveis pelos recursos também são responsáveis pelas operações, o que acarretará em uma importante restrição no modelo computacional.
- Caminhos convergentes conjuntivos: ao observar o sistema, os alunos percebem que as operações 3 e 5 dependem cada uma de duas entradas diferentes. A operação 3, realizada pelo operador 3, só pode ocorrer se as peças P1 e P2 estiverem respectivamente disponíveis nos *kanbans* A e B. Esta situação pode ser exemplificada na situação onde o operador 1 já transportou a peça P1 até o *kanban* A, mas o operador 2 ainda não conseguiu transportar a peça P2 até o *kanban* B. Desta forma, a operação 3 deve aguardar. A mesma situação pode ser considerada na operação 5, que depende das peças P12 e P4. O IDEF-SIM representa estas situações através da junção convergente conjuntiva E (&).
- Caminhos divergentes disjuntivos: ao observar o sistema, os alunos percebem que a operação 7 (teste da ratoeira) pode aprovar a ratoeira (P_{OK}) ou reprovar a ratoeira (P_{NOK}). Esta regra é representada no IDEF-SIM pela junção divergente disjuntiva OU (X).

4.3 Modelagem computacional

Nesta etapa da dinâmica foi utilizado o *software* de simulação Promodel 2011®. Porém, o uso de outro *software* na modelagem computacional desta dinâmica não é impeditivo. Após a participação dos alunos na montagem da ratoeira e na elaboração do modelo conceitual em IDEF-SIM, os alunos receberam a missão de construir o modelo computacional do sistema que presenciaram. Para a construção do modelo computacional os alunos são encaminhados até um laboratório provido de computadores onde o *software* de simulação está instalado.

Durante a elaboração do modelo computacional, o modelo conceitual em IDEF-SIM permanece projetado na sala, para que os alunos visualizem o modelo conceitual que produziram, percebendo assim a utilidade do modelo conceitual na programação.

A seguir serão demonstrados alguns trechos do modelo conceitual convertidos em modelo computacional. A Figura 06 destaca um trecho do IDEF-SIM onde a matéria-prima MP (peças Lego®) entra no processo por uma das entradas, neste caso a operação OP1. Esta informação é convertida em modelo computacional, em uma tela específica para entidades de chegada.



Abreviação	Significado
MP	Matéria-prima (peças Lego®)
OPn	Operação n
Pn	Peça n
Pnmo	Peça proveniente da montagem das peças n, m e o
Pteste	Peça finalizada, aguardando teste de qualidade
POK e PNOK	Peça aprovada no teste (OK) e Peça não aprovada no teste (NOK)
cap	Capacidade do <i>kanban</i> , em unidades

Figura 05 – IDEF-SIM gerado na dinâmica, a partir da abstração dos alunos

Como pode ser visto no IDEF-SIM, a matéria-prima chega à operação 1 (OP1) e é transformada na entidade P1. Esta transformação ocorre através do uso do recurso “Operador 1”. O software Promodel 2011® interpreta esta lógica através do comando “USE operador_1”. Após, a entidade P1 é direcionada ao *kanban* A, transportada pelo próprio operador 1. O software Promodel 2011® interpreta esta lógica através do comando “MOVE WITH operador_1 THEN FREE”

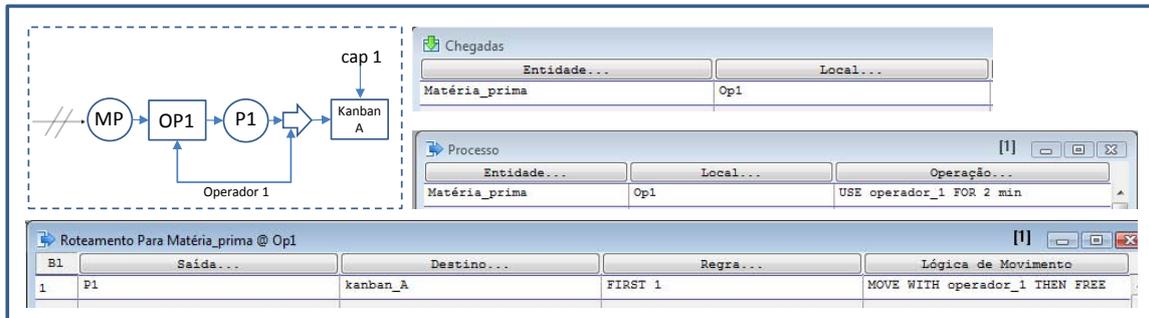


Figura 06 – Conversão de um trecho do IDEF-SIM em modelo computacional (software Promodel 2011®).

Da mesma forma, a Figura 07 destaca um trecho do IDEF-SIM onde as entidades P1 e P2 serão combinadas na operação OP3, resultando na nova entidade P12. Na modelagem computacional em Promodel 2011®, a entidade P2 é direcionada à operação 03 (OP3). Chegando neste local, o recurso “operador 3” é utilizado (GET operador_3), para que ocorra a união da peça 2 com a peça 1 (JOIN 1 P1). Esta união consome um determinado tempo cronometrado na dinâmica, sendo neste caso aproximadamente igual a 2 minutos (WAIT 2 MIN).

Após esta união, a nova entidade P12 é direcionada ao *kanban* C, através do transporte realizado pelo próprio operador 3 (MOVE WITH operador_3 THEN FREE).

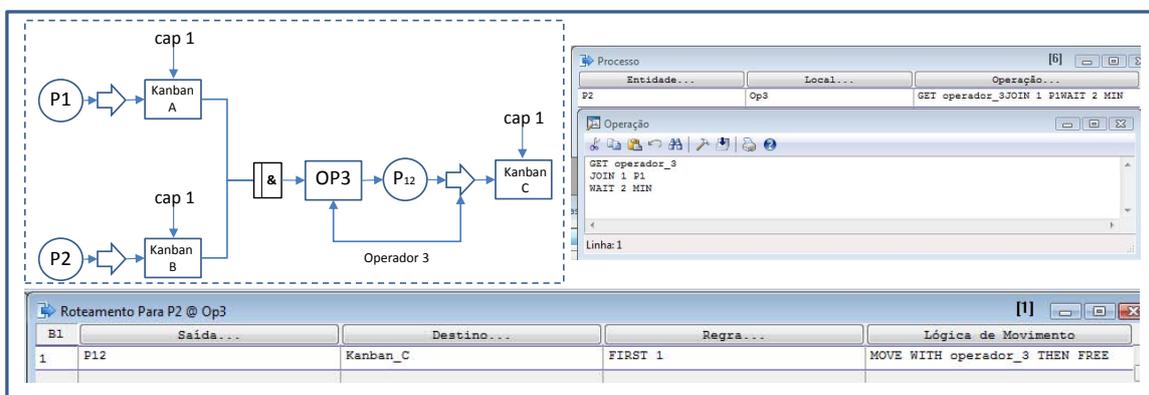


Figura 07 – Conversão de um trecho do IDEF-SIM em modelo computacional (software Promodel 2011®).

Com os tempos cronometrados durante a dinâmica, os alunos podem inserir no modelo computacional os tempos de cada operação e dos transportes. Com o modelo computacional finalizado, os alunos podem simular o processo por um tempo determinado, e observar algumas variáveis, como o total de ratoeiras produzidas, o *lead time* do processo, a taxa de ociosidade dos operadores, entre outras.

Alguns experimentos são realizados, bastando para isso a criação de cenários. *Kanbans* podem ser retirados ou terem sua capacidade alterada, operadores são retirados, transportes são alterados, de forma a obter um aumento no total de ratoeiras produzidas, ou um melhor aproveitamento dos operadores, ou mesmo uma diminuição no *lead time* do processo. Estes

experimentos tem o objetivo de estimular nos alunos a criatividade de propor melhorias no processo, além de tornar clara a importância do modelo de simulação.

Durante a dinâmica pode-se perceber a grande motivação apresentada pelos alunos. Após a dinâmica, foi entregue aos alunos um questionário que tinha como objetivo avaliar a motivação dos alunos em realizar a dinâmica proposta. Alguns pontos podem ser destacados nesta avaliação final:

- Foi muito citado pelos alunos no questionário que a utilização das peças Lego® e a expectativa pela obtenção da ratoeira motivou muito a manutenção da atenção ao longo da dinâmica. Outro aspecto muito citado que contribuiu para a atenção foi o fato de que qualquer erro na montagem, em qualquer operação, poderia causar uma falha na montagem final da ratoeira.
- Também foi muito citada pelos alunos a importância percebida na modelagem conceitual, e quanto menos complexa pode-se tornar a modelagem computacional a partir de um modelo conceitual que utiliza a mesma lógica da simulação.
- Foi muito destacado pelos alunos a satisfação em realizar uma atividade fora do ambiente de sala de aula (laboratório com mesas adaptadas à dinâmica) e a possibilidade de visualizar a teoria em uma aplicação prática.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou a aplicação de uma dinâmica de ensino com peças Lego®, visando criar uma forma de aprendizagem interativa na disciplina de modelagem e simulação a eventos discretos.

Duas importantes etapas puderam ser observadas nesta dinâmica. A primeira consistiu na elaboração do modelo conceitual em IDEF-SIM. Os alunos registraram o processo de montagem da ratoeira através de uma técnica de modelagem conceitual já focando a lógica da simulação. Nesta etapa importantes elementos da simulação foram observados, como entidades, locais de transformação, transportes e regras do fluxo.

A segunda etapa consistiu na elaboração do modelo computacional. A dinâmica independe do *software* de simulação. Neste caso, foi utilizado o *software* de simulação Promodel 2011®. Nesta etapa, a conversão do modelo conceitual em computacional é destacada, onde os alunos criam um modelo computacional a partir de um sistema real que eles mesmos presenciaram. A partir do modelo computacional, cenários são projetados a fim de se propor melhorias ao processo, justificando assim o objetivo de se elaborar um projeto de simulação.

Os resultados da dinâmica se mostraram muito satisfatórios no processo de aprendizagem interativa, sobretudo no que diz respeito à construção do modelo conceitual. Como constatado pelos autores deste artigo, esta aprendizagem interativa de modelagem e simulação facilitou e melhorou os projetos de simulação realizados pelos alunos em empresas de manufatura e serviços.

Agradecimentos

Os autores do artigo agradecem ao CNPq, a FAPEMIG e à empresa Padtec, pelo auxílio à pesquisa.

Referências

- Bloom, B. S.**, *Taxonomy of education objectives: The classification of educational goals*, New York, Longmans, Green, 1956.
- Brooks, R.J. e Robinson, S.**, *Simulation with inventory control*, Operational research series, Basingstoke, Palgrave, 2001.
- Chwif, L.; Medina, A.C.**, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*, São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.
- Connolly, T. M.; Stansfield, M. e Hainey, T.** (2007), An application of games-based learning within software engineering, *British Journal of Educational Technology*, 38, 416-428.

- Hays, R. T.**, *The Effectiveness of Instructional Games: A Literature Review and Discussion*. Orlando: Naval Air Warfare Center Training System Division, 2005.
- Hernandez-Matias, J.C.; Vizan, A.; Perez-Garcia, J. e Rios, J.** (2008), An integrated modeling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement, *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 24, 2, 187-199.
- Huang, W.; Huang, W. e Tschopp, J.** (2010), Sustaining iterative game playing processes in DGBL: The relationship between motivational processing and outcome processing, *Computer and Education*, 55, 2, 789-797.
- Garris, R.; Ahlers, R. e Driskell, J.E.** (2002), Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model, *Simulation Gaming*, 33, 4, 441-467.
- Kirkpatrick, D. L.**, *Evaluating Training Programs – The Four Levels*, Berrett-Koehler Publishers, Inc. 1994.
- Keller, J.M.** (1987), The systematic process of motivational design, *Performance Instruction*, 26, 9, 1-8, 1987.
- Keller, J. M.**, *Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach*. Springer, 2009.
- Kleijnen, J.P.C.** (1995), Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models, *European Journal of Operational Research*, 82, 145-162.
- Law, A.M.**, How to build valid and credible simulation models. In: *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, Monterey, CA, USA.
- Law, A. M. e Kelton, W. D.** *Simulation modeling and analysis*, 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- Leal, F.**, Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados. 238 f. *Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)* – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- Leal, F.; Almeida, D.A.de e Montevechi, J.A.B.**, Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, João Pessoa, PB, 2008.
- Leal, F. ; Costa, R.F. da S.; Montevechi, J.A.B.; Almeida, D.A. de e Marins, F.A.S.** (2011), A practical guide for operational validation of discrete simulation models, *Pesquisa Operacional* (Impresso), 31, 57-77.
- Lindh, J. e Holgersson, T.** (2007), Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems? *Computers & Education*, 49, 1097–1111.
- McIntyre, D.R. e Wolff, F.G.** (1998), An experiment with WWW interactive learning in university education, *Computers & Education*, 31, 3, 255–264.
- Montevechi, J.A.B.; Leal, F.; Pinho, A.F. de; Costa, R.F. da S.; Oliveira, M.L.M e Silva, A.L.F. da.** Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a brazilian tech company. In: *Proceedings of the 2010 Winter Simulations Conference*, USA.
- Prensky, M.**, *Digital game-based learning*, New York: McGraw-Hill, 2001.
- Rangel, J. J. A. e Nunes, A. F.** Use of IDEF-SIM to Document Simulation Models. In: *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, Phoenix, Arizona, EUA, 1542-1553.
- Savi, R. e Ulbricht, V. R.** *Jogos Digitais Educacionais: Benefícios e Desafios*, RENOTE – Revista Novas Tecnologias na Educação, 6, 1-10, 2009.
- Savi, R.; Wangenheim, C. G.; Ulbricht, V. e Vanzin, T.**, *Proposta de um Modelo de Avaliação de Jogos Educacionais*. Novas Tecnologias na Educação. CINTED-UFRGS,2010.