

APLICAÇÃO DA MODELAGEM CONCEITUAL IDEF-SIM AO SOFTWARE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL SIMUL8: UM CASO PRÁTICO

Marcelo Machado Mendonca (UNIFEI)
mmmnix@yahoo.com.br

Jose Arnaldo Barra Montevechi (UNIFEI)
montevechi@unifei.edu.br

Rafael de Carvalho Miranda (UNIFEI)
rafaelc.miranda@yahoo.com.br



A simulação a eventos discretos é cada vez mais aplicada em diversos segmentos, devido a sua capacidade de reproduzir sistemas complexos sem a necessidade de se interferir no sistema real, possibilitando ainda a proposição e análise de novos cenários. Um projeto de simulação é geralmente dividido em três grandes etapas: concepção, implementação e análise. O objetivo deste trabalho é analisar a transição entre as fases de concepção e implementação, verificando a capacidade de adaptação da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, à lógica de programação do software SIMUL8®. O método de pesquisa utilizado foi a Modelagem e Simulação, apresentando um caso prático na área de expedição de uma fábrica de higiene pessoal. Durante a construção do modelo conceitual, a técnica IDEF-SIM mostrou-se bastante prática, de fácil utilização e provida de informações relevantes, que facilitaram a construção do modelo computacional e sua posterior validação.

Palavras-chaves: Simulação a eventos discretos, modelagem conceitual, IDEF-SIM, modelagem computacional, SIMUL8

1. Introdução

Devida à complexidade das estruturas dos sistemas reais, as interações entre as subpartes que os compõem, sua aleatoriedade e dinamismo, a ferramenta de simulação computacional tem adquirido cada vez mais espaço dentro das empresas na tentativa delas conhecerem melhor seus próprios processos, principalmente pela vantagem de obter respostas às questões “o que ocorre se...”, ou seja, de poder fazer inferências ao sistema e analisar os resultados sem a necessidade de parar o processo real (CHWIF e MEDINA, 2010).

Neste contexto, vários trabalhos já foram desenvolvidos aplicando simulação na busca de soluções aos problemas vividos pelas organizações como, Montevechi *et al.* (2009), Mahfouz, Hassan e Arisha (2010), Costa *et al.* (2009), Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008) e Kumar e Phrommathed (2006).

Um projeto de simulação pode ser dividido em três grandes partes, das quais a primeira é o desenvolvimento da concepção do modelo, onde uma das fases é a construção do modelo conceitual. Neste momento que informações sobre o funcionamento do sistema serão coletadas, tais como: tempos, regras, conexões lógicas, recursos e processos. Com o objetivo de sistematizar o registro dessas informações, facilitar sua visualização e entendimento para os demais participantes do projeto e, principalmente, contribuir na transcrição do conceito para linguagem lógica computacional, que Leal, Almeida e Montevechi (2008) desenvolveram a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM.

Há na literatura exemplos de aplicações desta técnica como: Leal, Almeida, Montevechi, (2008); Leal *et al.*, (2009); Costa *et al.*, (2010); Oliveira *et al.*, (2010); Montevechi *et al.*, (2010). Porém, todos estes trabalhos anteriores verificam a aplicação da técnica IDEF-SIM para lógica específica do *software* de simulação ProModel[®] (ProModel Corp.).

Desta forma, o objetivo desse artigo é mostrar como a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM se adapta à lógica do *software* SIMUL8[®] (SIMUL8 Corp.), verificando sua flexibilidade e capacidade de adaptação a diferentes simuladores.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão bibliográfica. Na seção seguinte, é apresentada a aplicação da proposta deste trabalho, na seção 4, as conclusões sobre este projeto, seguida dos agradecimentos e da bibliografia consultada.

2. Fundamentação teórica

2.1. Simulação computacional

Segundo Law e Kelton (2000), pode-se definir simulação como um modelo desenvolvido em computador que imita um sistema real, tornando possível a realização de experimentos para avaliação e melhoria do desempenho do sistema estudado sem interferir no modelo real.

Chwif e Medina (2010) explicam que um modelo de simulação é capaz de capturar a natureza dinâmica e aleatória de um modelo real com mais precisão e reproduzir em um computador o mesmo comportamento quando submetido às mesmas condições de contorno.

Todo projeto de simulação inicia-se com o desenvolvimento de sua concepção. É nesta etapa que ocorrem as descobertas, que os objetivos são traçados e que o problema deve ser discutido exaustivamente, para que todo o projeto esteja claro para o time e as expectativas muito bem alinhadas entre as partes.

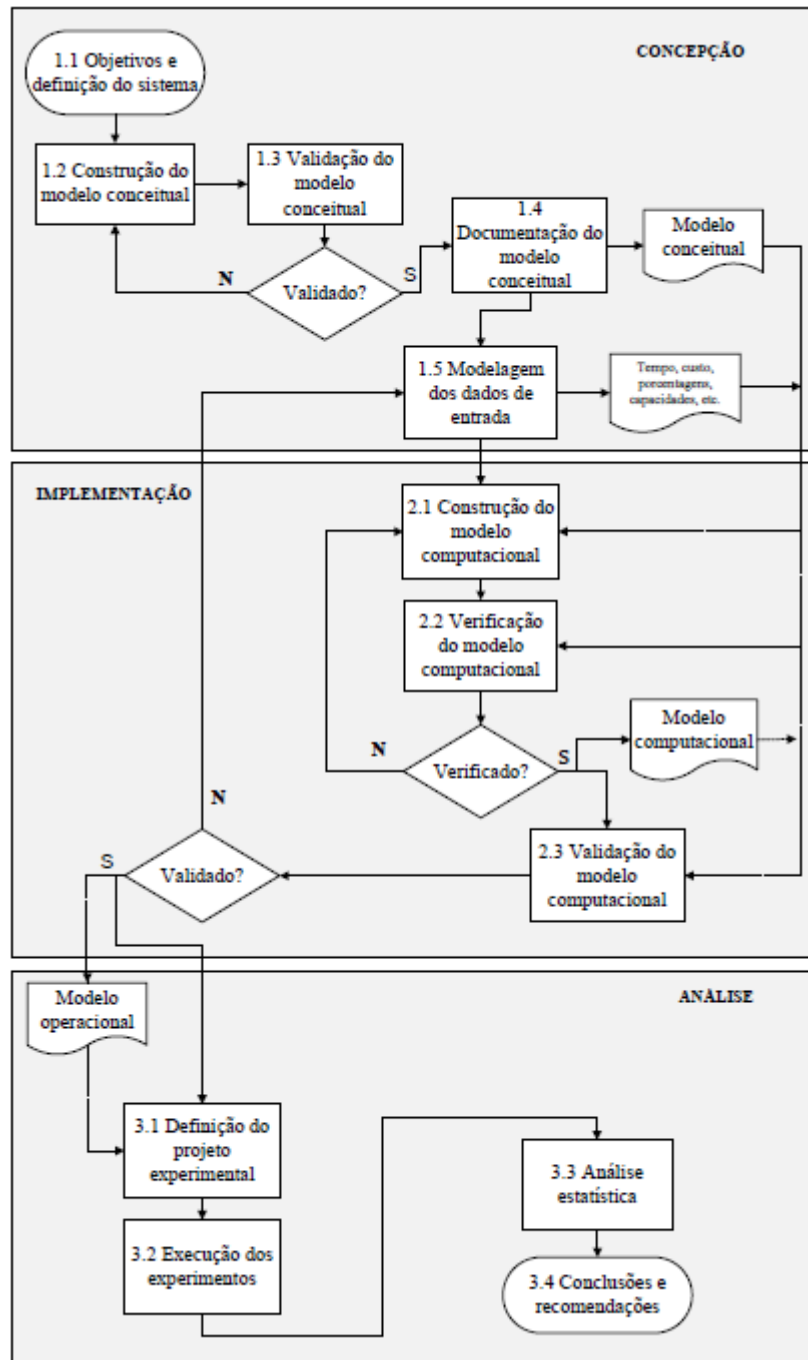
Após toda discussão, projeto esclarecido, objetivos estabelecidos e modelo conceitual criado, este deverá ser validado pelos especialistas do processo, para então os dados de entrada serem coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade que os representem.

Com o modelo conceitual validado, documentado e com dados de entrada prontos para alimentar o modelo computacional, inicia-se a fase de implementação. Nesta parte, o modelo conceitual será convertido em um modelo computacional por meio de uma linguagem de simulação ou de um *software*. Este novo modelo deve ser comparado ao modelo conceitual, com o propósito de averiguar se sua operação atende ao que foi instituído na etapa de concepção (CHWIF e MEDINA, 2010).

Na sequência, o modelo passa por duas etapas importantes: validação e verificação. O termo validação consiste em aceitar, ou não, o modelo como uma boa representação do modelo real. Enquanto que a verificação consiste em comprovar que o modelo conceitual foi traduzido corretamente para o computacional (CHWIF e MEDINA, 2010).

Segundo Montevechi *et al.* (2010), um projeto de simulação segue as três etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas de um projeto de simulação



Fonte: Montevechi et al. (2010)

Com o modelo computacional validado e verificado, está pronto para realização de experimentos, originando o modelo experimental (modelo operacional).

Como o objetivo deste artigo é verificar a adaptação da técnica IDEF-SIM à modelagem no *software* SIMUL8[®], ele irá explorar a metodologia até a sua segunda etapa, ou seja, concepção e implementação (passo 2.3).

2.2. IDEF-SIM

Técnica de modelagem conceitual proposta por Leal, Almeida e Montevechi (2008), que possui como característica principal sua identidade lógica de aplicação. Essa técnica possui alguns benefícios, tais como:














- Redução no tempo gasto na modelagem computacional;
- Ajuda no processo de validação do modelo conceitual junto aos especialistas;
- Contribui para documentação do projeto de simulação, deixando registradas as lógicas utilizadas;
- Permite um maior entendimento do modelo por parte dos futuros leitores do projeto.

O IDEF-SIM utiliza uma combinação de elementos de outras duas técnicas já consagradas de modelagem de processos em *Business Process Modeling* (BPM), o IDEF0 e IDEF3. Desta forma, a interpretação de seus símbolos e aplicação torna-se mais rápida e fácil. A Tabela 1 apresenta a simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM. A seguir são apresentadas as funções de cada elemento apresentado na Tabela 1:

- a) Entidade: Itens a serem processados pelo sistema, representando matéria-prima, produtos, pessoas, documentos, entre outros;
- b) Funções: Locais nas quais a entidade sofrerá alguma ação. Entendem-se como funções os postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas e estoques e postos de atendimento;
- c) Fluxo da entidade: Direcionamento da entidade dentro do modelo;
- d) Recursos: Elementos utilizados para movimentar as entidades e executar as funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos;
- e) Controles: Regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros;

- f) Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: Estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3;
- g) Movimentação: Deslocamento de entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo;
- h) Informação explicativa: Utilizada para inserir uma explicação no modelo, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo;
- i) Fluxo de entrada no sistema modelado: Define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo;
- j) Ponto final do sistema: Define o final de um caminho dentro do fluxo modelado. Tudo o que encontra-se além deste ponto está fora dos limites do modelo;
- k) Conexão com outra figura: Utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes.

Tabela 1 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		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
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

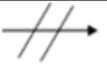


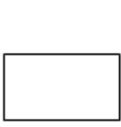


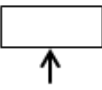





Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008)

2.3. SIMUL8

O SIMUL8[®] foi desenvolvido na Escócia para fins didáticos e devido ao seu sucesso começou a ser comercializado como ferramenta profissional de projetos em simulação (CHWIF e MEDINA, 2006). Sua interface gráfica é bem desenvolvida, auxiliando tanto na construção do modelo quanto na sua análise por meio das animações gráficas e de relatórios detalhados.

Na Tabela 2 é apresentada a relação entre as simbologias do IDEF-SIM e do SIMUL8[®] que foram utilizadas para a construção deste modelo. Na coluna “SIMUL8 (simbologia)” os símbolos à esquerda são os ícones padrões do programa, enquanto que os apresentados à direita foram utilizados na construção do modelo computacional para facilitar sua representação.

Tabela 2 – Comparação da simbologia IDEF-SIM com o SIMUL8

IDEF-SIM		SIMUL8		Descrição
simbologia	nomenclatura	simbologia	nomenclatura	
	Fluxo de entrada	 	Work Entry Point	Entrada ou criação de entidades dentro do modelo
	Funções		Work Center	Postos de trabalho Esteira de movimentação
			Storage Bin	Estoque Fila
	Recursos	  	Resource	Recursos (pessoas ou equipamentos)
	Ponto final do sistema		Work Exit Point	Ponto final do sistema

3. Aplicação

Este projeto foi desenvolvido entre agosto de 2011 a abril de 2012, sendo seus dados coletados entre outubro e dezembro de 2011. Os passos seguintes seguem a estrutura proposta por Montevechi *et al.* (2010).

Passo 1.1: Objetivo e definição do sistema

A pesquisa foi aplicada na expedição de uma empresa de higiene pessoal e em seu processo utiliza tanto atividades manuais quanto equipamentos específicos para esta aplicação. Na área de expedição, vários produtos chegam aleatoriamente por três esteiras e são montados sobre paletes com seus pares idênticos, no qual cada palete é formado apenas por um tipo de produto. É a partir deste ponto, em que o palete está completo, que o estudo deste projeto inicia.

Passo 1.2: Construção do modelo conceitual

O modelo inicia quando uma empilhadeira elétrica carrega o palete montado da área de paletização para a máquina embaladora. Após o palete estar devidamente embalado, uma empilhadeira elétrica (a mesma ou outra) carrega o palete e o descarrega no armazém de produto acabado, onde ele aguardará a liberação da qualidade, só então o produto estará apto para ser carregado nos caminhões. No processo de carregamento dos caminhões as duas empilhadeiras a gás executam juntas o mesmo carregamento, ou seja, o carregamento é feito em um caminhão por vez, caso houver mais chegadas de caminhões, estes terão que esperar.

Por sua vez, os caminhões levam os paletes até o centro de distribuição da empresa. Após completamente descarregados, os caminhões retornam à fábrica para novo carregamento.

A seguir, os equipamentos que compõem o processo e suas informações relevantes para o estudo são apresentados. Vale ressaltar que neste momento ainda não há coleta nem tratamento dos dados de entrada, e os valores de tempo mostrados são informações obtidas diretamente de conversas com os especialistas.

- Empilhadeira elétrica (quantidade = 2)
 - É usada somente para transportar o palete dentro do armazém, deslocando-o da área de paletização para as máquinas embaladoras e depois da máquina para sua posição final onde aguarda pelo carregamento;
 - Como há 2 empilhadeiras reservas, o tempo para recarga da bateria será desconsiderado;
 - O tempo para refeição é de 1 hora para cada funcionário, podendo sair a qualquer momento respeitando os horários específicos do restaurante. Durante este período, apenas um empilhadeirista almoça por vez. Um sempre tem que ficar na operação;
 - Transporta um palete por vez.

- Empilhadeiras a gás (quantidade = 2)
 - É usada para carregar os caminhões, ou seja, desloca o palete já embalado e liberado pela qualidade para os caminhões;
 - Uma vez por turno é necessário trocar o cilindro de gás. Mas como elas são equipadas com um cilindro apenas e não possui mostrador do nível de gás, quando acaba o cilindro o processo de carregamento do caminhão fica parado, pois a outra empilhadeira a gás tem que ir buscar o novo cilindro. Este processo também dura entre 10 e 15 minutos;
 - O tempo para refeição respeita a mesma regra vista para empilhadeira elétrica;
 - Transporta um paleta por vez.

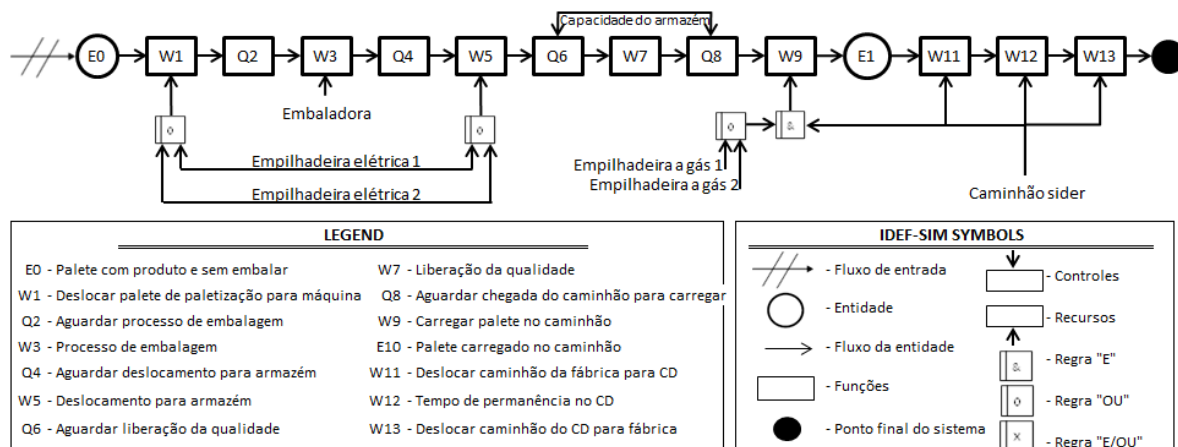
- Máquina embaladora (quantidade = 2)
 - Qualquer paleta pode ser trabalhado em qualquer máquina embaladora;
 - Cada uma das máquinas consegue trabalhar um paleta por vez;
 - Caso a embaladora já possua três paletes na sua esteira após o processo de embalagem que não foram retirados pela empilhadeira elétrica, a máquina irá parar ao final do quarto paleta embalado.

- Caminhão (quantidade = 6)
 - Trabalham 24 horas, 7 dias por semana;
 - A capacidade de cada caminhão é de 56 paletes;

- Armazém
 - Capacidade = 952 posições paleta (independente se já foi liberado ou não pela qualidade);
 - Média de chegada de paletes = 170 paletes a cada 2 horas.

De posse de todas essas informações e com auxílio da técnica IDEF-SIM, pôde-se desenvolver o modelo conceitual deste estudo (Figura 2).

Figura 2 - Modelo conceitual do processo.



Passo 1.3: Validação do modelo conceitual

Como mencionado na revisão bibliográfica, a validação trata em aceitar ou não o modelo como uma boa representação do sistema real. Devido à presença de especialistas do processo durante todo desenvolvimento do modelo conceitual, não houve significativas mudanças no IDEF-SIM e nos dados iniciais, fazendo com que a validação ocorresse sem maiores problemas e, principalmente, deixando ambas as partes cientes e bem esclarecidas das informações consideradas.

Passo 1.4: Documentação do modelo conceitual

Nesta etapa o modelo deve ser documentado, para que sirva de base na construção do modelo computacional. Além disso, como ele é um “retrato” do processo, quaisquer alterações no modelo real que o torne divergente do modelo conceitual devem ser atualizadas na documentação, para que isso fique registrado e a informação chegue confiável ao modelo computacional.

Passo 1.5: Modelagem dos dados de entrada

Para que o modelo conceitual represente de maneira satisfatória o modelo real, é preciso que os dados de entrada sejam informados com suas devidas distribuições probabilísticas, mas mais importante que isso, é preciso coletar os dados certos. É por isso que só após um modelo conceitual bem estruturado que se deve buscar essa informação, pois é ele quem conduz essa coleta. Toda cronometragem foi executada entre outubro e dezembro de 2011.

A Tabela 3 contém as distribuições de probabilidade e seus respectivos parâmetros para cada uma das atividades.

Tabela 3 – Distribuições de probabilidade para as atividades.

Atividade	Distribuição	Parâmetros
Entrada de palete	EXPONENCIAL	Average=42
Paletização para Embaladora	WEIBULL	Alpha=20; Beta=2; Min=24
Embaladora 1	TRIANGULAR	Lower=54; Mode=55; Upper=60
Embaladora 2	TRIANGULAR	Lower=57; Mode=58; Upper=63
Embaladora para armazém	WEIBULL	Alpha=33; Beta=1,6; Min=20
Armazém para caminhão	LOGNORMAL	Average=1850; StdDev=600
Fábrica para CD	BETA	Alpha1=1,2; Alpha2=10,16; Min=1200
Descarregamento no CD	BETA	Alpha1=2,55; Alpha2=5,38; Min=2700
CD para fábrica	WEIBULL	Alpha=2600; Beta=1,3; Min=1750
Tempo entre recargas emp gás	FIXED	28800
Tempo de recarga emp gás	UNIFORME	Lower=600; Upper=900

Passo 2.1: Construção do modelo computacional

A fim de explorar a capacidade de adaptação da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, o *software* escolhido para o desenvolvimento do modelo computacional foi o SIMUL8[®].

A Figura 3 mostra a tela do *software*, representando o modelo computacional modelado sobre um mapa do local, o que facilita tanto no momento de verificar o modelo quanto no instante de validá-lo junto aos especialistas da área.

Nesta primeira parte serão apresentados os detalhes da entrada do palete no sistema até sua chegada na máquina embaladora, bem como, a adaptação do IDEF-SIM para o modelo computacional neste mesmo trecho.

Observa-se na Figura 4 que exatamente os mesmo pontos observados na construção do modelo conceitual foram facilmente transpostos para o modelo computacional. Não à toa as nomenclaturas “W” e “Q” foram utilizadas para representar, respectivamente, *Work Center*” e “*Queue*” (*Storage Bin*), facilitando ainda mais na concepção do modelo computacional.

Figura 3 – Tela do SIMUL8[®]

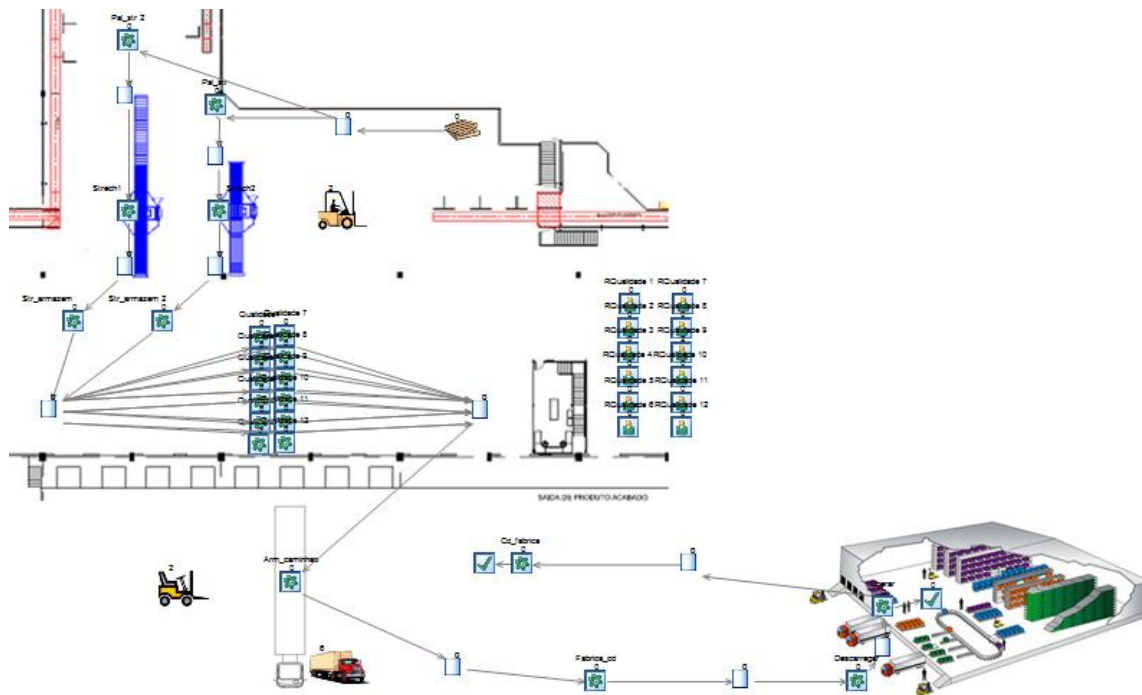
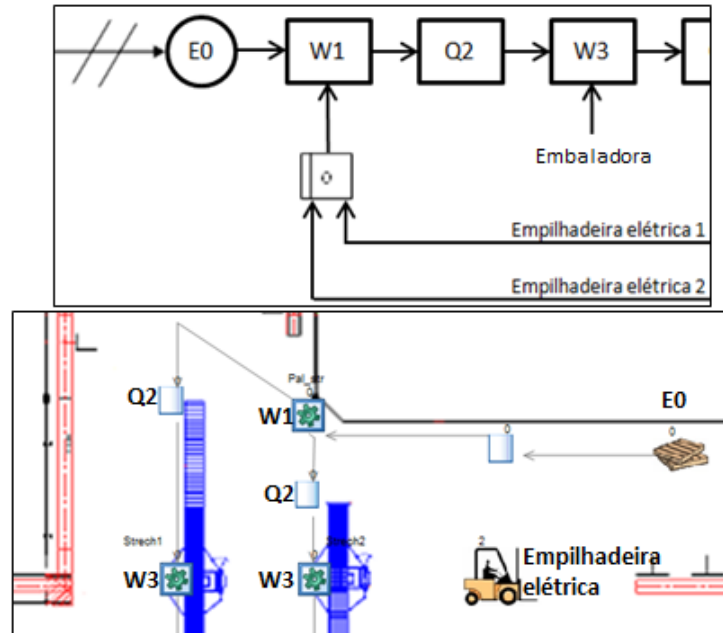


Figura 4 – Modelo conceitual x Modelo computacional (parte 1)



Para simular a entrada de paletes no sistema um *Work Entry Point* foi configurado com distribuição exponencial com média igual a 42 segundos.

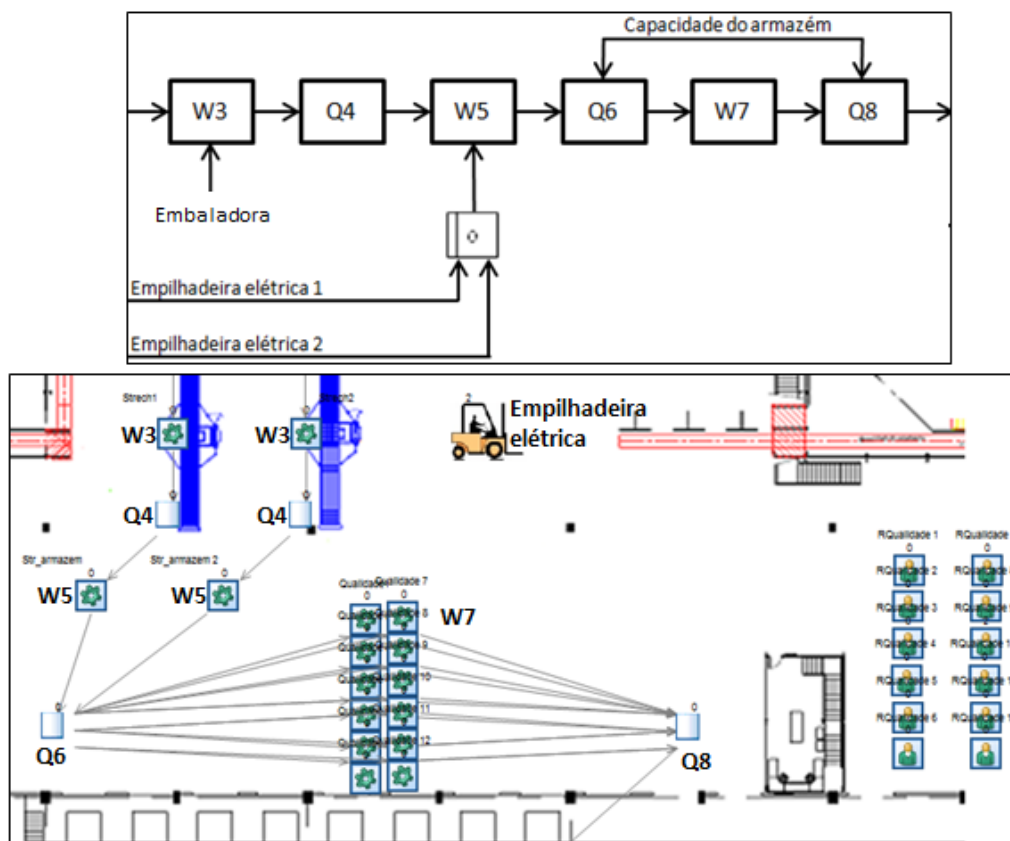
Se as duas empilhadeiras elétricas estiverem disponíveis, ambas podem executar o transporte da área de paletização para a máquina embaladora (cada uma para uma máquina diferente). Para representar isso no modelo computacional podem-se criar dois *Work Centers*, onde cada um estaria ligado à uma máquina. Outra forma é usar a opção *Replicate*, utilizada neste modelo.

Como o transporte de paletes só é feito se houver empilhadeira disponível, é preciso vincular o recurso às atividades que dependem dele, como *Work Center* “W1”.

Em seguida, pode-se verificar a coerência entre o modelo conceitual e computacional para esta segunda parte (Figura 5).

Há três pontos importantes nesta parte: vinculação dos horários de refeição com os recursos; criação dos horários de liberação dos paletes pela qualidade; limitação da capacidade do armazém.

Figura 5 – Modelo conceitual x Modelo computacional (parte 2)



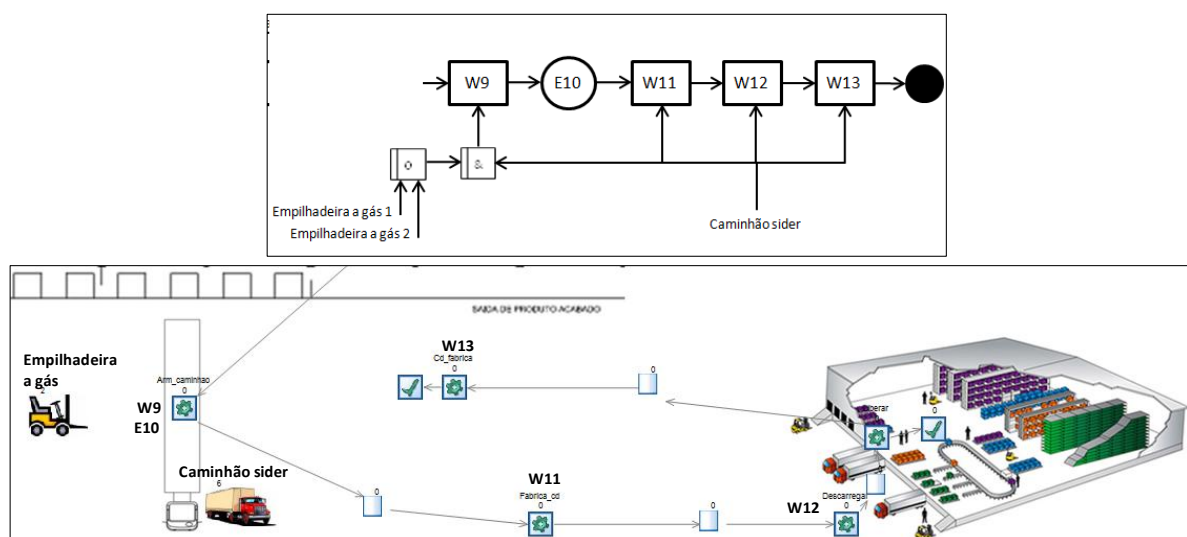
Em três períodos no dia há pausas para refeição, onde os recursos empilhadeira elétrica e a gás ficam limitados, cada um, em um recurso apenas. Os horários de refeição foram criados e para vinculá-los ao recurso foi preciso, na propriedade deste recurso, indicá-lo como *Shift Dependent* e então especificar quantos recursos terão em cada um dos períodos criados.

Para limitar a capacidade do armazém primeiramente foi criado um grupo chamado de “Armazém” composto pelos *Storage Bins* identificados na Figura 5 como “Q6” e “Q8”. Depois, na propriedade do objeto, foi selecionada a opção “*Limit work items in group*”, limitando a capacidade do armazém em 952 paletes, independente se estes estão bloqueados ou liberados.

Nesta última parte novamente é visto a fácil transição do modelo conceitual para computacional (Figura 6).

Um ponto importante desta parte é a programação de como o caminhão irá aguardar tanto para iniciar a coleta do armazém quanto para deixá-lo, pois é necessário que tenha pelo menos 56 paletes para iniciar a coleta. E ele só partirá quando estiver todo carregado.

Figura 6 – Modelo conceitual x Modelo computacional (parte 3)



Ainda sobre o item “W9”, mais três importantes configurações foram feitas:

- Sua eficiência foi alterada para representar as paradas nos carregamentos devido à recarga dos cilindros das empilhadeiras a gás;
- Como há duas empilhadeiras a gás, este recurso poderá trabalhar em paralelo, diminuindo o tempo de carregamento.

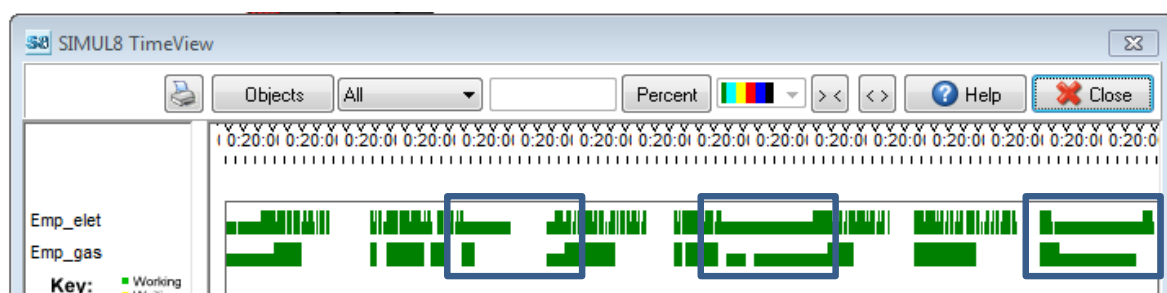
Nota-se que há um *Work Center* a mais, que não estava no modelo conceitual, entre “W12” e “W13”. Ele foi chamado de “Liberar” e seu propósito é fazer com que o recurso “Caminhão” seja liberado só depois do objeto “W13” (retorno à fábrica). Caso contrário, o recurso seria liberado assim que descarregasse os itens no centro de distribuição.

Passo 2.2: Verificação do modelo computacional

Neste ponto é necessário comprovar que o modelo conceitual foi corretamente traduzido para o modelo computacional e que não houve falhas no seu desenvolvimento. Execuções no modelo foram realizadas para verificar se sua lógica estava sendo seguida tal qual apresentada no modelo conceitual.

A Figura 7 mostra a ferramenta *Time View* com dois objetos selecionados: empilhadeira elétrica e a gás. Através dela é possível verificar facilmente que ambos os recursos estão respeitando os horários das refeições.

Figura 7 – Verificação com *Time View*



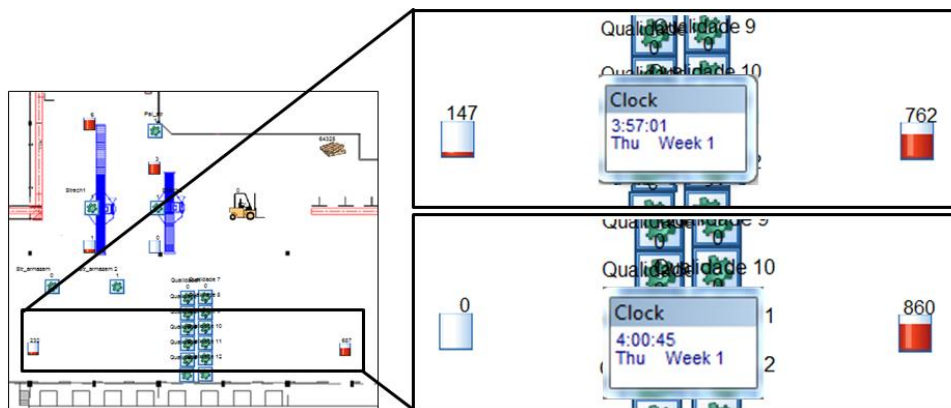
Na Figura 8 é possível ver que, exatamente às 4 horas, todo o material que estava bloqueado (*Storage Bin* à esquerda) foi liberado (*Storage Bin* à direita).

Outra importante verificação realizada foi quanto à capacidade do armazém. Quando este atingir 952 paletes, o processo de transporte do paleta da máquina embaladora para o

armazém deve parar e nenhum outro palete é carregado para o armazém. Por meio de indicadores de estado essa verificação foi de fácil identificação.

Com o modelo computacional verificado, pode-se submetê-lo ao processo de validação.

Figura 8 – Verificação dos horários de liberação pela qualidade



Passo 2.3: Validação do modelo computacional

Das técnicas apresentadas por Sargent (2010), foram utilizadas para validação deste modelo: a validação pela animação, a validação face a face e a validação estatística utilizando dados históricos. Para validação estatística, um guia proposto por Leal *et al.* (2011) foi utilizado.

Primeiramente o comportamento operacional do modelo foi avaliado analisando os gráficos de utilização e volume dos *Work Centers* e *Storage Bins*. A participação de um dos especialistas de maior experiência na área foi muito importante para que nenhum erro passasse adiante e também na próxima validação do modelo, face a face.

O especialista escolheu outros dois parceiros de trabalho e seu superior direto para que o modelo fosse apresentado. Todos foram questionados sobre o comportamento do modelo e concordaram que ele desenvolve comportamento adequado ao que foi proposto.

Finalmente, a variável “total de descarregamentos” foi escolhida para validar o modelo estatisticamente, utilizando dados históricos dos relatórios da empresa de logística contratada. O modelo foi executado para um mês (30 dias), com 12 réplicas.

Com os resultados em mãos, um teste de aderência à distribuição normal fora realizado. O *P-value* apresentado no teste de Anderson-Darling foi, respectivamente para a amostra de dados reais e simulados, 0,082 e 0,734.

Dando sequência aos testes estatísticos, o teste F foi realizado para averiguar a hipótese dos dois conjuntos de dados terem variâncias iguais. Porém, não é possível aceitá-las como idênticas, pois o *P-value* foi de 0,001. Mas este resultado não invalida o modelo, mas oriente à execução do teste T. Este último teste verifica a igualdade entre as duas médias.

Por se tratar de dados normais, pode-se constatar através do teste 2 *Sample T* que o resultado do *P-value* foi acima do nível de significância adotado de 0,05 (Tabela 4), portanto, aceita-se a hipótese H_0 , onde:

- H_0 : não há diferença entre as médias;
- H_1 : há diferença entre as médias.

Tabela 4 – Teste T

Teste "Two-Sample T" para Real vs Simulado				
	N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão
Real	12	1046,5	66,7	19
Simulado	12	1026,6	20,6	5,9
Teste T para diferença = 0 (vs < 0):				
T-value =	0,99			
P-value =	0,341			

Portanto, o modelo de simulação está validado estatisticamente. Com isso, tem-se o modelo operacional (ou experimental) da área de expedição estudada. Apesar de todo esforço para validar o modelo, o máximo que se pode dizer é que sua precisão é aceitável, já que não existe validade absoluta (LAW, 2009).

4. Conclusão

A adaptação da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM à lógica de programação do *software* SIMUL8[®] ocorreu de forma muito fluida e lógica. Sua maneira de representar o fluxo, mesclar elementos de lógica (E/OU), informar necessidades de recursos e controles e possibilidade de anotar várias outras informações diretamente no esboço do modelo conceitual foi de extrema valia no momento de transição do modelo conceitual para computacional, visto que o modelo não teve maiores problemas na verificação e validação.

Com os resultados deste trabalho é possível dizer que seus benefícios também são válidos ao SIMUL8[®], e não somente ao ProModel[®], conforme os trabalhos anteriores, citados na introdução. Outros trabalhos utilizando as mesmas técnicas estão em desenvolvimento e pode-se observar os mesmo benefícios apresentados neste artigo.

Muito além de contribuir com a documentação do projeto e facilitar o entendimento do processo, esta técnica, ao englobar vários elementos similares à programação, é capaz de traduzir com clareza os conceitos do processo e suas peculiaridades no momento da construção do modelo computacional. Dessa forma menos erros são cometidos e, conseqüentemente, menos tempo é gasto para construção, verificação e validação do modelo.

Como propostas de futuras pesquisas, sugere-se a aplicação da técnica IDEF-SIM para modelagem conceitual de outros tipos de processos fabris e nas áreas de serviço, como hospitais, bancos e restaurantes. Outra proposta é explorar esta técnica com outros *softwares* de modelagem computacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, a CAPES e ao CNPq, pelo apoio e suporte ao longo dessa pesquisa.

Referências

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Introdução ao software de simulação Simul8. In: Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia, GO, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações. 3.ed. São Paulo: Ed. dos autores, 2010.

COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Simulação a eventos discretos como uma ferramenta para avaliação econômica de cenários em uma célula de manufatura. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto Seguro, 2009.

COSTA, R.F.S.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, M. S. F.; MEDEIROS, A. L.; SILVA, A. L. F.; FRIEND, J. D. Discrete-event simulation and activity-based costing to aid the decision making process in a manufacturing cell. In: The International Workshop on Applied Modelling & Simulation, Búzios, RJ, 2010.

LAW, Averill M.; KELTON, David W. Simulation modeling and analysis. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Proceedings... Austin, TX, USA, 2009.

LEAL, F.; ALMEIDA, D.A.de; 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.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B. Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2009.

LEAL, F.; COSTA, R. F. S.; MONTEVECHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A. de; MARTINS, F. A. S. A practical guide for operational validation of discrete simulation models. *Pesqui. Oper.* [online]. 2011, vol.31, n.1, pp. 57-77. ISSN 0101-7438.

MAHFOUZ, A.; HASSAN, S.A.; ARISHA, A. Practical simulation application: Evaluation of process control parameters in Twisted-Pair Cables manufacturing system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.18, p. 471–482, 2010.

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; JESUS, J. T. Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Austin, USA, 2009.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore, USA, 2010.

OLIVEIRA, M.L.M. de; MIRANDA, R. de C.; MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F. Desenvolvimento de um projeto de simulação a eventos discretos em uma célula de controle de qualidade de uma empresa de alta tecnologia. In: Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, RS, 2010.

SANDANAYAKE, Y.G.; ODUOZA, C.F.; PROVERBS, D.G. A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 24, p.735-743, 2008.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Proceedings... Austin, TX, USA, 2010.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.17, n.1, p. 104-132, 2006.