

Modelos de simulação a eventos discretos como ambiente de treinamento em controle digital

Models of discrete event simulation as a training environment for digital control

Amanda Arêas de Souza*
João José de Assis Rangel*,**
Milena Bissonho Soares*,**

O treinamento prático é parte fundamental no processo de ensino-aprendizagem em controle digital. A utilização de simuladores em aulas de automação tem se destacado recentemente de modo eficaz neste contexto. O presente trabalho descreve então dois modelos de simulação construídos para demonstrar a possibilidade de utilização de softwares de simulação a eventos discretos como um ambiente de treinamento de lógicas de controle automático de processos industriais em tempo real. Foi realizada a integração de um modelo de simulação construído com o software Arena recebendo sinal de comando de um Controlador Lógico Programável (CLP). O ambiente virtual proposto, oriundo do modelo de simulação, possibilitou a realização de diferentes testes de lógicas de controle. Os resultados deste trabalho demonstraram a clara possibilidade de interatividade do estudante com um modelo de simulação discreta para o treinamento prático com sistemas de controle automatizados.

Practical training is an essential part in the process of teaching and learning in digital control. The use of simulators in classes of automation has recently been highlighted effectively in this context. This paper describes, then, two simulation models built to demonstrate the possibility of using software of discrete event simulation as a training environment of logic of automatic control of industrial processes in real time. It was performed the integration of a simulation model built with the software Arena, receiving command signal from a Programmable Logic Controller (PLC). The virtual environment proposed, originated from the simulation model, fostered the development of different tests of control logic. The results of this study clearly demonstrated the possibility of student interactivity with a discrete simulation model for practical training with automated control systems.

Palavras-chave: Treinamento. Educação em Controle. Simulação. CLP.

Key words: Training. Education in Control. Simulation. PLC.

Introdução

Em recentes trabalhos, Queiroz et al. (2010) e Carvalho et al. (2010) mostraram a importância da atividade laboratorial em cursos de Engenharia. Os autores citam que o desenvolvimento da habilidade e da criatividade é uma etapa importante no processo de

* Laboratório de Controle e Automação, Instituto Federal Fluminense - Rua Dr. Siqueira, 273, Parque Dom Bosco, 28.030-130, Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mails: areas_amanda@hotmail.com, milena.bissonho@gmail.com

** Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes - Rua Anita Peçanha, 100, Parque São Caetano, 28.030-335, Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: joao@ucam-campos.br

aprendizagem de um aluno. Na área de automação, em particular, é importante o acesso dos alunos a trabalhos práticos que ajudam no desenvolvimento acadêmico e profissional.

Nesse sentido, a utilização de modelos de simulação em aulas da área de automação se destaca de modo eficaz. Ambientes simulados, como o ITS PLC - *Interactive Training System for Programmable Logic Controller*, permitem o treinamento e a prática de teorias, visando aprimorar o conhecimento do estudante com processos industriais. Ou seja, o treinamento é parte fundamental no processo de formação na área de controle.

Por outro lado, a integração entre softwares de simulação a eventos discretos, como Arena, com um Controlador Lógico Programável (CLP) foi levantada por Dougall (1998) e Banks (2000). Por meio desta integração, é possível obter uma ferramenta para testes e treinamentos de estudos, como por exemplo, a programação em Lógica *Ladder*, o desenvolvimento de raciocínio lógico, o refinamento no conhecimento de processos industriais e, até, a concepção de novos projetos.

Assim, foi demonstrado recentemente em Rangel et al. (2012) que ambientes de simulação discreta também podem ser utilizados como uma ferramenta didática para o aprendizado de estudantes em sistemas de controle.

Desta forma, o presente trabalho descreve dois modelos de simulação utilizados para demonstrar a possibilidade de utilização de softwares de simulação a eventos discretos como um ambiente de treinamento de lógicas de controle automático de processos industriais em tempo real.

Ambientes simulados de treinamento

Ambientes simulados são utilizados para treinamento há algum tempo em centros acadêmicos. Sistemas como o ITS PLC são utilizados como ferramenta para ensino de programação industrial em engenharias e cursos técnicos, além de tornar o ambiente virtual quase verdadeiro, por meio de animações gráficas 3D em tempo real e da interatividade com controladores. É importante ressaltar que esses tipos de ambientes simulados não oferecem riscos para operadores e máquinas. Entretanto, este software é limitado a alguns exemplos específicos e os mesmos não podem ser modificados, no sentido, por exemplo, de acrescentar ou remover sensores.

Por meio de softwares de desenvolvimento de modelos computacionais, como o Arena, estudantes podem testar infinitos exemplos de sistemas industriais e criar sistemas gráficos sofisticados. Contudo, a utilização de um software de desenvolvimento de sistemas simulados requer a habilidade de saber programá-lo.

O ambiente Arena possui capacidade de desenvolvimento, podendo simular sistemas discretos do tipo linha de montagem, sistemas de esteiras, movimentação de cargas, entre outros. A animação visual dos modelos implementados nesse ambiente de simulação é um aspecto interessante, já que proporciona ao estudante uma noção da

realidade dos processos em uma indústria. Assim, construir simuladores de auxílio didático pode ser uma forma alternativa e relativamente simples para treinamento e aprendizado.

Os dois ambientes para treinamento (ITS PLC ou Areal) permitem também a comunicação com controladores industriais. O ITS PLC utiliza uma placa de aquisição de dados com 32 canais de E/S (entradas e saídas) e sua comunicação com o computador é feita pela porta USB, por meio do *Advantech USB4750 driver*. No Areal, a quantidade de E/S e o meio físico são definidos pelo modelo do controlador e a comunicação entre eles é realizada por meio de um *driver* de comunicação OPC - *OLE for Process Control*, um protocolo de comunicação tipicamente utilizado em plantas industriais.

Sistemas simulados

Este item apresenta dois sistemas que poderiam ser utilizados para ensino em controle de processos industriais com características de eventos discretos. São sistemas hipotéticos, em que o primeiro é adaptado do ambiente ITS PLC e o segundo representa um típico processo de manufatura industrial.

Sistema de Mistura de Tintas

Este sistema simula um processo típico de mistura de tintas. O objetivo é misturar três tintas de cores primárias (vermelho, verde e azul) para obter as tintas azul, amarela e branca.

O sistema é constituído por três reservatórios de tinta, três tanques de medição e um tanque de mistura, como mostra a Figura 1. Constam nesse sistema oito sensores e oito atuadores (sete válvulas e um motor do misturador).

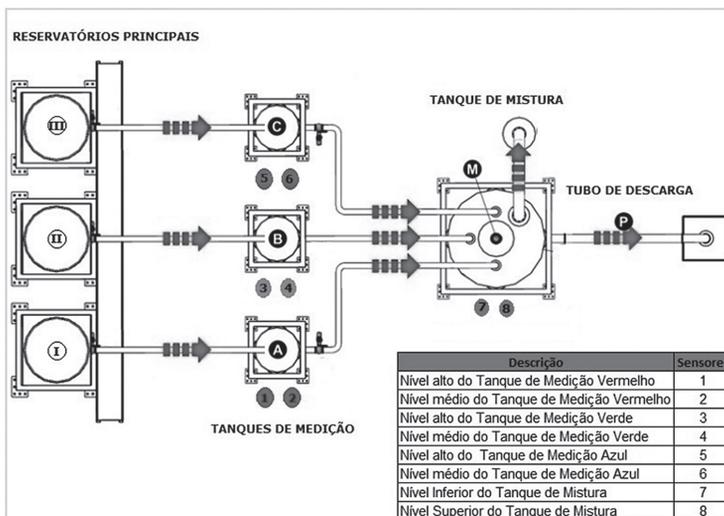


Figura 1. Sistema de mistura de tintas

Os reservatórios principais contêm tintas de cor vermelha, verde e azul respectivamente (I, II, III). A descarga dos reservatórios é feita por meio de válvulas para os tanques de medição (A, B, C). Cada tanque possui dois pontos de medição: um sensor de nível médio e outro de nível alto. A tinta contida nesses tanques é descarregada por válvulas para o tanque de mistura (M). Esse tanque M possui dois sensores: um de nível inferior e outro de nível superior. O processo de mistura tem que durar cinco segundos. A tinta produzida é descarregada por meio de uma válvula para o tubo de descarga (P).

No início do processo, os reservatórios principais carregam totalmente os tanques de medição (até o sensor de nível alto dos três tanques comutarem). Primeiramente, é obtida a tinta de cor azul. Para isso, é necessária uma medida da cor azul do tanque de medição C.

A tinta amarela precisa de uma medida da cor vermelha do tanque de medição A e uma da cor verde do tanque de medição B. Por fim, a tinta branca é produzida com uma medida das cores vermelha, verde e azul dos seus respectivos tanques de medição. Uma medida é a quantidade exata existente entre o sensor de nível médio e alto. Depois de cinco segundos no tanque de mistura as cores saem prontas do processo.

O processo se inicia com o acionamento da chave Liga/Desliga. A partir disso, os três tanques de medição são totalmente preenchidos pelos reservatórios principais, respectivamente pelas cores vermelha, verde e azul, até os sensores de nível alto dos três tanques acionarem (sensores 1, 3, 5). Para a produção da cor azul, é necessário que uma medida do tanque de medição C (correspondente à cor azul) vá para o tanque de mistura.

Essa medida é dada pela quantidade de tinta existente entre o sensor de nível médio e o sensor de nível alto (sensores 5 e 6). Ou seja, quando a válvula de saída do tanque C abrir, o nível vai diminuir até atingir a metade do tanque, exatamente onde o sensor de nível médio irá comutar, fechando a válvula de saída. Com a tinta já no tanque de mistura, o misturador irá atuar por cinco segundos até a válvula de saída do tanque de mistura abrir. Então a tinta pronta irá para o tubo de descarga e o tanque de medição azul é preenchido novamente pelo reservatório III.

A cor amarela é produzida com uma medida da cor vermelha e uma medida da cor verde. A válvula de saída do tanque de medição A abre, o nível de tinta vermelha desce até o sensor de nível médio comutar (sensor 2), então a válvula volta a fechar. O mesmo ocorre com o tanque de medição B. Com as tintas já no tanque de mistura, o misturador é acionado por cinco segundos e a mistura é dispensada novamente pelo tubo de descarga. Os tanques de medição A e B são completados outra vez.

A cor branca é produzida com uma medida de cada uma das cores. As válvulas de saída (1, 2, 3) são abertas, sequencialmente, até o nível de cada tanque de medição (A, B, C) descer até o sensor de nível médio. A válvula retorna a fechar ao mesmo tempo em que o misturador faz o processo de mistura. Ao final, a válvula de saída do tanque de mistura abre para a saída da tinta pronta para o tubo de descarga. A válvula fecha e os tanques são preenchidos novamente.

Sistema de Envasamento

Esse sistema simula um processo de envasamento automático de quatro garrafas. O objetivo é envasar, simultaneamente, quatro que são trazidas e levadas do processo por meio de uma esteira transportadora.

O sistema de envasamento é constituído de uma esteira transportadora e uma envasadora automática, como é apresentado na Figura 2.

No total são 5 sensores e 4 atuadores (motor da esteira, duas contadoras do motor da envasadora, e uma válvula). A esteira transportadora carrega as garrafas até o processo de envasamento. A envasadora automática desce e sobe a partir de duas contadoras ligadas ao motor e de sensores de fim de curso (sensores 3 e 4). A válvula (atuador C), que está posicionada na parte interior da envasadora, abre para que as garrafas sejam preenchidas por meio de bicos. Um sensor capacitivo (sensor 5) detecta o líquido em um nível alto nas garrafas.

Essas já cheias são, então, liberadas e transportadas pela esteira até outro processo.

A garrafa chega ao processo de envase pela esteira transportadora. Quando o sensor da esteira 1 (sensor 1) é acionado 4 vezes significa que 4 garrafas passaram pelo sensor, comutando-o. As 4 garrafas ficam imóveis e as outras garrafas que chegam pela esteira transportadora não atrapalham o processo. Com as garrafas imobilizadas, a envasadora pode descer até o sensor de fim de curso inferior (sensor 3) acionar. O processo de enchimento das garrafas é iniciado e só é finalizado quando o sensor capacitivo (sensor 5) detecta o líquido em um nível alto na garrafa. Com o sensor capacitivo comutado, a envasadora sobe parando no sensor de fim de curso superior (sensor 4) e a passagem pela esteira transportadora é liberada. O sensor da esteira 2 (sensor 2) passa a contar, então, 4 garrafas. Assim que a quarta garrafa passar por ele, o processo será iniciado permitindo que outras 4 garrafas cheguem ao processo de envase.

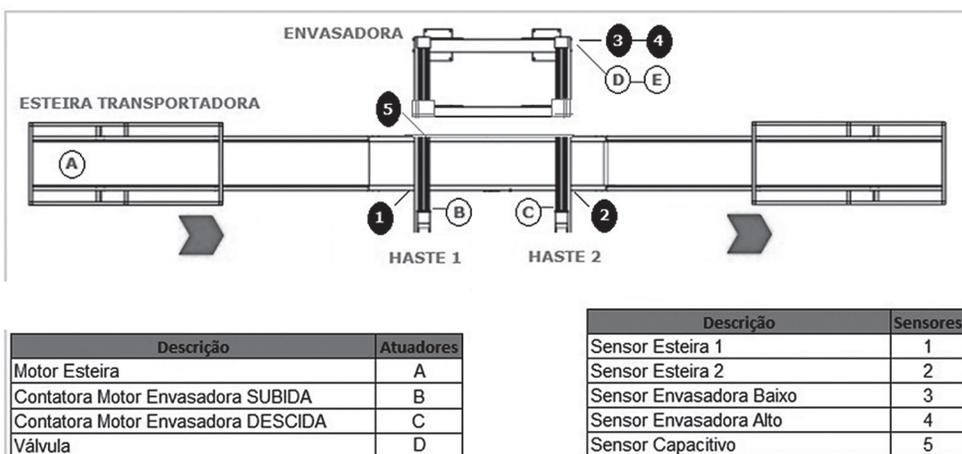


Figura 2. Sistema de envasamento

Modelos de simulação

Este item descreve os modelos de simulação dos sistemas de mistura de tintas e de envasamento. Os modelos computacionais foram construídos no software de desenvolvimento de simulação a eventos discretos Arena. A metodologia utilizada foi proposta por Banks et al. (2009) cumprindo os seguintes passos: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; modelo conceitual; tradução do modelo conceitual; verificação e validação; experimentação; documentação e apresentação dos resultados e testes.

A Figura 3 apresenta os modelos conceituais do sistema de mistura de tintas e de envasamento.

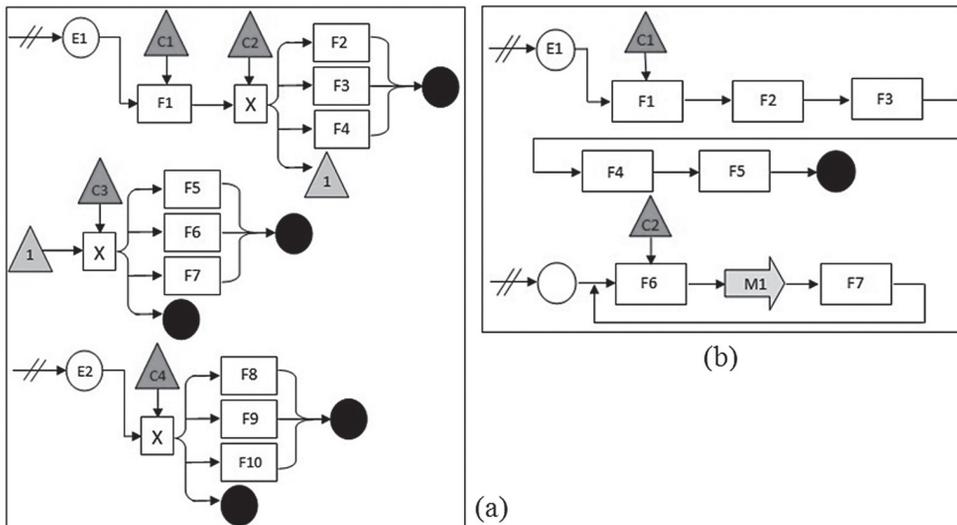


Figura 4. Modelo conceitual sistema de: (a) mistura de tintas; e (b) envasamento.

As Tabelas 1 e 2, no Apêndice I, mostram as informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos. Utilizaram-se os elementos do IDEF-SIM proposto por Montevechi et al. (2010) para descrição dos modelos conceituais.

Integração dos modelos de simulação com sistemas de controle

Após a construção do modelo de simulação e da lógica de controle no CLP, é necessário criar uma conexão que permita acessar os dados registrados no servidor OPC. Essa etapa, denominada mapeamento, é realizada a partir da comunicação entre o software de programação do controlador e o ambiente de simulação Arena.

A Figura 5 apresenta os elementos do ambiente Arena, necessários à construção da respectiva conexão, como, por exemplo, a *Connection 2*. É a partir dessa etapa, que é possível conectar as variáveis do modelo de simulação com os *tags* da lógica de controle.

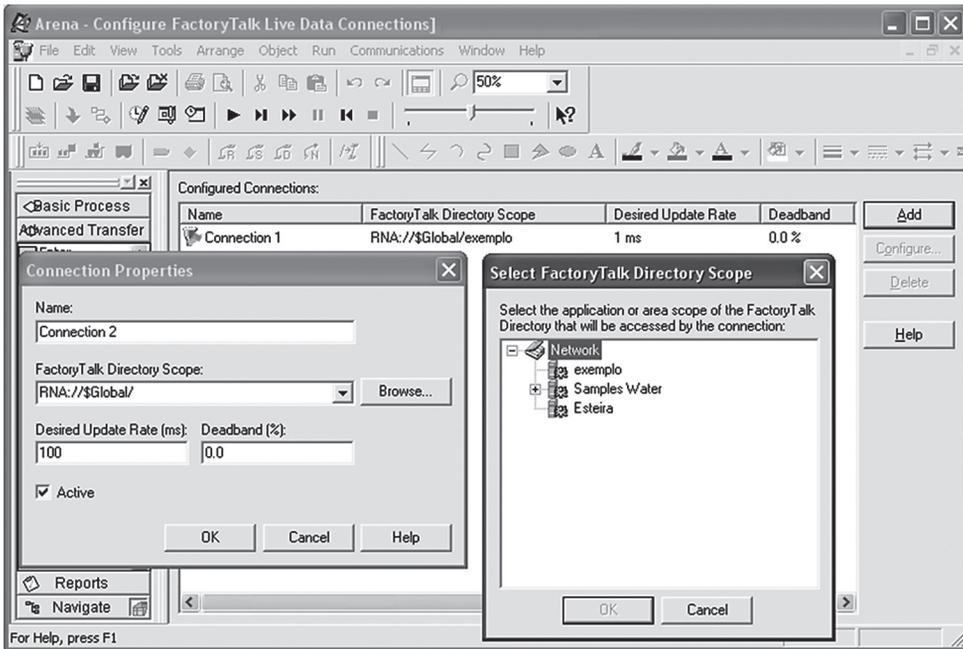


Figura 5. Conexão para acesso aos dados do servidor OPC

No mapeamento, variáveis e *tags* são definidos em ambos os sistemas (sistema de controle e simulação) através de uma conexão criada entre os ambientes. Variáveis I/O (variáveis de entrada e saída) são utilizadas para a comunicação com os *tags* do controlador e variáveis internas são utilizadas no modelo de simulação para apoiar a lógica da simulação. O *tag* é utilizado para atribuir e, indiretamente, fazer referência ao I/O local na memória no controlador. Dessa forma, os *tags* e as variáveis são meios fundamentais para que ocorra o intercâmbio de informações entre o CLP e o modelo do sistema de controle.

Em Bastos et al. (2010) pode-se encontrar a sequência completa dos passos para integração de um modelo de simulação com um sistema de controle.

Os ambientes de treinamento do Sistema Mistura de Tinta e do Sistema de Envasamento são alcançados após a construção do modelo de simulação em Arena, da lógica de controle e do respectivo mapeamento, integrando o modelo de simulação e o CLP.

Teste de avaliação

Na Figura 6, é apresentada a estrutura do ambiente de testes composto pelo controlador Micrologix 1100, da Allen Bradley, e um computador para interface de treinamento no qual se encontra o modelo de simulação em Arena 12.00.00, ambos da Rockwell Automation. Os testes foram realizados para validação e comparação dos ambientes simulados dos sistemas de mistura de tintas e de envasamento.

O módulo didático integrado com o Arena foi testado e utilizado pelo usuário, e o mesmo atuou nas respectivas chaves de entrada e observou as saídas correspondentes em consonância com o modelo do ambiente Arena. As Figuras 6 e 7 mostram alguns momentos dos testes feitos para validar o ambiente de simulação proposto.

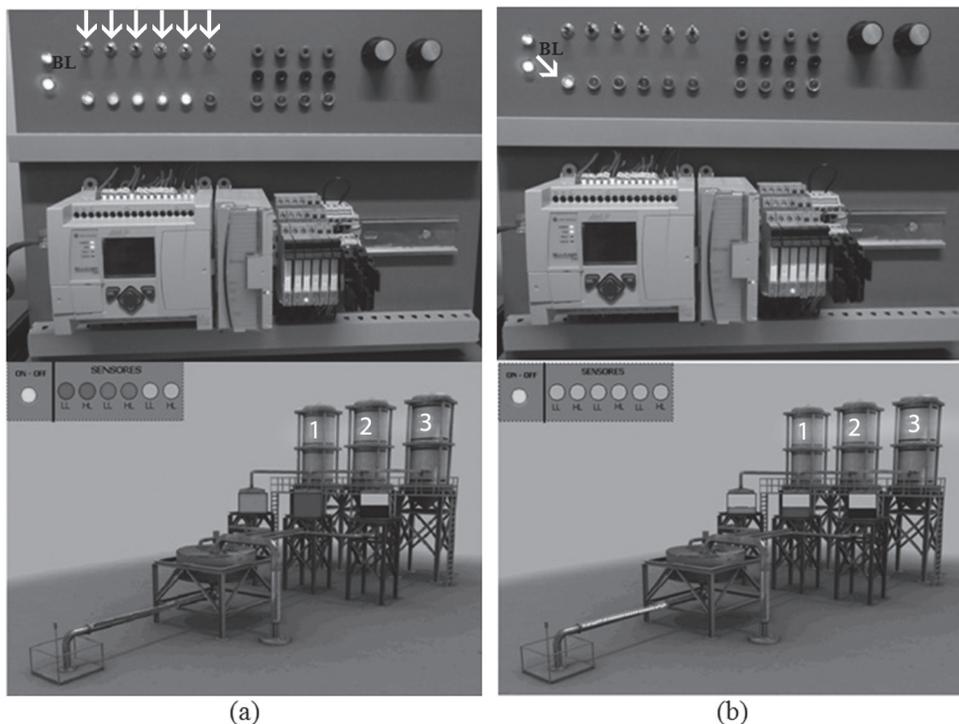


Figura 6. Processo de mistura de tinta: (a) azul; e (b) amarela

A Figura 6(a) evidencia a produção de tinta azul. Por meio de sensores de nível alto e médio dos tanques de tinta, o sistema calcula a quantidade adequada de tinta azul que será liberada para o misturador. Ou seja, a determinação da quantidade de tinta azul necessária é feita quando os sensores de Nível Médio e Nível Alto do Tanque de Medição Azul estiverem desacionados. As setas no painel do CLP indicam as chaves que estão sendo usadas como os sensores do processo. No painel do CLP, a primeira seta indica o Botão de Liga que inicia o processo. As outras chaves estão sendo usadas como os sensores do processo. As setas indicam que os sensores acionados são de Nível Médio e Nível Alto do Tanque de Medição Vermelho e de Nível Médio e Nível Alto do Tanque Verde, respectivamente. A partir da Figura 6(b), pode-se observar a produção de tinta amarela. Para isto, é necessário calcular a mesma quantidade de tinta nos três tanques, ou seja, ocorre quando todos os sensores de Nível Médio e Alto estiverem desacionados. Desse modo, apenas o Botão de Liga estará acionado no painel, indicado pela seta.

Na Figura 7(a), é evidenciado o momento em que as quatro garrafas estão na posição para serem abastecidas. As setas indicam o Botão de Liga acionado e o sensor de

posição alta da envasadora (Sensor Envasadora Alto). Já na Figura 7(b), pode-se observar o momento em que as garrafas já foram envasadas e o processo está liberado para receber novas garrafas para dar continuidade ao processo. Nessa etapa, a envasadora já desceu até o acionamento do Sensor Envasadora Baixo e retornou a sua posição inicial após a comutação do Sensor Capacitivo. Desse modo, as setas representam o acionamento do Botão de Liga e do Sensor Envasadora Alto.

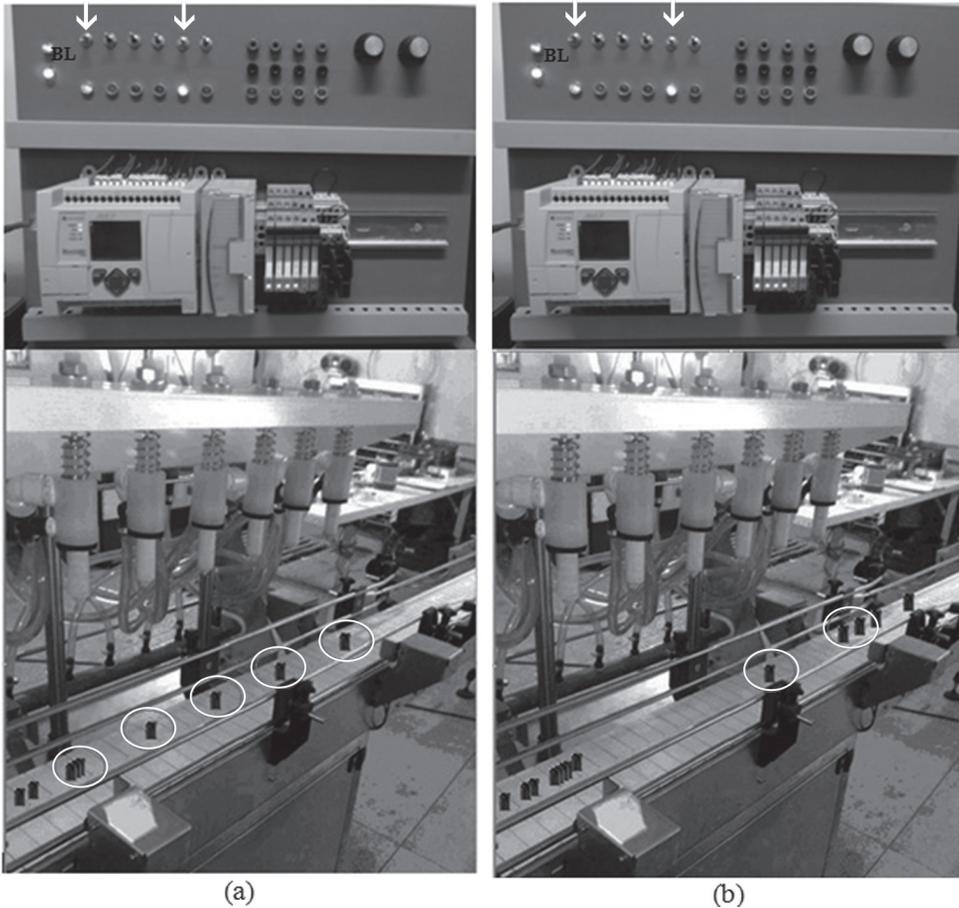


Figura 7. Processo de envasamento. (a) chegada de garrafas; e (b) saída de garrafas

Conclusão

Após os testes realizados com os modelos de simulação discreta dos Sistemas de Mistura de Tinta e de Envasamento desenvolvidos no ambiente Arena, pôde-se constatar a possibilidade de utilização dos mesmos, como instrumento de treinamento de lógicas de controle automático em processos. Com a utilização dos modelos desenvolvidos, o estudante pode ter a possibilidade de realizar outros testes, em que se pode alterar a configuração do sistema, ao contrário do ambiente original ITS PLC. Desta forma,

podem-se criar, no modelo de simulação, desenvolvido em Arena, mais alternativas para controle do sistema e também é possível ampliar a interatividade. Ou seja, podem-se acrescentar ao modelo, por exemplo, ajuste de velocidade, adição de outros tipos de peças ou equipamentos, inclusão de um evento estocástico proveniente da ação de um operador do processo, dentre outros.

Este trabalho procurou contribuir para estimular a utilização dos ambientes de desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos como ambiente de desenvolvimento de modelos para aplicação como kits didáticos. Buscou também levantar a possibilidade de aplicação de tais ambientes de simulação de forma integrada a sistemas de controle automático de uso industrial. Embora este trabalho tenha se concentrado no uso do software Arena e em sistemas de controle, ambos comercializados pela empresa Rockwell, a metodologia pode ser facilmente aplicada utilizando simulação e outras ferramentas de controle e softwares de simulação compatíveis.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo suporte financeiro para esta pesquisa. Gostaria de agradecer ainda à T&T Automação e Sistemas Industriais Ltda. pelo fornecimento dos recursos necessários para a construção do módulo didático.

Referências

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. *Discrete-Event System Simulation*. 5th Edition. New York: Prentice Hall, 2009.

BANKS, J. Simulation in the future. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2000, Orlando, USA. p. 1568-1576.

BASTOS, P.J.T.; JÚNIOR, É.C.; CARDOSO, L.D.; RANGEL, J.J.A.; T., L.O. Simulação a Eventos Discretos para Comissionamento de Sistemas de Controle. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, SIMPEP, 17., 2010, Bauru/SP. *Anais...* 16p.

CARVALHO, R.T.; BALDIOTI, H.R.; SILVA, N.L.; GOMES, F. J. Módulo Laboratorial para Educação em Controle, em Tempo Real, Baseado em Linux/ Rtai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010.

DOUGALL, D. J. Applications and benefits of real time I/O simulation for PLC and PC control systems. *ISA Transactions*, v. 36, n.4, p. 305-311, 1998.

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: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010. ISSN 978-1-4244-9864-2.

QUEIROZ, F. P.; FREITAS, L. P.; GAMA, V.A.; GOMES F.J. Desenvolvimento de uma Plataforma HILS para Educação em Controle de Processos Baseada em FOSS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010.

RANGEL, J.J.A.; SOUZA, A.A.; BASTOS, P.J.T.; BAPTISTA, R.C.T. Simulação a Eventos Discretos para Treinamento em Sistemas de Controle. *Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 97-111, 2012.

Artigo recebido em: 24 jul. 2012

Aceito para publicação em: 24 set. 2012

Apêndice I

Tabela 1. Modelo conceitual sistema de mistura de tintas

Elementos	Descrição	Parâmetros
E1	Entrada de Tinta	Expressão: Normal(5,1) minutos; capacidade: infinita
E2	Saída de Tinta	Expressão: Normal(5,1) minutos; capacidade: infinita
C1	Liga Sistema	BOTÃO_LIGA == 1
C2	Abre as válvulas dos 3 tanques principais	Variável: VÁLVULA_TANQUE_AZUL == 1; Variável: VÁLVULA_TANQUE_VERDE == 1; Variável: VÁLVULA_TANQUE_VERDE == 1
C3	Abre as válvulas dos 3 tanques de medição	Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_AZUL == 1; Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERDE == 1; Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERMELHO == 1
C4	Inicia processo do Misturador	Variável: MISTURADOR, 1
F1	Habilita o enchimento dos tanques	-
F2	Incrementa nível do tanque de tinta vermelha	Variável: TQ_VERMELHO, TQ_VERMELHO + 1
F3	Incrementa nível do tanque de tinta verde	Variável: TQ_VERDE, TQ_VERDE + 1
F4	Incrementa nível do tanque de tinta azul	Variável: TQ_AZUL, TQ_AZUL + 1
F5	Decrementa nível do tanque de tinta vermelha	Variável: TQ_VERMELHO, TQ_VERMELHO - 1
F6	Decrementa nível do tanque de tinta verde	Variável: TQ_VERDE, TQ_VERDE - 1
F7	Decrementa nível do tanque de tinta azul	Variável: TQ_AZUL, TQ_AZUL - 1
F8	Modifica saída para cor azul	Animação:Entidade, Azul
F9	Modifica saída para cor amarela	Animação:Entidade, Amarelo
F10	Modifica saída para cor branca	Animação:Entidade, Branco

Tabela 2. Modelo conceitual sistema de envasamento

Elementos	Descrição	Parâmetros
E1	Entrada das Garrafas	Expressão: Normal (5,1) minutos; capacidade: infinita
E2	Movimento da Envasadora	Constante (10) minutos; capacidade: infinita
C1	Liga Esteira	ESTEIRA == 1
C2	Descida da Envasadora	SENSOR_ENS_DESC == 1 && SENSOR_ENV_SOB == 0
C3	Subida da Envasadora	SENSOR_ENV_DESC == 0 && SENSOR_ENS_SOB == 1
F1	Bloqueio de Garrafas	Quando ESTEIRA == 0
F2	Atribui 1 ao Sensor 1 da Esteira	Variável: SENSOR_ESTEIRA_1 == 1
F3	Atribui 0 ao Sensor 1 da Esteira	Variável: SENSOR_ESTEIRA_1 == 0
F4	Atribui 1 ao Sensor 2 da Esteira	Variável: SENSOR_ESTEIRA_2 == 1
F5	Atribui 0 ao Sensor 2 da Esteira	Variável: SENSOR_ESTEIRA_2 == 0
F6	Bloqueia as Garrafas enquanto o Processo de Envase está ocorrendo	-
F7	Permite a passagem das Garrafas quando o Processo de Envase finaliza	-