

AValiação DE UM MECANISMO DE TESTE DE UM SISTEMA DE CONTROLE COM UM MODELO DE SIMULAÇÃO

João José de Assis Rangel

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos
Rua Anita Peçanha, 100. Parque São Caetano. Campos dos Goytacazes - RJ
joao@ucam-campos.br

Érico Carvalho Júnior

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos
erico@iff.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar um mecanismo de integração de um sistema de controle com um modelo de simulação a eventos discretos. A utilização de tais mecanismos permite a realização de testes em sistemas de controle de forma mais acessível e segura, além de poderem ser utilizados como plataforma de apoio para treinamento de operadores. Os testes para a avaliação do presente mecanismo foram realizados com um modelo de simulação de uma planta de ácido clorídrico e conduzidos no interior de uma empresa, de forma a dar maior realismo ao ambiente virtual testado. Os resultados do questionário aplicado para a avaliação, segundo a percepção da equipe da empresa, demonstraram ser promissores a utilização do referido mecanismo para o controle de processos de sistemas industriais.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Controle de Processos, Comissionamento.

Área principal – SIM - Simulação.

ABSTRACT

This study aims to evaluate a mechanism for integrating a control system with a model of discrete event simulation. The use of these mechanisms permits the testing of control systems in an affordable and safe way, and can be used as a platform to support operator training. The tests for the evaluation of this mechanism were performed with a simulation model of a plant of hydrochloric acid and conducted inside a company, in order to give more realism to the virtual environment tested. The results of the questionnaire used for the evaluation, according to the perception of the company team, proved to be promising to the use of this mechanism for process control of industrial systems.

KEYWORDS. Simulation, Process Control, Commissioning.

Main area – SIM - Simulation

1. Introdução

O objetivo do presente trabalho é avaliar, mediante a percepção de uma equipe de automação industrial, um mecanismo de integração de um sistema de controle com um modelo de simulação a eventos discretos. A possibilidade de integração de modelos de simulação com sistemas de controle foi levantada entre outros por Iwata *et al* (1997), Dougall (1998) e Banks (2000). Desde então, empresas e pesquisadores têm procurado desenvolver tais mecanismos e viabilizar o seu funcionamento. O uso destes mecanismos permite a realização de testes em sistemas de controle de forma mais acessível e também como plataforma de apoio para treinamento de operadores.

A etapa de testes de um sistema de controle é comumente chamada de comissionamento. O comissionamento é normalmente a última etapa de um projeto de implantação de um sistema de controle industrial. A Figura 1 mostra as diversas abordagens para testar sistemas de controle. O caminho 1 representa o comissionamento real ou tradicional; o caminho 2 representa o *soft-comissioning* (controle real e processo simulado); o caminho 3 representa o *reality in the loop* (RiL) ou controle simulado em um processo real; e o caminho 4 representa o processo simulado e controle simulado. O caminho 2 é o sistema utilizado neste trabalho, sendo comumente chamado de comissionamento *off-line*.

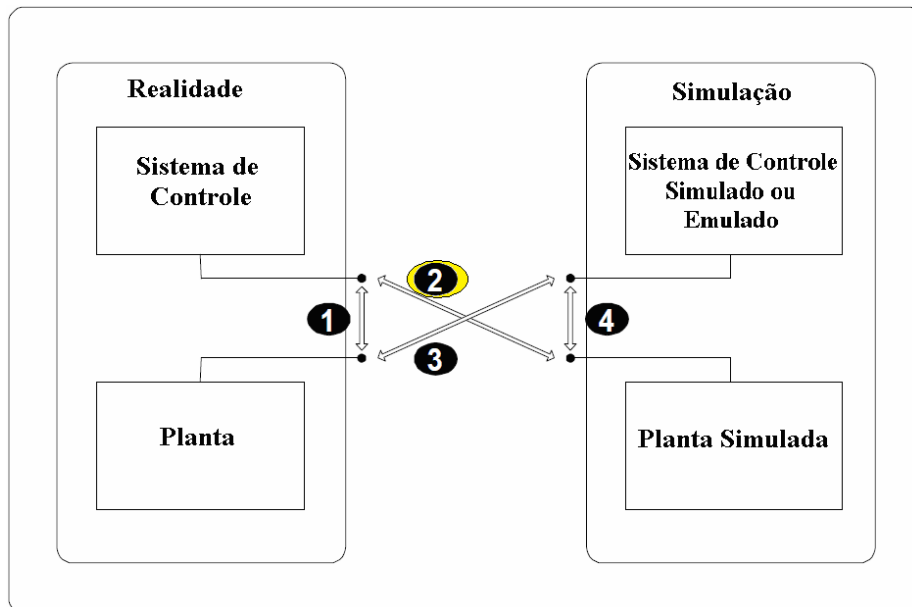


Figura 1 – Quatro abordagens para Comissionamento.
Fonte: Adaptado de Auinger, Vordewinkler e Buchtela (1999).

Um sistema de controle é uma interconexão de componentes relacionados ou interligados, de tal maneira, a comandar, controlar ou ajustar a si mesmo ou outro sistema Ogata (2003). No passado, em função das limitações do hardware e software, testes relacionados a execução, eficiência e funcionamento de sistemas de controle, só eram realizados após a construção e execução do projeto em sistemas reais, o que era dispendioso e podia trazer risco. Com o avanço da tecnologia e uma alta eficiência no que diz respeito ao hardware e software, atualmente, é possível a integração de modelos de simulação com sistemas de controle, visando realizar testes antes da construção do sistema real, Zhang e Anosike (2010).

2. Integração de Modelo de Simulação com Sistema de Controle

Muitos esforços para a análise de sistemas de controle podem ser deslocados para a fase de desenvolvimento do projeto, uma vez que a simulação pode ser usada para isto. No método tradicional, o teste de um controlador lógico programável (CLP) é feito diretamente ligado ao

hardware físico. As maiores desvantagens desta ligação direta de hardware são envolver o risco associado com os testes e os custos associados com a inatividade do sistema. Na abordagem de integração do modelo de simulação com o sistema de controle, o CLP está ligado à simulação, resultando em um ambiente de teste mais seguro e menos dispendioso. A Figura 2 apresenta as características entre a maneira tradicional e a integração com a simulação, utilizada para testar os sistemas de controle (SMITH e CHO, 2008).

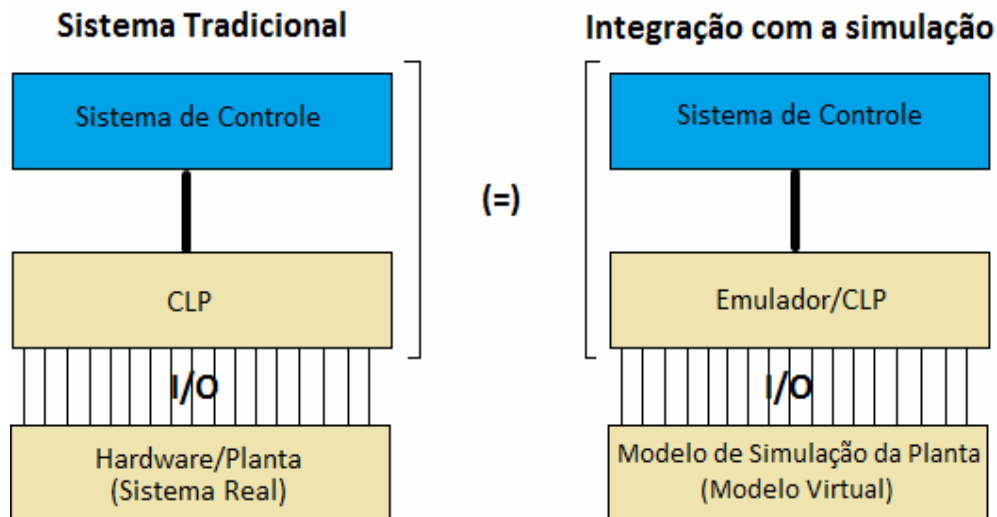


Figura 2 – Diferença entre a maneira tradicional e a integração com a simulação

Fonte: Adaptado de Smith e Cho (2008).

A integração de sistemas de controle com ambientes de simulação permite ter uma visão global de um processo industrial, visando melhoria de desempenho, diminuição de custos, treinamento de operadores e aumento do grau de compreensão de estudantes e engenheiros neste campo do conhecimento. Com o uso da simulação podem-se testar lógicas de sistemas de controle de uma forma mais eficaz e flexível. Além disto, muitas experiências que não poderiam ser realizadas com o sistema real, devido a questões de segurança e custos, podem ser feitas em um modelo de simulação. A planta de processo pode ser modelada e simulada e a partir daí ser integrada ao sistema de controle através de um mapeamento entre os elementos envolvidos no processo simulado e os comandos da lógica do CLP (Ladder), Park, Park e Wang (2008).

3. Mapeamento do Modelo de Simulação com Sistema de Controle

O procedimento de conectar o modelo de simulação e o sistema de controle a ser testado é denominado mapeamento. Neste, variáveis e tags são definidos em ambos os sistemas. 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, Röck (2011).

Chuang, Lan e Chen (1999) propõem um procedimento para o desenvolvimento de um sistema automatizado de produção industrial, que consiste em nove etapas, descritas a seguir:

- 1- Definir o processo a ser controlado;
- 2- esboçar o funcionamento do processo;
- 3- criar uma lista da sequência escrita do processo passo a passo,
- 4- adicionar os sensores necessários para realizar a sequência de controle,
- 5- adicionar os controles manuais necessários para o processo de instalação ou de controle operacional
- 6- considerar a segurança da equipe operacional e fazer adições e ajustes necessários;
- 7- adicionar o mestre para opções necessárias a um desligamento seguro;

- 8- criar um diagrama da lógica que será usado como base para o programa de CLP e
- 9- considerar os possíveis pontos onde o processo de sequência podem se extraviar.

Neste trabalho o mapeamento será realizado a partir da comunicação entre o software de programação do CLP e o ambiente de simulação Arena®, via interface OPC (*OLE for Process Control*).

Sete diferentes aplicativos da empresa Rockwell Automation são utilizados para esta aplicação, como descritos a seguir:

- Ambiente de simulação Arena (versão 12-CPR9);
- RSLogix5000 Enterprise Series (utilizado para a programação da lógica de controle no emulador);
- RSLogix500 Enterprise Series (utilizado para a programação da lógica de controle no CLP);
- RSLogix Emulate 5000 (emulador do CLP);
- RSLinx Classic (realiza a interface entre aplicativos da Rockwell Software);
- Factory Talk Administration Console (cria um servidor de dados OPC);
- BOOT-DHCP Server (renomear o IP do CLP).

Considerando que neste trabalho o modelo de simulação é desenvolvido com o pacote de simulação Arena, será abordado então o processo de desenvolvimento do modelo dos sistemas de controle e simulação. Os passos são os seguintes:

- Desenvolvimento do sistema de controle e lógica de controle (CLP);
- configuração do CLP;
- elaboração da lógica do CLP;
- download da lógica de controle para o CLP;
- criação do servidor de dados OPC;
- desenvolvimento do modelo de simulação e
- ligação entre o simulador e o CLP.

O tag é utilizado para atribuir e, indiretamente, fazer referência ao I/O local na memória no controlador. Particularmente, os endereços físicos não são necessários com RSLogix5000 Enterprise Series.

Logo, os tags e as variáveis são meios fundamentais para que o intercâmbio de informações entre o CLP e o modelo simulado do sistema de controle. A Figura 3 descreve o processo de mapeamento global das variáveis do modelo de simulação definidas no modelo do sistema de controle, para tags que mapeiam pontos de I/O no controlador.

Para configurar os pontos de I/O para o modelo do sistema de controle, as etapas principais são propostas:

- Classificar os recursos físicos;
- definir os pontos de I/O necessários para cada nível de controle ou de cada recurso físico;
- configurar os pontos de I/O necessários para cada nível de controle ou de cada recurso físico;
- agrupar os pontos de I/O de acordo com as características das variáveis;
- verificar o endereçamentos das variáveis no CLP e no Arena e
- construir o modelo do sistema de controle baseado nos pontos de I/O definidos.

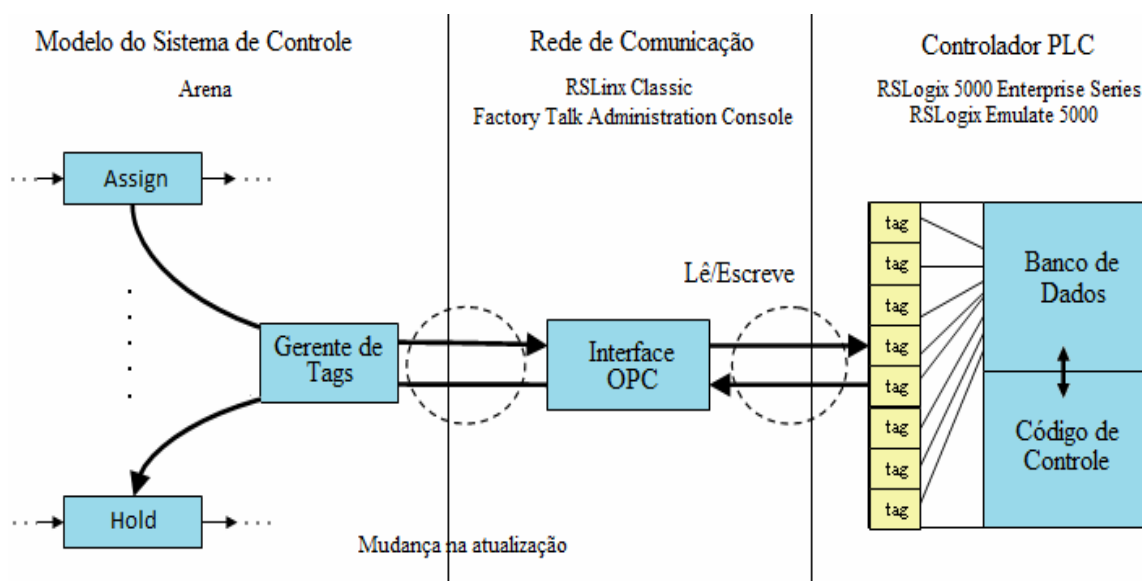


Figura 3 – Processo de mapeamento global das variáveis do Arena para tags do CLP.

Fonte: Adaptado de Smith e Cho (2008).

4. Comissionamento Off-Line

Apresenta-se aqui o comissionamento de um sistema de controle através de um modelo de simulação. Ou seja, os testes realizados para execução de um sistema de controle são alcançados através de um modelo de simulação, sem nenhuma ligação física do sistema de controle com a planta real do processo.

Assim, os testes para avaliação do mecanismo apresentado foram conduzidos com um modelo de simulação de uma planta de armazenamento de Ácido Clorídrico na empresa PURAC, localizada na cidade de Campos dos Goytacazes, RJ. A empresa gentilmente permitiu a realização dos testes em suas instalações, de forma que os operadores, gerentes e projetistas pudessem utilizar o modelo de simulação e compará-lo com a situação real de seu dia a dia na unidade fabril.

Durante a avaliação, os técnicos utilizaram o modelo de simulação integrado ao sistema de controle e responderam a um questionário para avaliação do respectivo comissionamento.

4.1. Descrição do Sistema

A PURAC é uma empresa membro da divisão bioquímica do grupo holandês CSM, com foco no desenvolvimento, produção e comercialização de ingredientes alimentícios e de panificação, principalmente o ácido láctico. É a única empresa do respectivo grupo na América do Sul.

O modelo de simulação foi desenvolvido com base na metodologia apresentada por Freitas Filho (2008), possuindo os seguintes passos neste projeto: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; formulação do modelo conceitual; coleta de macroinformações e dados; tradução do modelo; verificação e validação. O modelo conceitual foi traduzido para o software Arena® 12 (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007), possibilitando que as simulações computacionais fossem realizadas.

A Figura 4 mostra uma tela de animação do modelo de simulação do sistema de armazenamento de Ácido Clorídrico (HCl). Esta Figura foi obtida a partir do sistema supervisório original que controla a referida planta de processo. Assim, são apresentados os respectivos tanques com as indicações de nível, alarmes, atuação de válvulas e bombas, setup de alarmes etc. de forma a demonstrar o realismo na operação do mesmo através do painel de controle e CLP.

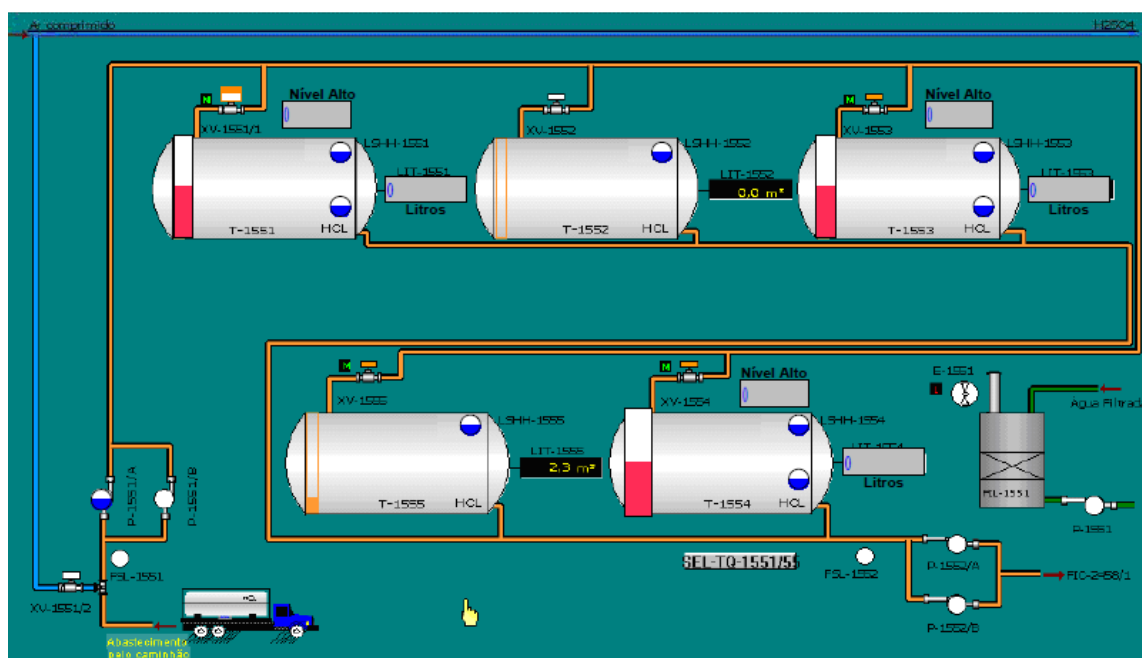


Figura 4 – Tela de animação do Arena referente ao controle de nível dos tanques de HCl.

A Figura 5 apresenta um momento de carregamento dos tanques de HCl. Próximo ao referido local, está a sala de controle de campo, onde o operador controla o sistema e monitora a chegada de caminhões através das telas do sistema supervisório.



Figura 5 – Momento de carregamento dos Tanques de HCl.

A Figura 6 (a, b) apresenta, respectivamente, a área de bombeamento e o sistema de armazenamento de HCl.

O sistema funciona da seguinte forma. A porcentagem de enchimento dos tanques é de 59% para o tanque T-1551, 23% para o tanque T-1553 e 18% para o tanque T-1555, proveniente dos caminhões (bomba P-1551) e leva aproximadamente 1 hora (60 min) para descarregar cada caminhão.

A porcentagem de descarregamento dos tanques é de 55% para o Tanque T-1551, 25%

para o tanque T-1553 e 20% para o tanque T-1555, cujo produto (HCl) é enviado às colunas catiônicas para regeneração (bomba P-1552) e dura aproximadamente 1,1 horas (66 min) para realização a transferência.

As porcentagens e duração citadas foram obtidas a partir da conversão dos dados do histórico da planta de corrosivos, fornecidos pela empresa e posteriormente tabulados para uso nos parâmetros do modelo de simulação e também como parte do sistema de controle.



(a)



(b)

Figura 6: Área industrial de bombeamento e armazenamento. (a) área de bombeamento; e (b) sistema de armazenamento.

4.2. Modelo de Simulação

A Figura 7 apresenta a parte do modelo de simulação referente ao carregamento dos tanques. A lógica de simulação concernente ao descarregamento dos tanques não é mostrada na Figura 7, pois é semelhante à lógica de carregamento.

No instante em que se inicia a simulação, o módulo Create1 passa a gerar as entidades (1 litro por segundo). O módulo Bomba_Hold1 permite a passagem das entidades apenas quando a bomba estiver ligada, ou seja, quando $Bomba == 1$ na lógica de controle. Estando a bomba ligada, o fluxo segue para o Nível_Alto_Decide1, onde existe uma condição que irá definir o caminho pelo qual as entidades irão seguir.

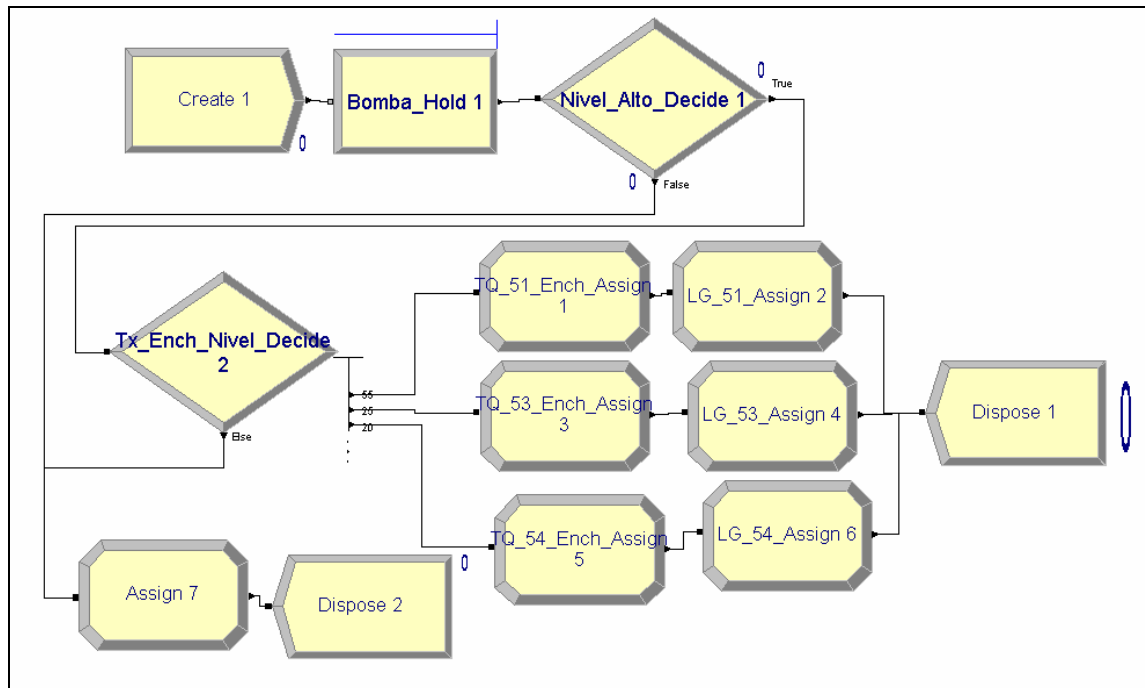


Figura 7: Estrutura interna de parte do modelo de simulação em Arena (Lógica de carregamento).

Se na lógica de controle o CLP (painel didático) estiver na condição $[(\text{alarm_N_alto} \neq 1) \text{ AND } (\text{Litros} \leq \text{N_alto})]$, então as entidades são direcionadas para cada tanque com suas respectivas porcentagens através do módulo Tx_Ench_Nivel_Decide2 e então as entidades seguem para as respectivas funções de Tq_5x_Ench_Assigny (x varia de 1, 3 ou 5 e y varia 1, 2 e 3), onde a variável Litros = Litros + 10. Sendo a variável Litros a responsável pelo preenchimento do tanque, o nível de cada tanque irá subir a uma taxa de 10 litros/segundo, respeitando as porcentagens de cada um.

Se a condição descrita acima for falsa $[(\text{alarm_N_alto} = 1) \text{ AND } (\text{Litros} \geq \text{N_alto})]$, o fluxo segue para a função Assign7 que desliga a bomba, onde é definido Bomba==0. Com isso, é enviado um sinal para a lógica do CLP que irá atuar desligando a Bomba.

O módulo Create 1 permite a passagem das entidades do módulo Bomba_Hold 1 apenas quando a bomba estiver desligada, ou seja, quando Bomba==0 na lógica de controle. Estando a bomba desligada, as entidades seguem para o Nível_Baixo_Decide3, onde existe uma nova condição que irá definir o caminho pelo qual as entidades irão seguir.

Se na lógica de controle do painel didático CLP para os três tanques na condição $[(\text{alarm_N_baixo} \neq 1) \text{ AND } (\text{Litros} \geq \text{N_baixo})]$, então as entidades seguem para a função Tx_Util_Nivel_Decide4, e então as entidades seguem para as respectivas funções de Tq_5x_Util_Assigny (x varia de 1, 3 ou 5 e y varia 8, 9 e 10), onde a variável Litros = Litros - 10. De forma análoga ao anterior, sendo a variável Litros a responsável pelo preenchimento do tanque, o nível irá baixar a uma taxa de 10 litros/segundo, respeitando as porcentagens de cada um.

Se a condição descrita acima for falsa $[(\text{alarm_N_baixo} = 1) \text{ AND } (\text{Litros} \leq \text{N_baixo})]$, o fluxo segue para o módulo Assign14 que liga a bomba, onde é definido Bomba==1. Com isso, é enviado um sinal para o CLP que irá atuar ligando novamente a Bomba. Este processo opera continuamente até que todo o sistema seja desligado e com as devidas intervenções do operador. O painel didático também permite atuar independente nas válvulas e nos alarmes, servindo de teste de reação do operador.

Em Bastos *et al* (2010), pode ser vista a sequência de passos para realizar a interligação

do modelo de simulação com o sistema de controle. Cada chave de acionamento representa uma bomba ou válvula sendo ligada/desligada. Os potenciômetros podem ser regulados para parâmetros do processo tais como setup de alarmes etc.

4.3. Testes e Treinamento

Os testes e treinamento do operador são definidos por um conjunto de ações e visualizações, onde o mesmo deve proceder conforme a descrição do manual do sistema supervisorio e o descritivo operacional elaborados pela equipe de automação da empresa. As ações tomadas e visualizadas pelo operador são verificadas e validadas pelos responsáveis pelo processo.

A Figura 8 mostra o operador acionando o sistema de controle através do CLP no módulo didático, onde o mesmo atua no sistema de forma virtual através do modelo de simulação.

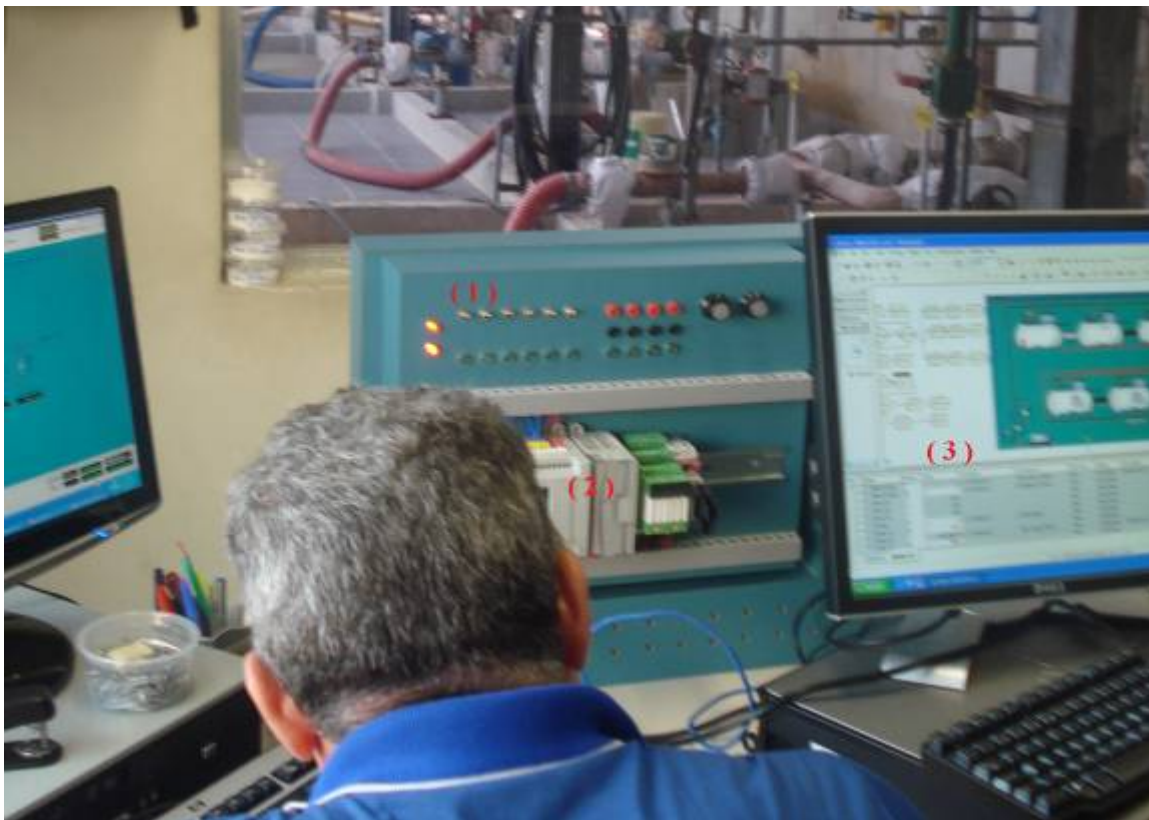


Figura 8: Operador na sala de controle da empresa, atuando no módulo didático da planta simulada de HCl. Onde: (1) Botões de acionamento do sistema pelo módulo didático; (2) CLP; e (3) modelo de simulação.

4.4. Avaliação

A avaliação foi realizada através de entrevistas com a equipe de operação da empresa, utilizando um questionário de 8 perguntas. O entrevistado inicialmente operou o sistema de comissionamento *offline*, com o módulo didático na própria unidade industrial e posteriormente respondeu às perguntas. O fato de a avaliação ter sido realizada no interior da própria unidade fabril permitiu incorporar maior realismo e percepção aos testes do ambiente simulado.

As 8 perguntas do questionário estão listadas abaixo, com as notas das respostas variando de 1 a 5, onde 1 indica ruim e 5 ótimo. São estas as perguntas:

- 1- O ambiente onde foi realizado o comissionamento é adequado?
- 2- As ferramentas (Hardware e Software) utilizadas são de fácil entendimento?
- 3- Os recursos (energia, água, produto, tempo, mão-de-obra etc.) podem ser poupados?

- 4- A segurança pode ser alcançada (como o caso de um produto corrosivo)?
- 5- Existe a possibilidade de alguma modificação da planta e ou procedimento para melhoria do mesmo através deste comissionamento, diferente do convencional?
- 6- Os recursos específicos do ponto de vista do projeto são de fácil implantação?
- 7- No que se relaciona ao treinamento, este sistema foi satisfatório?
- 8- O sistema apresentado é relevante, considerando os documentos operacionais (Descritivo Operacional e Manual do Sistema Supervisório)?

A Figura 9 apresenta os resultados das médias das respostas para cada uma das oito perguntas feitas à equipe de automação e operação da empresa PURAC. Já a Figura 10 apresenta as médias das respostas das mesmas perguntas, mas agora em relação à função exercida por cada pessoa na equipe.

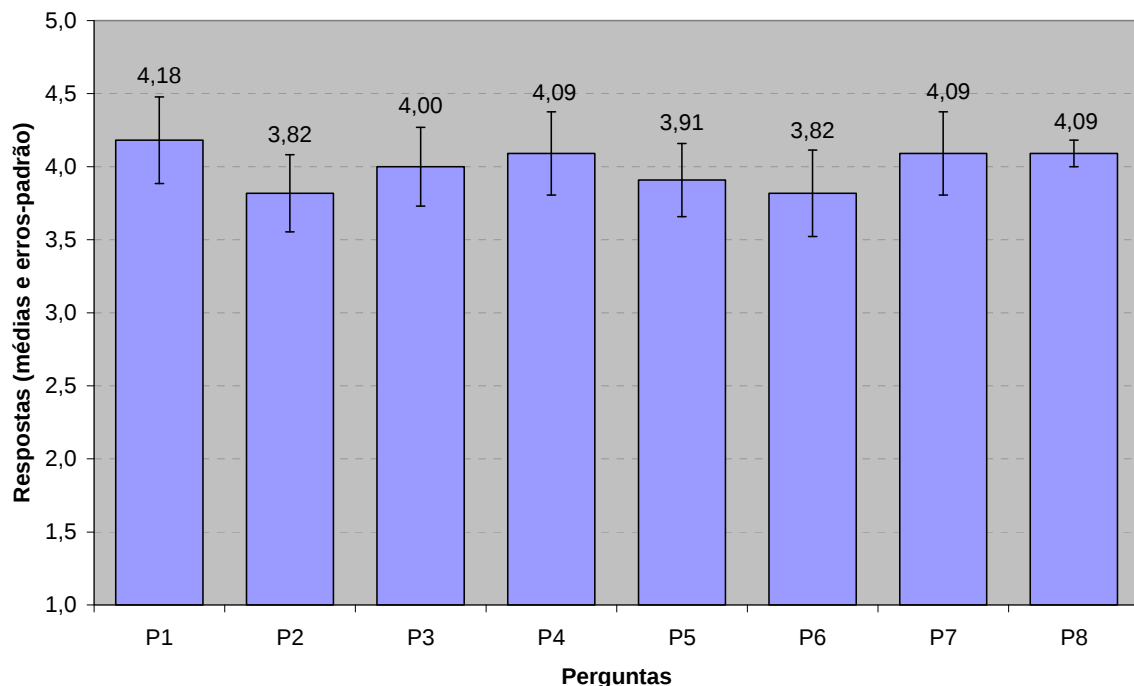


Figura 9: Resultado das respostas por perguntas para a equipe da empresa.

Observando os resultados descritos nas Figuras 9 e 10, verifica-se que em ambos os casos as respostas apresentaram valor superior à média, indicando que o mecanismo apresentado teve boa aceitação por parte da equipe industrial. No entanto, quando se avalia as respostas com relação a cada pessoa da equipe, Figura 10, pode ser visto que alguns membros demonstraram certa dificuldade com o mecanismo apresentado.

O relatório foi elaborado também com espaço para que os técnicos pudessem expressar outras percepções que não estivessem previstas no questionário. A seguir podem ser vistas algumas declarações apresentadas:

- a segurança é uma das principais vantagens do mecanismo utilizado;
- o ganho de tempo é perceptível;
- a economia de recursos materiais também é perceptível;
- a facilidade de elaboração das lógicas de controle pode auxiliar o trabalho;
- a fácil visualização do processo e as possíveis intervenções no intuito de melhoria e principalmente no treinamento de operadores e supervisores pode ser um fator de grande aplicação.

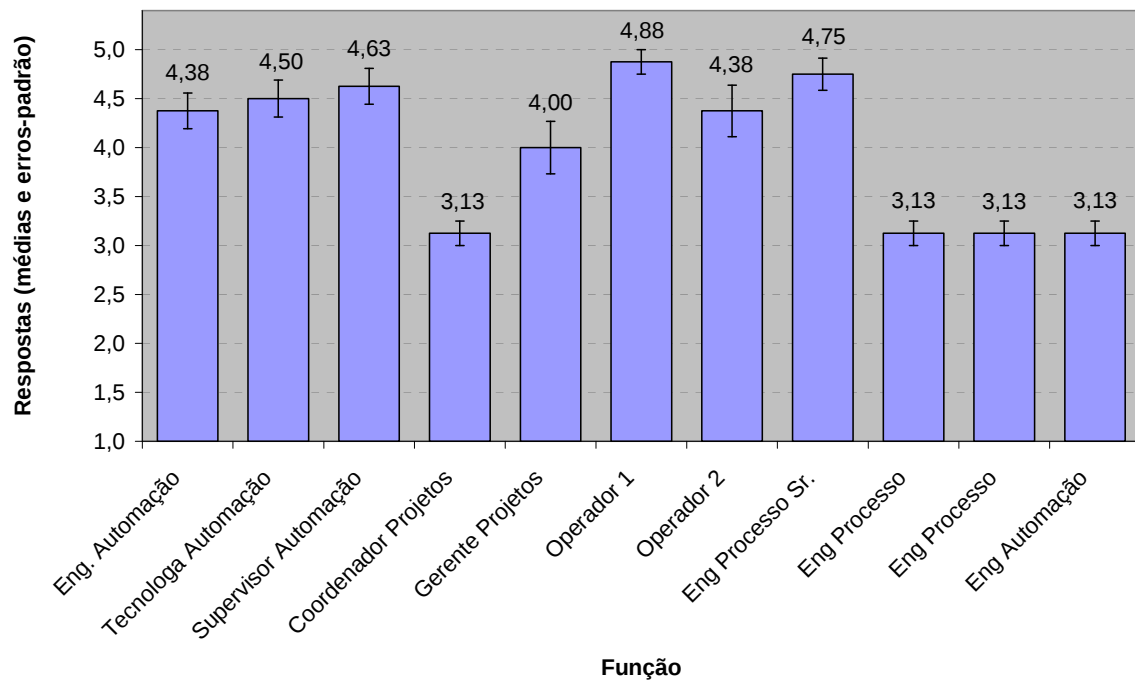


Figura 10: Resultado das respostas por função (cargo) na empresa.

5. Conclusões

Foi apresentado e avaliado neste trabalho um mecanismo de integração de um modelo de simulação com um sistema de controle para comissionamento *offline* de uma planta de HCl de uma empresa produtora de ácido láctico.

Os resultados do questionário utilizado para a avaliação, segundo a percepção da equipe da empresa, demonstraram ser promissores a aplicação do referido mecanismo em sistemas industriais. Logicamente, como uma primeira avaliação deste trabalho, os resultados apenas demonstraram a aplicabilidade do mecanismo. A partir desta percepção, os autores pretendem continuar a investigação em outros sistemas e domínios, de forma a dar continuidade ao projeto e ampliar a análise.

É importante ressaltar aqui que este tipo de mecanismo de comissionamento *offline* ainda não é muito difundido no Brasil, apesar da literatura internacional já apresentar publicações há mais de uma década sobre o assunto.

Embora este trabalho tenha se concentrado no uso do software Arena e as ferramentas Logix, a metodologia pode ser facilmente aplicada utilizando simulação e outras ferramentas de controle e softwares de simulação.

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

- Auinger, F., Vordewinkler, M. e Buchtela, G.** (1999), Interface drive domain-independent modeling architecture for “soft-comissioning” and “reality in the loop”, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Phoenix, USA, 798-805.
- Banks, J.** (2000), Simulation in the Future, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Orlando, USA, 1568-1576.
- Bastos, P.J.T, Carvalho Júnior, E., Cardoso L.D., Rangel J.J.A. e Tavares, L.O.** (2010), Simulação a Eventos Discretos para Comissionamento de Sistemas de Controle, *Anais do XVII Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, SP, 16 p.
- Chuang, C.-P., Lan, X. e Chen, J.** (1999), A Systematic Procedure for Designing State Combination Circuits in PLCs, *Journal of Industrial Technology*, 15, n 3.
- Dougall, D.J.** (1998), Applications and benefits of real-time I/O simulation for PLC and PC control systems, *ISA Transactions*, 36, n 4, 305-311.
- Freitas Filho, P. J.** *Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena*. 2ª edição, Editora Visual Books, 2008.
- Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. e Osaki, S.** (1997), Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities, *Anais do CIRP*, 46, n 1, 335-338.
- Kelton, W. D.; Sadowski, R. P. e Sturrock, D.T.** *Simulation with Arena*, Forth Edition, New York: McGraw- Hill, 2007.
- Ogata, K.** *Engenharia de Controle Moderno*, tradução Paulo Alvaro Maya; revisão técnica Fabrizio Leonardi ... [et. al], 4ª Ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2003.
- Park, S. C.; Park, C. M. e Wang, G.** (2008) A PLC programming environment based on a virtual plant. *Int J Adv Manuf Technol*.
- Röck, S.** (2011) Hardware in the loop simulation of production systems dynamics. *Production Engineering Reserch and Development*.
- Smith, J. S. e Cho, Y.** (2008), Offline commissioning of a PLC-based control system using Arena, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Miami, USA, 1802-1810.
- Zhang, D. Z e Anosike, A.** (2010) I. Modelling and simulation of dynamically integrated manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*.