



IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE INDUSTRIAL PARA CÉLULAS DE SOLDAGEM ROBOTIZADAS UTILIZANDO O PROTOCOLO MODBUS

Álvaro Schmitt¹, Erwin Werner Teichmann², Roberto Alexandre Dias³, Reginaldo Steinbach⁴, Bernardo João Rachadel⁵

Resumo: A grande maioria dos equipamentos utilizados em sistemas de soldagem robotizada no Brasil é importada, isto ocorre devido à necessidade de uma estreita comunicação entre o robô e a máquina de solda para permitir o funcionamento adequado da célula de soldagem, tanto do ponto de vista da sincronização de parâmetros de soldagem, quanto dos aspectos relacionados à segurança de operação. Apesar de existirem fabricantes de fontes de soldagem modernas no Brasil, esta comunicação ainda não foi implementada para a maioria delas. Com intuito de suprir essa lacuna, neste trabalho foi desenvolvida uma célula de soldagem automatizada a arco voltaico que inclui uma rede industrial. Para permitir a comunicação entre robô e fonte de soldagem, criou-se uma infraestrutura para emular esta interface. Esta infraestrutura está baseada em um PC, um módulo de controle padrão MODBUS (desenvolvido no IFSC) e a interface IO digital do robô. Para o desenvolvimento de *software*, foi utilizado um kit composto de uma placa de controle de uma fonte de soldagem. O *software* recebe através de uma interface RS-485 os comandos MODBUS, e os interpreta para que ela realize a função necessária. Num protótipo inicial, foi escrito um *software* em C# para o PC que emula a interface da máquina com um CLP ou robô, permitindo monitorar a tensão e corrente da máquina, abrir e fechar o arco voltaico, trocar os programas de solda durante a soldagem e desligar a fonte de soldagem.

Palavras-chave: MODBUS. Soldagem robotizada. Rede industrial.

Abstract: *The majority of the welding sources applied in robotic welding systems in Brazil are imported, this occurs due to the need for close communication between the robot and the welding machine to allow proper operation of the welding cell, both in terms of synchronization of welding parameters, and aspects related to the operator's safety. Although there are manufacturers of modern welding sources in Brazil, this communication has not been implemented for most of them. In order to overcome this gap, in this work was implemented an automated arc welding cell that uses an industrial network. A PC was used to create an infrastructure to emulate the interface (communication) between the source and the welding robot. This system is based on a standard MODBUS control module (developed by the IFSC) and the IO standard digital interface of the robot. For software development, was used a kit consisting of a control board provided by the welding source manufacturer. The software receives MODBUS commands via an RS 485 interface and interprets them in order to perform the required function. In an initial prototype, was written software in C# for the PC that emulates the interface of the machine with a PLC or robot, allowing the monitoring of the voltage and current of the welding machine, opening and closing the arc, exchanging of welding jobs during welding and switching off the welding source.*

Keywords: MODBUS. Robot welding. Industrial networking.

¹ Tecnólogo em Mecatrônica <alvaroschmitt1@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <erwin@ifsc.edu.br>.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <roberto@ifsc.edu.br>.

⁴ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis, IFSC <reginaldo.steinbach@ifsc.edu.br>.

⁵ Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <rachadel@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, quase 100% dos equipamentos utilizados em sistemas de soldagem robotizada no Brasil são importados, isto ocorre devido à necessidade de uma estreita comunicação entre o robô e a máquina de solda para permitir o funcionamento adequado da célula de soldagem, tanto do ponto de vista da sincronização de parâmetros de soldagem, quanto dos aspectos relacionados à segurança de operação.

Apesar de existirem fabricantes de fontes de soldagem modernas no Brasil, esta comunicação ainda não foi implementada para a maioria deles. Diante disso, foi proposto um projeto de pesquisa junto ao CNPq, visando à implementação de uma rede industrial para uma célula de soldagem.

Esta rede baseia-se na utilização de um protocolo MODBUS, de larga aplicação na indústria, particularmente em robôs e CLPs de fabricantes renomados.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

No mercado, está disponível uma gama de fontes de soldagem de fabricantes renomados que oferecem a possibilidade de se utilizar redes industriais para a comunicação com os demais equipamentos de uma célula ou linha de soldagem. Todos os fabricantes são estrangeiros, entre eles pode-se destacar as fontes da linha TPS da Fronius e da linha Aristo da ESAB. Ambos os equipamentos dispõem de interfaces que são compradas separadamente para a integração com robôs de diferentes fabricantes. É importante ressaltar que mesmo no caso destes fabricantes, as soluções apresentadas não respondem a todas as necessidades dos clientes, o que reforça a necessidade de sistemas abertos e customizáveis.

Os protocolos padrão mais utilizados industrialmente são o DEVICENET e o Profibus. Algumas empresas oferecem ainda, protocolos proprietários, diminuindo a flexibilidade de troca de informações e reduzindo o leque de equipamentos que pode ser utilizado para desenvolver a rede industrial.

A seguir são citados alguns trabalhos relacionados ao processo de soldagem automatizada que demonstram a importância científica do tema.

Silva (2008) apresenta uma proposta de gerenciamento de processos de automação de soldagem empregando ferramentas computacionais desenvolvidas em linguagem Java. Neste trabalho, no entanto não foram privilegiadas plataformas e protocolos padrão de indústria, como no presente trabalho, o que dificulta o seu aceite em soluções de produção. A proposta se concentra no

gerenciamento administrativo dos processos sem muita ênfase dos parâmetros de soldagem.

Em Rippey (2003), é apresentada uma revisão bibliográfica do esforço de padronização das redes de comunicação para integração de dispositivos empregados em uma célula de soldagem. Este trabalho sugere que elementos como fontes e robôs de soldagem sejam integrados com redes digitais de comunicação de dados e utilizem protocolos padrão da indústria como o DEVICENET. Na presente proposta de trabalho, foi empregado para validação inicial da proposta o MODBUS, um protocolo padrão de indústria. No entanto, os esforços de continuidade do trabalho estão direcionados para inclusão do protocolo DEVICENET como mais uma alternativa de protocolo de comunicação.

Rippey e Falco (1997) propõe, em um trabalho precedente, uma plataforma de testes para avaliação automática da qualidade de soldagem. Nesta proposta é apresentada uma arquitetura de *hardware* e *software* composta de robôs manipuladores, sistemas de controle inteligentes, sensores, alimentadores de arame, controladores de vazão de gás, ferramentas CAD e uma base de conhecimento de informações de soldagem para avaliação e melhoria do processo de soldagem MIG/MAG.

Estes três artigos serviram de base para a fundamentação teórica no desenvolvimento do projeto.

3. CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA PROPOSTA

A célula robotizada proposta neste trabalho consiste de um Robô FANUC M-10i A (FANUC, 2010) e uma fonte de soldagem IMC Digiplus A7 (IMC, 2010).

O robô FANUC M-10i A é um robô de manipulação de alto desempenho com 6 eixos. O modelo M-10i A, apresenta um alcance máximo de 1,42 m e capacidade de carga 10 kg. A alta rigidez do braço e a tecnologia avançada de servo-motores, permite alcançar altas velocidades e acelerações.

A fonte de soldagem IMC Digiplus A7 de 800 A, é uma fonte de soldagem multiprocesso, transistorizada chaveada no secundário do transformador, o que confere à mesma um excelente controle dos parâmetros de soldagem. O equipamento permite a utilização dos seguintes processos de soldagem: MIG/MAG convencional e pulsado; eletrodo revestido; TIG/Plasma com corrente alternada ou contínua, pulsada ou não e possibilita controles sinérgicos e adaptativos. A multiplicidade de processos de soldagem confere grande flexibilidade à célula, uma vez que, pode-se desenvolver procedimentos em praticamente todas as modalidades de soldagem a arco aplicada industrialmente na atualidade. A fonte é

microprocessada e utiliza um processador de arquitetura AMR7 32 bits, modelo LPC2148 da Phillips.

A integração entre a fonte de soldagem e o robô permite:

- envio de comando pelo robô para que a fonte de soldagem realize a troca do programa de solda pré-armazenado, de acordo com o ponto da trajetória percorrida pelo robô;
- abrir e fechar o arco voltaico;
- desligar a fonte de soldagem.

A Figura 1 mostra a visão geral da integração do sistema.

O robô FANUC M10i atua como controlador *master* do sistema. Como o robô disponível não possui uma porta de comunicação MODBUS, foram utilizadas as saídas digitais do mesmo. Os sinais provenientes destas saídas são capturadas pelo PC, interpretadas e, então, enviadas à fonte de soldagem via MODBUS.

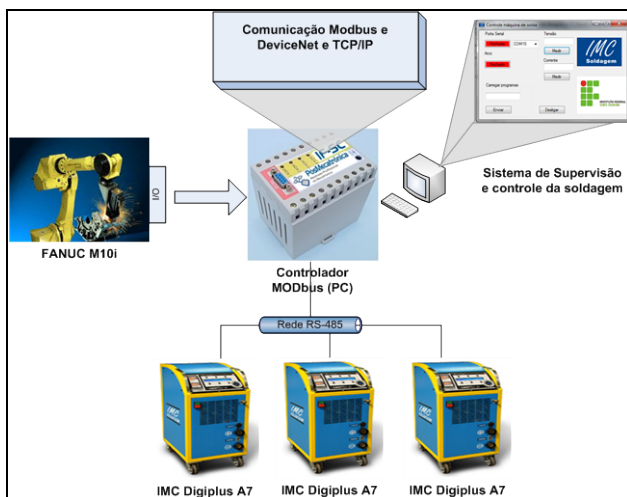


FIGURA 1 - Visão geral da célula de soldagem automatizada.

Para validar a arquitetura de comunicação proposta, o robô envia um código de 7 bits através das suas saídas de dados digitais ao longo da trajetória de soldagem. Uma interface paralela do controlador MODBUS implementado em um computador converte este sinal para o padrão MODBUS e o envia à fonte de soldagem. Este código corresponde ao programa de soldagem previamente armazenado na fonte IMC Digiplus A7. Além disso, o robô coloca em nível lógico alto uma de suas saídas digitais toda vez que um novo programa de soldagem deve ser ativado. Esta saída permite o monitoramento do comando de troca de programa.

A fonte de soldagem não possui comunicação no padrão de protocolo MODBUS, de forma que para viabilizar os objetivos, foi necessário implementar esse protocolo em seu *software*. Para isso, em uma etapa inicial foi utilizado um *kit* composto por uma placa de controle da fonte Digiplus A7, o que permitiu fazer toda a implementação em laboratório. Após se ter obtido uma versão funcional, foi feita a substituição do *software* da fonte de soldagem Digiplus A7 para testes práticos.

Ao receber o pedido MODBUS a máquina processa o mesmo e ativa o programa solicitado e retorna uma resposta MODBUS de confirmação.

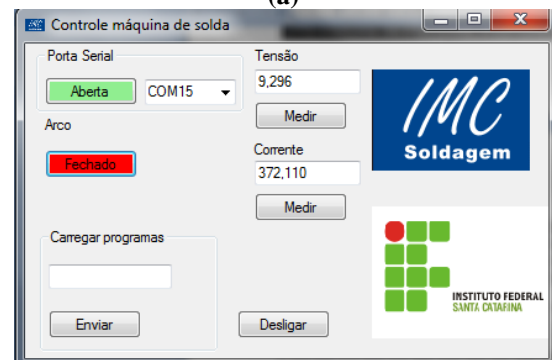
Foi desenvolvida uma aplicação simples de supervisão e controle, em linguagem C#, que envia comandos MODBUS para a fonte IMC Digiplus A7, e permite:

- abertura e fechamento do arco voltaico;
- carga manual de programas;
- leitura de tensão e corrente do arco voltaico;
- desligamento da fonte de soldagem.

A Figura 2(a) mostra uma foto da célula de soldagem montada e a Figura 2(b) mostra a tela do aplicativo de supervisão e controle da máquina.



(a)



(b)

FIGURA 2 - (a) Célula de soldagem automatizada e (b) software de supervisão/controle em C#.

3.1. Protocolo MODBUS na Fonte IMC Digiplus A7

A implementação do MODBUS na fonte IMC Digiplus A7 permite que a máquina receba, via serial, uma sequência de quadros, que são analisados e interpretados pelo equipamento. Há dois tipos de sequências: o pedido que a máquina deve interpretar e a resposta que ela deve produzir.

No pedido, deve-se enviar o endereço da máquina a qual se quer comunicar, um número que define se deseja-se ler ou colocar um valor em um registrador da máquina, o valor da memória na qual se encontra o dado desejado, a quantidade de

memórias que serão lidas e, por fim, o CRC. O CRC é composto de dois números gerados a partir da mensagem. Estes números servem para verificar se a mensagem enviada é a mesma recebida, já que há a possibilidade de haver perda de dados durante a transferência.

A resposta deve conter o endereço da máquina que a está enviando, o número de leitura, a quantidade de dados que serão enviados, os dados e, por fim, o CRC.

A Tabela 1 mostra o formato do *frame* MODBUS de pedido e a Tabela 2 o formato do *frame* MODBUS de resposta.

TABELA 1 - *Frame* MODBUS de pedido.

Nome do campo	Exemplo (HEX)	ASCII	RTU
Leitor		: (dois pontos)	Nenhum
End. do escravo	14	1 4	00010100
Função	06	0 6	00000110
End. inicial alto	9C	9 C	10011100
End. inicial. baixo	40	4 0	01000000
n° de reg. alto	00	0 0	00000000
n° de reg. baixo	01	0 1	00000001
Chechagem de erro		LRC (2 chars.)	CRC (16 bits)
Trailer		CR LF	Nenhum
Total de bytes		17	8

TABELA 2 - *Frame* MODBUS de resposta.

Nome do campo	Exemplo (HEX)	ASCII	RTU
Leitor		: (Dois pontos)	Nenhum
End. do escravo	14	1 4	00010100
Função	03	0 3	00000111
Cont. de Bytes	04	0 4	00000100
Dado alto	01	0 1	00000001
Dado baixo	0A	0 A	00001010
Dado alto	00	0 0	00000000
Dado baixo	02	0 2	00000010
Chechagem de erro		LRC (2 chars)	CRC (16 bits)
Trailer		CR LF	Nenhum
Total de bytes		19	9

Para melhor compreender, um exemplo de mensagem seria 14 06 9C 40 00 01 00 1B na qual 14 é o endereço da fonte de soldagem, 06 é o código de função de escrita em registrador, 9C 40 é o valor do registrador correspondente ao código de programa de soldagem a ser selecionado na fonte de solda. O valor 00 01 é o dado a ser armazenado no registrador e 00 1B é o CRC. Neste caso carregou-se o programa de solda número 01 na fonte de soldagem. Todos os valores estão em base hexadecimal.

Outro exemplo seria uma mensagem de pedido 14 03 9C 42 00 01 53 1B na qual 14 é o endereço da fonte de soldagem, 03 o número que indica que será lido um valor de registrador, 9C 42 é um registrador correspondente ao valor da corrente do arco voltaico atual da fonte, 00 01 é a quantidade de registradores a serem lidos e 53 1B é o CRC. Para

este pedido a máquina gerou a resposta 14 03 0E 00 33 00 37 00 32 00 2C 00 31 00 31 00 30 15 7C, na qual 14 é o endereço da fonte, 03 o número que indica que foi lido um valor de uma memória, 07 é a quantidade de dados enviados, 00 33 00 37 00 32 00 2C 00 31 00 31 00 30, são os dados, correspondentes à corrente elétrica do arco voltaico e 15 7C é o CRC. Neste exemplo foi pedido o valor de corrente da máquina e ela respondeu 372,110 A.

Como se pode observar na Figura 1, a arquitetura do sistema permite a integração de várias fontes de soldagem em rede industrial RS-485. Considerando que atualmente o robô não dispõe de uma interface de comunicação em protocolo MODBUS, está prevista aquisição de um módulo de comunicação com protocolo DEVICENET. Isto demandará a implementação deste protocolo na fonte IMC Digiplus A7. Com

isto, o sistema permitirá a supervisão e controle de múltiplas unidades de soldagem automatizadas em rede industrial.

Ensaio de desempenho da comunicação permitiram verificar que o tempo médio entre o envio de um pedido e a resposta MODBUS é de 2ms. Isto demonstra a viabilidade de uso de uma interface de comunicação digital para o controle da soldagem.

4. RESULTADOS

Para verificar o desempenho da célula de soldagem automatizada desenvolvida, foram feitos cordões de solda com dois programas de soldagem diferentes.

A Figura 3 mostra um cordão de solda executado com dois programas diferentes.

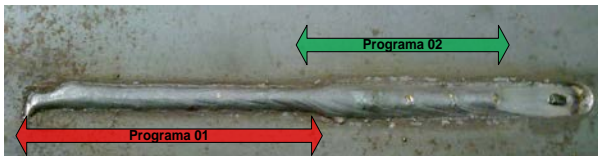


FIGURA 3 - Exemplo de cordão de soldagem realizado na célula robotizada.

O trecho do cordão correspondente ao “Programa 01” foi executado com o processo de soldagem MIG/MAG sinérgico, modo corrente, não térmico, com 145 A de corrente média. Já o trecho correspondente ao “Programa 02” foi executado com o mesmo processo, mas com um valor de corrente média de 200 A. Os ensaios foram realizados por simples depósito sobre chapa de 3 mm de espessura, velocidade de deslocamento de tocha constante de 80 cm/min, arame eletrodo ER70S6 de 1,2 mm de diâmetro e gás de proteção composto de uma mistura de Argônio com 15% de CO₂.

A Figura 3 mostra que a transição entre o “Programa 01” e o “Programa 02” foi suave, sem descontinuidades, demonstrando a eficiência da comutação entre dois programas de soldagem diferentes.

Para avaliar a resposta da comutação entre os dois programas de soldagem, foram adquiridos os sinais da corrente do arco e de comutação de programa. Um sistema de aquisição de sinais IMC modelo SAP V4 foi utilizado para a coleta destes dados. A Figura 4 mostra a forma de onda da corrente do arco voltaico de soldagem e o sinal de comando para troca de programa em função do tempo.

Como pode ser observado na Figura 4, a comutação entre os dois programas foi suficientemente rápida de forma a não perturbar a estabilidade do processo. Em vários ensaios semelhantes, o tempo médio de comutação entre os

programas foi de 9,4ms. Este tempo corresponde ao tempo necessário para a fonte de soldagem decodificar uma requisição de mudança de programa enviado pelo controlador MODBUS e processar os novos parâmetros de soldagem.

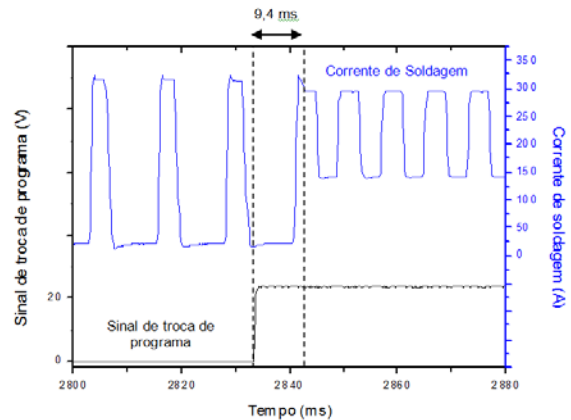


FIGURA 4 - Forma de onda da corrente elétrica do arco voltaico durante a mudança de programa.

Desta forma, fica comprovada a eficiência da comutação entre dois programas de soldagem, justificando a suavidade da transição entre os dois programas no cordão de solda apresentado na Figura 3.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou o esforço de desenvolvimento conjunto de alunos e pesquisadores de uma instituição de ensino e pesquisa e engenheiros de uma empresa privada, demonstrando uma efetiva integração entre escola e empresa.

A incorporação de uma interface de comunicação MODBUS, não existente na fonte de soldagem, permitiu sua integração a um módulo de controle através de rede industrial, favorecendo sua integração com o robô manipulador de tocha.

Os resultados permitiram visualizar que o desempenho da aplicação de soldagem automatizada foi satisfatório, permitindo a utilização desta abordagem nos processos de soldagem comumente encontrados no mercado.

5.1. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros pretende-se incluir novas funcionalidades à plataforma desenvolvida que permitam monitorar em tempo real os parâmetros de soldagem. Este monitoramento tem por objetivo verificar a conformidade dos parâmetros de soldagem com limites pré-estabelecidos. Além disso, tem-se por objetivo transmitir estes dados para uma base corporativa de forma a possibilitar o rastreamento dos parâmetros de soldagem das peças produzidas.

Além disso, para manter compatibilidade com a maior parte dos robôs industriais existentes no mercado será incorporada à fonte de soldagem da IMC, além da interface MODBUS, uma interface DEVICENET.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer postumamente ao Sr. Sérgio Schmitt, que apesar de não ter participado diretamente na elaboração do trabalho, teve fundamental importância na sua realização, como grande fonte de incentivo e motivação ao seu filho, Álvaro Schmitt. Gostaríamos de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro e também a empresa IMC, na pessoa do seu diretor o Sr. Raul Gohr Jr., pelo apoio material (fornecimento de placas) e disponibilidade para acompanhamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- FANUC ROBOTICS AMERICA, INC. **Folha de dados**. Disponível em <<http://www.fanucrobotics.com/file-repository/DataSheets/Robots/M-10iA-Series.pdf>>. Acessado em 12 mai. 2010.
- IMC SOLDAGEM. **Manual de Instruções DIGIPlus A7**. Florianópolis, IMC, 2009.
- RIPPEY, W.G.; FALCO, J.A. *The nist automated arc welding test bed*. In: **7th International Conference on Computer Technology in Welding**, 1997, San Francisco, CA, USA, 1997.
- RIPPEY, W.G. *Network communications for weld cell integration – status of standards development*. In: **13th International Conference on Computer Technology in Welding**, 2003, Orlando, Florida, USA, 2003.
- SILVA, V. **Sistema de gerenciamento de equipamentos e documentos do processo de soldagem**. 2008. Dissertação (Especialização em Informática Empresarial), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.