

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

RICARDO AUGUSTO TERUI HARTMANN

**PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE VISÃO E
CONTROLADOR INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2015

RICARDO AUGUSTO TERUI HARTMANN

PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE VISÃO E CONTROLADOR INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Marcelo Victor Wüst Zibetti, Dr. Eng.

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

RICARDO AUGUSTO TERUI HARTMANN

PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE VISÃO E CONTROLADOR INDUSTRIAL

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 29 de Junho de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Guilherme A. Schneider
UTFPR

Prof. Dr. Eng. Luiz C. A. Rodrigues
UTFPR

Prof. Dr. Eng. Marcelo Victor Wüst Zibetti
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

À minha sempre companheira Muriely pela compreensão e apoio.

Aos meus pais pela constante preocupação e suporte.

Ao Prof. Dr. Marcelo Victor Wüst Zibetti por todo empenho e atenção desempenhados durante a orientação deste trabalho.

RESUMO

Hartmann, Ricardo Augusto Terui. **Proposta de integração entre sistema de visão e controlador industrial**. 2015. 42 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A permanência de uma indústria no mercado está diretamente ligada à eficiência e eficácia de sua produção. Para garantir esses requisitos, diversas estratégias são adotadas, dentre elas, a automação da linha de produção. Esta solução, em geral, garante um aumento na produtividade porém, para garantir a qualidade produtiva muitas vezes são necessários sistemas de inspeção, dentre os quais, os sistemas de visão, tema abordado por este trabalho. A inclusão de processos suporte em um sistema de manufatura automatizado necessita de uma boa integração para garantir todos os benefícios da automação. Busca-se, então, utilizar uma rede industrial compatível com os equipamentos instalados e com o processo aplicado. Este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento da integração de um sistema de visão com um controle industrial encontrados no laboratório FMS da UTFPR. Em um primeiro momento são apresentados os conceitos básicos que fundamentam os princípios e o funcionamento dos equipamentos utilizados. Posteriormente, dois métodos de comunicação entre os sistemas são propostos: comunicação via OPC e comunicação via sinal digital. Para a avaliação do desempenho das soluções, um método experimental é aplicado. Por fim, é realizada uma avaliação da integração dos sistemas com base nos resultados obtidos, vantagens e desvantagens encontradas durante a instalação, programação e operação de cada método de comunicação.

Palavras chave: Sistemas automatizados de manufatura. Sistemas de visão. Controlador lógico programável

ABSTRACT

HARTMANN, Ricardo Augusto Terui. **Proposal for integration of vision system and industrial controller.** 2015. 42 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The permanence of an industry in the market is directly linked to the efficiency and effectiveness of their production. To ensure these requirements several strategies are adopted, among them the automation of the production line. This solution generally ensures an increase in productivity. But to ensure production quality, inspection systems are often required, among which the vision systems, addressed by this work. The inclusion of support processes in an automated manufacturing system demands good integration to ensure all the benefits of automation. Then it is necessary to use an industrial network compatible with the installed equipment and the applied process. This work presents the study and development of the integration of a vision system with an industrial control found in the FMS laboratory at UTFPR. At first moment it will be presented the basic concepts underlying the principles and operation of the equipment used. Later two methods of communication between the systems are proposed: communication through OPC and communication through digital signal. To evaluate the performance of the solutions an experimental method is applied. Finally it is carried out an evaluation of the integration of the systems based on the results, advantages and disadvantages encountered during installation, programming and operation of each communication method.

Keywords: Automated Manufactured Systems, Vision Systems, Programmable Logic Controller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Três categorias de sistemas de manufatura: (a) sistema manual, (b) sistema operador-máquina, (c) sistema automatizado.....	17
Figura 2 - Elementos de um sistema automatizado.....	18
Figura 3 - Relação produtividade versus flexibilidade.	19
Figura 4 - Processo de automação industrial com uso de um sistema de visão.....	20
Figura 5 - Exemplo de CLP.....	22
Figura 6 - Relação Pontos de Entrada x Tabela de Imagem das Entradas.....	23
Figura 7 - Lógica Convencional - Contatos Elétricos.	24
Figura 8 - Implementação da Lógica Convencional por meio de PLC.	24
Figura 9 - Exemplo de Grafcet.....	25
Figura 10 - Camadas de rede.	26
Figura 11 - Esquema básico do experimento.	28
Figura 12 - Base da programação do CLP.....	29
Figura 13 - Esquema de interação entre as programações CLP x Sistema de Visão.....	30
Figura 14 - Processo de inspeção da câmera.....	30
Figura 15 - <i>Smartcam</i> Utilizada.	31
Figura 16 - Esquema representativo da programação do método OPC.....	32
Figura 17 - Esquema de comunicação digital.	33
Figura 18 - Frequência relativa e distribuição normal das tomadas de tempo.	34
Figura 19 - Programação ladder da ação "Inspeção On" Grafcet método Sinal Digital.	39
Figura 20 - Programação ladder da ação "Inspeção Off" Grafcet método Sinal Digital.....	39
Figura 21 - Programação ladder da ação "Reset" Grafcet método Sinal Digital.	39
Figura 22 - Programação ladder da ação "Inspeção On" Grafcet método via OPC.	40
Figura 23 - Programação ladder da ação "Inspeção Off" Grafcet método via OPC.	40
Figura 24 - Programação ladder da ação "Reset" Grafcet método via OPC.	40

Figura 25 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa " <i>Input</i> ".....	41
Figura 26 – Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa " <i>Inspect</i> ".	41
Figura 27 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa " <i>Output</i> ".	42
Figura 28 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital " <i>Transition 1</i> ".	42
Figura 29 - Programação da Smart Camera método via OPC etapa " <i>Inspect</i> ".	43
Figura 30 - Programação da Smart Camera método via OPC etapa " <i>Output</i> ".	43
Figura 31 - Programação da Smart Camera método via OPC " <i>Transition 1</i> ".	44
Figura 32 - Programação OPC método sinal digital.....	45
Figura 33 – Interface supervisorio método sinal digital.	45
Figura 34 - Programação OPC método via OPC.	46
Figura 35 - Interface supervisorio método via OPC.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CLP	Controlador Lógico Programável
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i>
GRAFCET	<i>Grphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OPC	<i>Object Linking and Embedding for Process Control</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	12
1.4	OBJETIVOS	12
1.4.1	OBJETIVO GERAL	13
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.5	JUSTIFICATIVA	13
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO	14
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE MANUFATURA	16
2.2	SISTEMAS DE VISÃO	20
2.3	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS	21
2.4	REDES INDUSTRIAIS	25
3	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
3.1	MÉTODO EXPERIMENTAL	28
3.2	COMUNICAÇÃO VIA OPC	31
3.3	COMUNICAÇÃO VIA SINAL DIGITAL	32
3.4	ANÁLISE DE DESEMPENHO	34
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38
	APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO CLP	39
	APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO SMART CAMERA	41
	APÊNDICE C – PROGRAMAÇÃO SUPERVISÓRIO	45

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é composto por 8 subseções, onde serão apresentados na respectiva sequência: o tema da monografia, seguido da delimitação do estudo, a descrição do problema, os objetivos propostos, a justificativa para o trabalho, os procedimentos metodológicos utilizados, o embasamento teórico e, por fim, a estrutura do trabalho.

1.1 TEMA

Diante da grande concorrência imposta pelo mercado, as indústrias têm buscado alternativas para se tornarem mais competitivas perante as novas exigências de produtividade, qualidade e flexibilidade de produção. Uma boa e conhecida solução é a automação (BAU, 2013).

Um sistema automatizado permite o aumento da eficiência e eficácia da produção através da maior capacidade, confiabilidade e flexibilidade da produção, maior garantia de qualidade e melhoria da segurança operacional (ZIBETTI, 2010).

Para potencializar ainda mais os efeitos da automação, pode-se adotar na linha de produção um sistema de manufatura flexível ou FMS. Esse sistema consiste em uma estrutura celular altamente automatizada contendo como principais componentes: estações de trabalho, sistema de transporte e armazenamento de materiais, sistema de controle, e pessoas para gerenciamento e operação da linha (GROOVER, 2008).

Para garantir a detecção de defeitos e a garantia da qualidade no processo, outro componente importante a ser incorporado a um FMS é o sistema de inspeção. Uma máquina de medição por coordenadas ou um sistema de visão são tecnologias aplicáveis para a rotina de inspeção em um FMS (GROOVER, 2008).

Segundo Zibetti (2010), a visão de máquina já vem sendo utilizada na indústria, sendo o custo desses equipamentos, já considerado na época, compatível com os benefícios que trazem para a produção.

Todos os sistemas descritos acima devem ser corretamente conectados através de redes locais e bancos de dados (LEIGHTON; OSORIO; LEFRANC,

2011). Diante desta consideração o presente trabalho visa desenvolver a integração entre controlador industrial e sistema de visão.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Essa monografia se limitará ao estudo e desenvolvimento da integração entre CLP e sistema de visão encontrados no laboratório “Mini Fábrica FMS” da UTFPR, campus Curitiba. Pretende-se realizar a instalação dos componentes e a programação dos equipamentos necessários para a implementação da rede. Será, também, apresentada a comparação de desempenho entre as redes utilizadas trazendo os prós e contras de cada solução.

1.3 PROBLEMA

Para assegurar a qualidade garantida dentro de um sistema flexível de manufatura, a inspeção é considerada um de seus componentes básicos. Na UTFPR, mais especificamente na Mini Fábrica FMS, a inspeção das peças processadas fica a cargo de um sistema de visão. Atualmente, este sistema é comandado através de um supervisor. Porém, na indústria essa solução nem sempre é possível, sendo necessária a instalação de uma comunicação direta entre controlador e visão da máquina.

A problemática norteadora do presente trabalho pretende responder qual comunicação utilizar e como realizar a solução elaborada.

1.4 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver a comunicação entre controlador lógico programável e sistema de visão.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Etapas a serem realizadas para atingir-se o Objetivo Geral;

- Identificar as características operacionais do controlador e do sistema de visão utilizado;
- Caracterizar os possíveis sistemas de comunicação;
- Planejar e executar a montagem das conexões;
- Realizar toda programação necessária para cada componente;
- Verificar o desempenho do(s) sistema(s) de comunicação proposto(s).

1.5 JUSTIFICATIVA

Segundo Zibetti (2010, p.9), um sistema de visão de máquina pode ser descrito como um sensor dentro de um sistema industrial automatizado. Basicamente o controle de processos industriais pode ser descrito como uma ação de controle processada através de um controlador estimulado por sinais de sensores. Diante desta lógica é essencial que o sinal emitido ao controlador seja rápido, preciso e seguro. Rápido de forma a garantir uma ação em tempo efetivo, preciso de modo a passar as informações necessárias e seguro para não falhar e levar erros ao processo. Busca-se manter o processo estável e com qualidade garantida.

Diversas são as maneiras de transmissão de informações entre sensores e controladores dependendo das especificações de cada componente e também dos requisitos do processo em que a automação será aplicada. É necessário, então, o

estudo dos equipamentos e do processo para a instalação do melhor método de comunicação.

Considera-se neste trabalho o desenvolvimento da comunicação entre o sistema de visão e o controlador lógico programável de maneira direta. Desta forma, busca-se evitar a utilização do supervisor como meio intermediário de comunicação como é o que acontece atualmente no laboratório FMS. A intermediação do supervisor pode trazer riscos de falhas de operação, além de não garantir o controle e o correto funcionamento do sistema de visão. Ou seja, a implementação do controle do sistema de visão via CLP reduz os riscos de parada da inspeção por erros do supervisor além de permitir o controle liga e desliga da câmera.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho aborda a aplicação prática do conhecimento com foco na resolução de problemas específicos. Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para aprofundamento dos conceitos abordados. Foram levantadas informações importantes através da observação da planta e da consulta a manuais técnicos dos equipamentos utilizados. A coleta das informações em conjunto com o embasamento teórico daram as bases para o desenvolvimento das soluções necessárias para a realização dos objetivos.

Em seguida, foi realizada a instalação física das conexões e a programação necessária dos componentes como CLP e sistema de visão. Por fim, foi avaliado o resultado obtido.

1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Em relação ao tema FMS, serão utilizados como referencial teórico os trabalhos de Groover (2008). No tema sistemas de visão serão consultados Zibetti (2010), e os manuais da câmera industrial. Já no que se refere aos controladores lógicos programáveis serão consultados Giorgini (2003), além dos manuais do

equipamento instalado. Quanto ao tema de redes industriais será estudo o trabalho de Caro (2003).

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será estruturado em 4 (quatro) capítulos. O capítulo 1 apresentará o tema, as delimitações da pesquisa, o problema e a premissa, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e a estrutura geral do trabalho. O capítulo 2 trata a fundamentação teórica que abordará os sistemas automatizados de manufatura, focando a relação entre controlador e sistema de visão através de redes industriais. No capítulo 3 serão abordadas as soluções encontradas para a integração CLP x sistema de visão. No capítulo 4 serão descritos os resultados obtidos e feitas as devidas análises relacionadas ao desenvolvimento da integração CLP x sistema de visão no sistema automatizado de manufatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para desenvolver um processo devidamente automatizado é necessário conhecer os fundamentos de sistemas automatizados de manufatura, bem como seus componentes. Como o tema abordado tem seu foco na integração de sistema de visão com controladores lógico programáveis, serão esses os assuntos abordados durante este capítulo.

2.1 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE MANUFATURA

Antes de qualquer definição sobre sistemas automatizados de manufatura faz-se necessária a compreensão dos conceitos básicos de um sistema de produção. Um sistema de produção é caracterizado como um conjunto de pessoas, equipamentos e processo que são organizados de modo a desempenhar operações de manufatura (GROOVER, 2008).

Para Groover (2008), sistemas de produção podem ser divididos em duas categorias ou níveis:

- Instalações: fábrica, equipamentos e o modo em que os equipamentos estão dispostos.
- Sistemas de suporte a manufatura: conjuntos de processos utilizados por uma empresa para gerenciar a produção, solucionar questões técnicas, logísticas e garantir a qualidade do produto.

Como o foco deste trabalho está em um sistema de manufatura será atribuída ênfase ao nível das instalações. Em geral, os componentes presentes nas instalações são dispostos de maneira lógica resultando no que é o chamado sistema de manufatura. Segundo Groover (2008, p. 39), manufatura é o processo ou o conjunto de processos sejam físicos e/ou químicos que quando aplicados alteram a geometria, as propriedades e/ou a aparência de um material para a obtenção de peças ou produtos. Para a realização dessas tarefas, faz-se necessária a combinação de um conjunto de recursos: maquinário, energia, equipamentos e mão de obra. Outra linha de raciocínio é definir a manufatura como toda transformação

que, quando aplicada a um material, agrega valor tornando-o economicamente mais valioso.

Para Groover (2008), os sistemas de manufatura podem ser subdivididos em três categorias, segundo o nível de participação humana:

- Sistemas manuais de trabalho: o processo é realizado diretamente pelo operador sem ou com o auxílio de ferramentas manuais, vide Figura 1(a);
- Sistemas de trabalho por máquinas: o processo é realizado através de máquinas comandadas pelos operadores, vide Figura 1(b);
- Sistemas automatizados: o processo é realizado por uma máquina sem a intervenção direta de um operador, vide Figura 1(c).

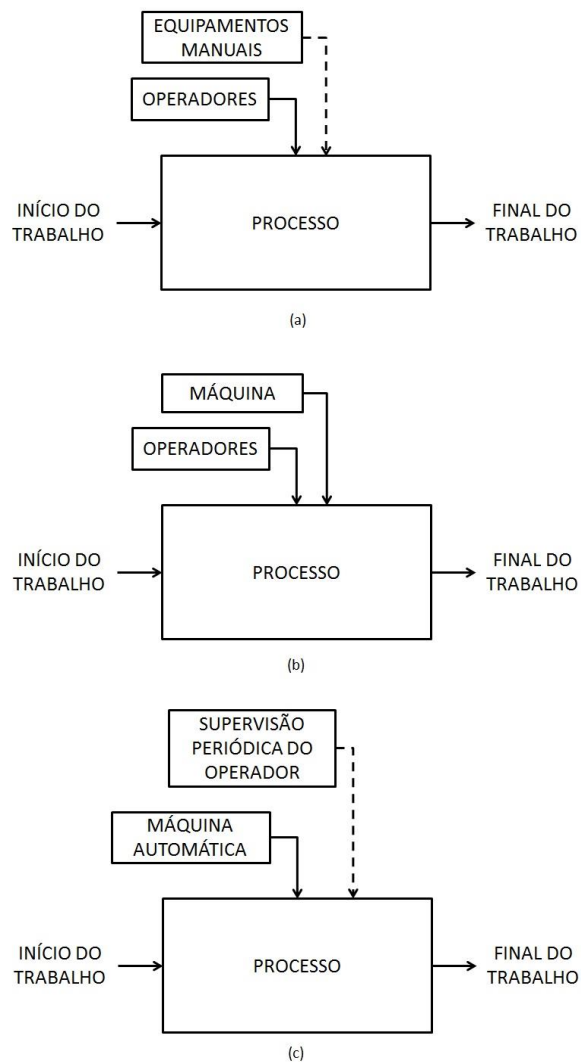


Figura 1 - Três categorias de sistemas de manufatura: (a) sistema manual, (b) sistema operador-máquina, (c) sistema automatizado.

Fonte: Adaptado de Groover (2008).

A automação pode ser descrita como a tecnologia que possibilita a realização de um processo sem a interferência humana. Seu funcionamento é baseado em um sistema de controle que ordena as ações orientadas por um programa de instruções. A estrutura básica de um sistema automatizado, descrita por Groover (2008) e ilustrada na Figura 2, é composta por três elementos:

- Energia: necessária para alimentar o sistema;
- Programação: contém as instruções de como o trabalho deve ser realizado;
- Controle: garante que o trabalho seja realizado conforme as instruções.

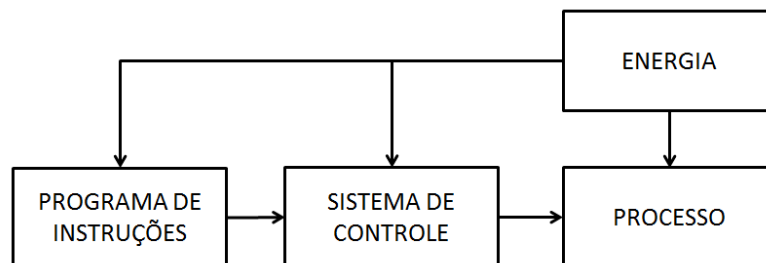


Figura 2 - Elementos de um sistema automatizado.
Fonte: Adaptado de Groover (2008).

Ainda, de acordo com Groover (2008), a automação da manufatura pode ser classificada conforme sua relação flexibilidade versus produtividade. A Figura 3 ilustra os tópicos citados a seguir:

- Automação programável: elevada capacidade de variação da produção porém, com baixa produtividade devido ao elevado número de alterações geradas pela diversificação das características dos produtos;
- Automação flexível: boa capacidade de variação da produção limitada a produtos com características similares e boa produtividade;
- Automação fixa: baixa capacidade de variação da produção e grande produtividade devido à pouca ou nenhuma alteração durante os processos.

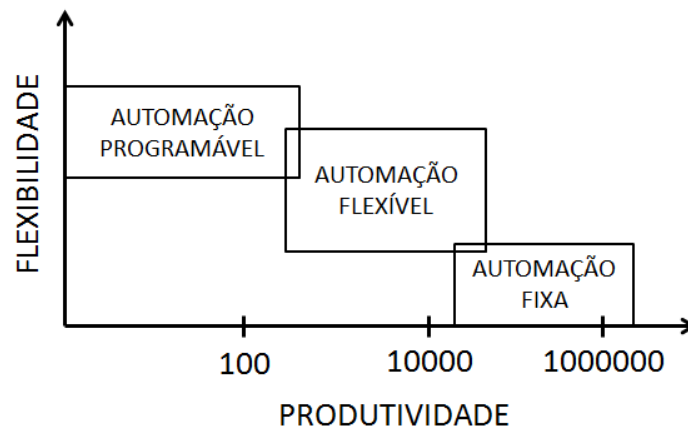


Figura 3 - Relação produtividade versus flexibilidade.
Fonte: Adaptado de Groover (2008).

Os sistemas automatizados de manufatura não se limitam somente aos processos de produção e montagem, mas também desempenham inspeções de qualidade e processos de logística podendo resultar em sistemas compostos totalmente automatizados.

Groover (2008) cita algumas razões apontadas pelas empresas para justificar a automatização:

- Aumento da produtividade;
- Redução da mão de obra;
- Redução dos efeitos da falta de mão de obra qualificada;
- Reduzir ou eliminar o trabalho repetitivo;
- Aumento da segurança do processo;
- Melhoria na qualidade do produto;
- Redução do *lead time*;
- Realização de processos que não podem ser realizados manualmente;
- Ganho de competitividade.

2.2 SISTEMAS DE VISÃO

Dentro de um sistema automatizado de manufatura, um sistema de visão pode ser analisado de forma simplificada com um sensor que propicia a entrada de informações para um sistema de controle. (ZIBETTI, 2010).

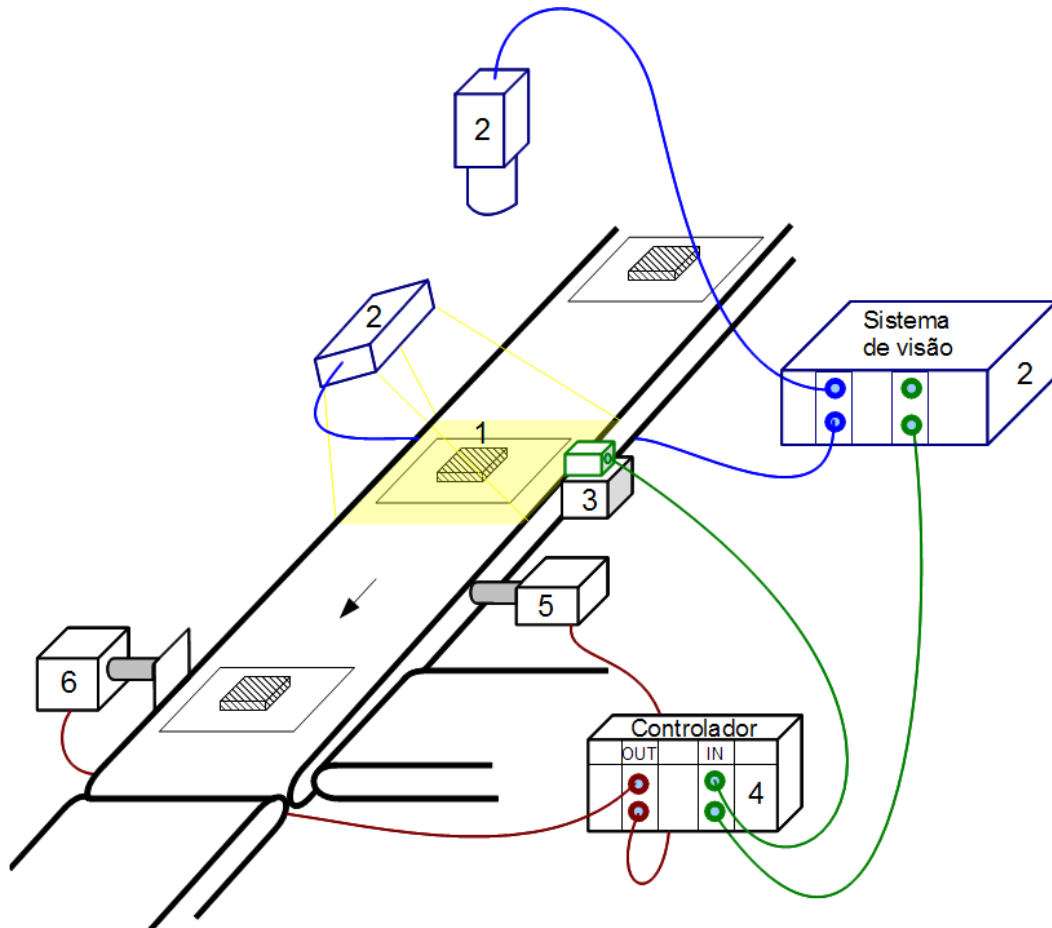


Figura 4 - Processo de automação industrial com uso de um sistema de visão.
FONTE: Zibetti (2010).

A figura anterior representa o funcionamento esquemático de um sistema de visão em uma manufatura automatizada. Nela, a peça (1) é processada e transportada através de uma esteira até a área de atuação da câmera (2). A câmera realiza a captura da imagem para o processamento das informações e envio do sinal até o sistema de controle ou controlador que irá analisar as informações recebidas e tomará as decisões de ação do processo.

No processo esquemático descrito anteriormente, o sistema de visão pode ser substituído por um sensor sem prejuízo algum, o que reforça a analogia entre sensor

e sistema de visão, mesmo este último tendo uma complexidade e capacidade de informações muito maior (ZIBETTI, 2010).

Um sistema de visão é composto pelos seguintes componentes:

- Câmera: responsável por captar a imagem;
- Hardware de processamento: responsável por transformar a informação visual em informação útil ao sistema automatizado;
- Software de processamento: responsável pelas etapas de inspeção realizadas pelo hardware;
- Iluminação: responsável pela melhoria na qualidade da imagem captada pela câmera;

É cada vez mais comum encontrarmos aplicações dos sistemas de visão na automação industrial. A redução de seu custo tornou possível a expansão da utilização da tecnologia visto o benefício gerado na produção. A seguir são apontadas algumas aplicações descritas por Zibetti (2010) na automação industrial:

- Inspeção visual automática: garantir a qualidade do produto realizando a inspeção automática que, se comparada a inspeção manual, é muito mais produtiva. Facilita e agiliza o estudo das variações do processo;
- Identificação de peças: garantir a identificação correta da peça através da confirmação visual realizada pelo sistema de visão;
- Controle de processo e de células industriais: realimentação, para o sistema de controle de um processo industrial, de informações tanto do produto como do estado dos processos;

2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Utilizados no controle de sistemas automatizados, os controladores lógicos programáveis ou simplesmente CLP (PLC do inglês: *Programmable Logic Controller*) podem ser considerados como computadores industriais capazes de armazenar instruções de funções de controle como temporizadores e contadores além de realizar operações lógicas e aritméticas, processamento de dados e comunicação

em rede (GEORGINI, 2000). A aplicação de um CLP pode ser simplificada e explicada como um processo com entradas e saídas, sendo:

- As entradas: sinais oriundos de dispositivos como sensores;
- As saídas: sinais processados conforme instruções programadas no CLP para a atuação de dispositivos de saída como atuadores e motores;

Segundo Georgini (2000), o CLP é composto pelos blocos:

- CPU: abrange o processador, o sistema de memória e os circuitos auxiliares de controle;
- Circuitos/Módulos de I/O: são as entradas e saídas do CLP e podem ser discretos (sinais digitais, contatos normalmente abertos ou fechados) ou analógicos (sinais analógicos: 4 – 20 mA, 0 – 10 VDC, termopar);
- Fonte de Alimentação: propicia a tensão de alimentação fornecida ao CPU e aos módulos de I/O. Pode também proporcionar saída auxiliar de baixa corrente;
- Base ou Rack: proporciona a conexão mecânica e elétrica entre os blocos apresentados anteriormente.

A Figura 5 ilustra cada um desses elementos.

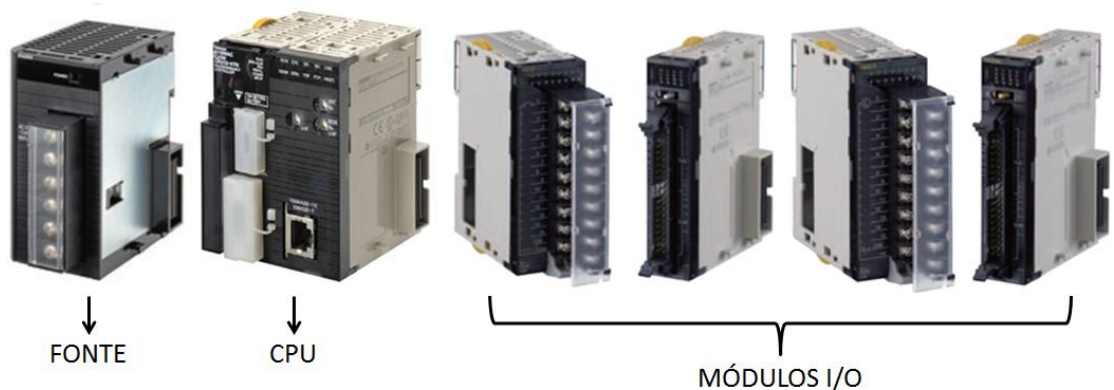


Figura 5 - Exemplo de CLP.

Fonte: Adaptado de <https://omron.com.br/>

Durante a operação lógica de controle de um CLP, a CPU realiza a leitura dos estados dos dispositivos de entrada através dos módulos de I/O. Esses estados são armazenados na memória do CLP para serem posteriormente processados pelo programa de aplicação desenvolvido pelo usuário e também armazenado na memória. Após a execução do programa, os estados dos dispositivos de saída são atualizados também através dos módulos I/O (GEORGINI, 2000).

Os módulos I/O são o meio de ligação entre o mundo externo e a CPU, além de garantir o isolamento e proteção do CLP. Portanto, o conhecimento de suas características é fundamental para prevenir danos aos equipamentos. Os módulos discretos, modelo utilizado neste trabalho, trabalham com sinais digitais. Cada ponto de entrada ou saída corresponde a um bit de um determinado endereço de memória acessado durante o programa de aplicação (GEORGINI, 2000). A Figura 6 ilustra a relação entre os pontos do módulo de entrada e os endereços de memória de um CLP.

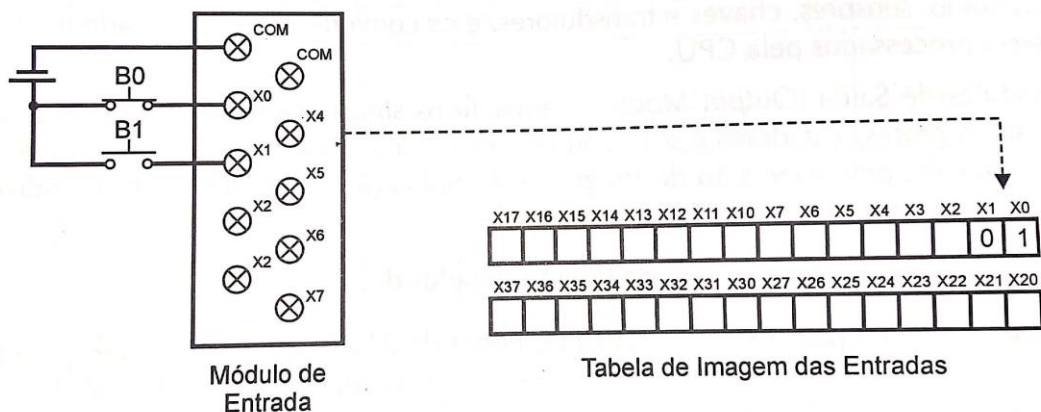


Figura 6 - Relação Pontos de Entrada x Tabela de Imagem das Entradas.
Fonte: Georgini (2000).

A programação do CLP pode ser realizada através de um Programador Manual ou um PC com o Software de Programação específico do equipamento. A linguagem Ladder é a mais utilizada. Ela é a representação lógica da sequência elétrica de operação similar à representação dos sistemas de controle a relés. Os dispositivos de entrada (B0 e B1) são conectados ao módulo de entrada e os dispositivos de saída (L0) são conectados ao módulo de saída, sendo o acionamento da saída determinado pelo programa de aplicação em função das condições de entrada ($B0 * B1 = L0$). Para realizar qualquer alteração nesta lógica,

são necessárias apenas alterações no programa de aplicação, as conexões de entrada e saída permanecem inalteradas nos módulos I/O (GEORGINI, 2000).

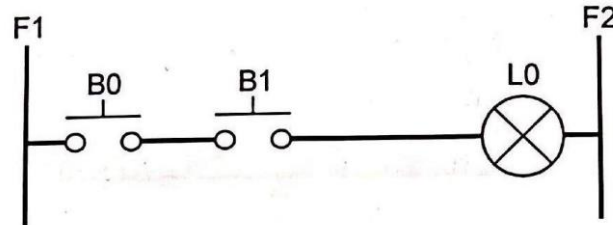


Figura 7 - Lógica Convencional - Contatos Elétricos.
Fonte: Georgini (2000).

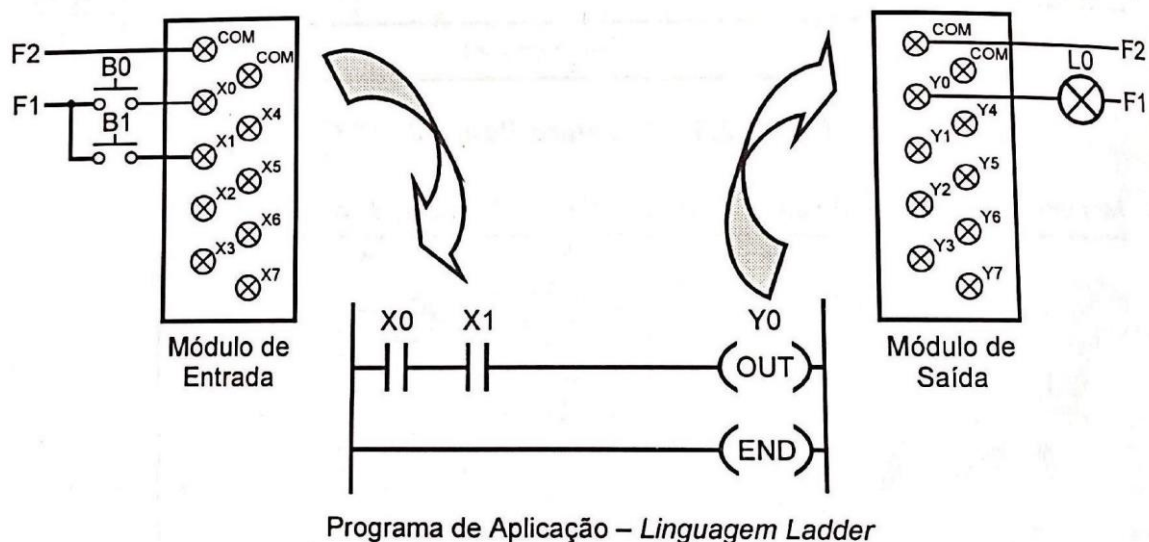


Figura 8 - Implementação da Lógica Convencional por meio de PLC.
Fonte: Georgini (2000).

A Figura 7 e a Figura 8 ilustram o modo como a lógica convencional de contatos elétricos passou a ser utilizada na aplicação do CLP.

Para simplificar a construção de sistemas de controle sequencial foi desenvolvido um modelo chamado Grafcet. Esse modelo se fundamenta nos seguintes conceitos: etapa, ação associada à etapa, transição e condição associada a transição. Neste sistema a etapa representa um estado parcial no qual uma ação é realizada. Uma etapa pode estar ativa ou inativa e a ação a ela relacionada só é realizada no seu estado ativo. O sistema só prossegue para a etapa seguinte se as condições de decisão da transição forem satisfeitas. Para que uma transição seja efetuada são necessários dois requisitos:

- A etapa precedente à transição deve estar ativa;
- A condição associada a transição deve ser verdadeira.

Após a transição a etapa anterior torna-se inativa e sua ação pára e a etapa seguinte torna-se ativa e sua ação é realizada.

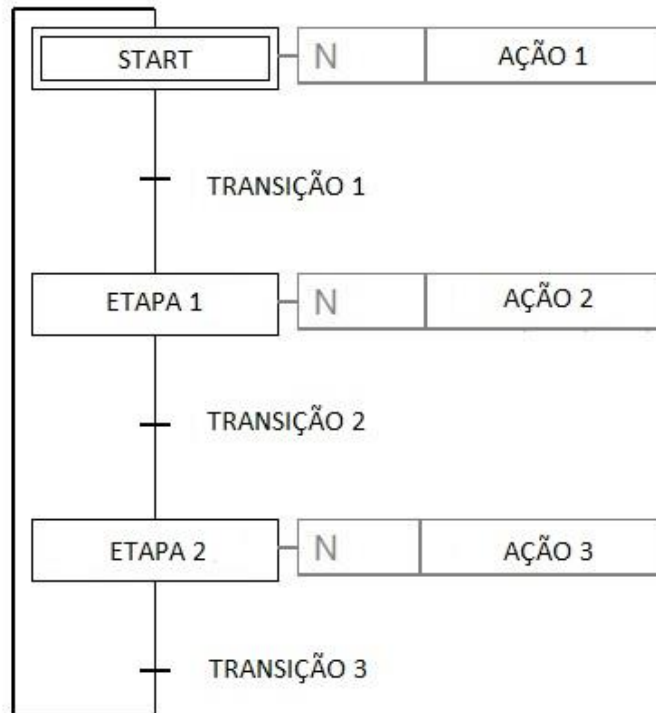


Figura 9 - Exemplo de Grafcet.

A Figura 9 representa um exemplo típico de Grafcet. O programa inicia na etapa “Start” onde será realizada a ação “Ação 1”. O processo só irá prosseguir quanto a condição “Transição 1” for atendida. Essa lógica se estende até estabelecimento da “Transição 3” quando o processo retorna a etapa “Start”.

2.4 REDES INDUSTRIAIS

O sucesso de um sistema automatizado de manufatura, também, passa pela escolha de uma ou mais redes industriais que afetam diretamente os custos de instalação e manutenção do sistema. O presente trabalho irá tratar apenas a comunicação via servidor OPC e via rede de sensores. Como início dos estudos, são apresentados os critérios de avaliação de uma arquitetura de rede:

- Requisitos de instalação do cabeamento ou planta física;
- Requisitos de energia e segurança como aterramento;
- Protocolo em termos de eficiência, latência e determinismo;
- Atendimento à aplicação do usuário final.

A grande variedade de redes industriais presentes no mercado e o grande número de redes proprietárias trouxe durante muito tempo problemas de incompatibilidade e flexibilidade no ambiente da automação industrial. Tornaram-se, então, comuns os esforços de padronização e desenvolvimento de arquiteturas de redes abertas. O sucesso da tecnologia Ethernet no meio TI, seguindo a tendência do uso de tecnologias comerciais, se tornou uma solução óbvia para aplicações de redes industriais, sendo somente necessária uma adaptação através de softwares (CARO, 2003).

Todas as arquiteturas de rede são descritas pela ISO (*International Organization for Standardization*) modelo básico de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) : norma ISO/IEC 7498-1:1994. Este modelo é subdividido e 7 partes conforme figura a seguir:

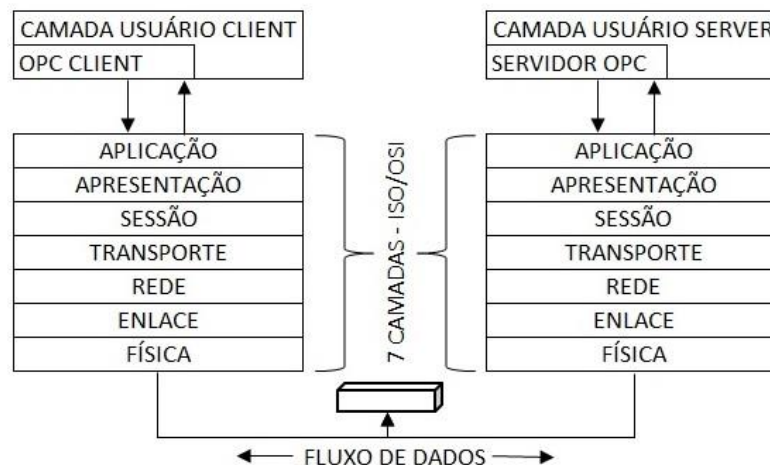


Figura 10 - Camadas de rede.
Fonte: Adaptado de Caro (2003).

Na Figura 10, as duas camadas acima das 7 camadas ISO/OSI formam a chamada camada OPC. Muitas aplicações industriais são altamente genéricas e, por isso, necessitam operar com os mais variados sistemas de automação. Para resolver a comunicação entre esses sistemas, anteriormente realizada através da

criação de *drivers* para cada sistema de automação, o OPC (*object linking and embedding for process control*) estabeleceu uma interface comum (OPC cliente) para qualquer aplicação que trabalhasse com automação industrial fornecendo um servidor OPC. A partir de então, as comunicações deveriam ocorrer entre cliente e servidor OPC, livrando assim o fabricante do software de particularidades do sistema de automação.

No menor nível de funcionalidade de uma rede está a rede de sensores. Geralmente, os sensores são a base da cadeia de uma sistema de automação e são desenvolvidos para serem baratos devido à grande quantidade requisitada. Sensores fornecem as informações básicas para um sistema de controle como a posição de um objeto ou a temperatura. O seu princípio varia de acordo com a precisão e confiabilidade (CARO, 2003).

O tipo de sensor mais simples encontrado é o fim de curso mecânico que serve para detectar a presença ou não de objetos. Esses sensores devem ser energizados para detectar o contato aberto ou fechado. Quando utilizados em um CLP, cada fim de curso necessita de dois cabos para conexão com os módulos de entrada I/O. Esses sinais digitais são tipicamente reportados ao controlador como bit em um registrador (CARO, 2003).

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os métodos e parâmetros utilizados para a realização da comunicação entre CLP e sistema de visão. Ao final serão apresentados os resultados de desempenho de cada solução.

3.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

Para garantir o menor número de variáveis influentes, o método experimental foi baseado no conceito mais básico de comunicação: emissão do sinal, processamento do sinal e recepção do sinal entre dois comunicadores.



Figura 11 - Esquema básico do experimento.

Os processamentos de cada equipamento, seja no CLP ou no sistema de visão, foi simplificado o máximo possível para garantir a consideração inicial da seção. Isto simula uma situação real de aplicação na qual somente uma das alternativas estivesse disponível. Os dois métodos desenvolvidos foram elaborados sem qualquer relação operacional um com o outro. Ou seja, cada programação foi desenvolvida para cada método de acordo com sua necessidade. Para garantir a comparabilidade entre soluções os experimentos foram elaborados de maneira similar, obedecendo obviamente as particularidades e limitações de cada meio de comunicação.

A programação do CLP para os dois métodos foi desenvolvida no software do fabricante do CLP baseada em um Grafcet conforme figura a seguir:

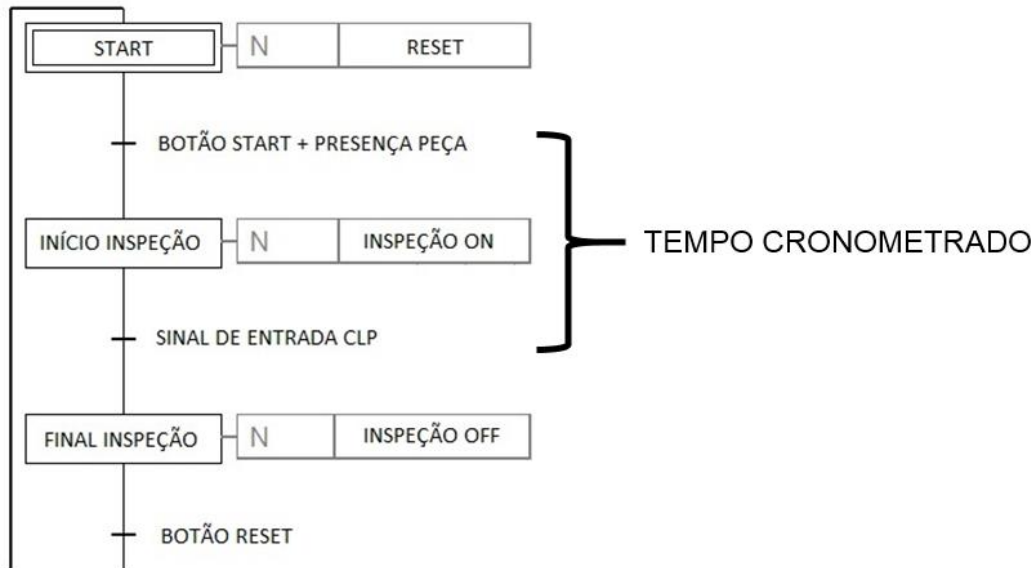


Figura 12 - Base da programação do CLP.

Através da Figura 12, observa-se que o início do experimento é dado através de dois sinais de entrada: um sinal de presença da peça na posição de inspeção emitido automaticamente através de um dispositivo de entrada e outro sinal de liberação do processo enviado pelo usuário. Quando ativadas as duas condições iniciais, o processo prossegue para a etapa seguinte denominada “INÍCIO INSPEÇÃO”. Nesta etapa um sinal de saída do CLP é enviado ao sistema de visão liberando o início do processo de inspeção da peça. Nesta mesma etapa é iniciado um temporizador para cronometragem do tempo total de inspeção contabilizando os tempos gastos para emissão e recebimento dos sinais de comunicação. O sinal de transição para a próxima etapa é emitido pelo sistema de visão no momento em que a inspeção é finalizada passando, então, para a etapa “FINAL INSPEÇÃO”, onde o cronômetro é parado. Na Figura 13 é possível observar os momentos em que a transferência de dados é realizada na programação do CLP e na programação do sistema de visão.

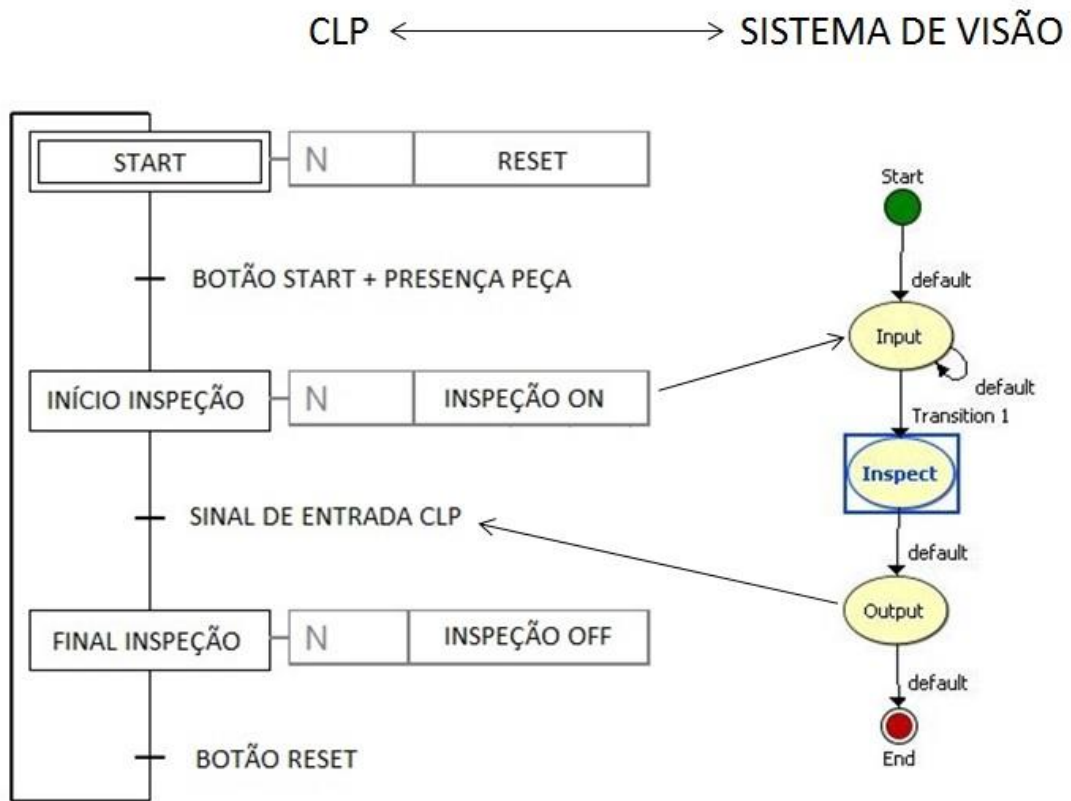


Figura 13 - Esquema de interação entre as programações CLP x Sistema de Visão.

A programação do sistema de visão foi desenvolvida com o auxílio do software do fabricante da câmera da maneira mais simples possível, de modo a minimizar o impacto do processamento gerado pelo processo de inspeção no tempo de comunicação cronometrado. O processo de inspeção contava com as etapas ilustradas na Figura 14 e citadas a seguir:

- Aquisição da imagem;
- Processo de inspeção propriamente dito;
- Atribuição do status da inspeção

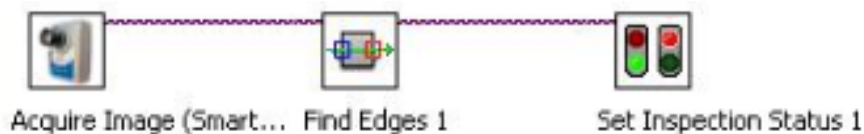


Figura 14 - Processo de inspeção da câmera.

O processo de inspeção de identificação de bordas foi selecionado por se tratar de uma inspeção simples e de rápido processamento, diminuindo assim sua influência no tempo cronometrado.

3.2 COMUNICAÇÃO VIA OPC

Aproveitando as instalações já preparadas do laboratório FMS da UTFPR, o primeiro método desenvolvido foi o via OPC. Como toda a parte física ethernet já estava montada contando com a interface *Gigabit Ethernet* disponível na câmera utilizada, conforme ilustra a Figura 15, só restou desenvolver os softwares de cada aplicação.

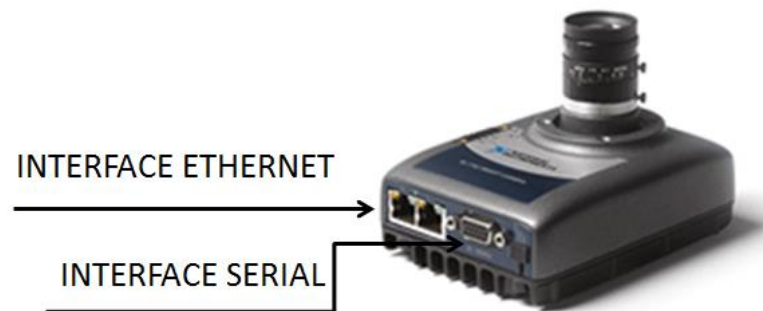


Figura 15 - Smartcam Utilizada.
Fonte: <http://brasil.ni.com/>.

Primeiramente, foi desenvolvida e simulada a programação do CLP, conforme as premissas apresentadas na seção anterior. Como sinal de presença da peça e sinal de entrada do CLP, foram utilizadas duas “*Shared Variables*” definidas pela própria câmera. Para realizar a comunicação das “*Shared Variables*” entre os programas, algumas *Tags* precisaram ser desenvolvidas em um servidor OPC. Via OPC e supervisório, as variáveis alteradas na câmera também atualizavam o status de variáveis do CLP. Para possibilitar esta lógica, então, foi necessária a inclusão do processamento dos sinais de entrada e saída do CLP no supervisório, conforme observado na Figura 16.

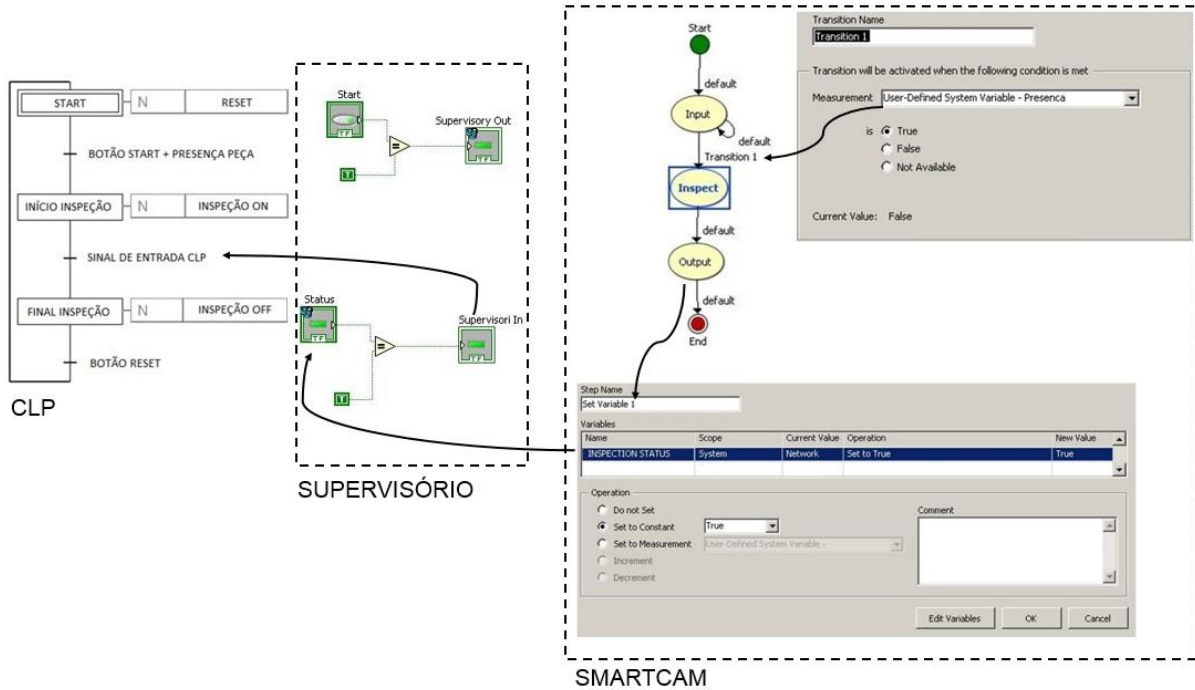


Figura 16 - Esquema representativo da programação do método OPC.

3.3 COMUNICAÇÃO VIA SINAL DIGITAL

Para possibilitar a comunicação via sinal digital foi necessária a instalação dos cabos para transmissão do sinal. No CLP foram utilizadas uma saída e uma entrada digital dos módulos instalados e, no sistema de visão, foram utilizadas uma saída e uma entrada digital do acessório I/O da *Smartcam*. As conexões foram realizadas obedecendo as instruções disponíveis nos manuais de cada equipamento. A Figura 17, a Tabela 1 e a Tabela 2 ilustram o modo em que as conexões foram realizadas.

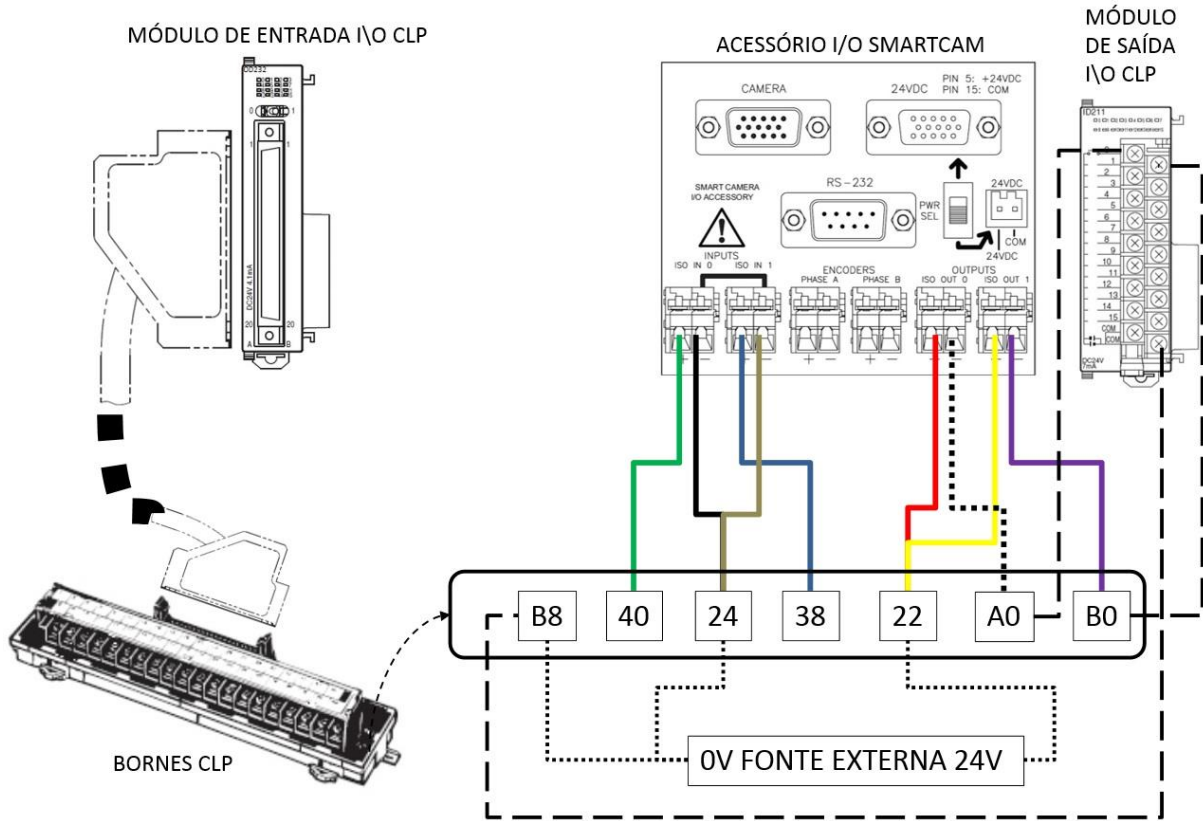


Figura 17 - Esquema de comunicação digital.

Tabela 1 - Tabela de referência comunicação digital CLP - Smartcam.

COMUNICAÇÃO CLP → SMARTCAM				
SINAL	MÓDULO	CABO	SIMBOLOGIA	SMARTCAM
	OUT CLP			BOURNE
OUT 3.00	40	VERDE		IN 0 (+)
OUT 3.01	38	AZUL		IN 1 (+)
0V	24	PRETO		IN 0 (-)
0V	24	MARROM		IN 1 (-)

Tabela 2 - Tabela de referência comunicação digital Smartcam - CLP.

COMUNICAÇÃO SMARTCAM → CLP				
SINAL	MÓDULO	CABO	SIMBOLOGIA	SMARTCAM
	IN CLP			BOURNE
24V	22	VERMELHO		OUT 0 (+)
24V	22	AMARELO		OUT 1 (+)
IN 4.00	A0	BRANCO		OUT 0 (-)
IN 4.01	B0	ROXO		OUT 0 (-)
0V	B8	COM		-

Da Figura 17 e Tabela 1, verifica-se que as entradas positivas da câmera foram conectadas aos cabos dos sinais de saída do CLP. Já as entradas negativas da câmera foram conectadas a um cabo 0V.

Da Figura 17 e Tabela 2, verifica-se que as saídas positivas da câmera foram conectadas a um cabo 24V. Já as saídas negativas foram conectadas aos cabos dos sinais de entrada do CLP.

Finalizada a instalação física, foram desenvolvidas as programações de cada equipamento. Seguindo o mesmo esquema da Figura 13 para a comunicação via sinal digital, o sinal de presença foi atribuído ao sinal de um sensor magnético e o sinal de entrada do CLP foi atribuído à emissão de um sinal digital via o módulo I/O da *Smartcam*, através de uma etapa do processo de inspeção.

3.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Para cada método foram realizadas 100 medições de tempo de processamento. Os dados foram organizados de modo a possibilitar sua visualização através do histograma apresentado no gráfico a seguir. Na legenda do gráfico a abreviação DIG é referente ao método digital e a sigla OPC é referente ao método OPC.

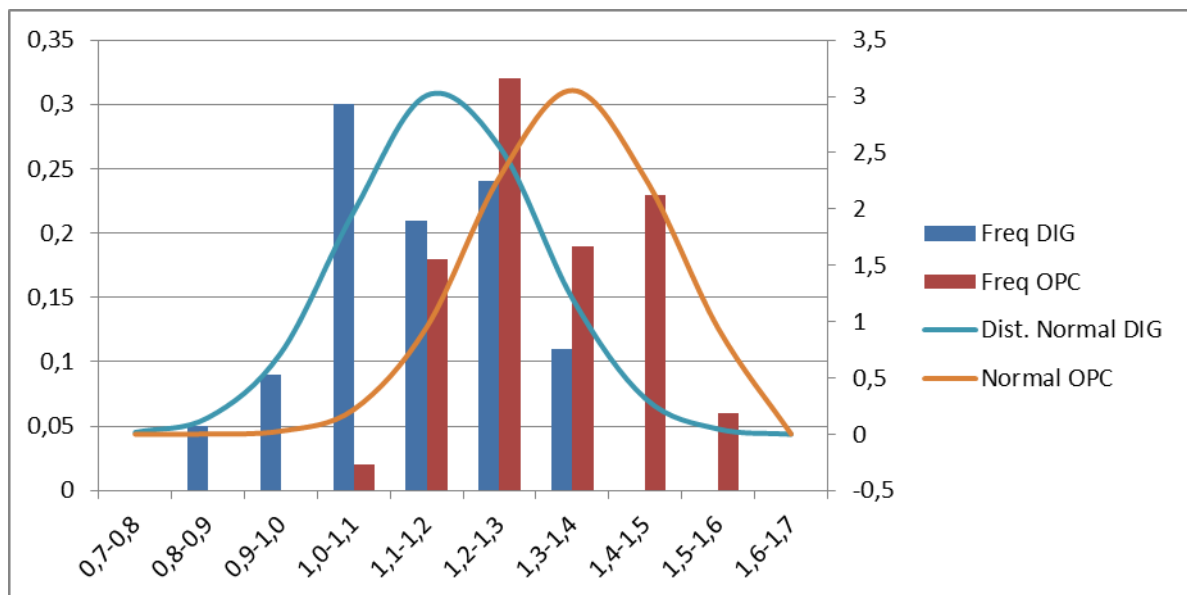


Figura 18 - Frequência relativa e distribuição normal das tomadas de tempo.

Um estudo estatístico foi realizado disponibilizando as duas curvas de distribuição normal, também apresentadas no gráfico anterior. Percebe-se, então, a presença de duas curvas normais onde as médias são espaçadas por um pequeno intervalo. A interferência entre as normais das frequências do método digital e do método OPC se apresenta em grande parte do gráfico impossibilitando a diferenciação precisa dos tempos de resposta.

Tabela 3 - Tomada de tempos para as duas soluções desenvolvidas. 100 amostras de tempos.

Tomada de Tempos				
Tipo de Comunicação	Digital	OPC	Δ [s]	%
Tempo Médio de Resposta [s]	1,1218	1,29634	0,17454	16%
Tempo Máx. de Resposta [s]	1,38	1,58	0,2	14%
Tempo Min. de Resposta [s]	0,82	1,02	0,2	24%

Sintetizando os dados na Tabela 3 é possível perceber uma leve diferença entre os tempos médio de resposta de cada método. Para a amostra de 100 medições de tempo, a comunicação digital apresentou-se, em média, mais rápida 0,17 segundos ou 16%. O maior tempo de resposta foi encontrado na comunicação via OPC, resultando 1,58 segundos e o menor tempo de resposta foi encontrado na comunicação digital resultando 0,82 segundos.

Buscando avaliar melhor as variáveis de influência do método OPC, decidiu-se analisar o impacto de um parâmetro da comunicação OPC, chamado Scan Rate. Este parâmetro é responsável por determinar a taxa de leitura do servidor OPC, simplificando, o Scan Rate é a medida do intervalo de tempo em que o servidor OPC faz a leitura dos dados nos equipamentos a eles conectados.

Foram cronometradas 20 tomadas de tempo para cada configuração à 100ms e a 10ms.

Tabela 4 - Tomadas de tempos para scan rates diferentes da solução OPC. 20 amostras de tempo.

Tomada de Tempo para Scan Rates Diferentes				
Scan Rate	100 ms	10 ms	Δ [s]	%
Tempo Médio de Resposta [s]	1,231	1,253	0,022	2%
Tempo Máx. de Resposta [s]	1,5	1,48	-0,02	-1%
Tempo Min. de Resposta [s]	1,02	1,06	0,04	4%

Avaliando a Tabela 4, verifica-se uma diferença quase nula no tempo de resposta resultando em média 2% de variação, o que representa 0,022 segundos. Devido a pequena variação média encontrada, para a amostragem de 20 medidas, quando se comparada com a variação média entre os métodos OPC e sinal digital (0,175 segundos), o parâmetro Scan Rate foi considerado desprezível para o resultado do presente trabalho, pois não causaria impacto maior do que 2% na comparação média dos métodos abordados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos dados encontrados indicou um resultado previsto: a comunicação digital foi em média mais rápida se comparada com a comunicação via OPC considerando as mesmas condições de ensaio. Porém, analisando criticamente essa diferença encontrada pode ser considerada desprezível dependendo dos requisitos da aplicação. Para aplicações onde a exigência de tempo de resposta seja menor que 1,5 segundos, é mais confiável optar pela comunicação via sinal digital. Além da vantagem de tempo de resposta, esta solução é amplamente conhecida e possui uma grande flexibilidade de programação com controladores industriais. Utilizando sinais digitais, a programação dos comandos entre CLP e sistema de visão foram muito mais simples, baseados simplesmente na lógica de contatos elétricos. Já a solução via supervisor e servidor OPC, deve ser utilizada em situações onde a velocidade de resposta não seja especificação crucial para o projeto. Porém, ela possui a vantagem de possibilitar a comunicação de um maior número de dados. Entretanto, a programação dos comandos entre CLP e sistemas de Visão somente foi possibilitada utilizando como artifício as “*Shared Variables*”, o que aumenta a complexidade do processamento do programa. Outra desvantagem é a instabilidade gerada por variações na rede. Este tipo de comunicação é totalmente dependente do nível de ocupação da rede, ou seja, caso o meio esteja sendo acessado por diversos usuários, a capacidade de comunicação será prejudicada aumentando o tempo de resposta. Ambas as soluções atenderam ao requisito de comunicação com pequenas diferenças e particularidades, sendo então a utilização de cada método uma escolha baseada na familiaridade com a instalação e programação, além das exigências específicas de cada aplicação.

REFERÊNCIAS

ALVES, Eduardo da Silva Rodrigues; DUCK, Denis Christoph; OKASAKI, Dagoberto. **Software de processamento de imagens para um sistema de visão de máquina.** Trabalho de conclusão de curso – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

BAU, Yves Rios. **Modernização na automação de uma prensa para fechamento de rolos de lixa.** 2013. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CARO, Dick. **Automation network selection.** [S.l.]: ISA, 2003.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada: descrição e implementação dos sistemas sequenciais com PLC's.** [S.l.]: Editora Érica, 2003.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing.** Third. [S.l.]: Prentice Hall, 2008.

NATIONAL INSTRUMENTS. **PAC's for Industrial Control, the Future of Control.** [S.l.], out/2014. Disponível em: <www.ni.com>. Acesso em out/2014.

NATIONAL INSTRUMENTS. **N Vision Builder for Automated Inspection Tutorial.** [S.l.], out/2014. Disponível em: <www.ni.com>. Acesso em out/2014.

NATIONAL INSTRUMENTS. **NI 17xx Smart Camera User Manual.** [S.l.], jun. 2008. Disponível em: <www.ni.com>. Acesso em out/2014.

NATIONAL INSTRUMENTS. **NI EVS-1464 Series User Manual.** [S.l.], jun. 2008. Disponível em: <www.ni.com>. Acesso em out/2014.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Smartcam utilizada.** 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ni.com/vision/smartcamera/>. Acesso em out/2014.

ZIBETTI, Marcelo Victor Wüst. **Visão de Máquina e suas Aplicações na Automação Industrial.** 48 f. Monografia – Especialização em Automação Industrial II, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO CLP.

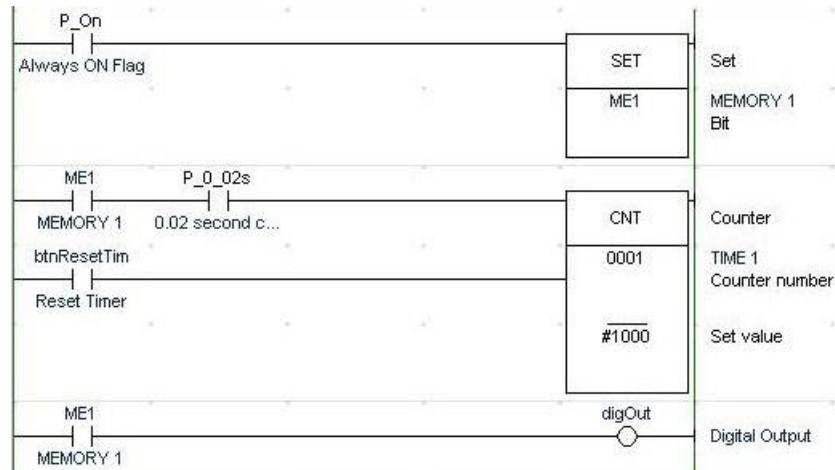


Figura 19 - Programação ladder da ação "Inspeção On" Grafcet método Sinal Digital.

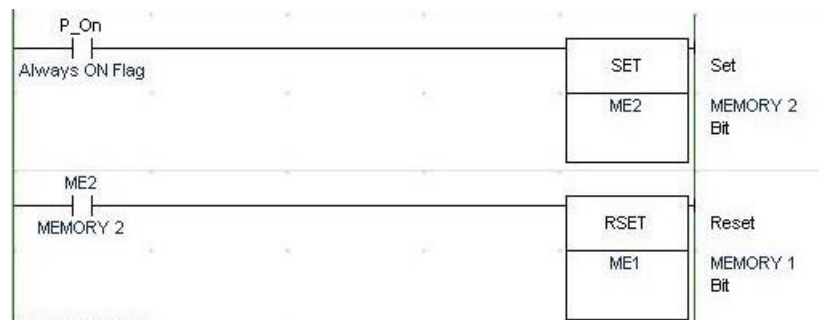


Figura 20 - Programação ladder da ação "Inspeção Off" Grafcet método Sinal Digital.

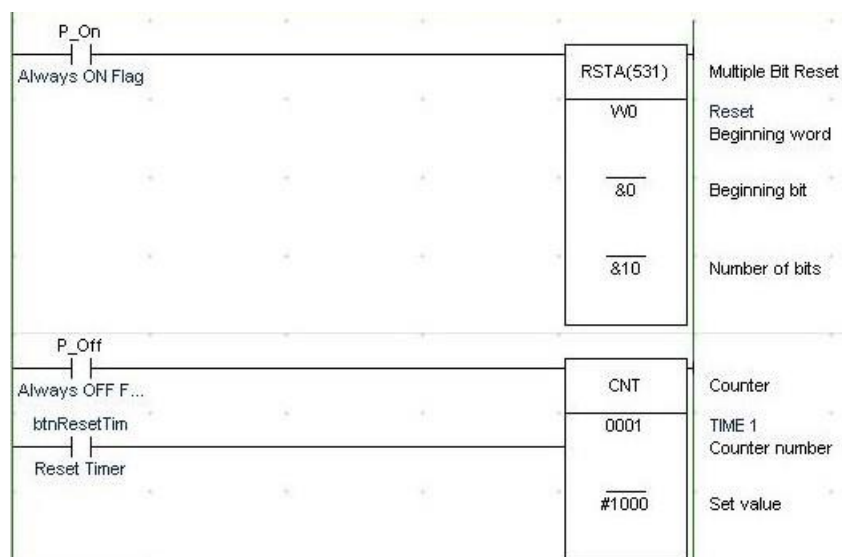


Figura 21 - Programação ladder da ação "Reset" Grafcet método Sinal Digital.

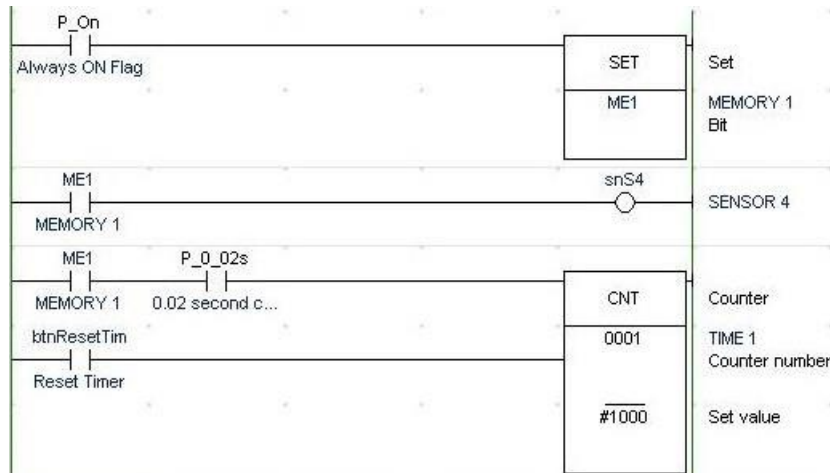


Figura 22 - Programação ladder da ação "Inspeção On" Grafcet método via OPC.



Figura 23 - Programação ladder da ação "Inspeção Off" Grafcet método via OPC.

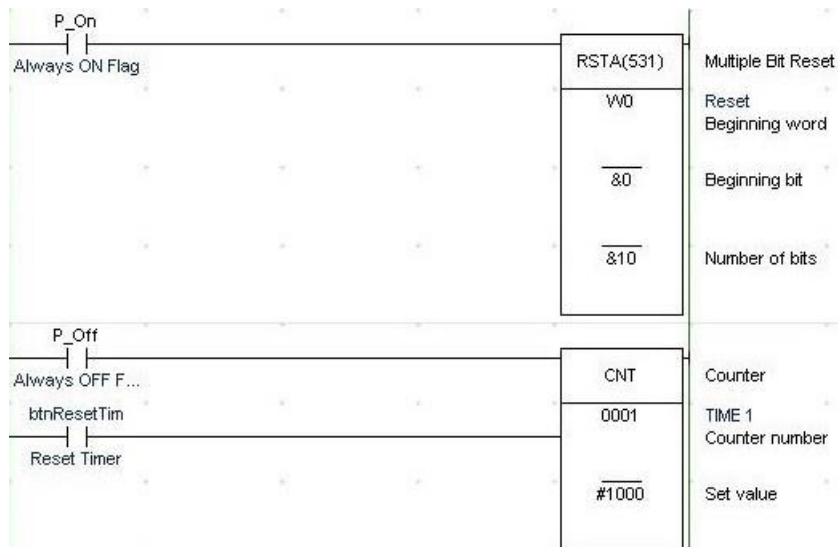


Figura 24 - Programação ladder da ação "Reset" Grafcet método via OPC.

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO SMART CAMERA.

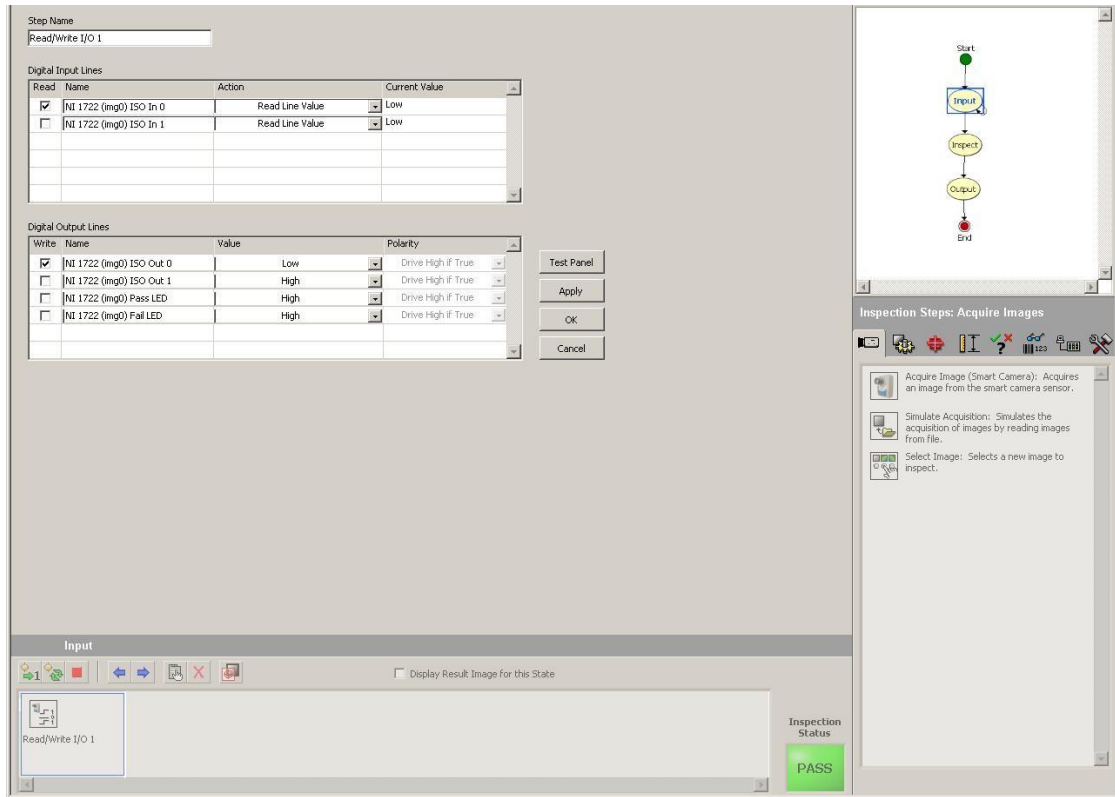


Figura 25 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa "Input".

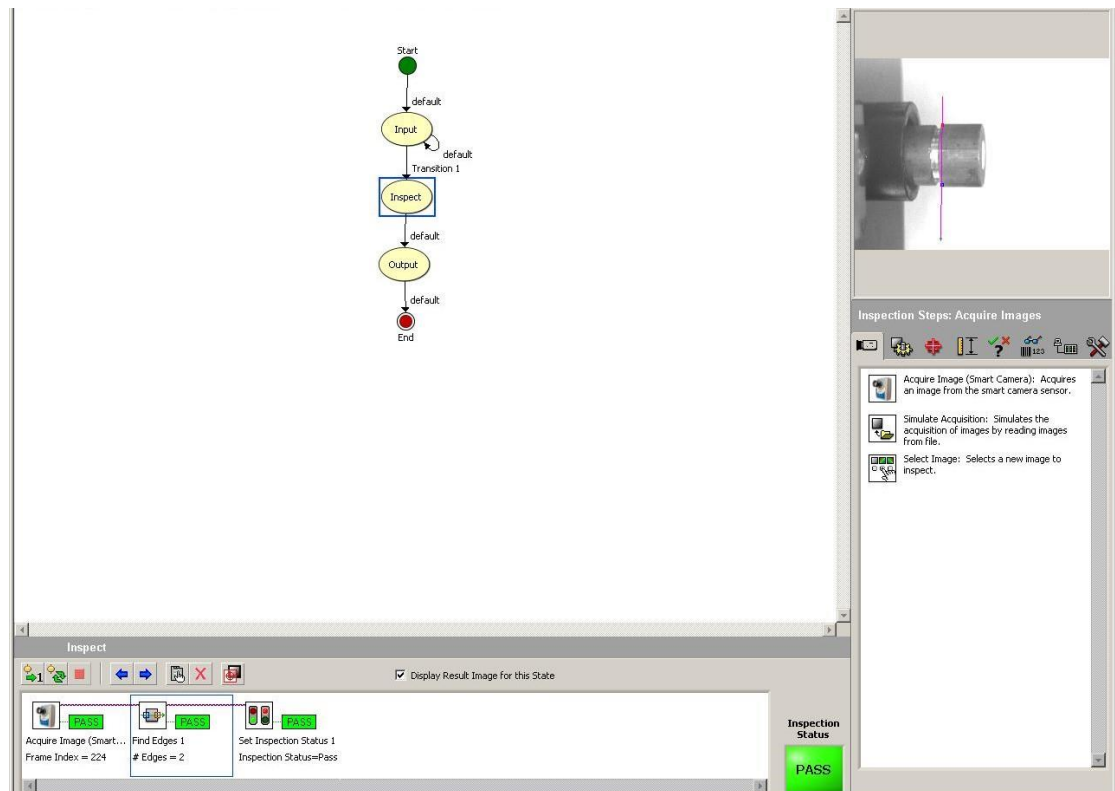


Figura 26 – Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa "Inspect".

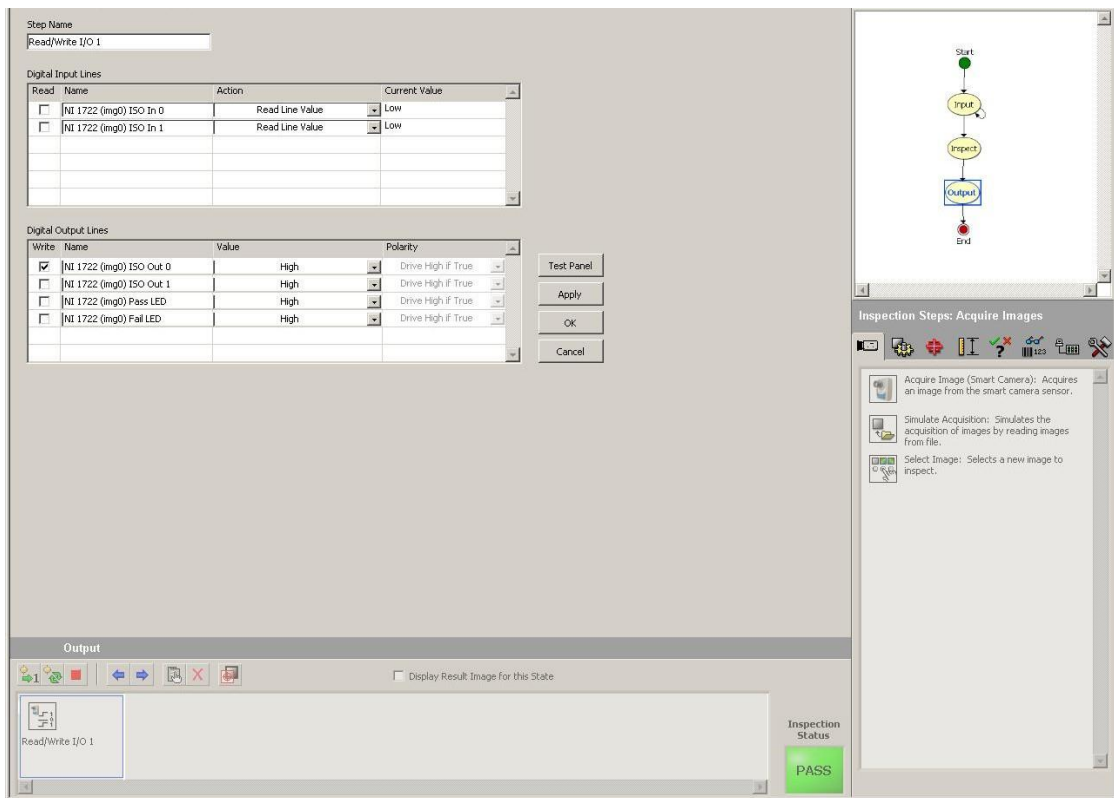


Figura 27 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital etapa "Output".

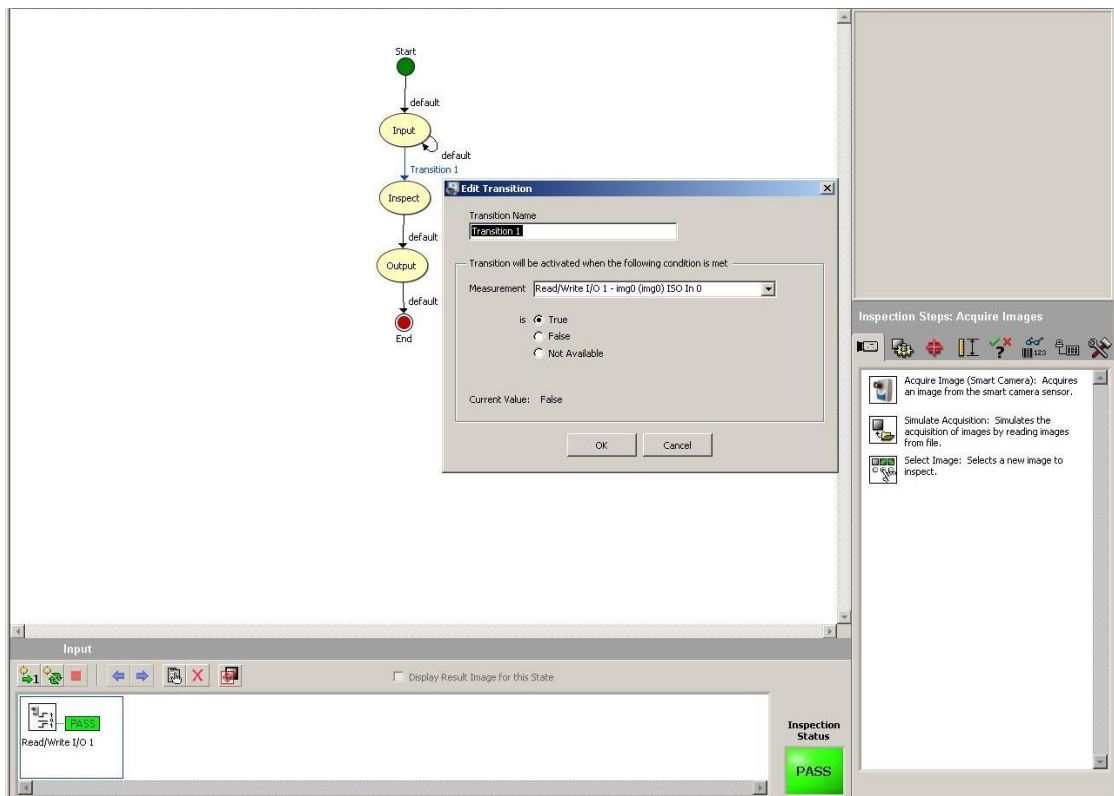


Figura 28 - Programação da Smart Camera método Sinal Digital "Transition 1".

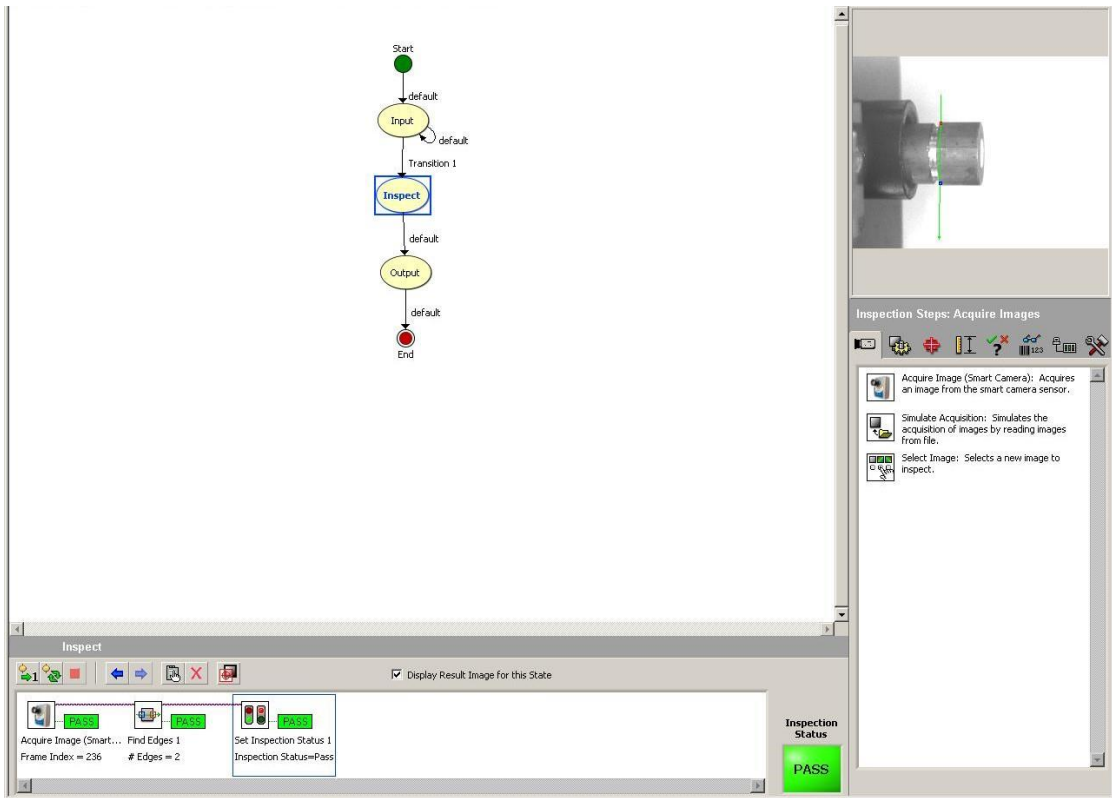


Figura 29 - Programação da Smart Camera método via OPC etapa "Inspect".

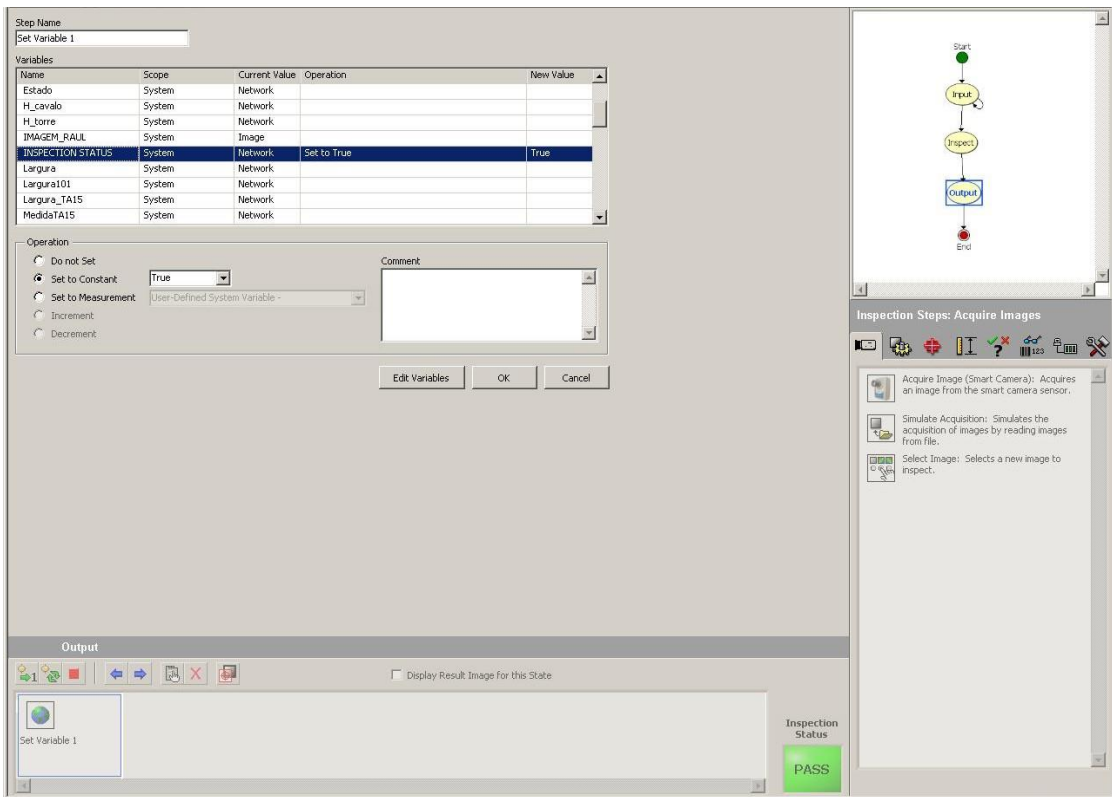


Figura 30 - Programação da Smart Camera método via OPC etapa "Output".

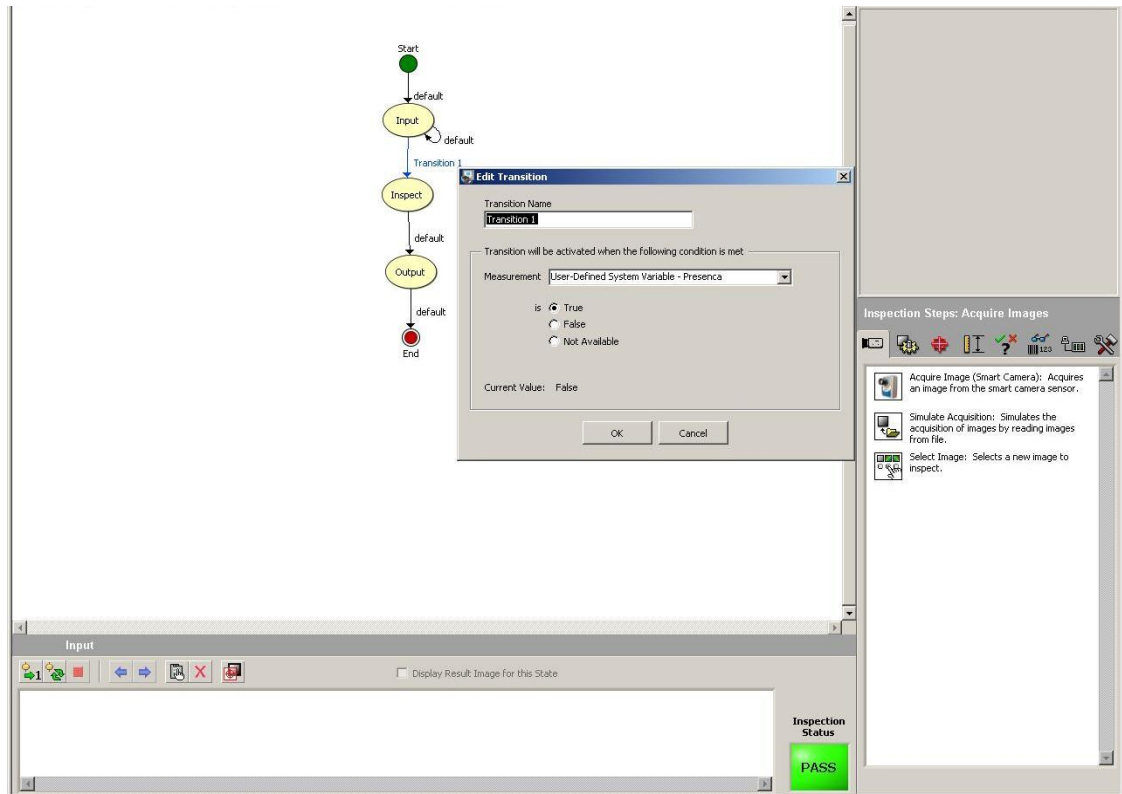


Figura 31 - Programação da Smart Camera método via OPC "Transition 1".

APÊNDICE C – PROGRAMAÇÃO SUPERVISÓRIO.

The screenshot displays the OPC Quick Client interface. On the left, a tree view shows the project structure for 'MONOPROG1' and 'CLP'. The main window is divided into two panes. The top pane shows a table of configured tags with the following data:

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
Digital Input	CIO0004.00	Boolean	100	None	Digital Input
Digital Output	CIO0005.00	Boolean	100	None	Digital Output
Electrovalve	CIO0001.09	Boolean	100	None	Electrovalve 4
Motor	CIO0001.03	Boolean	100	None	Motor 4
Reset	W002.03	Boolean	100	None	Reset Program
Reset Timer	W002.01	Boolean	100	None	Reset Timer
Sensor	CIO0000.03	Boolean	100	None	Sensor 4
Start Button	W002.00	Boolean	100	None	Start Button
Timer 1	C0001	BCD	100	None	Timer 1

The bottom pane shows a data table with columns: Item ID, Data Type, Value, Timestamp, Quality, and Update Count. It lists several 'MONOPROG1.CLP...' items with values ranging from 0 to 945. Below this is an event log with columns: Date, Time, and Event, showing system events like 'Added group' and 'Added items to group'.

Figura 32 - Programação OPC método sinal digital.

The screenshot shows a graphical user interface for a digital signal method. It features several control elements:

- Motor:** A green indicator light.
- Eletrovalve:** A green indicator light.
- Sensor:** A green indicator light.
- Status:** A green indicator light.
- Inspection:** A green indicator light.
- Digital Input:** A green indicator light.
- Digital Output:** A green indicator light.
- Reset:** A green indicator light.
- Reset Timer:** A green indicator light.
- Start:** A green indicator light.
- Digital Time:** A digital display showing the value '1,100'.

 The interface is titled 'MONOPROG1' in the top right corner.

Figura 33 – Interface supervisório método sinal digital.

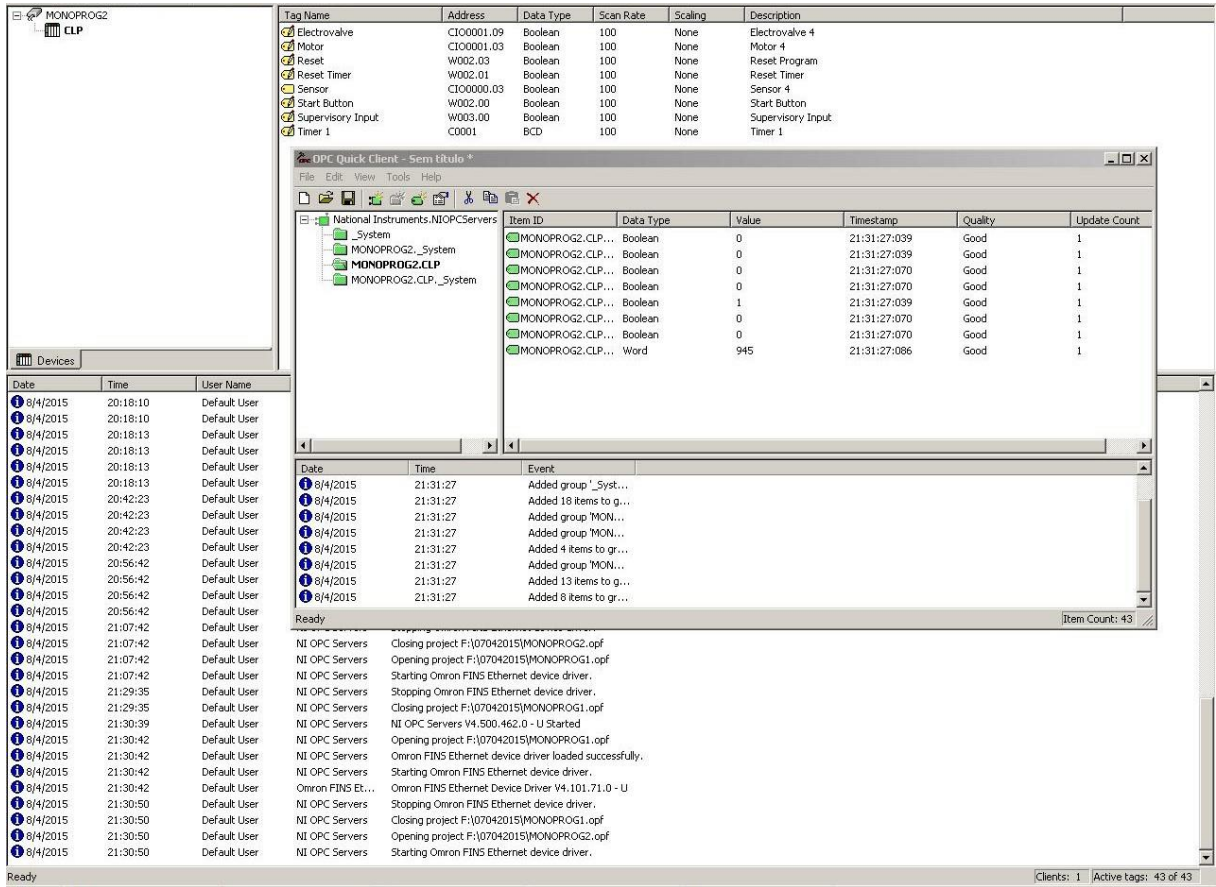


Figura 34 - Programação OPC método via OPC.

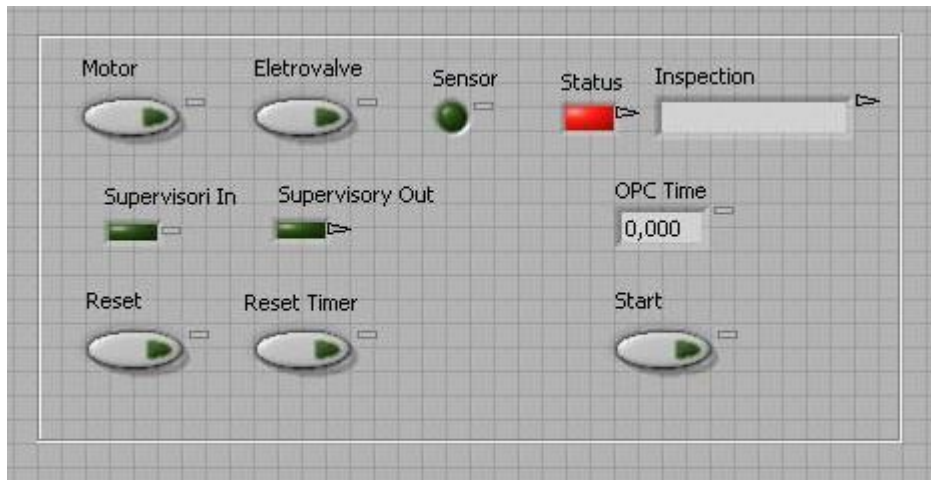


Figura 35 - Interface supervisório método via OPC.