

COMUNICAÇÕES INDUSTRIAIS E ACESSO REMOTO APLICADOS EM UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA CERÂMICA

Vinicius Cesa Aléssio¹
Fernando Guessi Plácido²

Resumo: A crescente evolução tecnológica no âmbito industrial deixa cada vez mais claro a importância da utilização de sistemas de automação industrial através de protocolos de comunicação e integração a rede para se obter uma planta de indústria completa, com troca de informações cada vez mais rápidas e dinâmicas. Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um projeto de automação o qual integrasse diversos tipos de protocolos de comunicação industrial para controle e supervisão de uma linha cerâmica de forma totalmente funcional e moderna. Além disso pelo fato do cliente final se localizar na Colômbia, o projeto possibilitou e integrou o acesso remoto, para que o startup da linha fosse feito pela equipe de engenharia na sede da empresa em Criciúma-SC. Assim, com a aplicação da programação e integração de protocolos nos dispositivos presentes, foi possível através do acesso remoto efetuar o startup da linha e aplicar todas as programações lógicas feitas via CLP (Controlador Lógico Programável) para que a linha se tornasse totalmente funcional e moderna.

Palavras-chave: Controlador Lógico Programável. Comunicações Industriais. Automação. Integração.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a integração de sistemas de automação industrial por meio de protocolos de comunicação e integração a rede, tem se tornado cada vez mais indispensáveis. Sendo assim, em uma planta de indústria completa, a troca de dados e controle cada vez mais rápidos, geram economia em diversos tipos de processos, impactando de forma extremamente positiva o âmbito industrial.

Através das revoluções industriais ao longo da história, ocorreram diversas inovações tecnológicas, tal como a invenção do CLP, trazendo um conceito mais moderno de controle as antigas linhas controladas por reles.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, 2022. E-mail: vini_cesa@hotmail.com

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: fernando.placido@satc.edu.br



O CLP é responsável por automatizar uma grande quantidade de ações com precisão, confiabilidade e rapidez. Informações de entrada são analisadas e processadas, decisões são tomadas, comandos são transmitidos, tudo concomitantemente com o desenrolar do processo (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Estes avanços proporcionados pelo CLP, aumentaram muito a qualidade dos processos até então arcaicos quando tratamos da obtenção de dados e tráfego rápido de informações. Posteriormente, outros componentes foram idealizados e implementados em conjunto ao controlador, como a IHM (Interface Homem Máquina), e as redes industriais de comunicação.

Nos dias atuais, devido ao grande avanço tecnológico, as redes de comunicações industriais são amplamente utilizadas, substituindo na maioria das vezes, os sistemas convencionais de cabeamento, uma vez que apresenta diversas vantagens em relação ao mesmo, como: diminuição dos cabos, facilidade na correção de problemas, flexibilidade na configuração da rede e principalmente, diagnóstico de dispositivos (LUGLI; SANTOS, 2019).

Outro ponto importante é que pelo fato de usarem protocolos de comunicação padronizados, possibilita a integração de diversos equipamentos de fabricantes distintos proporcionando infinitas soluções de expansão (MORAES; CASTRUCCI, 2007). Devido a isso, a utilização destes métodos de comunicação torna os processos de automação mais dinâmicos e precisos para obtenção de dados e controle.

Diante deste cenário, o presente trabalho apresenta a automação e controle de uma linha de secagem de argila cerâmica, parte importante do tratamento da matéria prima nas indústrias de telhas, pisos e revestimentos, em uma cerâmica localizada na Colômbia.

O principal desafio do projeto é que, além de ser totalmente automatizado, através de um sistema robusto com controle via CLP integrado a redes de comunicações industriais para trocas de informações e comando com os drives, deve possibilitar o acesso e controle de forma remota. Assim, tornando-se possível o startup da linha do Brasil, devido a impossibilidade da equipe de engenharia da empresa de se deslocar ao local e efetuar os testes *in loco* durante o período necessitado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

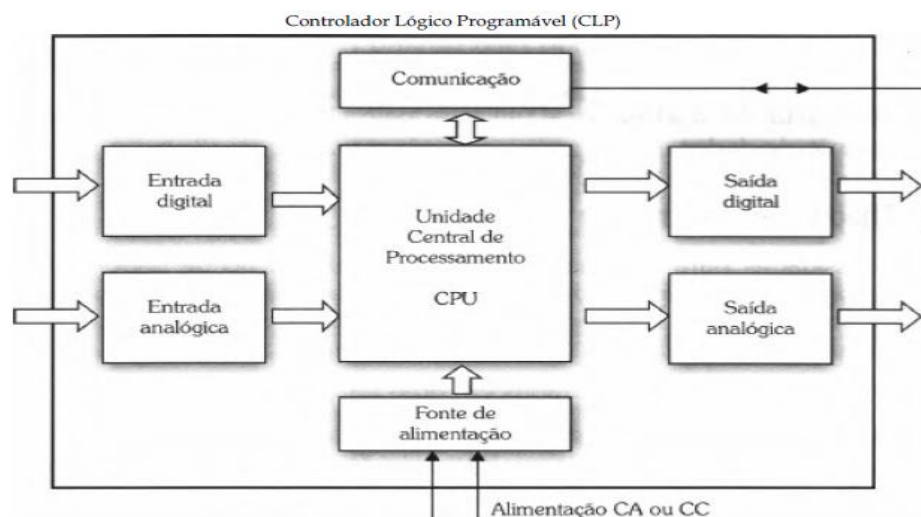
2.1 CLP

O surgimento do primeiro CLP, demandou da necessidade constatada pela *General Motors*, em meados de 1968. Os painéis elétricos antigos, até então totalmente controlados por reles, demandavam muito tempo de manutenção nas trocas de modelos de veículos, gerando um enorme prejuízo financeiro (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Para tentar sanar este custo, foi desenvolvido em 1969 o primeiro modelo controlador, funcionando como substituto para os reles, com uma CPU (Unidade Central de Processamento) de controle maleável como os computadores da época, capaz de ser programado pelos engenheiros e técnicos da fábrica e tornando mais flexível e fácil executar mudanças na linha de produção (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

Atualmente, os controladores lógicos programáveis são amplamente usados nas tecnologias de controle de máquinas. O CLP é basicamente um tipo de computador industrial, que é capaz de ser programado para executar funções de controle. Ele é subdividido em partes, como indicado na Fig. 1, sendo elas: unidade central de processamento (CPU), entradas/saídas, fonte de alimentação e dispositivo de programação (PETRUZELLA, 2003).

Figura 1: Estrutura básica de um CLP.



Fonte: Franchi (2008)



O princípio de funcionamento de um CLP é definido com um ciclo de varredura, onde primeiramente tem-se a leitura das entradas, o processamento e integração ao programa desenvolvido no software do fabricante do controlador e em seguida, a atualização das saídas. Este ciclo é denominado como “ciclo de scan” (SOUZA, 2013).

2.1.1 Entradas e saídas

As entradas e saídas são partes fundamentalmente importantes para a estrutura de um CLP, pois são a partir destas interfaces que o controlador se comunica com os componentes externos ou de campo, como são comumente chamados. Estes podem ser tanto dispositivos com sinais discretos, digitais ou analógicos (ZANZOTI, 2019).

As grandezas analógicas têm como principal característica a possibilidade de variar em um intervalo contínuo de valores, como por exemplo, a velocidade de um veículo, que possui infinitas possibilidades de valores em uma determinada faixa de operação. As grandezas digitais em contrapartida, variam totalmente em passos discretos, como por exemplo um relógio digital, que varia o tempo em minutos (PINTO, 2005).

Na maioria dos controles de máquinas feito pelo CLP, as variáveis de entradas e saídas se concentram no tipo digital. Este tem como padrão a utilização de sensores, chaves fim de curso, botoeiras, pressostatos, termostatos etc. Já nas saídas, tem-se a possibilidade do acionamento de diversos tipos de cargas, como motores, válvulas, sinaleiros e outras possibilidades (ZANCAN, 2010).

As entradas e saídas analógicas, pelo fato de sua aplicação ser em sistemas que exigem um controle preciso, não é tão comum na maioria dos casos. Dentre as variáveis físicas medidas, as destacadas são: pressão e temperatura, captados por sensores de pressão e termopares, respectivamente (ZANCAN, 2010).

Os dispositivos de captação analógicos externos são capazes de converter sinais físicos em elétricos. Estes sinais podem ser de tensão ou corrente, dependendo da configuração de hardware do CLP em questão. Tanto para as entradas quanto saídas, são utilizados, respectivamente 0 a 10 Vcc e 4 ma a 20 ma (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

2.1.2 IHM (Interface Homem Máquina)

A IHM, como o próprio nome sugere, é uma ferramenta de interligação entre o operador da máquina automatizada e o CLP. Uma IHM é um hardware industrial composto por uma tela de cristal líquido contendo teclas para navegação e implementação de dados (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Os sistemas desenvolvidos pelos programas das IHM's permitem um controle sofisticado e confiável para diversos tipos de operações, com alta velocidade de processamento e troca de dados via protocolos de comunicação industrial com o controlador (EAO, 2016).

Em uma IHM, basicamente dois componentes são necessários. O primeiro: uma entrada, que seria o próprio operador da máquina, que executa o comando na tela, dando a diretriz do que será feito. O segundo: a saída, que exercerá de fato o que foi executado pela entrada, através da comunicação com o controlador (FLASPÖLE, et al. 2006).

2.2 DRIVES INDUSTRIAIS

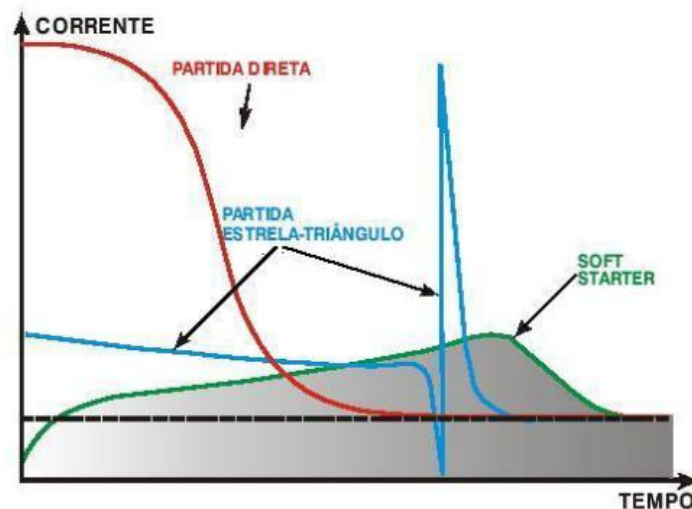
Com o avanço da eletrônica e técnicas de comando no cenário industrial nos últimos anos, refletiu-se muito nos métodos de partida e acionamento de motores de indução trifásicos de forma positiva. As consequências destes avanços, resultaram na melhoria do impacto da partida do motor na rede elétrica da indústria, através do desenvolvimento das partidas suaves (*soft starter*). Além disso, também possibilitaram o controle da rotação do motor, através dos inversores de frequência (LARABEE; et al, 2005).

2.2.1 Soft Starter

As *soft starters* ou também conhecidas como chaves de partida suave, são dispositivos de partida baseados em componentes eletrônicos capazes de controlar a aceleração, desaceleração e desempenhar o papel de proteção dos motores de indução trifásicos (SIEMENS AG, 2021).

Estas chaves, controlam a tensão aplicada ao motor através do disparo de tiristores, desta forma, fracionando a tensão da rede enviada ao motor e conseqüentemente, diminuindo seu pico de corrente ao partir (MAMEDE, 2007). A Fig. 2 evidencia e compara o pico de corrente da *Soft Starter* com os demais métodos de acionamento.

Figura 2: Comparação do pico de corrente entre métodos de partida.



Fonte: WEG (2014)

Desta forma, em comparação aos outros métodos de acionamento de motores elétricos, como a chave de partida estrela-triângulo por exemplo, a partida eletrônica tem o menor pico de corrente. Além disso, possibilita parametrizar algumas configurações, como rampa de aceleração e desaceleração por exemplo (ROSA, 2003).

2.2.2 Inversores de frequência

Com a evolução da automação nas linhas industriais nos últimos anos, conseqüentemente criou-se a necessidade de um controle mais eficaz e preciso para os motores de indução trifásicos. Portanto, foi desenvolvido um dispositivo de partida capaz de gerar uma tensão e frequência trifásicas ajustáveis, com o objetivo de controlar a rotação dos motores elétricos (SILVA, 2001).

Os inversores de frequência resumidamente são formados por duas partes: uma ponte retificadora, e dois capacitores de filtro, o qual alimentam um barramento DC (Direct Current), que alimenta transistores IGBTs (*Insulated Gate Bipolar*



Transistor). Os transistores obedecem a uma lógica de controle que alternam o sentido da corrente que circula pelo motor. Caso a frequência de chaveamento destes transistores seja aumentada, no caso, pela parametrização do inversor, aumenta consequentemente a velocidade de rotação do motor (CAPELLI,2001).

2.3 COMUNICAÇÕES INDUSTRIAIS

As redes de comunicações industriais podem ser consideradas ambientes, onde um conjunto de dispositivos permitem a troca de dados entre os equipamentos e o usuário (DANTAS, 2002). Esta comunicação é realizada entre os dispositivos por intermédio de algum meio de transmissão, como um cabo condutor formado por fios. O funcionamento ideal desta troca de informações é dado pela eficácia da entrega correta e precisão nas informações, sem atrasos significativos (FOROUZAN, 2007).

2.3.1 Modbus RTU

O Modbus é um protocolo de comunicação industrial, que utiliza a arquitetura mestre/escravo e permite a comunicação entre dispositivos distintos, que podem ser tanto através de linhas seriais, quanto redes TCP/IP (REYNDERS; et al, 2005).

Esta relação mestre/escravo acontece de forma que, primeiramente, o mestre faz uma requisição e está requisição é processada pelo escravo. O escravo só pode escrever no barramento se o mestre solicitou esta informação ao escravo, sendo feito através de um endereço fixo do próprio escravo (STEMMER, 2010).

A ligação física para escrever/ler dados via modbus RTU pode se basear numa comunicação serial *half-duplex*, onde a comunicação flui nos dois sentidos, mas não no mesmo tempo, que tem como exemplo o modelo de ligação RS-485, ou *full-duplex*, onde a comunicação flui nos dois sentidos e ao mesmo tempo, como exemplo os modelos RS232 e o RS-422 (MODBUS-IDA,2006).

O método de ligação RS485 permite a implementação ponto a ponto e multiponto. São necessários 2 fios para a ligação, onde um fio transporta o sinal oposto do outro. Cada rede permite até 32 dispositivos escravos se comuniquem com o mestre, com distância máxima de até 1000 metros (MODBUS-IDA, 2006).

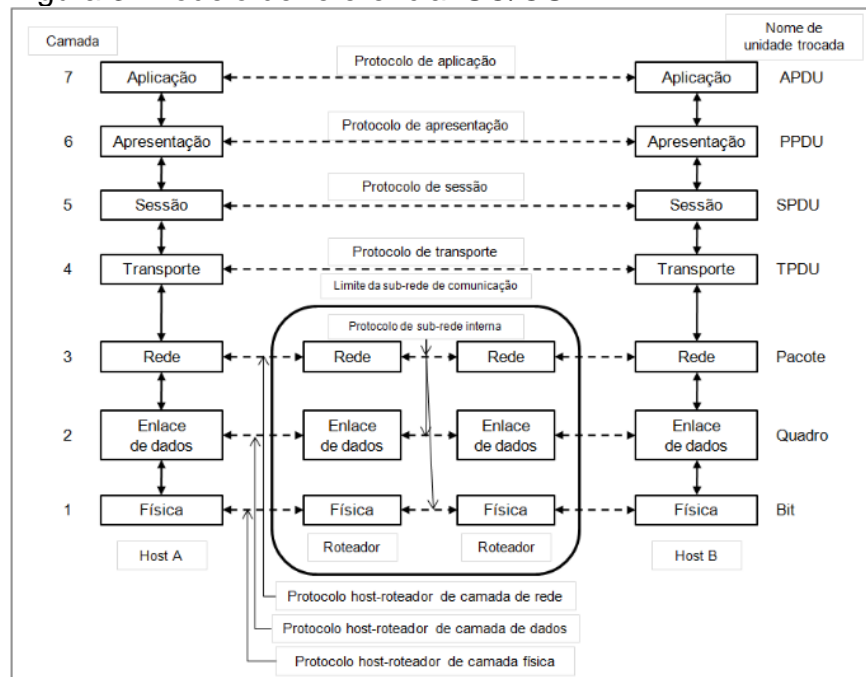
2.3.2 Ethernet/IP

O Ethernet/IP é um protocolo de comunicação *Ethernet* Industrial que aplica o CIP (*Common Industrial Protocol*) sobre a norma *Ethernet* e TCP/IP. O CIP utiliza o modelo produtor/servidor, que diminui o tráfego de rede e aumenta a velocidade de transmissão (ALLEN-BRADLEY; AUTOMATION ROCKWELL, 2019).

O modelo de comunicação *Ethernet* industrial apresenta inúmeras vantagens, entre elas o fato de o padrão *Ethernet* ser aberto e utilizado no mundo todo. Sendo assim, diferentes protocolos de comunicação podem ser usados simultaneamente na mesma rede, tornando expansível as comunicações entre plantas industriais (DIETRICH, 2004).

O protocolo industrial anteriormente citado, segue o padrão de sistemas de comunicação em rede, que é chamada de *Open Systems Interconnection* (OSI). Este modelo demonstra a comunicação em sete camadas, cada uma com uma função em específico (HELD, 2003), como indica na Fig. 3.

Figura 3: Modelo de referencia ISO/OSI.



Fonte: Tanenbaum e Wetherall (2006)

2.3.3 Ethercat

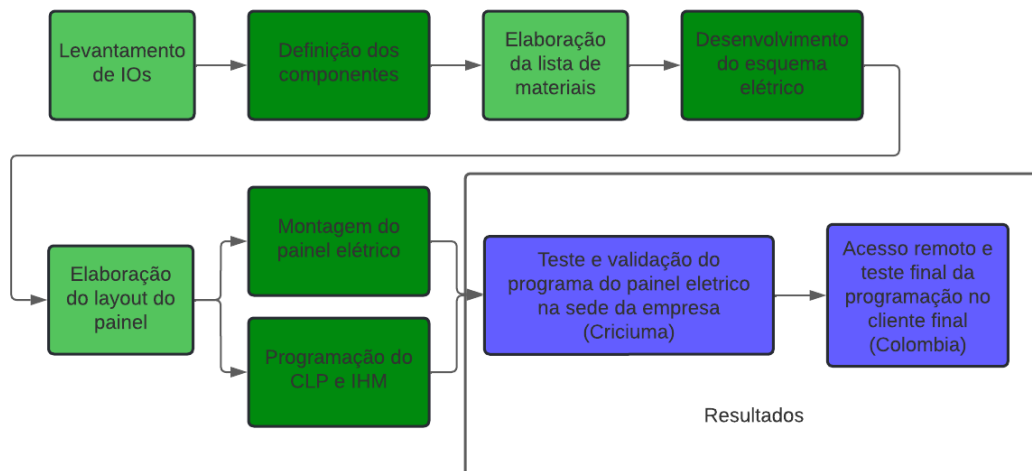
O protocolo de comunicação *Ethercat* segue um padrão semelhante ao *Ethernet* comum, definido pelas normas IEC 61158-2 e 61784-2, ISO 17545-4 e SEMI E54-20, com padrão IEEE 803.2 apresentando algumas modificações nas camadas físicas e de Enlace (ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP, 2020).

Diferentemente dos outros protocolos de comunicação, o *Ethercat* tem o seu pacote de dados processado em tempo real, o que torna umas de suas principais vantagens em relação aos outros (ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP, 2020). Basicamente, o mestre *Ethercat* envia um datagrama para cada nó presente na topologia. Cada escravo *Ethercat* lê os dados de acordo com o endereço fixado, o último nó da rede detecta a porta em aberto e retorna a mensagem ao mestre. O atraso de estrutura ocorre somente devido a limitação de propagação do próprio hardware (ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP, 2017).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesse capítulo será abordado como ocorreu o desenvolvimento do projeto e a execução de todo o sistema. A Fig. 4 apresenta o fluxograma dos procedimentos para implementação do projeto.

Figura 4: Etapas do projeto.



O projeto busca desenvolver um sistema de automação e supervisão de uma linha cerâmica, através da aplicação de um painel elétrico, composto por um CLP OMRON modelo NX1P2-9024DT1 juntamente com todos os componentes de acionamento dos motores da linha, e com possibilidade de acesso remoto para controle e startup sem ter necessidade de estar propriamente no local. Com a automação aplicada, o processo se torna dinâmico e conseqüentemente, mais rentável para a empresa em questão de produção e tempo de máquina parada.

3.1 LEVANTAMENTO DE IOS

De acordo com os dados disponibilizadas pelo cliente, foram elaboradas as Tab.1 e Tab. 2, sendo elas de cargas e de instrumentação, respectivamente, com finalidade de simplificar e organizar as quantidades de IOs necessárias para dimensionar o modelo do CLP e definir os métodos de acionamento para as cargas.

Tabela 1: Descritivo das cargas presentes na linha cerâmica automatizada para um projeto aplicado na Colômbia de acordo com potência, polos, tensão, acionamento e aplicação.

Potência	Polos	Tensão	Acionamento	Aplicação
7,50 kW	4	440 V	Inversor de frequência	Caixão alimentador Correia
2,20 kW	4	440 V	Partida direta	Caixão alimentador Faca
2,20 kW	4	440 V	Partida direta	Transportador de Correia
0,15 kW	N/A	110 V	Alimentação	Extrator de metais
1,50 kW	4	440 V	Partida direta reversível	Transportador de Correia
4,00 kW	4	440 V	Partida direta	Elevador de canecas
1,50 kW	4	440 V	Partida direta	Transportador de Correia
3,00 kW	4	440 V	Partida direta	Transportador de Correia
4,00 kW	4	440 V	Partida direta	Ventilador queimador
30,00 kW	8	440 V	Soft Starter	Motor 01-Secador
30,00 kW	8	440 V	Soft Starter	Motor 02-Secador
2,20 kW	4	440 V	Partida direta	Eclusa Entrada-Secador
2,20 kW	4	440 V	Partida direta	Eclusa saída-Secador
1,10 kW	4	440 V	Partida direta	Válvula rotativa 01
30,00 kW	4	440 V	Inversor de frequência	Ventilador Exaustor

Fonte: Do autor (2022)

Tabela 2: Descritivo das instrumentações externas presentes na linha cerâmica automatizada para um projeto aplicado na Colômbia de acordo com tipo , range ,sinal , instrumento.

Tipo	Range	Sinal	Instrumento
Temperatura	0-1200 °C	4-20 mA	Temperatura Entrada Secador
Temperatura	0-1200 °C	4-20 mA	Temperatura Saída Secador
Posição	Indutivo	Digital	F. curso posição aberta 01
Posição	Indutivo	Digital	F. curso posição fechada 01
Outros	Indutivo	Digital	Vigia de velocidade 1
Outros	Indutivo	Digital	Vigia de velocidade 2
Fluxo	Contato	Digital	Sensor de fluxo de água 1
Fluxo	Contato	Digital	Sensor de fluxo de água 2
Temperatura	Termo.Res.	4-20 mA	Termo resistência PT-100 Mancal 1
Temperatura	Termo.Res.	4-20 mA	Termo resistência PT-100 Mancal 2
Pressão	150 mmca	4-20 mA	Pressão do secador
Temperatura	0-1200 °C	4-20 mA	Temperatura filtro mangas tipo K

Fonte: Do autor (2022)

Através dos dados obtidos pelos levantamentos e a adição de alguns pontos, como consensos que estarão presentes na linha e sinais digitais de alarme dos componentes de partida, foram contabilizados as entradas e saídas, tanto digitais quanto analógicas, considerando uma margem de 20% de reserva para possíveis imprevistos. Com o escopo de automação completo, totalizam-se na parte digital 46 entradas e 42 saídas, e na parte analógica 16 entradas e 4 saídas.

3.2 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES

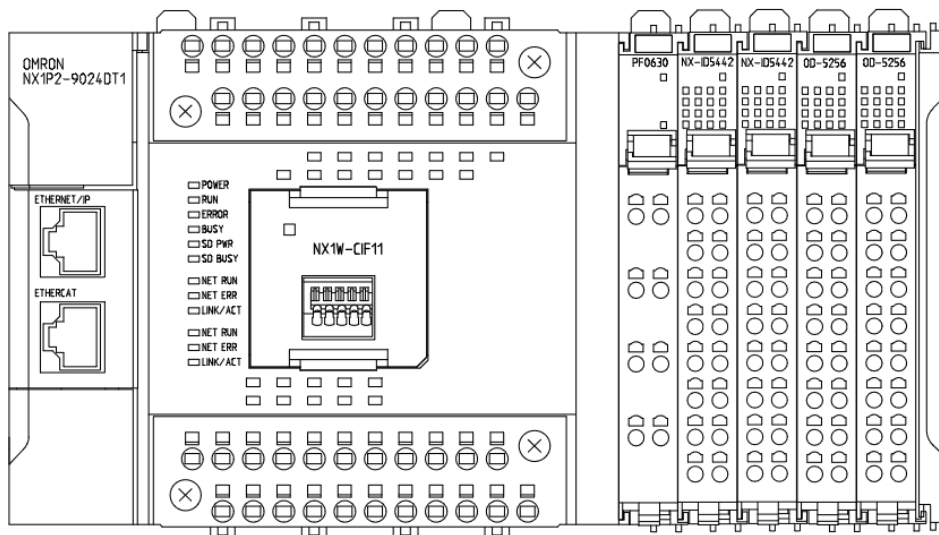
Com a contabilização das IOs e dos métodos de acionamento das cargas, foram definidos o modelo do CLP e expansões necessárias conjuntamente com os modelos respectivos para cada acionamento. De acordo com as informações do cliente em relação a necessidade de troca de informações, também foram definidas as comunicações que serão feitas entre os dispositivos, impactando diretamente as decisões de escolha dos componentes.

3.2.1 Definição do CLP e expansões

O controle foi feito através de um CLP OMRON modelo NX1P2-9024DT1, definido por ser um robusto controlador de máquinas, e que atende as possibilidades de expansão e de comunicação, com porta Ethernet/IP e Ethercat incorporada no próprio hardware. Foram adicionados 02 cartões de 16 entradas digitais modelo NX-ID-5442 e 02 cartões de 16 saídas digitais modelo NX-OD5256 para contabilizar os pontos necessários. Além das expansões, foi adicionado um modulo frontal NX1W-CIF11, para efetuar a comunicação Modbus RTU com um dos drives.

Para a parte analógica, foi incluído uma remota WAGO modelo 750-354 a qual se comunica com o CLP via Ethercat, e funciona como uma extensão do barramento de IOs. Os cartões de entradas e saídas analógicas são acoplados ao seu barramento lateral, sendo deles 2 cartões de 8 entradas analógicas modelo 750-496, 1 cartão de 4 saídas analógicas modelo 750-555. Na Fig.5 está demonstrado o rack do CLP com as respectivas expansões.

Figura 5: Representação do CLP com as expansões.



Fonte: Do autor (2022)

3.2.2 Definição da IHM

Para que ocorra a supervisão da linha foi adicionada uma IHM de 12 polegadas modelo OMRON NA5-12W101S-V1, com objetivo de tornar o projeto mais



dinâmico e operacional, através da fácil visualização e ação que o supervisor possibilita. A comunicação foi feita via Ethernet/IP com o controlador.

3.2.3 Definição dos componentes de partida

De acordo de com a descrição de cada motor em relação a sua aplicação na linha e as informações na tabela, foram determinados os métodos de acionamento de forma individual.

As partidas diretas foram todas compostas cada uma por 1 disjuntor motor Siemens modelo 3RV20, 1 contator Siemens modelo 3RT20, onde as especificações foram adequadas individualmente a cada potência da carga.

As Soft Starters são do modelo Siemens 3RW52, e os inversores de frequência foram: 1 do modelo Siemens V20 e outro do modelo Siemens G120C.

3.2.4 Definição do modelo de VPN para o acesso remoto

Devido ao fato da cerâmica que o projeto foi aplicado ser localizada na Colômbia, foi elaborada uma solução muito mais viável economicamente de forma que fosse possível evitar o deslocamento da equipe de engenharia ao cliente final, através da adição de um dispositivo VPN, a fim de possibilitar o acesso remoto e assim ser executado o startup da máquina do Brasil.

Para executar esta aplicação, foi escolhido um roteador da Delta modelo DX-2100, que atende o protocolo industrial necessário para comunicar com o controlador, que no caso é Ethernet/IP e possui uma plataforma gratuita de acesso ao servidor, denominado DiaCloud.

3.3 ELABORAÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS

Com todos os componentes essenciais para o funcionamento e controle da linha definidos, a lista de materiais completa foi elaborada levando em consideração todos os itens necessários para montagem do painel elétrico.

Analisando os componentes de partida do painel, teve-se a necessidade de adicionar na lista os dispositivos de proteção individual para cada carga. Como padrão na empresa em questão, utiliza-se um disjuntor geral caixa moldada para



proteger e seccionar o quadro de acordo com a carga total instalada. Individualmente, cada carga tem seu dispositivo de proteção ou seccionamento para facilitar as operações no painel.

De acordo com a quantidade de componentes, o dimensionamento do painel elétrico foi feito, e considerado uma sobra para possíveis adições caso seja necessário. Foi definido um painel de 2000 mm de altura, 1600 mm de largura e 600 mm de profundidade. Dentre o restante dos itens incluem o cabeamento necessário para as ligações elétricas, a estrutura do painel elétrico, canaletas e trilhos, quantidades de bornes para os motores e instrumentações externa.

A lista foi desenvolvida com o auxílio do software Microsoft Excel, para simplificar a visualização e ordenação dos itens necessários, tornando mais rápida a elaboração da lista de materiais e adiantando esta etapa tão essencial do projeto.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO ESQUEMA ELETRICO

Após a lista de materiais estar devidamente concluída, o esquema elétrico do painel foi elaborado de acordo com as referências e modelos definidos nas etapas anteriores. O Desenvolvimento foi feito através do software SEE Electrical.

Todos os componentes presentes no painel foram estudados a partir de seus respectivos manuais e datasheets, a fim de efetuar as ligações corretas dos dispositivos dentro quadro. Além disso, as entradas e saídas tanto digitais quanto analógicas foram alocadas em seus respectivos pontos de ligação no CLP e remota para que na programação do controlador o mapa de I/Os no hardware já esteja devidamente definido.

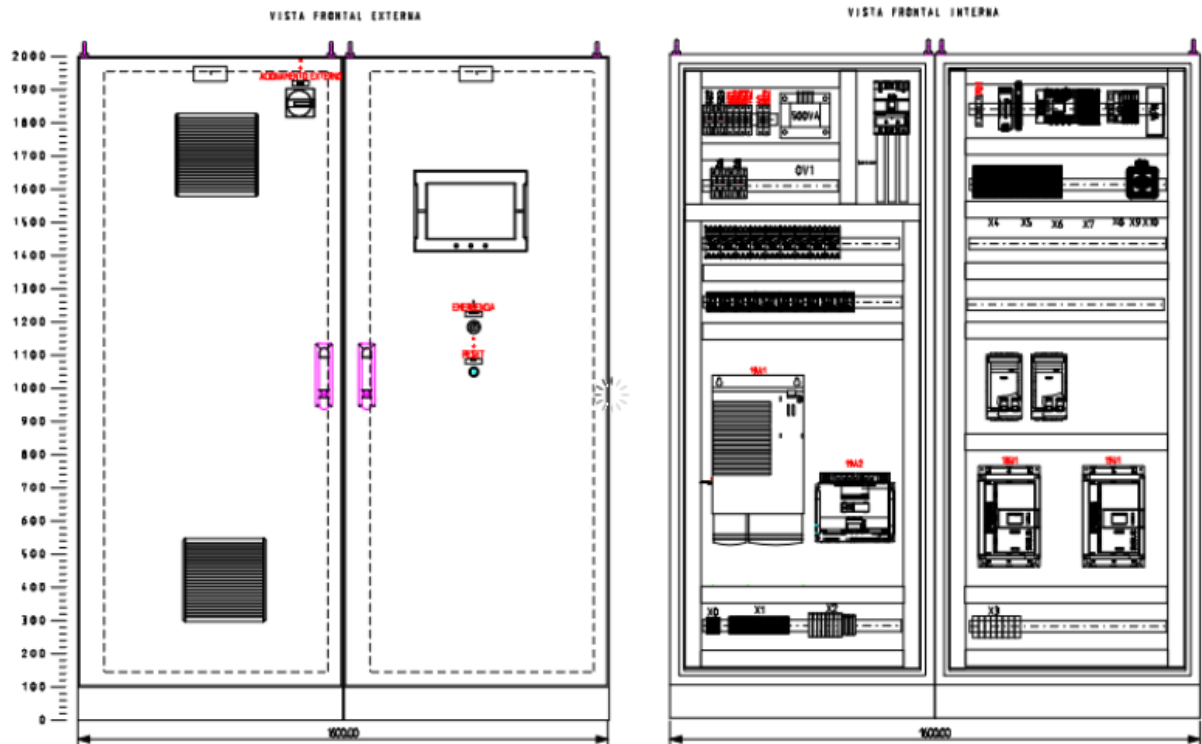
Para que um sistema de automação e integração de comunicação industrial funcione corretamente e sem imprevistos, o esquema elétrico bem-feito é de suma importância para o pleno funcionamento da linha.

3.4.1 Elaboração do *layout* do painel

Após a definição da dimensão do quadro, lista de materiais e a conclusão do esquema elétrico, tornou-se possível a elaboração do layout do painel, distribuindo os componentes de forma que torne funcional para a montagem e possíveis

manutenções futuras. O levantamento do *layout* também foi feito pelo software SEE Electrical, como está demonstrado na Fig.6.

Figura 6: Layout do painel elétrico.



Fonte: Do autor (2022)

3.5 MONTAGEM DO PAINEL ELETRICO

Com a lista de materiais para montagem elaborada, o esquema elétrico de ligação pronto e o *layout* predefinido, o processo de montagem tornou-se relativamente rápido, devido a organização dos dados e fluidez das informações. O processo de montagem durou cerca de 5 dias, e atendeu ao prazo estipulado durante a elaboração do fluxograma dos processos do sistema. Na Fig.7 tem-se um registro do início das montagens do painel elétrico.

Figura 7: Montagem do painel elétrico.



Fonte: Do autor (2022)

3.6 PRORAMAÇÃO DO CLP E IHM

Paralelamente a montagem do painel, a programação do CLP e IHM foi desenvolvida através do software *Sysmac Studio*, o qual foi escolhido devido ao fato de ser um moderno sistema de programação de controladores que torna possível integrar todos os processos de automação, como a programação do CLP, a aplicação de protocolos de comunicação industrial e a programação da IHM, no mesmo software. Esta vantagem torna prático e muito mais rápido a programação, economizando horas de engenharia.

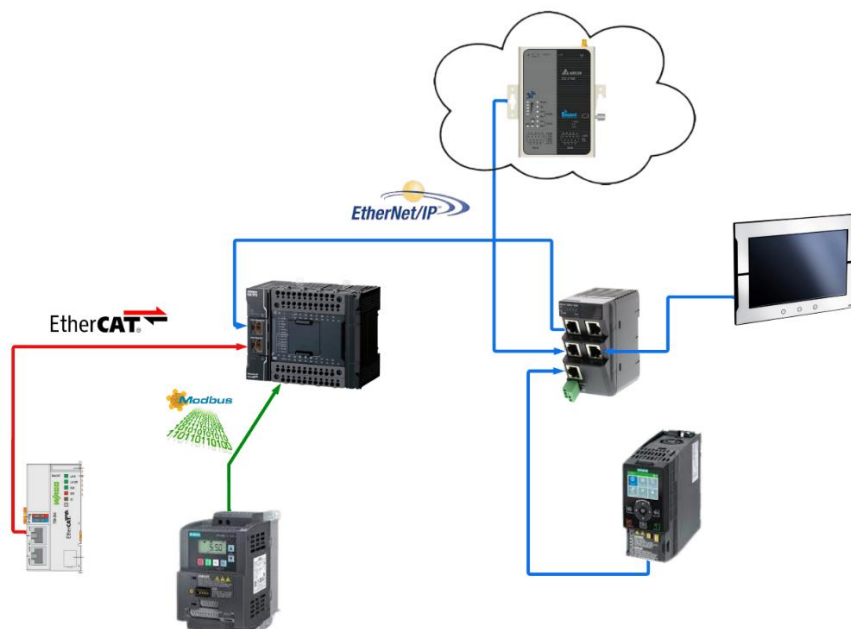
3.6.1 Desenvolvimento da programação ladder e texto estruturado

Através da integração da linguagem ladder e texto estruturado presente no software do controlador, foi desenvolvido a programação lógica de funcionamento da linha, de acordo com as necessidades e descrições feitas pelo cliente.

A lógica de programação se deu pela integração da instrumentação tanto digital quanto analógica externa com as entradas do controlador e as saídas de acionamento para as respectivas cargas.

Além da lógica de funcionamento, através do software também foi feita a lógica da comunicação entre os dispositivos e o controlador, para que as informações a serem lidas via protocolo de comunicação industrial sejam tratadas de forma correta para leitura e aplicação no programa. Na Fig.8 foi demonstrado a distribuição das comunicações aplicadas e seus respectivos protocolos.

Figura 8: Fluxograma de comunicações aplicadas.



Fonte: Do autor (2022)

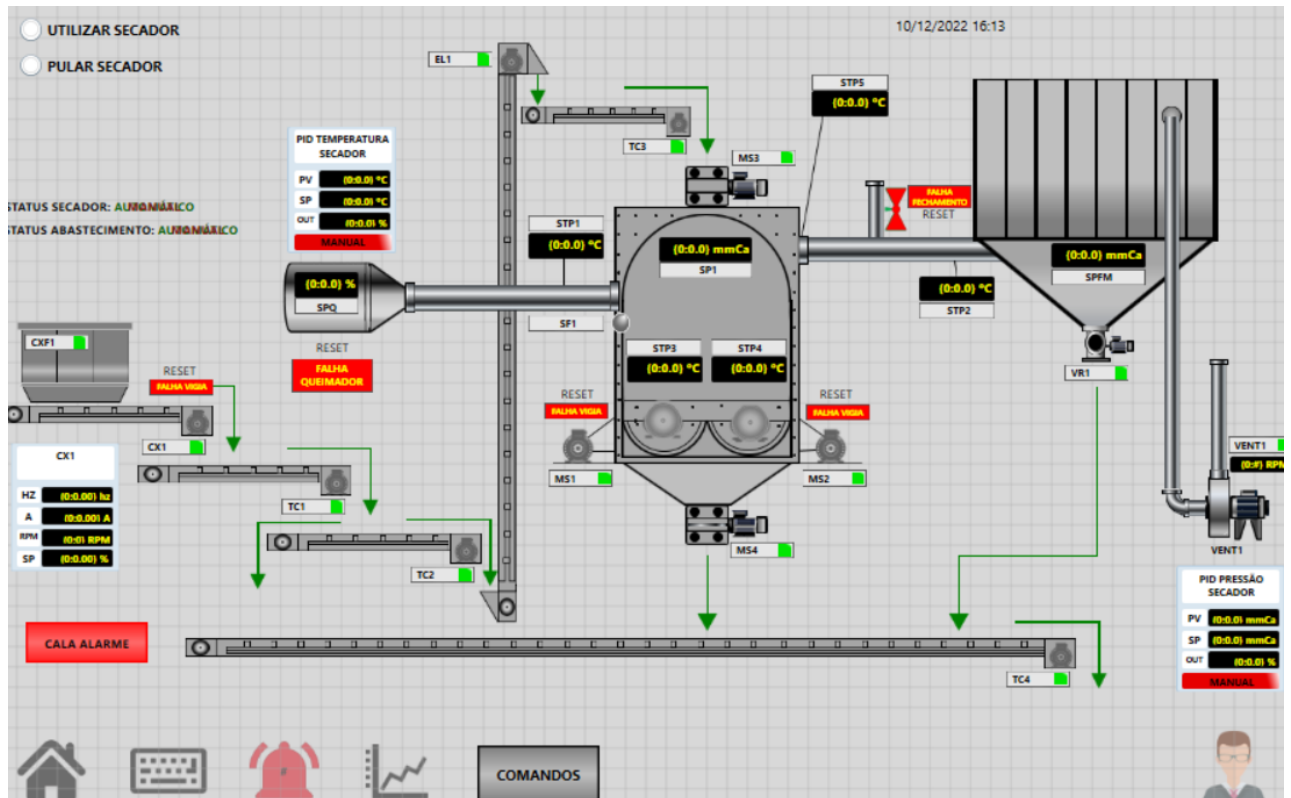
3.6.2 Elaboração das telas da IHM

Com a descrição do cliente referente as telas de IHM que os funcionários da empresa em que a automação será aplicada têm familiaridade, os modelos foram feitos para facilitar a visualização e ação dos operadores.

Desta forma, foi feita uma tela geral da linha, onde demonstra todo o processo com os seus devidos feedbacks, tanto de valores analógicos como sinais digitais. Além disso, telas de comandos, alarmes e configurações de tempos tornaram

o processo mais dinâmico e maleável para possíveis ajustes futuros. Na Fig.9 evidencia-se um modelo de tela desenvolvida.

Figura 9: Tela da IHM desenvolvida.



Fonte: Do autor (2022)

Todas as informações da IHM estão devidamente ligadas com as variáveis presentes no programa do controlador e isso é feito através da denominação de TAGs que são variáveis atribuídas dentro do programa do CLP e que são de uso comum entre ambos devido ao fato de serem desenvolvidos no mesmo software.

3.6.3 Validação do acesso remoto

Após todos os testes de programação serem feitos, a validação do acesso remoto ao controlador foi feita na sede da empresa no Brasil, para que o startup tivesse andamento posteriormente no local correto.

A validação e aplicação do acesso remoto foi efetuada através do software DiaCom, o qual acessa o servidor VPN da Delta denominado DiaCloud. Com a certificação da comunicação do CLP com o roteador VPN e o acesso validado na



empresa, todos os testes locais com o roteador que poderiam ser feitos foram concluídos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a conclusão de todos os testes possíveis de serem feitos via software, e após a conclusão da montagem do quadro elétrico, os testes e aplicações lógicas práticas no painel foram feitas. Posteriormente a isso, a aplicação real foi feita na cerâmica localizada na Colômbia afim de obter os resultados necessários com a aplicação.

4.1 CONCLUSÃO DA MONTAGEM DO PAINEL ELETRICO

Após a conclusão da montagem do painel elétrico e da programação do CLP e IHM, foi possível efetuar a alimentação do quadro para os testes primários nos componentes. O *layout* do painel elétrico seguiu fielmente o modelo elaborado anteriormente e manteve o padrão de qualidade de montagem e distribuição de componentes. Nas Fig. 10 e Fig. 11, apresentam-se registros do painel elétrico montado.

Figura 10: Visão interior do painel elétrico montado.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 11: Visão exterior do painel elétrico montado.



Fonte: Do autor (2022)

4.2 TESTE E VALIDAÇÃO DO PROGRAMA NA SEDE DA EMPRESA

Com a conclusão da montagem do painel elétrico e da programação do CLP e IHM, foi possível efetuar a alimentação do quadro para os testes primários nos componentes.

Primeiramente os drivers foram alimentados e parametrizados de acordo com suas funções, tanto para comunicação quanto para comandos. Após isso, foi efetuado o download do programa para o CLP e IHM, a fim de iniciar os primeiros testes. Na Fig.12 tem-se um registro dos testes feitos *in loco*.

Figura 12: Primeiros testes feitos no local.



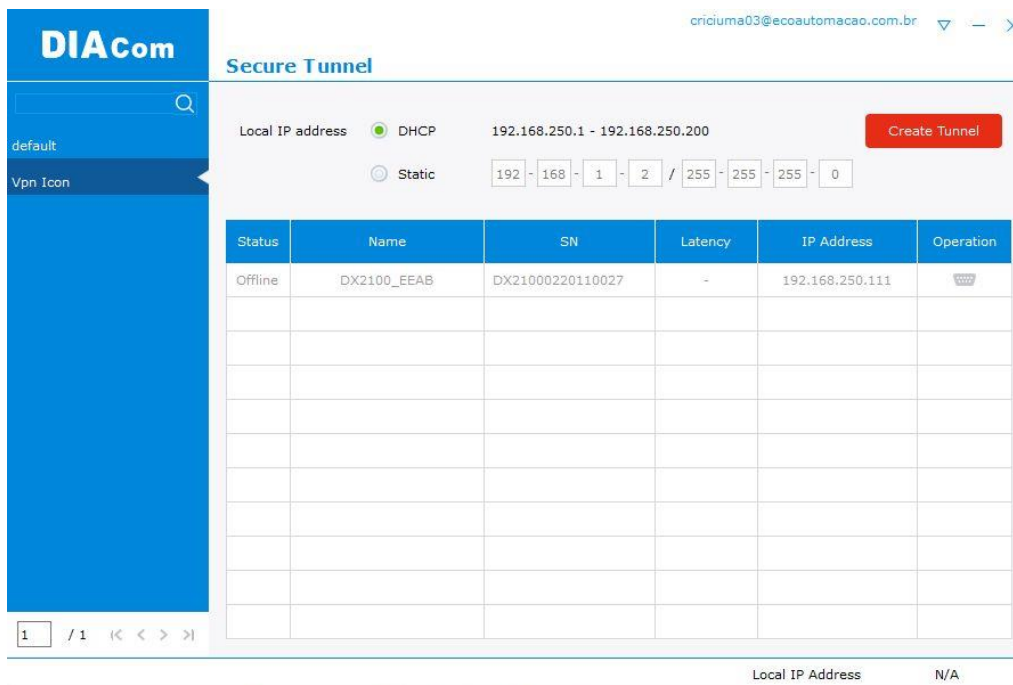
Fonte: Do autor (2022)

Para melhorar a qualidade dos testes, as instrumentações também foram ligadas as suas respectivas entradas, e desta forma evitar possíveis problemas que poderiam surgir em campo. Toda a lógica foi testada e alguns problemas básicos foram sanados. Após a conclusão destes testes, o painel foi enviado efetivamente ao cliente final.


4.3 FUNCIONAMENTO DO ACESSO REMOTO

O acesso remoto funcionou perfeitamente assim como nos testes locais e tornou o startup da máquina muito dinâmico, mesmo com toda distância entre a equipe de engenharia e o cliente final. A comunicação entre o controlador e o servidor VPN foi constante e possibilitou que todas as ações e acompanhamentos fossem realizados com sucesso. Na Fig.13 evidencia-se a utilização do software do fabricante e o momento em que se deu a comunicação entre o CLP e o servidor.

Figura 13: Software DiaCom comunicando com o CLP.



The screenshot shows the DiaCom software interface for configuring a Secure Tunnel. The interface includes a search bar, a sidebar with 'default' and 'Vpn Icon', and a main area with 'Local IP address' settings (DHCP and Static) and a table of tunnel connections.

Status	Name	SN	Latency	IP Address	Operation
Offline	DX2100_EEAB	DX21000220110027	-	192.168.250.111	

Fonte: Do autor (2022)

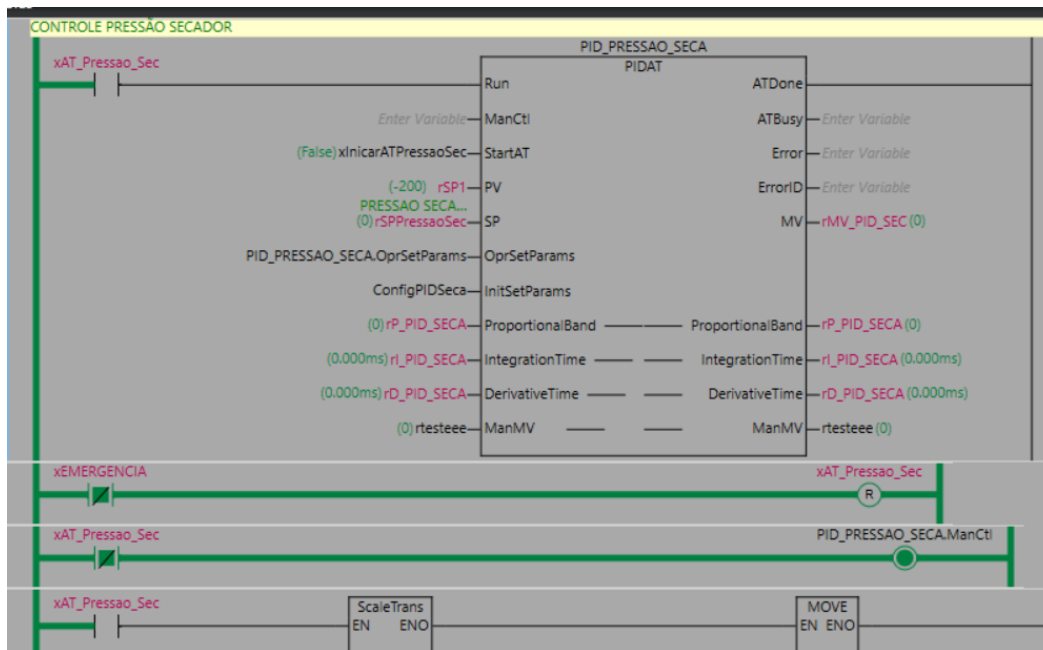
4.4 APLICAÇÃO DAS LOGICAS DE PROGRAMAÇÃO

Posteriormente a validação e acesso ao CLP, o startup da linha foi iniciado aplicando os testes manuais em cada motor. Durante os testes alguns motores apresentaram falhas elétricas na ligação e precisaram ser reparados, porém nenhum problema constatado na parte de programação e aplicação.

Com a correção das instalações elétricas externas que apresentaram problemas, os testes foram refeitos e validados corretamente, desta forma na parte manual tudo ocorreu como o esperado.

Com o funcionamento das cargas corretos, a aplicação dos ciclos automáticos da linha começaram a ser testados e acompanhados pela equipe de engenharia. Alguns problemas foram constatados inicialmente, novamente no âmbito externo, na parte de instrumentação com sinal chegando de forma inadequada para a entrada do CLP e atrapalhando as lógicas desenvolvidas. Na Fig.14 pode-se evidenciar parte da programação ladder desenvolvida.

Figura 14: Programação Ladder na aplicação online.



Fonte: Do autor (2022)

Através dos problemas externos constatados novamente, foram feitos os devidos reparos e trocas de instrumentos com problemas e após isso a linha foi submetida novamente a um teste em ciclo automático. A programação lógica funcionou perfeitamente e os ciclos da linha cerâmica obedeceram a todos os detalhes propostos pelo cliente, de forma dinâmica e inteligente.

4.5 TELAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE DESENVOLVIDAS

A conclusão e aplicação do supervisório via IHM tornou o processo maleável, tanto na questão de obtenção de informações quanto para controle. Com base na necessidade do cliente, as telas ficaram subdivididas tornando acessível os controles manuais, alarmes, gráficos de temperatura e controle PID.

4.5.1 Gráficos de análise de temperatura

Com a necessidade de monitorar de forma fácil e intuitiva a temperatura em um determinado setor da linha, foram desenvolvidas telas com gráficos analisando esta variação ao longo de um determinado tempo. Na Fig.15, evidencia-se um exemplo de tela com variação gráfica baseada nas leituras de temperatura externas.

Figura 15: Gráfico de leitura de temperatura externa no processo.



Fonte: Do autor (2022)

4.5.2 Telas de configuração e operação

A automação aplicada apresenta possibilidade de alterar as configurações manualmente via IHM com o objetivo de que o processo tenha possibilidade de adequação a possíveis mudanças futuras. Na Fig.16 evidencia-se um modelo de tela configurável desenvolvida.

Figura 16: Tela configurações da linha cerâmica.



Fonte: Do autor (2022)

4.6 FEEDBACK DOS OPERADORES SOBRE O SUPERVISÓRIO

Com a linha rodando perfeitamente, os operadores da máquina foram questionados sobre a qualidade e operação do supervisório. O *feedback* foi extremamente positivo, com foco na qualidade e ao mesmo tempo simplicidade das telas, que não dificultaram os processos e tornaram-no mais intuitivo, a fim de diminuir tempo de máquina parada e resultar em um processo mais dinâmico.

4.7 RESULTADOS DAS INTEGRAÇÃO DE COMUNICAÇÕES INDUSTRIAIS

Uma das partes essenciais para o funcionamento correto das lógicas desenvolvidas foi a velocidade e qualidade das comunicações industriais adotadas para integrar os dispositivos presentes no painel.

O protocolo de comunicação Ethernet/IP foi essencial para aplicação prática da automação, devido ao fato de atuar em diversas partes do sistema.

Além de integrar as comunicações entre CLP e IHM, o qual fez todo o controle e supervisão de forma funcional, também foi constante na comunicação com o servidor VPN, possibilitando que o startup remoto ocorresse tranquilamente. Na parte de controle, o protocolo Ethernet/IP funcionou ativamente na leitura e comandos



com o inversor G120C e possibilitou tornar dinâmico o controle do drive, evitando a utilização de fiação para fazer o comando do dispositivo.

A aplicação da remota da Wago via Ethercat possibilitou as leituras das variáveis analógicas de forma eficaz e confiável, com uma velocidade de comunicação rápida possibilitada pela vantagem da comunicação Ethercat.

5 CONCLUSÃO

Com a aplicação da automação do sistema na linha cerâmica, possibilitou ao cliente uma maneira muito mais efetiva e econômica de gerir a produção, podendo acompanhar de forma mais precisa e dinâmica a operação da máquina, os problemas eventuais que acontecem e estudar possíveis soluções.

A automatização das máquinas tem se tornado cada vez mais essencial para as indústrias atualmente, com o advento das diversas ferramentas de aplicação e integração de informações, este segmento se tornou inevitável para alcançar um nível de produção ideal para a empresa.

O desenvolvimento deste projeto abriu algumas possibilidades de integração de comunicações industriais e acesso remoto, além de levar ao cliente um sistema totalmente integrado de visualização e operação através do controle via CLP, tornando o processo de produção muito mais funcional e evidenciando a importância deste tipo de aplicação para a evolução no âmbito industrial.

REFERÊNCIAS

ALLEN-BRADLEY; AUTOMATION ROCKWELL. **Ethernet**. Rockwell Automation Publication, United States of America, 2019.

BITKOM; VDMA; ZVI. **Implementation strategy industrie 4.0**: report on the results of the industrie 4.0 platform. Frankfurt, Alemanha, 2016.

CAPELLI, Alexandre. **Inversores de Frequência Vetorial**. Revista Saber Eletrônica, Jussara. nº 337, p. 33-36, fevereiro de 2001.

DANTAS, Mario. **Tecnologias de Redes de Comunicação e Computadores**. Axcel Books do Brasil, Rio de Janeiro, 2002.



DIETRICH, Ronald. **Industrial Ethernet... from the Office to the Machine – World Wide - Band I**. 1. ed. Harting Electric GmbH & Co KG, Alemanha, 2004.

EAO AG. **Design Considerations for Effective Human Machine Interface Systems**. Olten-Suíça, 2016. Disponível em: https://eao.com/fileadmin/documents/PDFs/en/08_whitepapers/EAO_WP_HMI-Systems_EN.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2022.

ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP. **EtherCAT - o Ethernet Fieldbus**. EtherCAT.org. 2020. Disponível em: <https://www.ethercat.org/en/technology.html>. Acesso em: 22 de maio de 2022.

INDUSTRIAL AUTOMATION HEADQUARTERS DELTA ELECTRONICS, INC. **DX-2100 Series Industrial 3G Cloud Router User Manual**: diacloud cloud platform. Taoyuan: Delta Electronics, Inc., 2016. 129 p. Disponível em: https://www.kalatec.com.br/wp-content/uploads/2019/07/manual_DX-2100RW-WW.pdf. Acesso em: 13 out. 2022.

FLASPÖLE, Eva. **The human machine interface as an emerging risk**. EU-OSHA, Espanha, 2006.

FOROUZAN, Behrouz. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4 ed. AMGH Lta, Porto Alegre, 2007.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de Camargo. **Controladores Lógicos Programáveis Sistemas Discretos**. 1 ed. Érica, São Paulo, 2008.

HELD, Gilbert. **Ethernet Networks: Design, Implementation, Operation, Management**. 4. ed. John Wiley & Sons, United States of America, 2003.

LARABEE, Jhon, et al. **Induction motor starting methods and issues**. IEEE, Denver, p. 217-222, 2005.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Rede industriais para automação industrial**. 2 ed. Erica, São Paulo, 2019.



MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. Editora LTC. 7ª Edição, 2007.

MASCHERONI, José, et al. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. 2 ed. Weg automação, Jaraguá do Sul, 2004.

MODBUS-IDA. **Modbus over serial line specification and implementation guide V1.02**. 2006. Disponível em: https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf. Acesso em 25 de maio de 2022.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Livros Técnicos e Científicos (LTC), Rio de Janeiro, 2007.

PETRUZELLA, F.D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4 ed. São Paulo: Bookman, 2003.

PINTO, Fábio da Costa. **Sistema de Automação e Controle**. 1 ed. Arcelor Brasil CTS, Espírito Santo, 2005.

REYNDERS, Deon, et al. **Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques**. Elsevier Science, p. 22, Amsterdã, 2004.

ROSA, Alex. **Simulação de um soft-starter para acionamento de motores de indução**. Orientador: Prof. Dr. Antônio Melo. 2003. 67 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19749142-Simulacao-de-um-soft-starter-para-acionamento-de-motores-de-inducao.html>. Acesso em: 17 de maio de 2022.

SIEMENS AG. **Dispositivo de partida suave SIRIUS 3RW50**. Siemens AG, Regensburg-Alemanha, 2021. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/750/109753750/att_1000693/v1/manual_softstarter_3RW50_pt-BR.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2022.

SILVA, Valberto Ferreira da, et al. **Inversores de Frequência – Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. 2 ed. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, p. 448– 467, Itajubá, 2001.



SOUZA, Vitor Amadeu. **Princípios de Automação Industrial com CLP**. 1 ed. Clube de Autores, Santa Catarina, 2013.

STEMMER, Marcelo Ricardo. **Redes locais industriais: a integração da produção através das redes de comunicação**. Ed. da UFSC, Florianópolis, 2010.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de Computadores**. 5. ed. Pearson, p. 22-25, São Paulo, 2006.

THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG). **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. Alemanha, 2015.

ZANCAN, Marcos Daniel. **Controladores Programáveis**. 3 ed. Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

ZANZOTI, Fernando Henrique Oliveira. **Desenvolvimento do protótipo de um micro PLC**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida. 2019. 69 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26392/1/DesenvolvimentoPrototipoHardware.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2022.