



CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Rafael Vizzotto Maciel

**INTEGRAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE CONTROLADORES BR6000
SIEMENS VIA PROTOCOLO MODBUS RTU EM AMBIENTE CLP COM
SOFTWARE TIA PORTAL**

Santa Cruz do Sul

2024

Rafael Vizzotto Maciel

**INTEGRAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE CONTROLADORES BR6000
SIEMENS VIA PROTOCOLO MODBUS RTU EM AMBIENTE CLP COM
SOFTWARE TIA PORTAL**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Adriano J. Bombardieri

Santa Cruz do Sul
2024

Rafael Vizzotto Maciel

**INTEGRAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE CONTROLADORES BR6000
SIEMENS VIA PROTOCOLO MODBUS RTU EM AMBIENTE CLP COM
SOFTWARE TIA PORTAL**

Este trabalho de conclusão foi apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Dr. Adriano J. Bombadieri
Professor orientador – UNISC

Me. Marco A. B. Hennes
Professor examinador – UNISC

Me. Fabiano S. Ferreira
Professor examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2024

AGRADECIMENTOS

O principal agradecimento deste trabalho de conclusão vai para meus filhos, Rafaela e Antonio, que são minha maior motivação para alcançar meus objetivos e propor um futuro promissor a eles.

Agradeço também à minha família por me apoiar ao longo destes anos e à Deus por me dar forças para continuar.

A meu padrinho, já falecido, CAP. Nelci Mattioni, o qual sempre se fez interessado nos assuntos que estudei, me apoiando e acompanhando ao longo de minha jornada.

Ao senhor George Cardoso, colega de trabalho e técnico sênior na unidade de Taquari, por ter me ajudado explicando o conceito da leitura do protocolo através do cartão de conversão.

O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata de bater forte. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer. (BALBOA, R., 2006)

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta o desenvolvimento de um sistema de leitura remota de dados de controladores de fator de potência utilizando o protocolo Modbus RTU. O objetivo é monitorar e otimizar o fator de potência de sistemas elétricos, garantindo eficiência energética e redução de custos com multas por consumo reativo. A solução proposta é implementada por meio de uma arquitetura que envolve o controlador S7-1200 da Siemens, equipado com o módulo de comunicação CM1241 para a interface RS-485.

O controlador de fator é responsável por ajustar o fator de potência de uma instalação elétrica, adicionando ou removendo bancos de capacitores conforme a demanda. Esses dispositivos geralmente operam de forma local, o que pode limitar a capacidade de monitoramento e controle em tempo real.

A CPU S7-1200 atua como o mestre na comunicação Modbus, enquanto o controlador de fator de potência opera como escravo, respondendo às requisições enviadas pelo mestre. O módulo CM1241 é responsável por estabelecer a conexão via RS-485, que é uma interface de comunicação serial robusta, apropriada para ambientes industriais. A partir dessa conexão, o S7-1200 realiza leituras periódicas dos dados de operação do controlador, como a tensão, corrente, fator de potência e status do banco de capacitores.

Esses dados são então processados pelo controlador e disponibilizados para visualização remota através do sistema PI Vision. A interface permite à supervisão e área técnica monitorar em tempo real o desempenho do sistema, identificar anomalias e realizar ajustes preventivos. Além disso, o sistema pode emitir alertas automáticos caso os parâmetros operacionais ultrapassem os limites predefinidos, permitindo uma resposta rápida e eficiente.

Palavras-chave: Fator de Potência. Automação. Modbus RTU. Comunicação remota.

ABSTRACT

This thesis presents the development of a remote data reading system for power factor controllers using the Modbus RTU protocol. The objective is to monitor and optimize the power factor of electrical systems, ensuring energy efficiency and reducing costs related to reactive power penalties. The proposed solution is implemented through an architecture that involves the Siemens S7-1200 controller, equipped with the CM1241 communication module for the RS-485 interface.

The power factor controller is responsible for adjusting the power factor of an electrical installation by adding or removing capacitor banks according to demand. These devices usually operate locally, which can limit the capacity for real-time monitoring and control.

The S7-1200 CPU acts as the master in the Modbus communication, while the power factor controller operates as the slave, responding to requests sent by the master. The CM1241 module is responsible for establishing the connection via RS-485, a robust serial communication interface suitable for industrial environments. Through this connection, the S7-1200 performs periodic readings of operational data from the controller, such as voltage, current, power factor, and the status of the capacitor banks.

These data are then processed by the controller and made available for remote visualization through the PI Vision system. The interface allows supervisors and technical teams to monitor the system's performance in real-time, identify anomalies, and make preventive adjustments. Additionally, the system can issue automatic alerts if operational parameters exceed predefined limits, allowing for a quick and efficient response.

Keywords: Power Factor. Automation. Modbus RTU. Remote Communication.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico de fator de potência da unidade Taquari, março de 2024.	10
Figura 2 – Vista frontal do controlador.	15
Figura 3 – Modelo e descrição dos dados do display.	15
Figura 4 – Esquema de conexões elétricas.	16
Figura 5 – Banco de capacitor para ser utilizado em uma LT 440VCA, com potência de 50KVAr.	17
Figura 6 – Resistor associado em paralelo aos capacitores.	18
Figura 7 – Capacitor utilizado.	18
Figura 8 – Exemplificação da associação real dos capacitores em um banco para 440VCA.	19
Figura 9 – Exemplificação resumida da associação real dos capacitores em um banco para 440VCA.	19
Figura 10 – Triângulo de potências.	20
Figura 11 – Fusíveis de proteção e contadoras de potência para três bancos de capacitores.	21
Figura 12 – Exemplo de estrutura de envio de dados para leitura.	23
Figura 13 – Exemplo de estrutura de envio de dados para gravação.	23
Figura 14 – Exemplo prático de uma leitura de dados.	24
Figura 15 – Captura parcial da tabela de endereços modbus do controlador.	24
Figura 16 – Módulo de expansão CM-1241.	27
Figura 17 – Esquema de interligação da rede dos controladores com o PLC.	27
Figura 18 – Ambiente de configuração do hardware no TIA Portal V15.	28
Figura 19 – Ambiente de desenvolvimento da lógica no TIA Portal V15.	30
Figura 20 – Bloco de inicialização da porta de comunicação.	33
Figura 21 – Informações sobre o protocolo Modbus RTU do controlador.	34
Figura 22 – Posição na DB para referenciamento do bloco Modbus_Comm_Load.	35
Figura 23 – Códigos de função Modbus.	37
Figura 24 – Bloco Modbus_Master parametrizado.	37
Figura 25 – DB com arranjo de dados para gravação das informações.	38
Figura 26 – Lógica para contagem de passos.	40
Figura 27 – Lógica para tratamento do valor de cosseno de phi.	41
Figura 28 – Lógica para tratamento do valor configurado de cosseno de phi.	41

Figura 29 – Esquema de bits de envio das informações.	42
Figura 30 – Lógica para tratamento do valor de potência diferencial.	43
Figura 31 – Botão para exibição dos gráficos.	45

LISTA DE ABREVIATURAS

CLP	Controlador de lógica programável;
RTU	Sigla do inglês <i>remote terminal unit</i> , unidade terminal remota;
LT	Sigla do inglês <i>low transmission</i> , usada para denominar os painéis de distribuição;
VCA	Tensão elétrica de corrente alternada;
TC	Transformador de corrente;
DB	Do inglês, <i>Data Block</i> , que significa bloco de dados.

SUMÁRIO

1	ÁREA E LIMITAÇÃO DO TEMA.....	9
2	HISTÓRICO DA EMPRESA.....	11
3	JUSTIFICATIVA.....	12
4	OBJETIVOS.....	13
4.1	Objetivo Geral.....	13
4.2	Objetivos Específicos.....	13
5	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
5.1	Fator de Potência.....	14
5.2	Controladores BR6000.....	14
5.1	Bancos de capacitores.....	17
5.2	Protocolo de Comunicação Modbus RTU.....	22
5.3	CPU S7 1200 1212C DC/DC/RIy.....	25
5.1	Interface para leitura do protocolo.....	26
5.2	Estrutura da rede.....	27
5.3	Ambiente de programação Siemens TIA Portal.....	28
5.4	AVEVA PI Vision.....	30
6	CRIAÇÃO DA LÓGICA, REDE, TELAS E CONVERSÃO DOS DADOS	33
6.1	Bloco para inicialização do cartão CM1241 RS485.....	33
6.2	Bloco para envios de solicitações de leitura ao endereço escravo.....	36
6.3	Esquema para envio das solicitações.....	39
6.4	Tratamento de valor do cosseno de phi.....	40
6.5	Leitura da potência diferencial.....	42
7	CONCLUSÃO.....	44
7.1	Resultados: Integração e monitoramento remoto via PI Vision.....	44
7.2	Gráficos de dados.....	44
7.3	Considerações finais.....	45
8	REFERENCIAL TEÓRICO.....	46

9	METODOLOGIA.....	47
9.1	Revisão Bibliográfica	47
9.2	Levantamento de Requisitos	47
9.3	Projeto do Sistema	47
9.4	Configuração e Programação.....	47
9.5	Testes e Validação.....	47
9.6	Análise de Resultados	48
9.7	Documentação.....	48
10	ANEXOS	49
	ANEXO A – TABELA MODBUS DO CONTROLADOR	49
	ANEXO B – FOLHA DE INFORMAÇÕES MODBUS DO CONTROLADOR.....	60
	ANEXO C – TELA DO PI VISION COM A VISUALIZAÇÃO DE CADA CONTROLADOR	61
	ANEXO D – TELA DO PI VISION COM A VISUALIZAÇÃO DE CADA CONTROLADOR E ALARME	62
	ANEXO E – GRÁFICOS GERADOS EM CADA UM DOS CONTROLADORES	63

1 ÁREA E LIMITAÇÃO DO TEMA

O fator de potência é um conceito fundamental em sistemas elétricos. Ele desempenha um grande papel na forma como a energia elétrica é utilizada e está relacionado com a eficiência de dispositivos em um sistema.

Em termos simples, o fator de potência é a razão entre a potência real e a potência total em um circuito elétrico. A potência real é a energia utilizada para realizar trabalho, como iluminação ou operação de motores. A potência total é uma combinação da potência real e da potência reativa, esta última é necessária para dispositivos como motores e capacitores e é possível dizer que é uma energia “desperdiçada” pois é concentrada na geração de campos eletro-magnéticos.

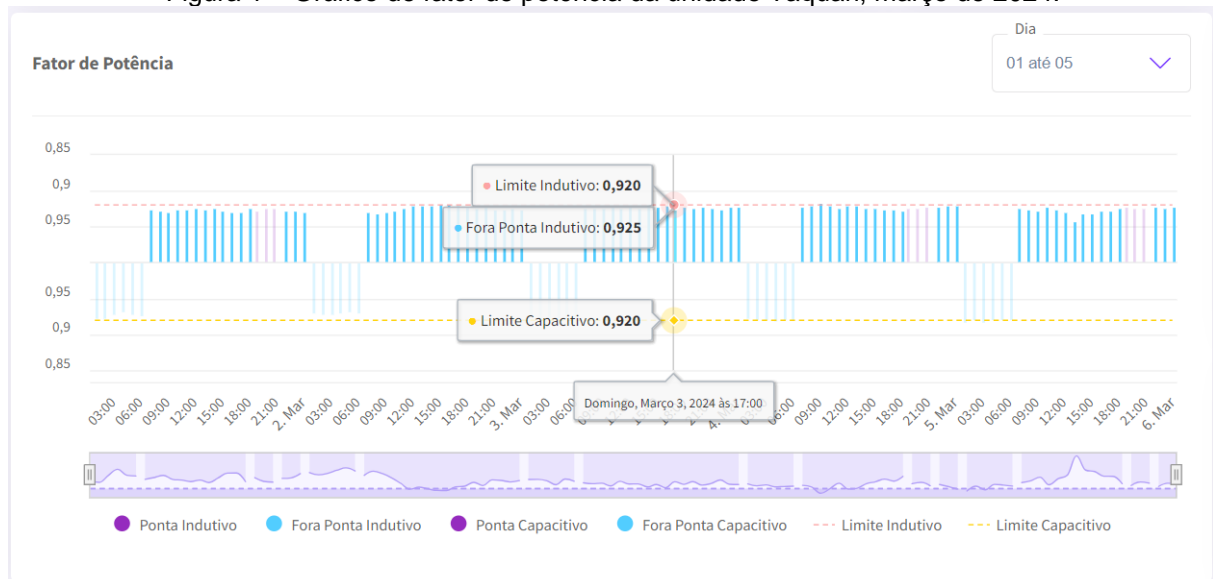
Um fator de potência ideal é 1, indicando que toda a energia fornecida é utilizada de forma eficiente para realizar trabalho. No entanto, devido a cargas indutivas e capacitivas, o fator de potência pode ser menor em casos práticos. Isso resulta em eficiência reduzida e custos atribuídos devido a multas pela concessionária, ou sobrecarga de equipamentos.

Atualmente a legislação estabelecida pelo art. 96 da Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL (2010), requer que o fator de potência mínimo para as instalações seja de 0,92, em caso de energia reativa excedente, o cliente será sujeito a encargos.

A companhia onde o tema do trabalho em questão será aplicado, possui subestações secundárias espalhadas pela planta, estas subestações recebem a alimentação geral da subestação principal, e derivam para os equipamentos de cada setor. Cada subestação conta com pelo menos dois painéis principais de distribuição, internamente denominados LTs, sigla do inglês, *low transmission*. Nestes painéis é onde estão localizados os sistemas de bancos de capacitores e seus controladores.

Em um cenário de não atendimento ao valor estipulado pela legislação, a concessionária possui um sistema de monitoramento remoto instalado na subestação principal, que dispara um aviso ao cliente, via email, e também é possível visualizar um gráfico com os valores médios que a unidade consumidora vem apresentando, conforme figura 1.

Figura 1 – Gráfico de fator de potência da unidade Taquari, março de 2024.



Fonte: Comerc, Powerview.

A visualização de um histórico geral, é sem dúvidas uma ferramenta muito importante para o consumidor e para a concessionária, o problema é que em um caso de não atendimento, é necessário deslocar uma equipe indo em cada uma das subestações secundárias para procurar em qual das LTs que está ocorrendo a falha e assim atuar na manutenção e revisão das mesmas.

O objetivo geral do trabalho apresentado é desenvolver uma forma de monitoramento ponto a ponto das subestações secundárias, a ideia principal é utilizar a porta de comunicação modbus RTU presente no controlador, ligando a um CLP. Uma vez que a leitura das variáveis do controlador seja registrada no CLP, irá ser utilizado o software AVEVA™ PI Vision™, para gerar um relatório interno de cada uma das LTs, possibilitando diversos tipos de análise, como vida útil dos sistemas de correção, antecipação de falhas, relatórios de erro dos controladores e, também uma redução com os custos relacionados a encargos legais.

2 HISTÓRICO DA EMPRESA

A Duratex S.A, foi fundada em Jundiaí, São Paulo, no ano de 1954, pelos empresários Eudoro Villela e Nivaldo Coimbra de Ulhoa Cintra que se atentaram para a oportunidade da fabricação de chapas de fibra de madeira no Brasil. Até então, o produto era apenas importado da Suécia.

Em 1970, a unidade de Taquari, Rio Grande do Sul, foi fundada pela empresa Satipel, no ano de 2010, foi concluído a aquisição das cinco unidades, Botucatu, Jundiaí, Itapetininga, Agudos e Taquari, pela Duratex.

Ao decorrer dos anos o grupo vem investindo em demais áreas de negócios, como louças cerâmicas para pisos laminados, chuveiros e torneiras. No ano de 2020 o grupo passou a se chamar Dexco, visando manter a força de todas as suas marcas.

Atualmente a unidade de Taquari conta com cerca de 400 colaboradores, uma linha de produção de MDP, duas linhas de revestimento de painéis de MDP e MDF e uma linha de impregnação de papel para revestimento.

3 JUSTIFICATIVA

Um fator de potência baixo implica em uma utilização ineficiente da energia elétrica podendo causar distorções de tensão e corrente na rede. Isso pode prejudicar o funcionamento de equipamentos sensíveis e causar interferências em sistemas eletrônicos, resultando em desperdício de energia, aumentando os custos operacionais e contribuindo para a degradação ambiental devido à necessidade de fornecimento adicional.

Em muitos países, há regulamentações que impõem limites a esse indicador para consumidores industriais e comerciais. Melhorar o fator de potência pode reduzir significativamente as contas de energia elétrica, pois muitas concessionárias impõem tarifas mais elevadas para consumidores com baixo índice, incentivando assim a correção deste parâmetro.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Criar uma visualização *online* das unidades de correção de fator de potência, visando maior assertividade nas tratativas de manutenção para sanar problemas, e consequentemente reduzir custos com encargos na fatura de energia.

4.2 Objetivos Específicos

Estabelecer uma comunicação entre o controlador BR6000 e o CLP que controla e monitora as máquinas de refrigeração das subestações. Essa comunicação será feita neste CLP especificamente pois o mesmo já possui componentes para a leitura do protocolo Modbus RTU.

Criar um supervisório para visualização de cada um dos controladores, com a medição geral e o estado de cada um dos bancos.

Historiar as medições dos controladores para poder estabelecer um ciclo assertivo de troca periódica dos capacitores.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Fator de Potência

O fator de potência (FP) é uma medida da eficiência com que a energia elétrica é convertida em trabalho útil. Ele é definido como a razão entre a potência ativa (ou real) e a potência aparente. A potência ativa é a energia utilizada para realizar trabalho efetivo, enquanto a potência aparente é a combinação da potência ativa e da potência reativa, que é necessária para manter os campos elétricos e magnéticos em equipamentos indutivos e capacitivos.

- **Potência Ativa (W):** Medida em watts (W), é a energia que efetivamente realiza trabalho útil, representado pela letra P.
- **Potência Reativa (VAr):** Medida em volt-ampere reativos (VAr), é a energia que oscila entre a fonte de energia e a carga, sem realizar trabalho útil, representado pela letra Q.
- **Potência Aparente (VA):** Medida em volt-ampere (VA), é a combinação vetorial de P e Q, que indica a potência aparente total do sistema, representado pela letra S.

Segundo Boylestad (2018, p. 688), o fator de potência pode ser expresso pela seguinte equação:

$$FP = \frac{P}{S}$$

Um fator de potência de 1 (ou 100%) é ideal, indicando que toda a energia fornecida é utilizada para realizar trabalho útil. Na prática, o fator de potência é frequentemente menor que 1 devido à presença de cargas indutivas e capacitivas.

Muito da potência consumida em empresas se deve ao uso de motores, que apresentam um comportamento indutivo, uma potência reativa indutiva; assim, a fim de melhorar o fator de potência, são utilizados banco de capacitores para diminuir a potência reativa total do sistema da empresa. Os principais elementos que levam a um baixo fator de potência são motores e transformadores que 'operam a vazio', com pouca carga ou sobredimensionados. (BOLZAN, 2020, p. 131).

5.2 Controladores BR6000

Os controladores BR6000 da Siemens, representado na figura 2, são dispositivos utilizados para a medição, monitoramento e correção do fator de potência em sistemas elétricos, além de possuírem uma interface de visualização intuitiva,

onde traz várias informações úteis, conforme figura 3. Estes são projetados para melhorar a eficiência energética, reduzindo perdas e evitando multas por baixo fator de potência.

A conexão elétrica destes aparelhos pode ser facilmente realizada por um técnico com os devidos treinamentos das normas pertinentes à sua função, conforme o item 10.8 da NR-10 (BRASIL, 1978), desde que seguido fielmente seu diagrama de conexões conforme apresentado na figura 4.

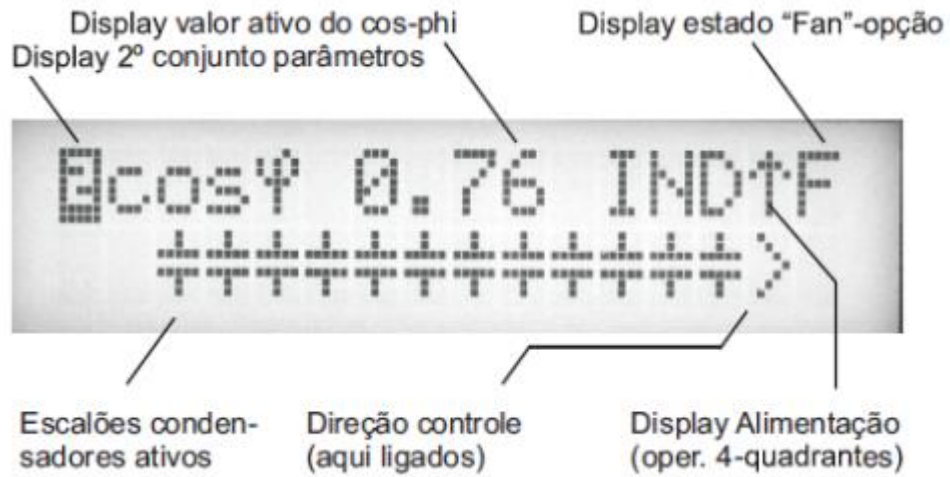
- **Funções principais:** Medição precisa do fator de potência, monitoramento contínuo, e controle de capacitores para correção do fator de potência.
- **Comunicação Modbus RTU:** Permite a integração com sistemas de automação e controle através do protocolo, facilitando a transmissão de dados para dispositivos remotos.

Figura 2 – Vista frontal do controlador.



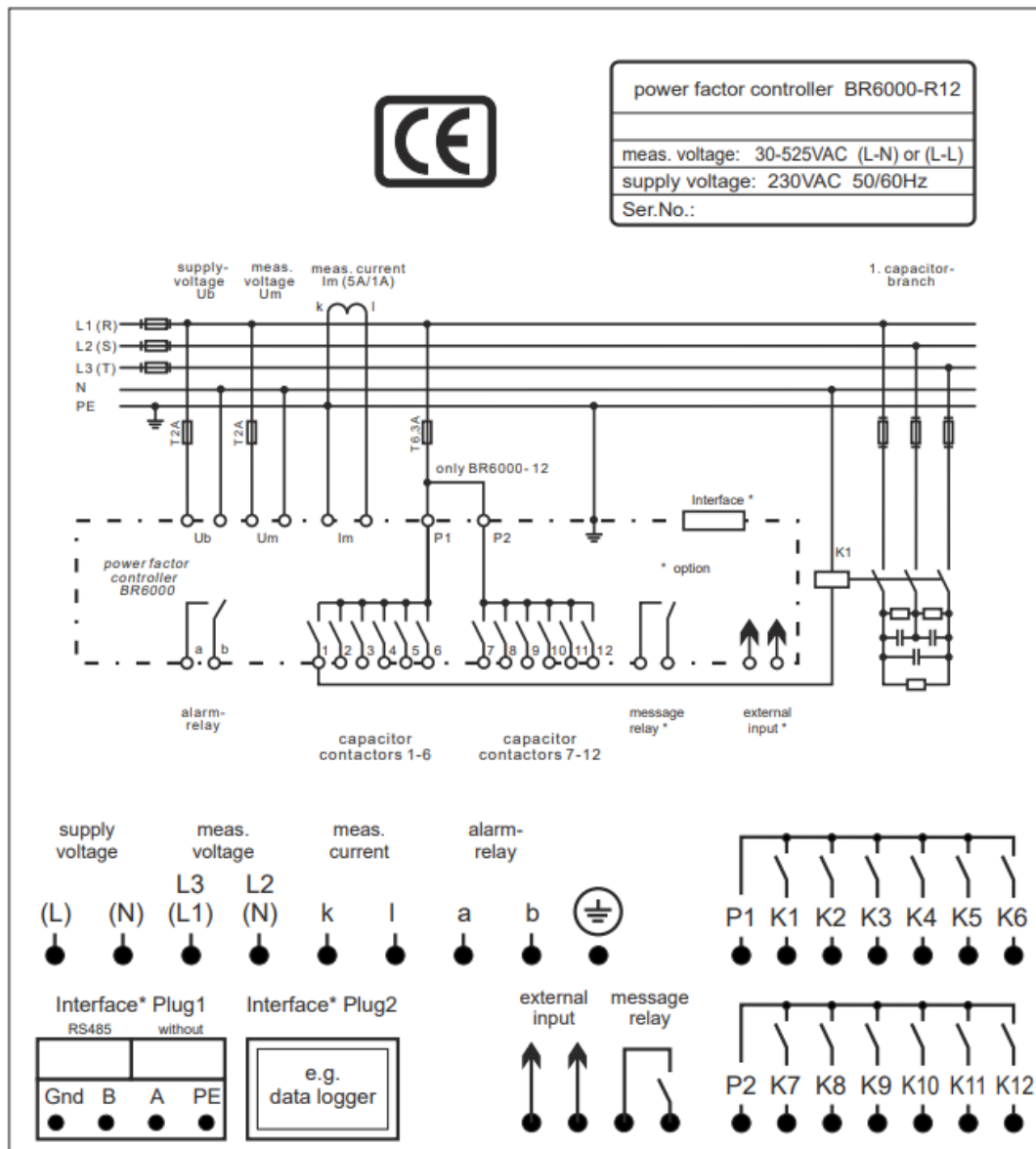
Fonte: Siemens.

Figura 3 – Modelo e descrição dos dados do display.



Fonte: Siemens.

Figura 4 – Esquema de conexões elétricas.



Fonte: Siemens.

5.1 Bancos de capacitores

Os bancos de capacitores, consistem em um conjunto de capacitores e resistores, associados entre si em “estrela” ou “triângulo”, mostrados nas figuras 5, 6, e 7 de acordo com a tensão em que serão alimentados. A potência de cada um é somada de acordo com a associação para formar a potência desejada em cada banco.

Na subestação 01 e 02, localizadas no pátio de madeira e planta de energia, respectivamente, é utilizado o esquema “estrela”, devido a tensão ser de 690VCA. No restante da planta utiliza-se da ligação “triângulo” em razão de a tensão entre fases ser de 440VCA, conforme ilustrado na figura 8 e de forma resumida na figura 9.

Figura 5 – Banco de capacitor para ser utilizado em uma LT 440VCA, com potência de 50KVAr.



Fonte: Autor.

Figura 6 – Resistor associado em paralelo aos capacitores.



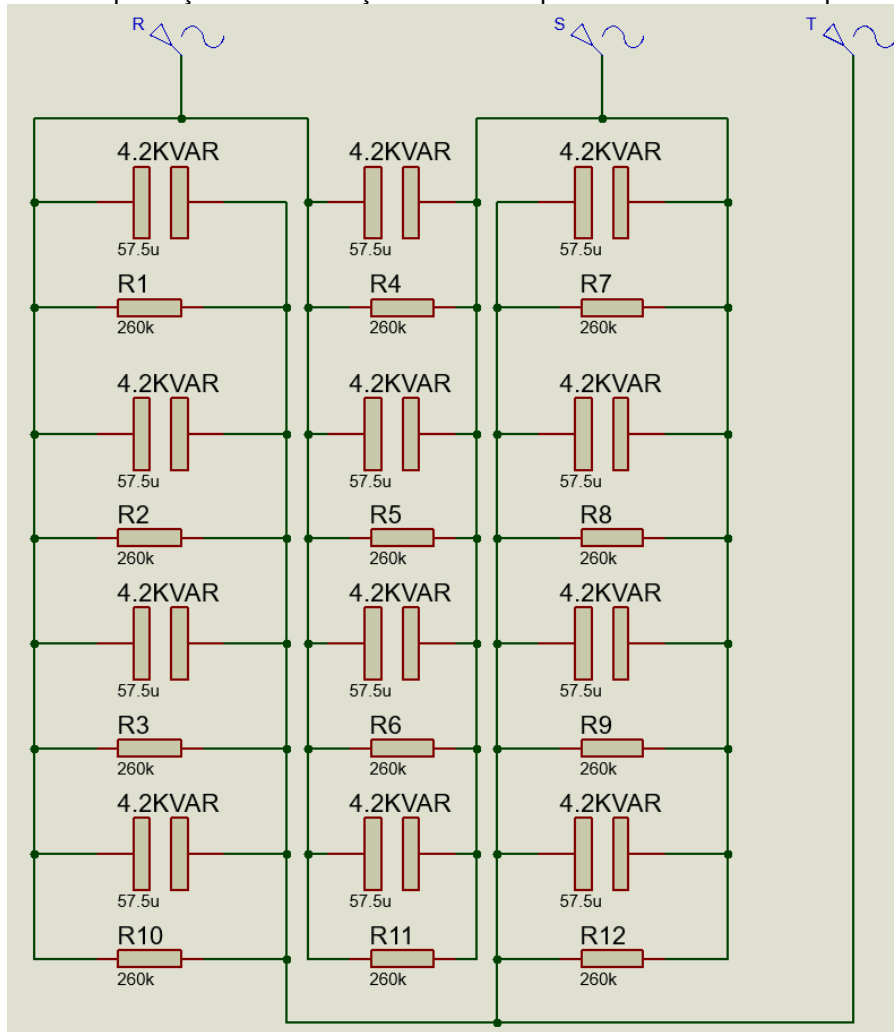
Fonte: Autor.

Figura 7 – Capacitor utilizado.



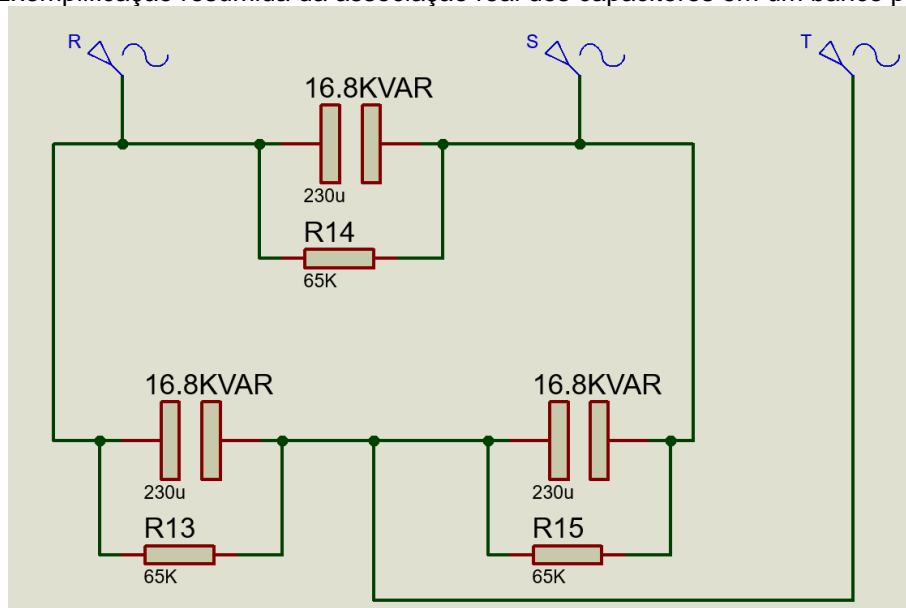
Fonte: Autor.

Figura 8 – Exemplificação da associação real dos capacitores em um banco para 440VCA.



Fonte: Autor.

Figura 9 – Exemplificação resumida da associação real dos capacitores em um banco para 440VCA.

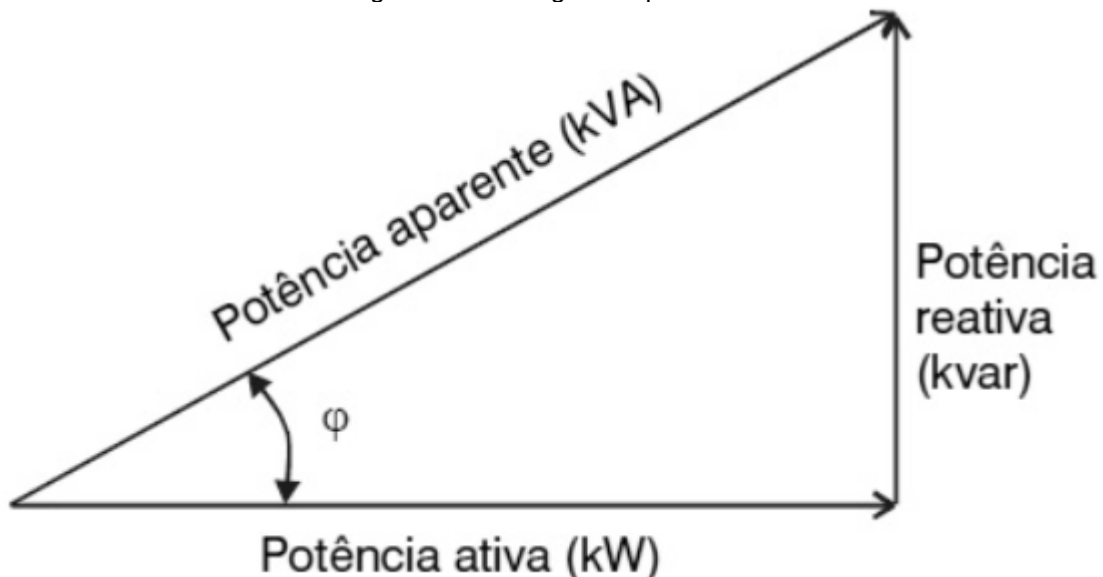


Fonte: Autor.

Um ponto interessante a ser observado é a utilização de resistores e paralelo a cada um dos capacitores, isso se dá ao fato de que para melhor conseguir atingir um cosseno de ϕ conforme desejado, é utilizado uma técnica que consiste em aumentar a carga resistiva do circuito.

No triângulo-retângulo das potências, figura 10, a linha referente a potência ativa está no cateto adjacente ao ângulo ϕ , assim se o valor da energia reativa for reduzido e o valor da ativa for incrementado, o que é feito pelos resistores que estão sendo associados ao circuito dos bancos, o ângulo ϕ irá, matematicamente, diminuir, desta forma sendo mais fácil de alcançar os valores estipulados, do que caso fosse apenas utilizados capacitores, que fariam somente reduzir o valor em kVAr.

Figura 10 – Triângulo de potências.



Fonte: Autor.

Essa diminuição da linha de potência reativa se dá ao fato de serem tratados de dois tipos desta, indutiva e capacitiva, em sentidos opostos, como no caso da aplicação o problema é em relação a indutiva, devido ao grande número de motores instalados na planta, torna-se necessário a aplicação controlada apenas da capacitiva.

Os resistores funcionam também como dispositivos de descarga, já que o capacitor armazena carga elétrica, ao realizar o desligamento dos bancos da rede, se não houvesse resistores curto circuitando os polos do capacitor, o mesmo iria manter-se carregado, o que poderia ocasionar um acidente com o mantenedor.

Como as razões entre as potências são matematicamente equivalentes à um triângulo retângulo, utiliza-se de 4 equações, conforme apresentadas por Boylestad (2018, p. 692), sendo elas:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = V_{rms}.I_{rms}. \cos(\varphi)$$

$$Q = Q_{indutivo} - Q_{capacitivo}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$$

Nas instalações utiliza-se um controlador inteligente que monitora o fator de potência através de um TC (dispositivo utilizado para converter um valor de corrente em uma proporção menor para que seja possível realizar medição) e de um ponto de medição de tensão, conectado à mesma fase do TC. Este controlador acopla e desacopla os bancos à rede, à través da manobra de uma contadora de potência, visto na figura 11.

Figura 11 – Fusíveis de proteção e contadoras de potência para três bancos de capacitores.



Fonte: Autor.

Conforme a variação das cargas que estão sendo utilizadas na fábrica. Em um caso em que fossem usados bancos fixos acoplados à rede, em um período de parada de linha de produção, por exemplo, ocorreria de o FP ficar capacitivo, devido a diminuição do consumo reativo indutivo.

5.2 Protocolo de Comunicação Modbus RTU

O Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) é um protocolo de comunicação serial amplamente utilizado na automação industrial para transmitir dados entre dispositivos eletrônicos, como controladores lógicos programáveis (CLPs), sensores, atuadores e outros dispositivos de campo. Ele é baseado em uma estrutura mestre-escravo (ou mestre-cliente), onde um dispositivo mestre (como um CLP) controla a comunicação e os dispositivos escravos respondem às solicitações feitas pelo mestre.

A comunicação Modbus RTU ocorre através de uma linha serial, comumente utilizando interfaces RS-232, RS-485 ou RS-422, sendo a RS-485 a mais popular devido à sua capacidade de suportar distâncias maiores e conectar vários dispositivos na mesma rede. A transmissão dos dados segue um formato binário e utiliza um método de transmissão assíncrona, em que os bits são enviados individualmente, sem a necessidade de um sinal de clock.

A estrutura de mensagens no Modbus RTU é compacta e eficiente. De acordo com a Organização Modbus (Modbus.org, 2006) cada mensagem inclui campos como:

- **Endereço do dispositivo escravo:** O mestre começa a comunicação enviando o endereço de um escravo específico na rede. Apenas o escravo com esse endereço responde à solicitação. Outros dispositivos ignoram a mensagem.
- **Código da função:** Este campo especifica a ação que o escravo deve realizar, como leitura ou escrita de dados. Funções comuns incluem a leitura de entradas digitais, leitura de registradores de entrada ou de holding registers (registradores de retenção).
- **Dados:** Contém informações adicionais que podem ser necessárias para a execução da função, como o número de registradores a serem lidos ou os valores a serem escritos.
- **CRC (*Cyclic Redundancy Check*):** Um valor de verificação usado para garantir a integridade da mensagem. O CRC é calculado com base nos dados enviados, e o dispositivo receptor realiza o mesmo cálculo para verificar se os dados foram recebidos corretamente.

Todos os itens citados estão ilustrados no formato da comunicação Modbus, na figura 12, onde é estruturado um envio de solicitações de leitura e na figura 13 para gravação, ou seja, quando deseja-se operar remotamente o equipamento.

Figura 12 – Exemplo de estrutura de envio de dados para leitura.

Read Data (Function code 3)*Wait 1 second between two requests.*

Master → Slave

Slave Address	Function Code – 3	Register (High)	Register (Low)	Quantity* (High)	Quantity* (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	------------------	-----------------	-----------	------------

Master ← Slave

Slave Address	Function Code – 3	Quantity x2 (bytes)	Data (High)	Data (Low)	Data ..	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	---------------------	-------------	------------	---------	-----------	------------

*) Maximum quantity for BR6000 and MMI6000 is 24
BR7000 and BR7000 is 48

Fonte: Siemens.

Figura 13 – Exemplo de estrutura de envio de dados para gravação.

Write Data (Function code 6)*Wait 1 second between two requests.*

Master → Slave

Slave Address	Function Code – 6	Register (High)	Register (Low)	Data (High)	Data (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	-------------	------------	-----------	------------

Master ← Slave

Slave Address	Function Code – 6	Register (High)	Register (Low)	Data (High)	Data (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	-------------	------------	-----------	------------

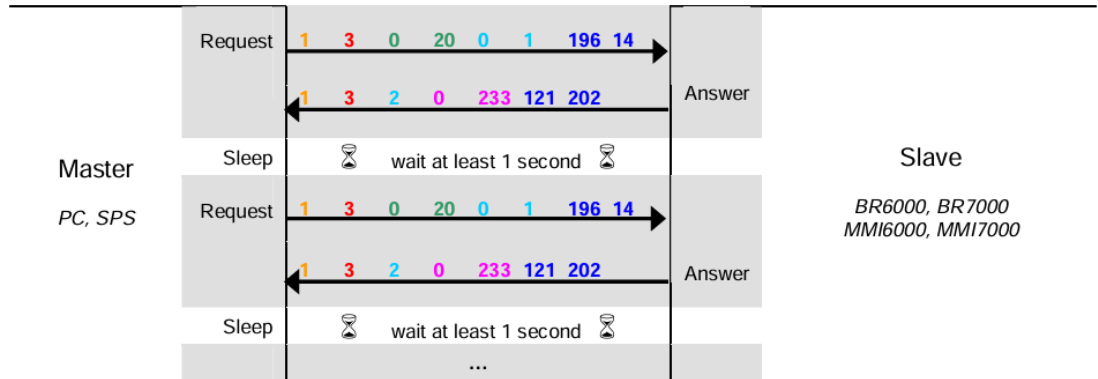
Fonte: Siemens.

No exemplo da figura 14 é possível observar a seguinte montagem, 1 para o endereço do módulo escravo, 3 para o código de função de leitura, 0 no registrador alto, 20 no registrador baixo, o código 20 nesta posição refere-se à tensão, quando consultado à tabela de comunicação do controlador BR6000, na figura 15. O restante dos dados são a quantidade de informações que deseja-se trazer em cada registrador e os CRCs explicados anteriormente.

Figura 14 – Exemplo prático de uma leitura de dados.

Example: Read Data-cycle

Read Voltage (Register 20 at BR6000) = 233V



Fonte: Siemens.

Figura 15 – Captura parcial da tabela de endereços modbus do controlador.

MODBUS- Protocol BR6000 Version 5.1 and higher

[Function code 3: read only registers](#)

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
0	00	*	*	Reactive power – H
1	01	*	*	Reactive power – L
2	02	*	*	Active power – H
3	03	*	*	Active power – L
4	04	*	*	Apparent power – H
5	05	*	*	Apparent power – L
6	06	*	*	Differential reactive power – H
7	07	*	*	Differential reactive power – L
8	08	*	*	Actual system output – H (kvar)
9	09	*	*	Actual system output – L (kvar)
10	0A	0	0 - 100%	Actual system output %
11	0B	*	*	Voltage * 10 (max. 300V)
12	0C	*	*	Current * 10 – H
13	0D	*	*	Current * 10 – L
14	0E	*	*	Voltage * 10 – H
15	0F	*	*	Voltage * 10 – L
16	10	0	Steps	Active stages (1. bit=1. stage)
19	13	*	*	Cos-Phi (INTEGER)
20	14	*	*	Voltage
21	15	*	*	Current
22	16	0	Frequency	Frequency
23	17	0	Temp. cabinet	Temperature (cabinet)

Fonte: Siemens.

Uma característica chave do Modbus RTU é sua eficiência na utilização de largura de banda. As mensagens são transmitidas em um formato compacto, e o protocolo permite longos períodos de silêncio entre as transmissões para evitar colisões de dados. O tempo de espera entre as mensagens, conhecido como "tempo de silêncio", deve ser de no mínimo 3,5 vezes o tempo de um caractere transmitido. Caso o tempo de silêncio seja violado, o dispositivo receptor pode interpretar isso como uma nova mensagem, causando erros de comunicação.

Este protocolo conta com simplicidade, robustez e compatibilidade com uma ampla gama de dispositivos. No entanto, como ele é um protocolo relativamente antigo, possui algumas limitações, como a falta de segurança integrada (por exemplo, criptografia ou autenticação) e a capacidade limitada de endereçamento, suportando apenas até 247 dispositivos em uma rede RS-485. Essas limitações podem ser superadas com o uso de gateways ou protocolos mais modernos, dependendo das necessidades da aplicação.

5.3 CPU S7 1200 1212C DC/DC/Rly

A CPU 1212C DC/DC/Rly é parte da série S7-1200 da Siemens, um controlador lógico programável compacto, projetado para automação de pequenos e médios processos industriais. Esse modelo específico é muito usado em sistemas que exigem controle flexível e ao mesmo tempo eficiente.

Este controlador requer uma alimentação de 24 VDC, que é responsável por fornecer energia tanto para o funcionamento da unidade central de processamento, quanto para a alimentação dos dispositivos de entrada e saída. Como o nome sugere, essa versão da CPU opera com entradas de corrente contínua (DC).

As 8 entradas digitais são utilizadas para a leitura de sinais provenientes de sensores de campo ou dispositivos de controle. Esses sinais podem ser, por exemplo, provenientes de sensores de proximidade, botões, ou chaves fim de curso. A CPU interpreta esses sinais como "ligado" ou "desligado" (0 ou 1), dependendo da presença ou ausência de tensão.

As saídas da CPU 1212C são do tipo relé (Rly). São 6 saídas no total. Relés são úteis porque oferecem isolamento elétrico entre a lógica de controle e os dispositivos controlados, podendo operar em tensões diferentes. As saídas relé são versáteis, permitindo o controle de dispositivos tanto de corrente alternada (AC) quanto de corrente contínua (DC), como motores, solenóides e lâmpadas.

O processador é o núcleo do CLP, responsável pela execução do programa lógico, tomada de decisões e controle dos dispositivos conectados. Ele processa as informações das entradas e gera os comandos apropriados nas saídas com base no programa armazenado na memória. O processador opera em uma velocidade que permite ciclos rápidos de processamento, adequados para controle em tempo real de processos industriais.

A CPU 1212C inclui uma porta PROFINET (Ethernet), o que facilita a comunicação com outros dispositivos na rede. O protocolo PROFINET é amplamente utilizado para comunicação entre dispositivos industriais, permitindo que a CPU troque dados com outros CLPs, interfaces homem-máquina (IHM) ou sistemas SCADA. Além disso, a CPU suporta outros protocolos de comunicação, como Modbus TCP e S7 Communication.

Uma das grandes vantagens deste modelo é a possibilidade de expansão. Ela suporta até 3 módulos de sinal (SM) adicionais, o que permite aumentar o número de entradas e saídas digitais ou analógicas conforme necessário. Além disso, ela também pode se conectar a módulos de comunicação (CM) e módulos de tecnologia (TM) para funções específicas, como contadores rápidos ou controle de eixos.

5.1 Interface para leitura do protocolo

Para realizar a leitura será utilizado um módulo expansão CM-1241 RS485, artigo 6ES7 241-1CH32-0XB0, figura 16, junto à CPU S7-1200. Este módulo possui uma porta serial DB9 para a conexão da rede.

O módulo de comunicação é projetado para integração direta com as CPUs do SIMATIC S7-1200, sem a necessidade de modificações complexas no hardware. Ele é configurado e programado usando o software TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*), que oferece uma interface amigável para programação e configuração dos parâmetros de comunicação, tornando a integração rápida e eficiente.

Figura 16 – Módulo de expansão CM-1241.



Fonte: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/6ES7241-1CH32-0XB0> .

5.2 Estrutura da rede

A rede de comunicação entre os controladores e PLC será feita pontualmente por subestação, tomando como exemplo a subestação 3 que possui 2 controladores instalados, 1 em cada LT. Estes controladores serão interligados entre si e o CLP, utilizando um resistor de final de linha já integrado no controlador, conforme figura 17.

Figura 17 – Esquema de interligação da rede dos controladores com o PLC.



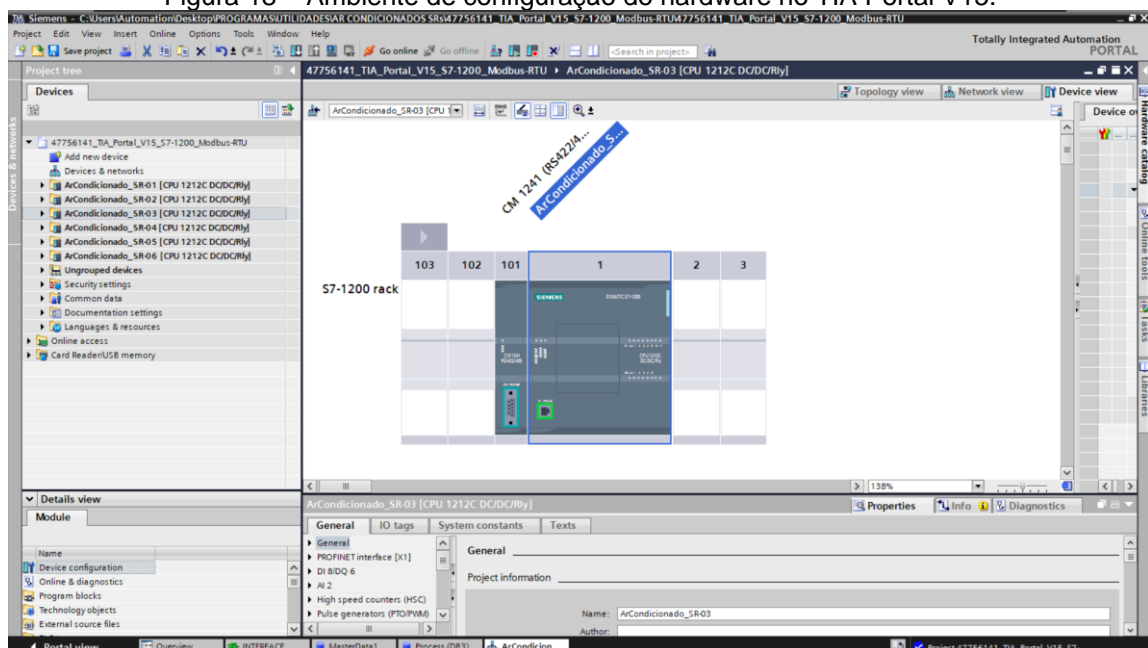
Fonte: Autor.

5.3 Ambiente de programação Siemens TIA Portal

O TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) é uma plataforma de engenharia integrada desenvolvida pela Siemens, projetada para unificar a programação, configuração e operação de sistemas de automação industrial. Ele serve como um ambiente centralizado para a criação de projetos envolvendo controladores lógicos programáveis (CLPs), interfaces homem-máquina (IHMs), sistemas de drives, redes industriais e muito mais. A ideia por trás do TIA Portal é oferecer uma abordagem intuitiva e simplificada para o desenvolvimento de sistemas de automação, permitindo que engenheiros e técnicos possam realizar todo o trabalho de configuração em um único ambiente de software.

Uma das principais vantagens do TIA Portal é a sua integração entre diferentes áreas da automação industrial. Em vez de utilizar diversos softwares separados para programar o CLP, configurar a rede de comunicação, desenvolver a interface homem-máquina ou ajustar parâmetros de variadores de frequência, o TIA Portal permite que todas essas tarefas sejam realizadas dentro da mesma interface, conforme é possível observar na figura 18, que mostra o ambiente de montagem da parte física dos equipamentos. Isso reduz significativamente a complexidade e o tempo necessário para projetar, testar e colocar em operação um sistema de automação, proporcionando uma experiência coesa e eficiente.

Figura 18 – Ambiente de configuração do hardware no TIA Portal V15.



Fonte: Autor.

Além da programação de CLPs da série SIMATIC, o TIA Portal também inclui ferramentas para o desenvolvimento de telas para IHMs, integração com sistemas SCADA e configuração de redes industriais, como PROFINET e Modbus. A interface gráfica do software é projetada para ser intuitiva, com recursos visuais como a visualização dos dispositivos conectados, permitindo um fácil entendimento do sistema como um todo. Isso facilita a visualização de diagnósticos de falhas, ajustes de parâmetros e a interconexão entre dispositivos.

Outro ponto importante é que o TIA Portal facilita a programação de lógica de controle através de diferentes linguagens de programação, como diagrama *ladder* (LAD), mostrado na figura 19, texto estruturado (SCL) e blocos de função (FBD), permitindo que os programadores escolham a abordagem que melhor se adapta ao seu estilo ou à complexidade do projeto. Com isso, ele garante flexibilidade para desenvolvedores de diferentes níveis de experiência, além de suportar simulações para testes de programas antes da implementação física, o que reduz o risco de erros e economiza tempo.

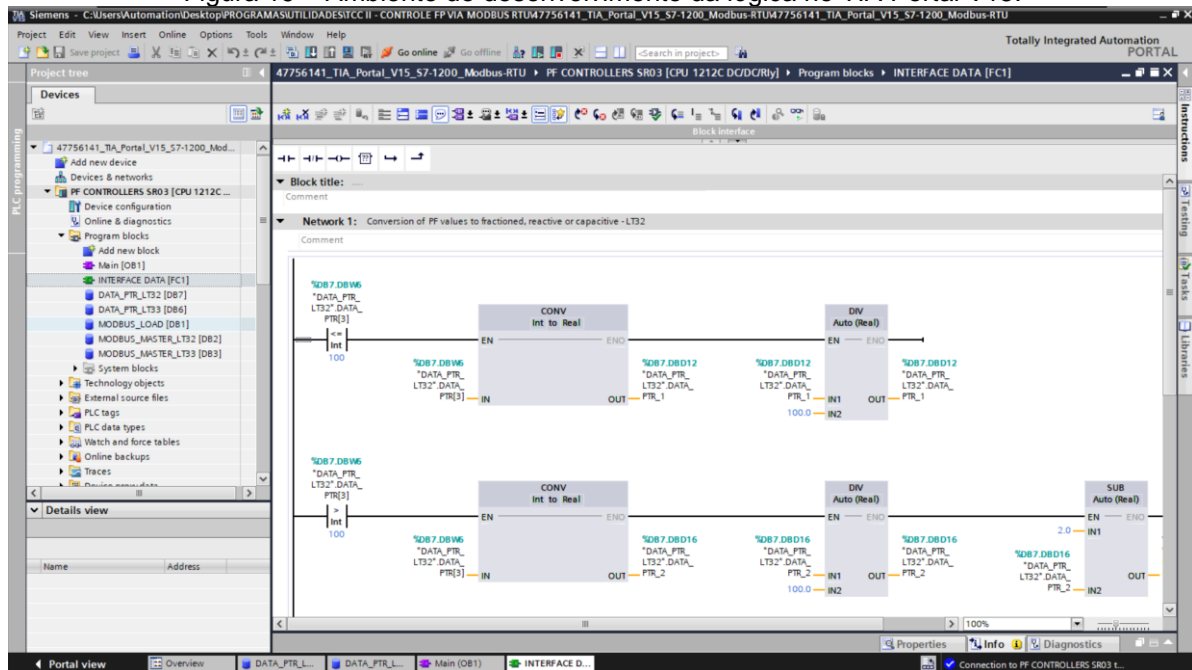
O TIA Portal também oferece suporte a atualizações contínuas e novos módulos, permitindo que sejam incorporados dispositivos e funcionalidades recentes ao longo do tempo. Isso é crucial para a adaptação em ambientes industriais dinâmicos, onde novas tecnologias são introduzidas regularmente. Além disso, ele promove a interoperabilidade entre gerações diferentes de hardware, permitindo que tanto equipamentos antigos quanto novos possam ser configurados dentro do mesmo projeto.

Outro aspecto fundamental é a sua robustez no gerenciamento de dados e segurança. O software permite o controle centralizado de permissões de acesso, garantindo que apenas usuários autorizados possam fazer alterações críticas no sistema. Isso é particularmente importante em ambientes industriais onde a integridade dos dados e a segurança operacional são prioridades. O TIA Portal também inclui ferramentas de diagnóstico e monitoramento em tempo real, permitindo a identificação rápida de falhas e o ajuste dinâmico de parâmetros, o que minimiza o tempo de inatividade e melhora a eficiência operacional.

Por fim, o TIA Portal se destaca pela sua abordagem modular e expansível, tornando-o adequado tanto para pequenas aplicações de automação quanto para sistemas complexos e distribuídos. Ele oferece uma gama de pacotes de licenciamento que se adaptam às necessidades específicas de cada projeto, desde

soluções mais simples até ambientes industriais sofisticados com múltiplas camadas de controle e comunicação. Dessa forma, se consolidou como uma das ferramentas mais completas e amplamente utilizadas no campo da automação industrial, proporcionando eficiência, confiabilidade e facilidade de uso aos seus usuários.

Figura 19 – Ambiente de desenvolvimento da lógica no TIA Portal V15.



Fonte: Autor.

5.4 AVEVA PI Vision

O AVEVA PI Vision é uma poderosa ferramenta de visualização e análise de dados em tempo real, amplamente utilizada em ambientes industriais para monitoramento, controle e otimização de operações. Desenvolvido a partir do sistema PI System, que é um dos padrões mais reconhecidos para a coleta e armazenamento de dados históricos de processos, o PI Vision se destaca por oferecer uma interface intuitiva e acessível que permite aos usuários visualizar, analisar e compartilhar dados de forma eficiente.

A principal função do AVEVA PI Vision é proporcionar uma plataforma para que operadores, engenheiros e gestores possam monitorar o desempenho de suas instalações em tempo real, com a capacidade de visualizar tendências e identificar anomalias de maneira rápida. A interface gráfica da ferramenta é altamente customizável, permitindo que os usuários criem dashboards personalizados que exibem os dados mais relevantes para suas operações específicas. Além disso, os

gráficos e diagramas podem ser configurados para serem interativos, o que permite uma análise mais detalhada e o ajuste de parâmetros diretamente na tela, de acordo com as necessidades do processo, conforme Guia do Usuário AVEVA PI Vision, 2023.

Um dos grandes diferenciais do PI Vision é sua integração com o PI Data Archive, a base de dados central do sistema PI, que coleta e armazena uma vasta quantidade de dados de sensores, instrumentos e sistemas de controle distribuído (DCS). Esses dados podem ser historizados e acessados por meio do PI Vision, permitindo uma análise aprofundada de eventos passados e uma comparação com os dados atuais. Esse recurso é particularmente útil em ambientes onde a otimização de processos e a detecção precoce de falhas são cruciais para a eficiência e a segurança operacional.

A usabilidade do AVEVA PI Vision é outro ponto relevante. A ferramenta foi desenvolvida com foco na simplicidade de uso, sem que isso comprometa a profundidade da análise. Através de uma interface web, acessível via navegador em dispositivos móveis ou desktops, os usuários podem acessar seus dashboards e relatórios de qualquer lugar, a qualquer momento, desde que tenham as devidas permissões. Essa característica torna o PI Vision uma solução ideal para operações distribuídas geograficamente, onde a tomada de decisões precisa ser baseada em informações consolidadas e acessíveis em tempo real.

Outro aspecto importante do AVEVA PI Vision é a sua capacidade de integração com outras ferramentas e sistemas da suíte AVEVA, assim como com sistemas de terceiros. A plataforma é frequentemente utilizada em conjunto com sistemas SCADA, MES (*Manufacturing Execution Systems*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*), o que possibilita uma visão mais holística dos processos empresariais, desde o chão de fábrica até o nível corporativo. Essa integração é fundamental para fornecer insights mais amplos sobre a performance dos negócios, ajudando as organizações a alcançarem maior eficiência operacional.

O PI Vision também oferece suporte a uma série de recursos analíticos, como cálculos em tempo real e o uso de expressões customizadas para criar fórmulas e métricas que ajudam a identificar padrões e tendências nos dados. Além disso, a ferramenta permite a comparação de dados históricos e a superposição de múltiplos gráficos em uma mesma visualização, o que facilita a identificação de correlações entre diferentes variáveis de processo. Essa funcionalidade é essencial para

engenheiros de processo que precisam otimizar o desempenho das operações e reduzir tempos de inatividade.

Além da análise em tempo real, o PI Vision facilita a colaboração entre diferentes departamentos dentro de uma organização. Por meio da criação e compartilhamento de dashboards, os dados podem ser disseminados de forma mais eficiente, permitindo que diferentes equipes acessem as mesmas informações e tomem decisões baseadas em dados consistentes. Essa colaboração é vital em ambientes industriais onde a coordenação entre departamentos de produção, manutenção e qualidade pode influenciar diretamente o sucesso das operações.

Em termos de segurança e gestão de acessos, o AVEVA PI Vision também se destaca ao implementar um robusto sistema de permissões que garante que apenas usuários autorizados possam visualizar ou alterar determinadas informações. Isso é essencial para garantir a integridade dos dados e proteger as operações contra acessos não autorizados, especialmente em indústrias críticas, como petróleo e gás, energia e saneamento.

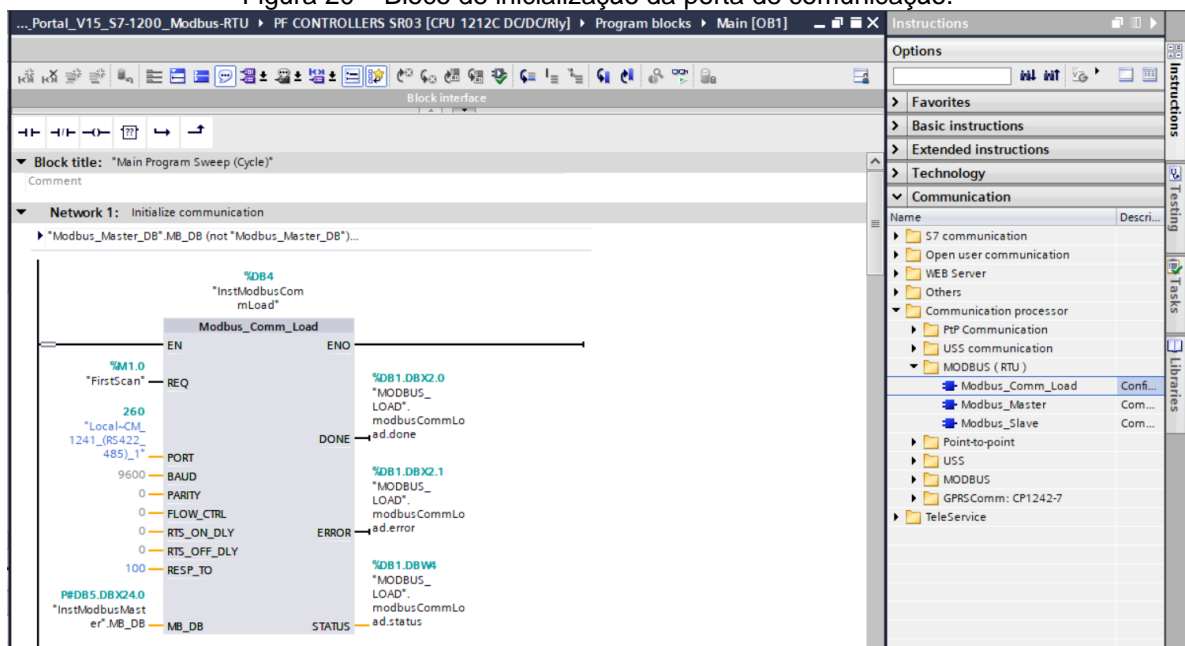
Em resumo, o AVEVA PI Vision é uma ferramenta essencial para empresas que buscam otimizar o monitoramento de suas operações industriais, oferecendo uma plataforma poderosa e flexível para a visualização e análise de dados em tempo real. Com sua interface intuitiva, integração com diversos sistemas, e capacidade de promover a colaboração e a tomada de decisões baseadas em dados, o PI Vision é amplamente adotado em diferentes setores industriais. Ele permite que as empresas aumentem sua eficiência, reduzam custos operacionais e melhorem a segurança de suas operações, tornando-se um componente chave para o sucesso em ambientes altamente competitivos.

6 CRIAÇÃO DA LÓGICA, REDE, TELAS E CONVERSÃO DOS DADOS

6.1 Bloco para inicialização do cartão CM1241 RS485

Para inicializar a comunicação da porta, é necessário utilizar blocos que desenvolvem este papel, nesse caso utiliza-se o “*Modbus_Comm_Load*”, figura 20, que está disponível na biblioteca do TIA Portal.

Figura 20 – Bloco de inicialização da porta de comunicação.



Fonte: Autor.

A parametrização deve ser feita de acordo com a necessidade e especificação de cada equipamento, neste caso o manual do controlador pede que sejam respeitados os seguintes parâmetros, velocidade de transmissão (*Baud Rate*) a critério do usuário desde que use a mesma no equipamento mestre e no escravo, 8 bits de dados, 1 bit de parada, sem paridade e endereço por conta também do usuário, conforme mostra a figura 21, retirada do manual do controlador.

Figura 21 – Informações sobre o protocolo Modbus RTU do controlador.

[Infosheet Modbus RTU](#)

for BR6000, BR7000, MMI6000, MMI7000

Serial interface Settings

Use equal settings for master and slave

Baud rate: 4800, 9600, 19200, 38400Baud

Data bits: 8

Stop bits: 1

Parity: None

Address Use every address (1..32) only once

Fonte: Siemens.

Os demais parâmetros do bloco estão listados e especificados abaixo, conforme manuais técnicos disponíveis no próprio TIA Portal e no livro *Automating with SIMATIC ST-1200*, de Berger, HANS, 2013.

- EN: habilita o funcionamento do bloco;
- REQ: quando em estado lógico 1, envia a solicitação para funcionamento da porta;
- PORT: aponta para qual porta deve-se utilizar, de acordo com o hardware;
- BAUD: taxa de transmissão dos dados;
- PARITY: utilizado para definir o método de verificação de erro durante a comunicação Modbus. Ele adiciona um bit de paridade ao final de cada byte de dados para garantir a integridade da transmissão;
- FLOW_CTRL: utilizado para regular o envio e recebimento de dados, garantindo que a comunicação entre dispositivos ocorra de maneira fluida, sem perda de dados ou congestionamento. Quando o parâmetro é configurado como 0, não há controle de fluxo na comunicação. Isso significa que os dados são enviados e recebidos continuamente sem qualquer mecanismo de controle. Essa configuração é mais comum em comunicações simples e de curto alcance, onde não há risco de congestionamento de dados.;
- RTS_ON_DLY: define um atraso, em milissegundos, entre o momento em que o controlador coloca o sinal RTS em estado lógico 1 (indicando que deseja enviar dados) e o início efetivo da transmissão dos dados na linha de comunicação;
- RTS_OFF_DLY: define um atraso, em milissegundos, entre o final da transmissão dos dados e o momento em que o sinal RTS é desativado,

liberando a linha de comunicação para que outros dispositivos possam transmitir;

- RESP_TO: tempo que aguarda a resposta do equipamento, caso não haja no tempo estipulado, o bloco apresenta um erro.
- MB_DB: referência ao bloco Modbus_Master que será utilizado para enviar as solicitações de leitura ou escrita ao equipamento. Como neste caso o protocolo trata-se de Modbus RTU, os blocos são um pouco diferentes, e neste parâmetro deve-se referenciar à uma posição específica da DB(do inglês *Data Block* que refe-se a uma tabela de dados utilizada para leitura e escrita de informações) do bloco Modbus_Master, conforme figura 22;

Figura 22 – Posição na DB para referenciamento do bloco Modbus_Comm_Load.

Name	Data type	Offset	Default value	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Comment
16	Blocked_Proc_Timeout	Real	18.0	3.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Time to wait upon a blocked Modbus M...
17	Extended_Addressing	Bool	22.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Configures slave addressing; 1=double...
18	Compatibility_Mode	Bool	22.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1= data transfer for FC1, FC2 and FC15 ...
19	MB_DB	P2P_MB_BASE	24.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modbus parameters
20	Send_P2P	Send_P2P			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Local instance of the instruction Send_P...
21	Receive_P2P	Receive_P2P			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Local instance of the instruction Receive...
22	Receive_Reset	Receive_Reset			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Local instance of the instruction Receive...
23	S_PORT	Word	2090.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
24	S_RESP_TD	Word	2092.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
25	S_CHAR_GAP	Word	2094.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
26	S_RETRIES	Word	2096.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
27	S_MB_ADDR	UInt	2098.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modbus RTU station address
28	S_MODE	USInt	2100.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Specifies the type of request
29	S_DATA_ADDR	UDInt	2102.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Starting Address in the Slave
30	S_DATA_LEN	UInt	2106.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Specifies the number of bits or words to ...
31	w_retries	Word	2108.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
32	y_slaveAddrHi	Byte	2110.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
33	y_slaveAddrLo	Byte	2111.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
34	StartAddress	Word	2112.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
35	Value	Word	2114.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
36	y_FCode	Byte	2116.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
37	FCode_usint	A... USInt	2116.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
38	INTERNAL_CDATA	Array[1..257] of Byte	2118.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
39	FC1_2_Req	A... P2P_MB_FC1_2_Req	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
40	FC1_4_ValResp	A... P2P_MB_FC1_4_Val...	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
41	FC3_4_Req	A... P2P_MB_FC3_4_Req	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
42	FC5_6_Req	A... P2P_MB_FC5_6_Req	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
43	FC5_6_ValResp	A... P2P_MB_FC5_6_Val...	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
44	FC15_16_Req	A... P2P_MB_FC15_16_...	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
45	FC11_Req	AT... P2P_MB_FC11_Req	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only
46	FC11_ValResp	A... P2P_MB_FC11_ValR...	2118.0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	For internal use only

Fonte: Autor.

- DONE: quando a comunicação é executada com sucesso, apresenta um estado lógico igual a 1;
- ERROR: após a mudança de estado do parâmetro REQ de 0 para 1, se ocorrer algum erro, esta saída irá apresentar estado lógico 1;

- STATUS: apresenta uma série de códigos em hexadecimal que podem ser consultados nos manuais técnicos do TIA Portal e indicam o que está correndo com o bloco, em caso de erros, auxilia no diagnóstico.

6.2 Bloco para envios de solicitações de leitura ao endereço escravo

Com o bloco “*Modbus_Master*” é feito o envio de solicitações de leitura ao controlador e a gravação dos valores devolvidos pelo mesmo, além do controle de fluxo dos dados. Para isso deve-se criar apenas 1 bloco, utilizando-o quantas vezes forem necessárias, com parâmetros diferentes para cada equipamento, desta forma impede-se que haja conflitos entre o envio e recebimento de informações quando se têm mais de um equipamento na rede.

Os parâmetros do bloco são:

- EN: habilita o funcionamento do bloco;
- REQ: quando em estado lógico 1, envia a solicitação de leitura para o endereço especificado;
- MB_ADDR: aponta para qual endereço deve ser enviado a solicitação;
- MODE: modo de utilização do bloco, 0 para leitura, 1 para escrita;
- DATA_ADDR: endereço de dados. Conforme ANEXO B, para leitura das informações deve-se enviar o código de função 3 ao controlador, para que isso seja feito, ao consultar o manual técnico do TIA Portal, conforme figura 23, observa-se que para enviar um código de função 3 no modo 0(leitura), deve-se utilizar o valor de 40001 neste parâmetro, como deseja-se ler a partir do endereço 16, o valor inserido deve ser de 40017. Na figura 24 apresenta-se o bloco totalmente parametrizado;

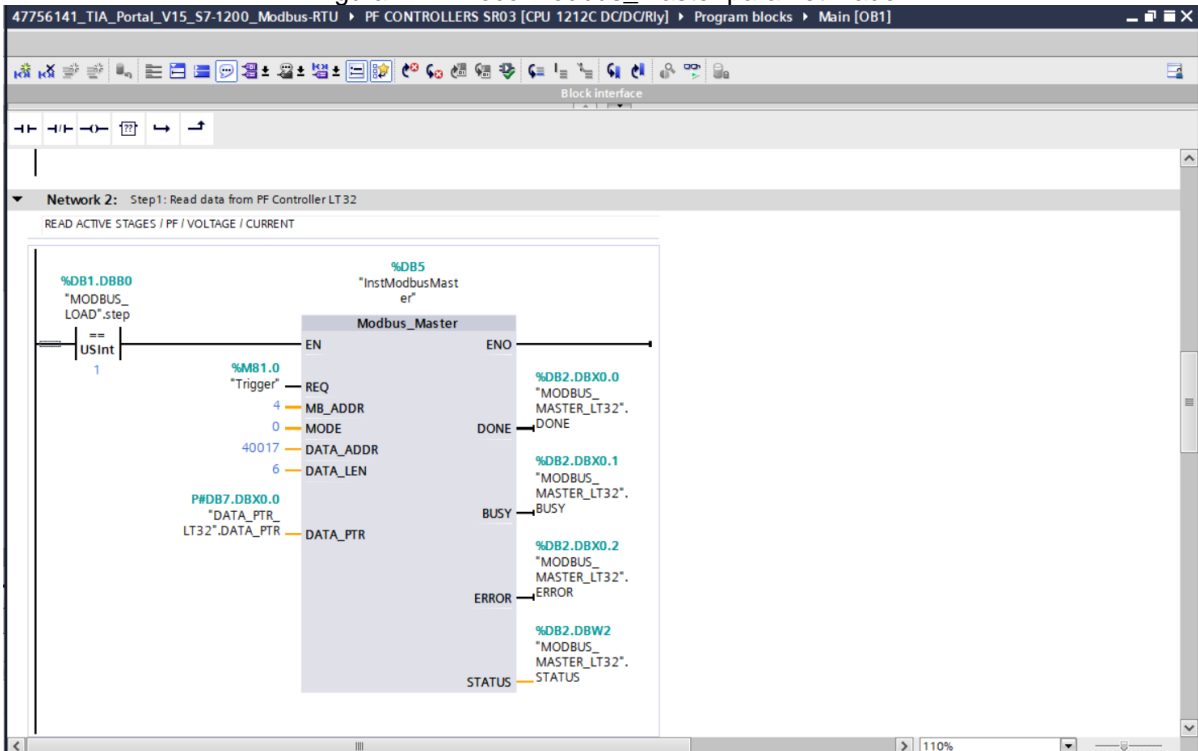
Figura 23 – Códigos de função Modbus.

Modbus_Master: Communicate as Modbus master

MODE	DATA_ADDR(Modbus address)	DATA_LEN (data length)	Modbus function code	Operation and data
0		Bits per request	01	Read output bits: 0 to 9998
	1 to 9999	1 to 2000/1992 †		
0		Bits per request	02	Read input bits: 0 to 9998
	10001 to 19999	1 to 2000/1992 †		
0		Words per request	03	Read hold register: 0 to 9998 0 to 65534
	40001 to 49999	1 to 125/124 †		
	400001 to 465535	1 to 125/124 †		
0		Words per request	04	Read input words: 0 to 9998
	30001 to 39999	1 to 125/124 †		
1		Bits per request	05	Write one output bit: 0 to 9998
	1 to 9999	1		
1		1 word per request	06	Write one hold register: 0 to 9998 0 to 65524
	40001 to 49999	1		
	400001 to 465535	1		

Fonte: Siemens.

Figura 24 – Bloco Modbus_Master parametrizado.



Fonte: Autor.

- DATA_LEN: quantidade de dados que será solicitado ao endereço modbus. Como neste caso em primeiro momento deseja-se ler apenas as informações principais do controlador, foi estipulado que fossem

coletadas 6 informações, a partir do endereço 16 da tabela Modbus, ANEXO A, os quais referem-se a estágios ativos (quantidade de bancos em funcionamento), dois bits, 17 e 18 que não possuem informação, cosseno de phi, que é o próprio fator de potência, tensão e corrente que estão sendo registrados;

- DATA_PTR: aponta onde as informações serão escritas, neste caso, usou-se uma DB, com um arranjo de dados de mesma quantidade de informações solicitadas, conforme figura 25, esta técnica é conhecida também como ponteiro;

Figura 25 – DB com arranjo de dados para gravação das informações.

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
Static										
dataPtr	Array[0..5] o...	0.0								
dataPtr[0]	Int	0.0	0	12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active stages
dataPtr[1]	Int	2.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Not in use
dataPtr[2]	Int	4.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Not in use
dataPtr[3]	Int	6.0	0	92		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Power Factor
dataPtr[4]	Int	8.0	0	264		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Voltage (V)
dataPtr[5]	Int	10.0	0	1701		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Current (A)
dataPtr_1	DInt	12.0	0	174809		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Differential reactive power
dataPtr_2	Int	16.0	0	104		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Target PF
dataPtr_3	Real	18.0	0.0	0.92		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Power factor real
dataPtr_4	Real	22.0	0.0	174.809		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Differential reactive power real (kVar)
dataPtr_5	Real	26.0	0.0	0.96		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Target PF real

Fonte: Autor.

- DONE: quando a comunicação é executada com sucesso, apresenta um estado lógico igual a 1;
- BUSY: quando em estado igual a 1 significa que uma solicitação está sendo enviada ao endereço, em estado 0 significa que não está sendo utilizado no momento;
- ERROR: após a mudança de estado do parâmetro REQ de 0 para 1, se ocorrer algum erro, esta saída irá apresentar estado lógico 1;
- STATUS: apresenta uma série de códigos em hexadecimal que podem ser consultados nos manuais técnicos do TIA Portal e indicam o que está correndo com o bloco, em caso de erros, auxilia no diagnóstico.

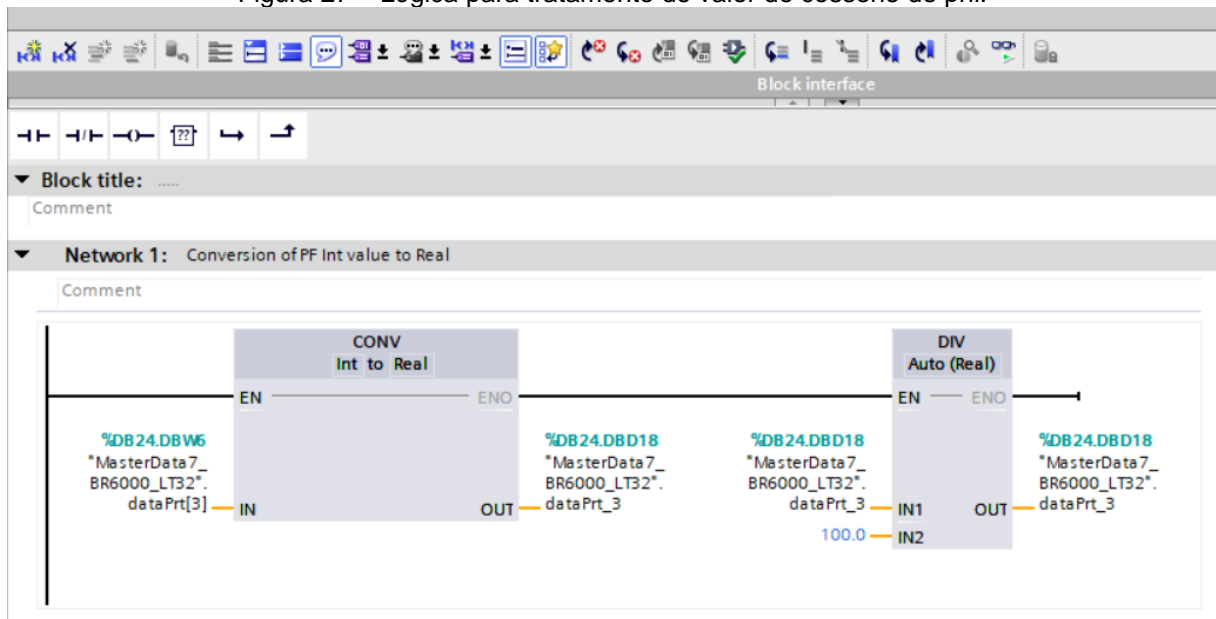
6.3 Esquema para envio das solicitações

Como citado anteriormente, para envio das solicitações de leitura, usa-se apenas um mesmo bloco, repetindo-o quanta vezes forem necessárias para cada equipamento na rede, isso pode ser feito de forma cíclica em uma espécie de máquina de passos. A lógica para que isso aconteça é feita tendo como início o primeiro ciclo do CLP. Dentro da configuração da CPU existe um campo que quando habilitado libera algumas memórias nativas, uma delas é a M1.0 cujo estado lógico é igual a 1 quando a CPU faz o primeiro ciclo do OB1. O OB1 por sua vez trata-se de um bloco de organização responsável pela execução de todo o programa em uma determinada ordem. Quando têm-se duas funções distintas criadas, mas deseja-se executar a função X primeiro que a Y, então no OB1 deve-se declarar a X primeiro. Caso uma das funções não seja chamada no bloco, ela não será executada.

Na figura 26 está a lógica criada para que seja feita a contagem de passos. A mesma inicia com a M1.0 disparando um temporizador de atraso no desligamento, ao final deste tempo, 500 mili segundos, os blocos “N_TRIG” que são blocos detectores de borda negativa, quando recebem um estado lógico 1 na entrada CLK, armazenam este valor em uma memória, quando a sua entrada vai para 0 o valor de sua saída Q vai para 1 pela duração de 1 ciclo do CLP. Assim o primeiro bloco acionado pelo temporizador, ao final do tempo liberada estado 1 e aciona o bloco de soma que adiciona 1 ao valor dos passos. No próximo ciclo do CLP o bloco “N_TRIG” M81.1 irá liberar sinal 0 fazendo com que o “N_TRIG” M81.2 acione a memória “Trigger” M81.0 recomeçando novamente o ciclo. Quando o valor dos passos é igual a 16, tem-se a condição do comparador e então aciona-se o bloco “MOVE” que envia valor 0 ao número de passos, recomeçando a contagem novamente.

Um pouco abaixo é possível ver que existem mais duas linhas com blocos “N_TRIG”, estas são acionadas pelos bits de concluído e pelo bit de erro do bloco de inicialização da porta, isso serve como uma segurança, em caso de algum erro será tentado novamente executar a comunicação, e após concluído também.

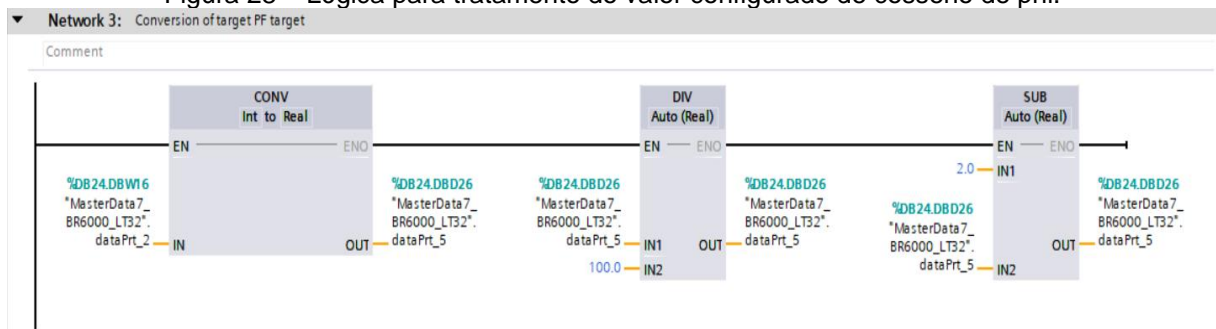
Figura 27 – Lógica para tratamento do valor de cosseno de phi.



Fonte: Autor.

A leitura do fator atual sem dúvida é a principal informação a ser coletada, mas saber quanto está configurado no controlador também torna-se vital para identificar se foi devidamente parametrizado. O valor devolvido do fator de potência configurado, está no item 109 do ANEXO A, mas, o valor também é fornecido em decimal, mas um pouco diferente, onde 100 é o mesmo que 1, 101 é 0,99 indutivo, 103, 0,97 e sucessivamente. Para tratar este dado foi criada a lógica na figura 28, onde o valor é convertido para real, dividido por 100 e então subtraído de 2, e escrito em uma nova posição. Assim um valor de 104, torna-se 0,96 indutivo.

Figura 28 – Lógica para tratamento do valor configurado de cosseno de phi.



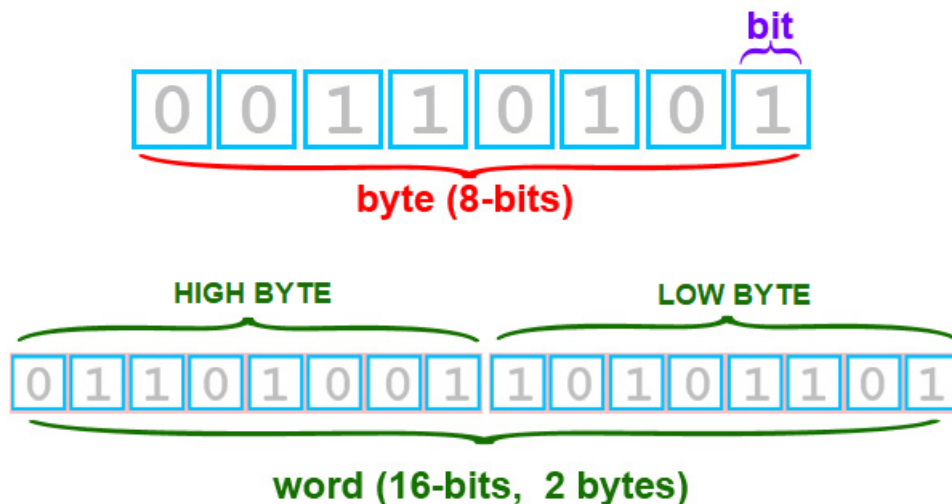
Fonte: Autor

6.5 Leitura da potência diferencial

Outra funcionalidade de grande utilidade do controlador BR6000 é a indicação da potência diferencial, este valor refere-se à quanto de potência reativa está faltando, ou sobrando, caso seja capacitiva, para que o valor do fator de potência alcance o valor estipulado. Normalmente quando precisa-se saber quanto de potência capacitiva utilizar para corrigir o consumo, usa-se um analisador de energia, este por sua vez capta os valores de tensão e corrente e calcula o ângulo entre as senoides, estipulando assim quanto utilizar, como o BR6000 possui medição de ambas as variáveis, ele também consegue realizar este cálculo com precisão, a utilidade desta medição é possibilidade de quantificar mais precisamente os materiais necessário para uma manutenção, seja corretiva ou preventiva.

Este valor é fornecido, conforme visto anteriormente, em dados inteiros, mas neste caso como a unidade de medida é VAr, acaba gerando um número muito grande, quando fala-se em potências de correção, normalmente utiliza-se o múltiplo de mil, kVAr. O controlador envia então o valor em duas partes, uma no “*high-byte*” do item 6 do ANEXO A, e outra no “*low-byte*” do item 7 e ilustrado esquema de envio na figura 29. Para que a informação seja lida corretamente, deve-se ler ambas e um mesmo passo e grava-las em uma única linha da DB, cujo tipo de dado deve ser uma “*double Int*”, ou seja dupla inteira, uma parte da informação será enviada nos primeiros 8 bits e a outra nos últimos 8bits.

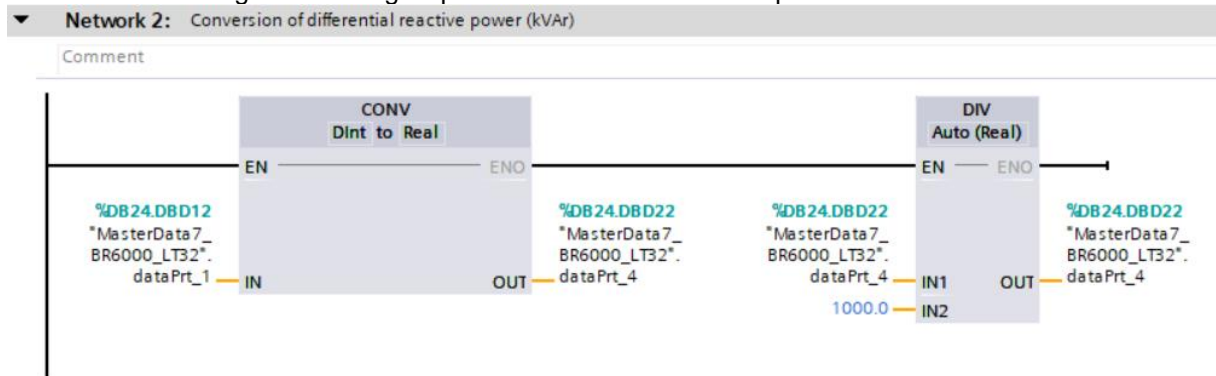
Figura 29 – Esquema de bits de envio das informações.



Fonte: Autor.

Para visualizar um valor com maior concordância de utilização foi desenvolvida uma lógica que converte o valor para um dado real e após divide por 1000, mostrado na figura 30, gravando em outra posição da DB, cuja mesma é a que será utilizada para visualização nas telas que serão montadas no PI Vision.

Figura 30 – Lógica para tratamento do valor de potência diferencial.



Fonte: Autor.

7 CONCLUSÃO

7.1 Resultados: Integração e monitoramento remoto via PI Vision

A integração dos controladores com o CLP permite o monitoramento remoto do fator de potência e outros parâmetros elétricos. Isso proporciona vários benefícios, tais como:

- Monitoramento em Tempo Real: Permite a detecção imediata de anomalias e tomada de ações corretivas e preventivas.
- Eficiência Operacional: Facilita a gestão energética e a implementação de medidas para melhorar o fator de potência.
- Redução de Custos: Ajuda a evitar multas por baixo fator de potência e a reduzir o consumo de energia.

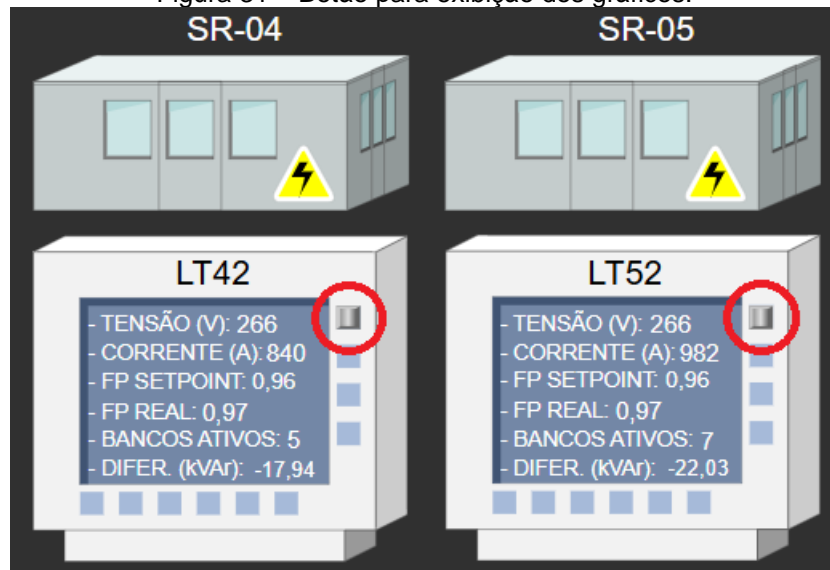
No ANEXO C, a tela criada para o monitoramento, os pontos não preenchidos são referentes às demais subestações que serão integradas ao decorrer do tempo proporcionando a visualização completa do sistema. A tela pode ser acessada por qualquer colaborador, seja de nível gerencial a técnicos de automação, através um navegador da internet.

Outro aspecto muito útil do PI Vision é a possibilidade de cálculos e programação interna das variáveis, por exemplo, no ANEXO D, é possível ver o controlador da SR-03, LT33, em vermelho, isso se dá devido ao fato de que o fator daquela LT está abaixo de 0,92, gerando um diagnóstico visual rápido de pontos com avarias.

7.2 Gráficos de dados

Com a gravação das variáveis no sistema PI Vision é possível visualizar gráficos de forma intuitiva para cada um dos sistemas de correção, onde na interface principal foram inseridos botões nas imagens que representam os controladores, mostrados na figura 31, que ao serem acionados, que exibem um gráfico com diversas variáveis sendo coletadas instantaneamente, conforme ANEXO E.

Figura 31 – Botão para exibição dos gráficos.



Fonte: Autor.

7.3 Considerações finais

Com base na revisão teórica apresentada, fica evidente a importância do fator de potência na eficiência energética e na operação econômica dos sistemas elétricos. A utilização dos controladores BR6000, integrados com o CLP e monitorados em tempo real, oferece uma solução robusta para a otimização deste índice de qualidade de energia. A implementação desta solução pode resultar em melhorias significativas na eficiência energética, redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade dos sistemas elétricos.

A ferramenta PI Vision permite que qualquer colaborador desde o nível operacional ao gerencial consiga visualizar como está o índice geral de utilização de energia da unidade. O foco principal é que líderes de manutenção e técnicos façam esta visualização para antecipar intervenções nas LTs de correção, de forma preventiva, visando manter sempre os sistemas em plena operação e assim podendo reduzir custos com manutenções inesperadas.

8 REFERENCIAL TEÓRICO

AVEVA. AVEVA™ PI Vision™ Guia do Usuário. 2023.

Disponível em: <https://docs.aveva.com/bundle/pi-vision-2023-pt/resource/pi-vision-2023-pt.pdf>

BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC S7-1200: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Basic and TIA Portal*. 2. ed. Erlangen: Publicis Publishing, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 set. 2010.

Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-10: segurança em instalações e serviços em eletricidade. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978.

Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>

E. BOLZAN, PRISCILA. *Análise de circuitos elétricos*. 1 ed. Contentus. 2020

L. BOYLESTAD, ROBERT. *Introdução à análise de circuitos*. 12 ed. Pearson. 2012.

MODBUS ORGANIZATION. *MODBUS over Serial Line, Specification and Implementation guide*. 2006.

Disponível em: https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

SIEMENS. *Power Factor Controller BR6000*. Versão 5.2. 2011.

9 METODOLOGIA

9.1 Revisão Bibliográfica

Estudar os conceitos teóricos e práticos relacionados ao fator de potência, controladores BR6000, protocolo Modbus RTU, PLCs Siemens e TIA Portal. Pesquisar artigos científicos, livros, normas técnicas e manuais de fabricantes. Estudar casos de aplicação semelhantes e analisar suas metodologias e resultados.

9.2 Levantamento de Requisitos

Identificar e definir os requisitos técnicos e funcionais do sistema a ser implementado. Especificar os dispositivos e equipamentos necessários (controladores BR6000, CLP Siemens, interfaces de comunicação). Definir os parâmetros de comunicação Modbus RTU. Estabelecer os objetivos de monitoramento e controle remoto.

9.3 Projeto do Sistema

Desenvolver o projeto detalhado do sistema de comunicação e controle. Elaborar o diagrama de conexão dos dispositivos. Definir a arquitetura de rede e a topologia de comunicação. Planejar a configuração dos controladores BR6000 e do CLP Siemens.

9.4 Configuração e Programação

Configurar os dispositivos e desenvolver o software de controle e monitoramento no TIA Portal. Configurar os parâmetros de comunicação Modbus RTU nos controladores BR6000. Programar o CLP para realizar a leitura dos dados dos controladores via protocolo. Desenvolver a interface de monitoramento no TIA Portal.

9.5 Testes e Validação

Verificar e validar o funcionamento do sistema integrado. Realizar testes de comunicação entre os controladores BR6000 e o PLC. Testar a precisão e a consistência dos dados monitorados. Validar a interface de monitoramento e realizar ajustes necessários.

9.6 Análise de Resultados

Avaliar os resultados obtidos com a implementação do sistema. Analisar a eficiência do sistema de monitoramento. Comparar os resultados com os objetivos e requisitos definidos. Identificar possíveis melhorias e otimizações.

9.7 Documentação

Documentar todo o processo de desenvolvimento e os resultados obtidos. Elaborar o relatório final do TCC, incluindo introdução, justificativa, metodologia, resultados e conclusões. Incluir diagramas, códigos de programação, capturas de tela e fotografias do sistema implementado.

10 ANEXOS

ANEXO A – TABELA MODBUS DO CONTROLADOR

MODBUS- Protocol BR6000 Version 5.1 and higher

Function code 3: read only registers

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
0	00	*	*	Reactive power – H
1	01	*	*	Reactive power – L
2	02	*	*	Active power – H
3	03	*	*	Active power – L
4	04	*	*	Apparent power – H
5	05	*	*	Apparent power – L
6	06	*	*	Differential reactive power – H
7	07	*	*	Differential reactive power – L
8	08	*	*	Actual system output – H (kvar)
9	09	*	*	Actual system output – L (kvar)
10	0A	0	0 - 100%	Actual system output %
11	0B	*	*	Voltage * 10 (max. 300V)
12	0C	*	*	Current * 10 – H
13	0D	*	*	Current * 10 – L
14	0E	*	*	Voltage * 10 – H
15	0F	*	*	Voltage * 10 – L
16	10	0	Steps	Active stages (1. bit=1. stage)
19	13	*	*	Cos-Phi (INTEGER)
20	14	*	*	Voltage
21	15	*	*	Current
22	16	0	Frequency	Frequency
23	17	0	Temp. cabinet	Temperature (cabinet)
24	18	0	Temp. controller	Temperature (inside controller)
25	19	*	*	Energy – H
26	1A	*	*	Energy – L
27	1B	*	*	Energy (supply) – H
28	1C	*	*	Energy (supply) – L
30	1E	*	*	Active stages (1. bit=1. stage)
31	1F	*	*	3 rd voltage harmonic
32	20	*	*	5 th voltage harmonic
33	21	*	*	7 th voltage harmonic
34	22	*	*	9 th voltage harmonic
35	23	*	*	11 th voltage harmonic
36	24	*	*	13 th voltage harmonic
37	25	*	*	15 th voltage harmonic
38	26	*	*	17 th voltage harmonic
39	27	*	*	19 th voltage harmonic
40	28	*	*	THD-V
41	29	*	*	3 rd current harmonic
42	2A	*	*	5 th current harmonic
43	2B	*	*	7 th current harmonic
44	2C	*	*	9 th current harmonic
45	2D	*	*	11 th current harmonic
46	2E	*	*	13 th current harmonic
47	2F	*	*	15 th current harmonic
48	30	*	*	17 th current harmonic
49	31	*	*	19 th current harmonic
50	32	*	*	THD-I

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
51	33	*	*	COS-PHI
60	3C	0	Error-Register	BIT 0 = No measuring voltage BIT 1 = over voltage BIT 2 = over compensated BIT 3 = under compensated BIT 4 = exceed voltage harmonics BIT 5 = over temperature BIT 6 = over current BIT 7 = under voltage
61	3D	0	Warning-Register	BIT 0 = exceed switching cycle BIT 1 = low measuring current BIT 2 = MODBUS-Error BIT 3 = MMI-Error BIT 4 = REMOTE switch-on BIT 5 = REMOTE stop BIT 6 = REMOTE switch-off BIT 7 = REMOTE active
62	3E	0	Message-Reg.	BIT 0 = low system current BIT 1 = external BUS-ERROR BIT 2 = C-DEFECT BIT 4 = system current > NULL BIT 5 = system overload BIT 6 = external error BIT 7 = C-DEFECT-OFF
65	41	*	*	Reactive power (IND) – H
66	42	*	*	Reactive power (IND) – L
67	43	*	*	Reactive power (CAP) – H
68	44	*	*	Reactive power (CAP) – L
71	47	0	1/0	Status flag relay 1
72	48	0	1/0	Status flag relay 2
73	49	0	1/0	Status flag relay 3
74	4A	0	1/0	Status flag relay 4
75	4B	0	1/0	Status flag relay 5
76	4C	0	1/0	Status flag relay 6
77	4D	0	1/0	Status flag relay 7
78	4E	0	1/0	Status flag relay 8
79	4F	0	1/0	Status flag relay 9
80	50	0	1/0	Status flag relay 10
81	51	0	1/0	Status flag relay 11
82	52	0	1/0	Status flag relay 12
83	53	0	1/0	Status flag relay 13
85	55	BIT 8 = CAP BIT 9 = supply	Cos-Phi	
86	56	*	*	Voltage
87	57	*	*	Current
88	58	*	*	BIT 0 = Alarm relay BIT 1 = Relay 1 ... BIT 12 = Relay 12 BIT 13 = Message relay BIT 14 = control direction BIT 0 BIT 15 = control direction BIT 1
89	59	Endstop	Control series	

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
91	5B	Target-Cos-phi 1	Target-Cos-phi 2	
92	5C	*	*	THD-V
93	5D	*	*	THD-I
94	5E	Error-Register	Temp. cabinet	
95	5F	Controller menu: 0 = AUTO 1 = Program 2 = Control Ser. EDITOR 3 = Manually 4 = Service 5 = Expert-Mode 6 = System 7 = Expert-Mode 2	alive counter	
96	60	Frequency	Device type: 1 = BR6000 R	
97	61	*	*	Energy – H
98	62	*	*	Energy – L reset counter
99	63	*	*	Energy (supply) – H
100	64	*	*	Energy (supply)– L reset counter
101	65	0	Language	0...9 (0= German, 1= English, ...)
102	66	0	Current transformer prim.	0...255 (0 = 5A) (see controller menu)
103	67	0	Current transformer sec.	0 = 1A / 1 = 5A
104	68	0	Endstop	1...13
105	69	0	Control series	1...21 (see controller menu)
106	6A	0	Control mode	0..3 (see controller menu)
107	6B	0	Power of 1. stage	Integer (0...255 kvar)
108	6C	0	Power of 1. stage	Decimal (0...99)
109	6D	0	Target-Cos-phi	10 = 0.10 CAP 100 = 1.00 190 = 0.10 IND
110	6E	0	Measuring volt.	(see controller menu)
111	6F	0	Volt.-Converter	(see controller menu)
112	70	0	Switch-on time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
113	71	0	Switch-off time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
114	72	0	Discharge time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
115	73	0	Alarm temp.	40...85°C
116	74	0	Message relay	4...11 (see controller menu)
117	75	0	Fan start up temperature	15...70°C
118	76	0	External input	17...20 (see controller menu)
				2 nd Parameter set
119	77	0	(2) Current transformer prim.	0...255 (0 = 5A) (see controller menu)
120	78	0	(2) Current transformer sec.	0 = 1A / 1 = 5A
121	79	0	(2) Endstop	1...13
122	7A	0	(2) Control series	1..21 (see controller menu)
123	7B	0	(2) Control mode	0..3 (see controller menu)
124	7C	0	(2) Power1.Stage	Integer (0...255 kvar)
125	7D	0	(2) Power1.Stage	Decimal (0...99)
126	7E	0	(2)Target-Cosphi	(see address 109)
127	7F	0	0	Res.

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
128	80	0	0	Res.
129	81	0	(2)Switch-on time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
130	82	0	(2)Switch-off time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
131	83	0	(2)Discharge time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
				End 2 nd parameter set
132	84	0	Threshold THD-V	100 = 10%
141	8D	0	stage quantification	1 st stage
...				
153	99	0	stage quantification	13 th stage
154	9A	0	Stage status	1 st stage 1 = OFF 2 = AUTO 3 = Fix
...				
166	A6	0	Stage status	13 th stage
170	AA	0	Control direction	1 = switch-on 2 = stop 3 = switch-off
181	B5	*	*	Discharge state of 1 st stage remain discharge time
...				
193	C1	*	*	Discharge state of 13 th stage remain discharge time
255	FF	64	51	Software version: 51 = V5.1 64 = BR6400

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
				MASTER-SLAVE-MODE
3824	0EF0	*	*	System power - H
3825	0EF1	*	*	System power - L
3826	0EF2	*	*	Stages (BIT 1 = 1 st stage ..)
3827	0EF3	*	*	Differential reactive power - H
3828	0EF4	*	*	Differential reactive power - L
3829	0EF5	STATUS	ENDSTOP	Status: BIT13 = under current BIT14 = 1 (BR6000) BIT15 = external input
	0EF6			REMOTE MEASURING
3830	0EF7	*	*	Reactive power - H
3831	0EF8	*	*	Reactive power - L
3832	0EF9	*	*	Active power - H
3833	0EFA	*	*	Active power - L
3834	0EFB	*	*	Apparent power -H
3835	0EFC	*	*	Apparent power - L

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
5999	176F	64	51	device version: 51 = V5.1 64 = BR6400

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
6000	1770	*	*	Reactive power - H
6001	1771	*	*	Reactive power - L
6002	1772	*	*	Active power - H
6003	1773	*	*	Active power - L
6004	1774	*	*	Apparent power - H
6005	1775	*	*	Apparent power - L
6006	1776	*	*	Differential reactive power - H
6007	1777	*	*	Differential reactive power - L
6008	1778	Frequency	Cos-phi	Cos-phi 0...100...200
6009	1779	*	*	Voltage (> 85534V = 0xFFFF)
6010	177A	*	*	Current
6011	177B	*	*	BIT 0 = Message relay BIT 1...12 = Stages 1..12 BIT 13 = Alarm relay BIT 14/15 = control direction
6012	177C	Temp. cabinet	Max. temp. cabinet	Temperature
6013	177D	*	*	THD-V
6014	177E	*	*	THD-I
6015	177F	*	*	Max. reactive power - H
6016	1780	*	*	Max. reactive power - L
6017	1781	*	*	Max. active power - H
6018	1782	*	*	Max. active power - L
6019	1783	*	*	Max. apparent power - H
6020	1784	*	*	Max. apparent power - L
6021	1785	*	*	Max. voltage
6022	1786	Error-Mask	Errors	BIT0 = No measuring voltage BIT1 = over voltage BIT2 = over compensated BIT3 = under compensated BIT4 = Harmonics BIT5 = over temperature BIT6 = over current BIT7 = under voltage MASK: 0 = hide-error / 1 = active BIT8 = No measuring voltage BIT9 = over voltage BIT10 = over compensated BIT11 = under compensated BIT12 = Harmonics BIT13 = over temperature BIT14 = over current BIT15 = under voltage

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
6023	1787	Warning	Messages	BIT 0 = low system current BIT 1 = External-BUS-ERROR BIT 2 = C-DEFECT BIT 3 = system current > NULL BIT 4 = system over load BIT 5 = external error BIT 6 = C-DEFECT-OFF BIT 7 = AUTO-INIT-ERROR ----- BIT 8 = exceed switching cycle BIT 9 = low measuring current BIT 10 = MODBUS-Error BIT 11 = MMI-Error BIT 12 = REMOTE switch-on BIT 13 = REMOTE stop BIT 14 = REMOTE switch-off BIT 15 = REMOTE active
6024	1788	Mask Warning	Mask Messages	MASK: 0 = hide-error / 1 = active ----- BIT 0 = low system current BIT 1 = External-BUS-ERROR BIT 2 = C-DEFECT BIT 3 = system current > NULL BIT 4 = system over load BIT 5 = external error BIT 6 = C-DEFECT-OFF BIT 7 = AUTO-INIT-ERROR ----- BIT 8 = exceed switching cycle BIT 9 = low measuring current BIT 10 = MODBUS-Error BIT 11 = MMI-Error BIT 12 = REMOTE switch-on BIT 13 = REMOTE stop BIT 14 = REMOTE switch-off BIT 15 = REMOTE active
6025	1789	*	*	Switching cycles 1 st stage - H
6026	178A	*	*	Switching cycles 1 st stage - L
6027	178B	*	*	Switching cycles 2 nd stage - H
6028	178C	*	*	Switching cycles 2 nd stage - L
6029	178D	*	*	Switching cycles 3 rd stage - H
6030	178E	*	*	Switching cycles 3 rd stage - L
6031	178F	*	*	Switching cycles 4 th stage - H
6032	1790	*	*	Switching cycles 4 th stage - L
6033	1791	*	*	Switching cycles 5 th stage - H
6034	1792	*	*	Switching cycles 5 th stage - L
6035	1793	*	*	Switching cycles 6 th stage - H
6036	1794	*	*	Switching cycles 6 th stage - L
6037	1795	*	*	Switching cycles 7 th stage - H
6038	1796	*	*	Switching cycles 7 th stage - L
6039	1797	*	*	Switching cycles 8 th stage - H
6040	1798	*	*	Switching cycles 8 th stage - L
6041	1799	*	*	Switching cycles 9 th stage - H
6042	179A	*	*	Switching cycles 9 th stage - L
6043	179B	*	*	Switching cycles 10 th stage - H
6044	179C	*	*	Switching cycles 10 th stage - L
6045	179D	*	*	Switching cycles 11 th stage - H
6046	179E	*	*	Switching cycles 11 th stage - L
6047	179F	*	*	Switching cycles 12 th stage - H

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
6048	17A0	*	*	Switching cycles 12 th stage - L
6049	17A1	*	*	Switching cycles 13 th stage - H
6050	17A2	*	*	Switching cycles 13 th stage - L
6051	17A3	*	*	Operation time - C 1 H
6052	17A4	*	*	Operation time - C 1 L
6053	17A5	*	*	Operation time - C 2 H
6054	17A6	*	*	Operation time - C 2 L
6055	17A7	*	*	Operation time - C 3 H
6056	17A8	*	*	Operation time - C 3 L
6057	17A9	*	*	Operation time - C 4 H
6058	17AA	*	*	Operation time - C 4 L
6059	17AB	*	*	Operation time - C 5 H
6060	17AC	*	*	Operation time - C 5 L
6061	17AD	*	*	Operation time - C 6 H
6062	17AE	*	*	Operation time - C 6 L
6063	17AF	*	*	Operation time - C 7 H
6064	17B0	*	*	Operation time - C 7 L
6065	17B1	*	*	Operation time - C 8 H
6066	17B2	*	*	Operation time - C 8 L
6067	17B3	*	*	Operation time - C 9 H
6068	17B4	*	*	Operation time - C 9 L
6069	17B5	*	*	Operation time - C 10 H
6070	17B6	*	*	Operation time - C 10 L
6071	17B7	*	*	Operation time - C 11 H
6072	17B8	*	*	Operation time - C 11 L
6073	17B9	*	*	Operation time - C 12 H
6074	17BA	*	*	Operation time - C 12 L
6075	17BB	*	*	Operation time - C 13 H
6076	17BC	*	*	Operation time - C 13 L
6077	17BD	Bit 8...15	Bit 0...7	Stage status: stage 1...8 Bit 0/1 = Stage 1 (0...3) Bit 2/3 = Stage 2 Bit 4/5 = Stage 3 Bit 6/7 = Stage 4 Bit 8/9 = Stage 5 Bit 10/11 = Stage 6 Bit 12/13 = Stage 7 Bit 14/15 = Stage 8
6078	17BE	Bit 8...15	Bit 0...7	Stage status: stage 9...13 Bit 0/1 = Stage 9 (0...3) Bit 2/3 = Stage 10 Bit 4/5 = Stage 11 Bit 6/7 = Stage 12 Bit 8/9 = Stage 13 Bit 15 = 2.Parameter set (1= ON)
6079	17BF	*	*	Controller operation time - H
6080	17C0	*	*	Controller operation time - L
6081	17C1	C-Power (integer)	C-Power (decimal)	Stage power 1 st stage Power > 255kvar BIT7 = 1
6082	17C2	-	*	Stage weight C1
6083	17C3	-	*	Stage weight C2
6084	17C4	-	*	Stage weight C3
6085	17C5	-	*	Stage weight C4
6086	17C6	-	*	Stage weight C5
6087	17C7	-	*	Stage weight C6
6088	17C8	-	*	Stage weight C7
6089	17C9	-	*	Stage weight C8
6090	17CA	-	*	Stage weight C9

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
8091	17CB	-	*	Stage weight C10
8092	17CC	-	*	Stage weight C11
8093	17CD	-	*	Stage weight C12
8094	17CE	-	*	Stage weight C13
				EXPERT-MODE
8100	17D4	-	*	Integration time
8101	17D5	-	*	Max. switch power
8102	17D6	-	*	Trigger value
8103	17D7	-	*	Enable programming password
8104	17D8	-	*	Switching cycle warning
8105	17D9	-	*	Fast discharge 1 = YES
8106	17DA	-	*	Discharge time
8107	17DB	-	*	Phase – Current: L1/L2/L3
8108	17DC	-	*	Phase – Voltage: 30°...330°
8109	17DD	-	*	C-Test 0= No, 1= Yes
8110	17DE	-	*	C-Error
8111	17DF	-	*	Number of tests
8112	17E0	-	*	Power of 1 st stage 255kvar / 2550kvar
8113	17E1	-	*	Controlled phases: 1 / 3phase
8114	17E2	-	*	Interface protocol
8115	17E3	-	*	Baud rate
8116	17E4	-	*	Address
8117	17E5	-	*	Number of MMI
8118	17E6	-	*	System current - H
8119	17E7	-	*	System current - L
8120	17E8	-	*	ASCII-Timing
8121	17E9	-	*	External device (0 = MMI6000) (1 = MMI7000)
8122	17EA	-	*	Voltage (0 = No / 1 = yes)
8123	17EB	-	*	Current (0 = No / 1 = yes)
8124	17EC	-	*	CosPhi (0 = No / 1 = yes)
8125	17ED	-	*	Reactive power (0 = No / 1 = yes)
8126	17EE	-	*	Active power (0 = No / 1 = yes)
8127	17EF	-	*	Apparent power (0 = No / 1 = yes)
8128	17F0	-	*	Stages (0 = No / 1 = yes)
8129	17F1	-	*	MIN/MAX-Values (0 = No/1 = yes)
8130	17F2	-	*	Delimiter (14...19)
8136	17F8	-	*	Error memory no. 1
8137	17F9	-	*	Error memory no. 2
8138	17FA	-	*	Error memory no. 3
8139	17FB	-	*	Error memory no. 4
8140	17FC	-	*	Error memory no. 5
8141	17FD	-	*	Error memory no. 6
8142	17FE	-	*	Error memory no. 7
8143	17FF	-	*	Error memory no. 8

Function code 6: [writable register](#)

Address DEZ	Address HEX	HIGH-BYTE	LOW-BYTE	
				PROGRAM MEMORY
1	0001	0	Language	0...9 (0= German, 1= English, ..)
2	0002	0	Current transformer prim.	0...255 (0 = 5A) (see controller menu)
3	0003	0	Current transformer sec.	0 = 1A / 1 = 5A
4	0004	0	Endstop	1...13
5	0005	0	Control series	1..21 (see controller menu)
6	0006	0	Control mode	0..3 (see controller menu)
7	0007	0	Power of 1. stage	Integer (0...255 kvar)
8	0008	0	Power of 1. stage	Decimal (0...99)
9	0009	0	Target-Cos-phi	10 = 0.10 CAP 100 = 1.00 190 = 0.10 IND
10	000A	0	Measuring volt.	(see controller menu)
11	000B	0	Volt.-Converter	(see controller menu)
12	000C	0	Switch-on time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
13	000D	0	Switch-off time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
14	000E	0	Discharge time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
15	000F	0	Alarm temp.	40...85°C
16	0010	0	Message relay	4...11 (see controller menu)
17	0011	0	Fan startup temp	15...70°C
18	0012	0	External input	17...20 (see controller menu)
				2 nd Parameter set
19	0013	0	(2) Current transformer prim.	0...255 (0 = 5A) (see controller menu)
20	0014	0	(2) Current transformer sec.	0 = 1A / 1 = 5A
21	0015	0	(2) Endstop	1...13
22	0016	0	(2) Control series	1..21 (see controller menu)
23	0017	0	(2) Control mode	0..3 (see controller menu)
24	0018	0	(2) Power1.Stage	Integer (0...255 kvar)
25	0019	0	(2) Power1.Stage	Decimal (0...99)
26	001A	0	(2)Target-Cosphi	(see address 109)
27	001B	0	0	Res.
28	001C	0	0	Res.
29	001D	0	(2)Switch-on time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
30	001E	0	(2)Switch-off time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
31	001F	0	(2)Discharge time	1...120 s / 121...138 = 3...20min
				End 2 nd parameter set
32	0020	0	Threshold THD-V	100 = 10%
				REMOTE-REGISTER
40	0028	Max stages	Control direction: 0 = paused 1 = switch-on 2 = stop 3 = switch-off	Works only without key lock
				RESET-REGISTER
200	00C8	170	170	Reset of maximum registers

Measuring voltage	10/110	0...99 0 = 30V (5V steps) 99 = 525V
Voltage converter	11/111	0...255 0 = without converter 1 = 230V – 77 = 990V (10V steps) 78 = 1000V – 187 = 11000V (100V steps) 188 = 12kV – 255 = 79kV (1000V steps)
Switch-on time	12/112	1...138 1 = 1s – 120 = 120s 121 = 3min – 138 = 20min
Switch-off time	13/113	1...138 1 = 1s – 120 = 120s 121 = 3min – 138 = 20min
Discharge time	14/114	1...138 1 = 1s – 120 = 120s 121 = 3min – 138 = 20min
Alarm temperature	15/115	40...85 40°C – 85°C
Message relay	16/116	4...11 4 = off 5 = external 6 = fan 7 = energy supply 8 = under current 9 = harmonics 10 = remote controller 1 11 = remote controller 2
Fan start up temp.	17/117	15...70 15°C – 70°C
Function of external input	18/118	17...20 17 = not used 18 = 2 nd parameter set 19 = external error 20 = coupling (MASTER)
	19...31	2 nd PARAMETER SET equal functions to first parameter set
Threshold THD-V	32/132	5...255 5 = 0,5 % THD 255 = 25,5 % THD

REMOTE:
Function code 6:

FUNCTION	REGISTER	H-BYTE	L-BYTE
Remote-Register	40	Number of steps to switch 1...X (X = settings at EXPERT-MODE)	0 = remote not used 1 = switch-off 2 = stop 3 = switch-on

ANEXO B – FOLHA DE INFORMAÇÕES MODBUS DO CONTROLADOR

Infosheet Modbus RTU

for BR6000, BR7000, MMI6000, MMI7000

Serial interface Settings

Use equal settings for master and slave

Baud rate: 4800, 9600, 19200, 38400Baud
 Data bits: 8
 Stop bits: 1
 Parity: None
 Address Use every address (1..32) only once

Read Data (Function code 3)

Wait 1 second between two requests.

Master → Slave

Slave Address	Function Code – 3	Register (High)	Register (Low)	Quantity* (High)	Quantity* (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	------------------	-----------------	-----------	------------

Master ← Slave

Slave Address	Function Code – 3	Quantity x2 (bytes)	Data (High)	Data (Low)	Data ..	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	---------------------	-------------	------------	---------	-----------	------------

*) Maximum quantity for BR6000 and MMI6000 is 24
 BR7000 and BR7000 is 48

Write Data (Function code 6)

Wait 1 second between two requests.

Master → Slave

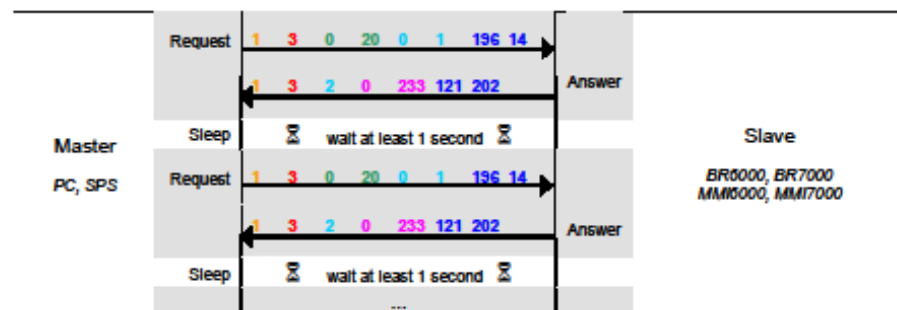
Slave Address	Function Code – 6	Register (High)	Register (Low)	Data (High)	Data (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	-------------	------------	-----------	------------

Master ← Slave

Slave Address	Function Code – 6	Register (High)	Register (Low)	Data (High)	Data (Low)	CRC (Low)	CRC (High)
---------------	-------------------	-----------------	----------------	-------------	------------	-----------	------------

Example: Read Data-cycle

Read Voltage (Register 20 at BR6000) = 233V



ANEXO C – TELA DO PI VISION COM A VISUALIZAÇÃO DE CADA CONTROLADOR

The screenshot displays the AVEVA PI Vision interface for the 'TQ_RV_FP_UNIDADE TAQUARI' system. The interface is organized into a grid of control panels, each representing a different unit or transformer. The top left corner shows the system name and a 'Novo display' button. The top right corner features a 'DTXRAMACIEL' label and a help icon. The bottom left corner contains navigation icons. The bottom right corner shows the current time as 11/10/2024 22:21:03 and a '1h' timer. A green 'Agora' button is located in the bottom right corner.

Unit/Transformer	Control Panel Data
SR-01	LT11 - TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
SR-02	LT21 - TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
SR-03	LT32 - TENSÃO (V): 270 - CORRENTE (A): 905 - FP SETPOINT: 0,96 - FP REAL: 0,96 - BANCOS ATIVOS: 12 - DIFER. (KVA): 2,79
SR-04	LT42 - TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
SR-05	LT52 - TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
SE-12	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
KONUS	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
LT12	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
LT22	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
LT33	- TENSÃO (V): 266 - CORRENTE (A): 1.583 - FP SETPOINT: 0,96 - FP REAL: 0,92 - BANCOS ATIVOS: 12 - DIFER. (KVA): 187,86
LT43	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):
LT53	- TENSÃO (V): - CORRENTE (A): - FP SETPOINT: - FP REAL: - BANCOS ATIVOS: - DIFER. (KVA):

ANEXO D – TELA DO PI VISION COM A VISUALIZAÇÃO DE CADA CONTROLADOR E ALARME

The screenshot displays the AVEVA PI Vision interface for the 'DTXRAMACIEL' system. The main area shows a grid of electrical control panels (SR-01 to SR-05) and their associated load centers (LT11 to LT53). Each panel displays real-time data for Tensão (V), Corrente (A), FP Setpoint, FP Real, Bancos Ativos, and Difer (kVAh). The LT133 panel is highlighted in red, indicating an alarm. The interface includes a top navigation bar with 'Novo display' and 'DTXRAMACIEL', a bottom status bar with 'Agora' and '30 m', and a footer with 'AVEVA PI Vision' and 'IQ_RV_FP_UNIDADE TAQUARI'.

Controlador	LT	Tensão (V)	Corrente (A)	FP Setpoint	FP Real	Bancos Ativos	Difer (kVAh)
SR-01	LT11						
SR-02	LT21						
SR-03	LT32	266	995	0.97	0.96	12	-7.30
SR-04	LT42						
SR-05	LT52						
SE-12							
KONUS							
	LT12						
	LT22						
	LT33	239	1.748	0.96	0.91	12	189.55
	LT43						
	LT53						

ANEXO E – GRÁFICOS GERADOS EM CADA UM DOS CONTROLADORES

