



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Ilha Solteira

**Departamento de Engenharia Elétrica - DEE**  
**Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**

**LUCAS VILELA**

**USO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MODBUS PARA  
MELHORAMENTO DA AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMA MICROTURBINA**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Faculdade de Engenharia do Campus  
de Ilha Solteira – UNESP, como parte  
dos requisitos para obtenção do grau de  
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro

ILHA SOLTEIRA

2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Vilela, Lucas.  
V699u      Uso do protocolo de comunicação modbus para melhoramento da  
aquisição de dados de uma microturbina / Lucas Vilela. -- Ilha Solteira: [s.n.],  
2024  
59 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,  
2024

Orientador: Jean Marcos de Souza Ribeiro

Inclui bibliografia

1. Automação industrial. 2. Banco de dados. 3. Servidor-cliente. 4. Ciclo  
Brayton. 5. Comunicação M2M. 6. Redes.



**Amanda Sertori dos Santos**

Bibliotecária - CRB/8-9061  
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao  
Usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

Aos dezanove dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e quatro, o discente **Lucas Vilela**, matriculado sob o nº172054541, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves e o Doutorando Rodrigo Serra Daltin, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "Uso do Protocolo de Comunicação Modbus para melhoramento da Aquisição de Dados de uma Microturbina", obtendo a nota 7,0 (SETE) e conceito aprovado.



Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro  
- orientador-



Lucas Vilela  
- discente-



Prof. Dr. Carlos Antonio Alves  
- Membro da Banca -



Doutorando Rodrigo Serra Daltin  
- Membro da Banca -



## **DEDICATÓRIA**

Àqueles que acreditaram na possibilidade de um dia serem melhores e se tornaram exemplos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e aos Orixás, que a partir do meu primeiro minuto de vida, contribuíram para que meus passos fossem guiados no caminho do que é bom e correto. Aos meus pais, que em meio às dificuldades buscaram proporcionar não o luxo, mas as oportunidades.

Aos meus irmãos Cairo e Flávio que são minhas fontes de inspiração e aprendizado. Aos meus irmãos da República Santo Grau, que me proporcionaram diversos momentos de felicidade, mas também me guiaram para que pudesse crescer pessoal e profissionalmente, e não faltaram nos momentos difíceis.

Ao meu Sensei Fabiano “Beleleu” que no momento de tristeza me acolheu e deu oportunidade de contribuir com o ensinamento da Arte Suave para as crianças. A todos os professores da UNESP e principalmente do DEE que em forma de trabalho escolheram formar grandes engenheiros. Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro que mostrava brilho no olho ao estar na sala de aula e integridade dentro e fora da mesma.

## RESUMO

O trabalho consiste em apresentar o funcionamento de protocolos de comunicação MODBUS e MQTT, a fim de melhorar o sistema de aquisição de dados de uma microturbina a gás. Para testes utiliza-se um Controlador Lógico Programável (CLP) de bancada. Realiza-se uma revisão teórica sobre redes, tanto os seus conceitos principais quanto diferentes tipos de topologias. Em segundo momento, seguiu-se a revisão teórica a respeito de protocolos de comunicação, com ênfase nos protocolos MODBUS e MQTT e como melhorar a aquisição de dados. Para que fosse feita a comunicação, são utilizados os *softwares* de implementação de acionamento da microturbina *MasterTools* e o SCADA *BluePlant*. Utilizando esses *softwares* foi criado um banco de dados MSSQL para registro dos dados. Ao final desse processo utilizou-se o *Google Sheets* para obter os testes realizados em bancada.

**Palavras chave:** Automação Industrial; Banco de dados; Servidor-Cliente; Ciclo Brayton; comunicação M2M; Redes.

## ABSTRACT

The work consists of presenting the operation of MODBUS and MQTT communication protocols in order to improve the data acquisition system of a gas microturbine. A benchtop Programmable Logic Controller (PLC) is used for testing. A theoretical review is carried out on networks, both their main concepts and different types of topologies. This was followed by a theoretical review of communication protocols, with an emphasis on the MODBUS and MQTT protocols and how to improve data acquisition. To enable communication, the software used to implement the microturbine drive MasterTools and SCADA BluePlant was used. Using this software, an MSSQL database was created to record the data. At the end of this process, Google Sheets was used to obtain the bench tests.

**Keywords:** Industrial Automation; Database; Server-Client; Brayton Cycle; M2M communication; Networks.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. CONCEITOS D'E REDES .....	13
2.1 Topologia de Redes .....	13
2.2 Protocolo de comunicação Modbus .....	16
2.3 Protocolo de comunicação MQTT .....	17
3. SISTEMAS DE CONTROLE, SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS .....	19
4. MICROTURBINAS .....	23
4.1 Componentes de uma microturbina .....	26
4.1.1 Compressor .....	26
4.1.2 Câmara de Combustão .....	27
4.1.3 Turbina .....	29
4.1.4 Microturbina de bancada .....	30
4.2 Microturbinas presentes no mercado .....	31
5. METODOLOGIA .....	34
5.1 Materiais Utilizados .....	34
5.2 Fluxograma de Operação da Microturbina .....	35
5.3 Criação do programa no MasterTool .....	36
5.4 Criação do Programa no BluePlant .....	38
5.5 Criação do Banco de dados no MSSQL .....	40
6. RESULTADOS .....	50
7. CONCLUSÃO .....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## Lista de Figuras

Figura 1 - Esquemático de uma microturbina.....	10
Figura 2 - Diagrama Ciclo Brayton aberto.....	11
Figura 3 - Topologia de redes em estrela.....	14
Figura 4 - Topologia de redes em barramento.....	15
Figura 5 - Topologia de rede em anel.....	16
Figura 6 - Topologia de Rede em árvore.....	17
Figura 7 - Exemplificação do modo de comunicação dos dispositivos pelo protocolo de comunicação MODBUS.....	18
Figura 8 - Exemplificação do modo de comunicação dos dispositivos pelo protocolo de comunicação MQTT.....	19
Figura 9 - Interface Gráfica de um Software SCADA.....	20
Figura 10 - Hierarquia de automação.....	21
Figura 11 - Interface de uma UHE com o software SCADA Elipse.....	22
Figura 12 - Interface criada no SCADA Blueplant.....	23
Figura 13 - Esquemático de uma Turbina a gás.....	24
Figura 15 - Esquemático de uma microturbina com ciclo regenerativo.....	26
Figura 16 - Esquemático de compressor centrífugo.....	28
Figura 17 - Câmara de Combustão tipo Anular.....	29
Figura 18 - Esquemático da câmara de combustão com seus principais componentes.....	30
Figura 19 - Turbina centrípeta.....	30
Figura 20 - Conjunto turbina-compressor.....	31
Figura 21 - Microturbina de bancada.....	31
Figura 22 - Microturbina Bladon 12 kW.....	32
Figura 23 - Especificações técnicas microturbina a gás Bladon 12 kW.....	33
Figura 24 - Corte com alguns componentes da microturbina Capstone de 1000 kW.....	33
Figura 25 - Especificações técnicas da microturbina Capstone de 1000kW.....	34
Figura 26 - Microturbina 250 kW Ingersoll Rand.....	35
Figura 27 - Especificações técnicas Microturbina 250 kW Ingersoll Rand.....	35
Figura 28 - Bancada com CLP de testes.....	36
Figura 29 - Gerador de sinais Juntek JDS6600.....	37
Figura 30 – Fluxograma da ordem de acionamento da microturbina.....	38
Figura 31 – Variáveis do dispositivo MODBUS.....	40
Figura 32 – Variáveis relacionadas com o dispositivo MODBUS tipo Master.....	42
Figura 33 – Variáveis ou TAGs que serão armazenadas no banco de dados MSSQL.....	43
Figura 34 – Canal de comunicação no BluePlant.....	44
Figura 35 – Nós de comunicação do dispositivo MODBUS escravo.....	45
Figura 36 – Pontos que serão armazenados no banco de dados MSSQL.....	45
Figura 37 - Criação da conexão do blueplant para o banco de dados.....	48
Figura 38 - Criação de uma query no blueplant.....	49
Figura 39 - Criação de uma nova task na aba Scripts.....	50
Figura 40 - Código de atualização do banco de dados.....	51
Figura 41 - Criação de uma HistorianTable.....	53

Figura 42 - Histórico de quais variáveis serão atualizadas na HistorianTable. ....	53
Figura 43 - Interface Homem-Máquina da microturbina. ....	54
Figura 44 - Banco de dados MSSQL com os dados coletados pelo BluePlant.....	55
Figura 45- Resultados do primeiro teste utilizando MQTT na data 22/12/2022 .....	56
Figura 46 - Resultados do segundo teste utilizando MQTT na data 22/12/2022 .....	57
Figura 47 - Resultados do segundo teste utilizando MQTT na data 22/12/2022 .....	57
Figura 48 - Resultados do segundo teste utilizando MODBUS. ....	59

## **Lista de Tabelas**

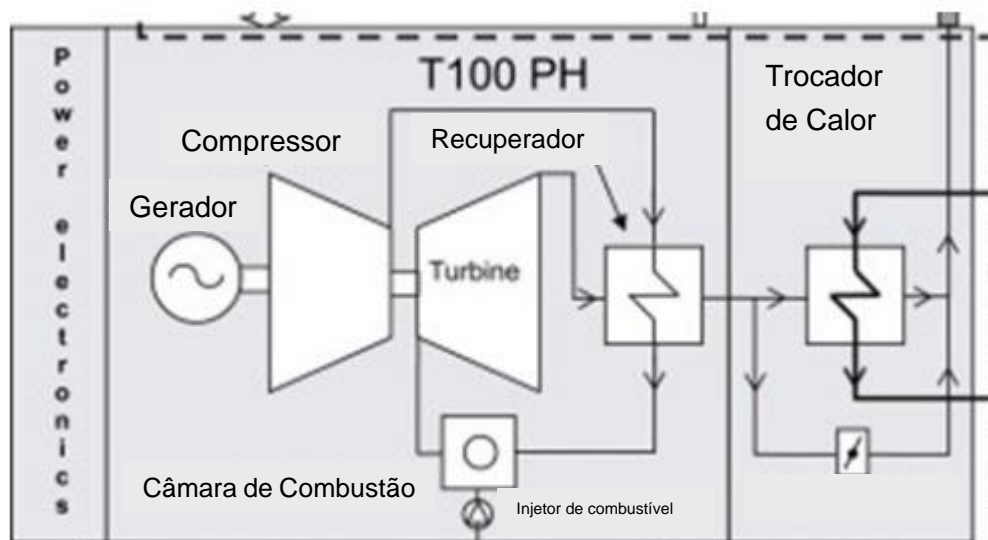
Tabela 1 – Microturbinas existentes no mercado e suas respectivas eficiências .....	23
Tabela 2 - Informações para se ler/escrever dados de tipos especificados no MasterTools. .	38
Tabela 3 - Comparação de aspectos do MODBUS com o MQTT .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, tem-se buscado novas alternativas para geração de energia, de modo que essas sejam limpas e renováveis. Tem-se como principais fontes de energias renováveis a eólica, fotovoltaica e das marés. No entanto, tais fontes de energia sofrem de um problema em comum, sendo este a intermitência na geração, pois essas são dependentes de fatores climáticos, os quais variam com bastante frequência no decorrer do dia. (KUANG et al, 2016).

Assim, as microturbinas a gás são uma alternativa confiável, visto que sua operação pode ocorrer de modo ininterrupto por bastante tempo, bem como ser postas ou tiradas de operação de modo rápido e seguro (ALVES FILHO, 2020). Na Figura 1 pode-se observar o esquemático de uma microturbina.

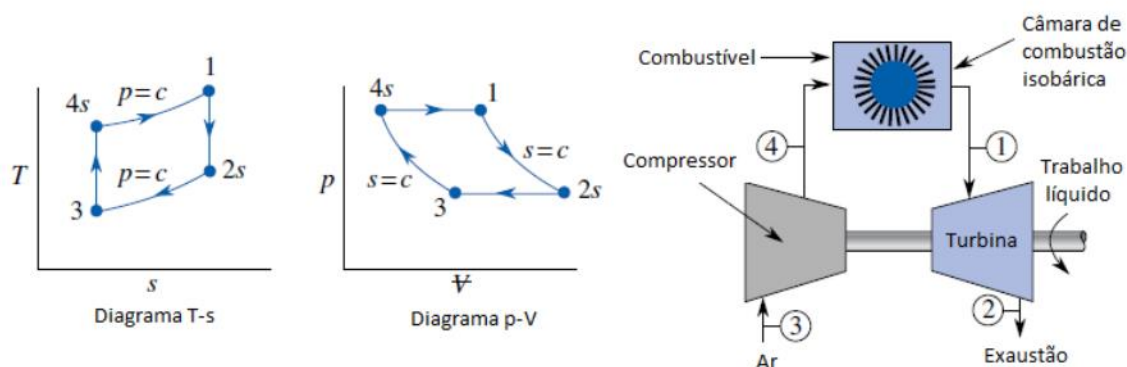
Figura 1 - Esquemático de uma microturbina



Fonte: Adaptado de CARESANA et al, 2011

Pode-se ver na Figura 1 que o compressor está acoplado à turbina e ao gerador, bem como uma câmara de combustão e um trocador de calor. A eficiência elétrica de microturbinas está entre 15 e 35%, no entanto podem chegar até 85% de rendimento global caso sejam utilizadas em plantas de cogeração (ALVES FILHO, 2020). Na Figura 2 pode-se observar o diagrama ciclo Brayton aberto que ocorre nas microturbinas a gás.

Figura 2 - Diagrama Ciclo Brayton aberto



Fonte: (ALVES FILHO, 2020)

O processo que pode ser observado na Figura 2 ocorre da seguinte maneira, o ar é comprimido pelo compressor através de uma compressão isentrópica de (3) até (4), em seguida segue para a câmara de combustão onde se mistura com o combustível e ocorre uma adição de calor a pressão constante, (4) a (1). Após a câmara de combustão, o fluido, (1) e (2). Ao final do processo, ocorre rejeição de calor a pressão constante do fluido de trabalho para o ambiente, entre os pontos (2) e (3) (ALVES FILHO, 2020).

Além da sua operação contínua como uma vantagem em relação a outras fontes de energias renováveis, também pode-se utilizar tal sistema como componente de geração distribuída, pois segundo a Resolução Normativa N° 482 de 17 de abril de 2012, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sistemas de até 75 kW conectados à rede se enquadram como microgeração distribuída e de 75 kW até 5 MW são considerados sistemas de minigeração distribuída.

Em relação a sua operação, tem-se necessidade de ter um sistema de monitoramento eficiente, de modo que a microturbina possa operar com confiabilidade e segurança. Dessa forma busca-se ter um monitoramento de parâmetros críticos ao seu funcionamento, bem como parâmetros adicionais (KRAMPF, 1992). Os parâmetros críticos que devem ser monitorados nas microturbinas são as temperaturas dos gases na saída da câmara de combustão e rotação do eixo do turbocompressor, a fim de evitar danos causados por temperaturas elevadas em demasia e rotação que exceda os limites de operação projetadas para as microturbinas (ALVES FILHO, 2020). No entanto, neste estudo é observado, principalmente, a variação da velocidade de rotação da microturbina, com foco na variação dos valores, a fim de compreender se o sistema de aquisição de dados tem acompanhado com devida sensibilidade a variação real dos parâmetros analisados.

Os dados dos parâmetros críticos acima citados lidos pelos sensores são registrados e enviados aos dispositivos de controle e atuadores para que possam intervir nas variações indesejadas e o sistema volte a operar com as características nominais. Para que seja feita tal comunicação entre os dispositivos, utiliza-se dos protocolos de comunicação (FAGUNDES, 2015)

O termo “protocolo” no domínio das redes de comunicação refere-se às regras que cada nó acessa no barramento de rede. As regras de acesso essencialmente constituem o método de controle do fluxo de informação na rede, que assegura que não haverá colisões no canal de comunicação que possam levar a rede a instabilidade, e que as informações não irão interromper ou corromper pequenas ou grandes quantidades de informação transmitida. O controle de acesso aos nós pode ser central ou distribuído (MANESIS; NIKOLAKOPOULOS, 2018).

Neste trabalho o objetivo é substituir o protocolo de comunicação MQTT pelo *MODBUS*, pois com o MQTT notou-se valores repetidos dos parâmetros críticos de operação, bem como quedas abruptas na velocidade de rotação da microturbina, aparentando ser uma falha na comunicação dos sensores com o Controlador Lógico Programável (CLP). Dessa forma será utilizado um CLP de bancada com os *Softwares MasterTools* e *Blueplant*, sendo o primeiro o software de acionamento da microturbina, o qual é responsável pela comunicação do CLP com a mesma, e o segundo um software do tipo SCADA que é responsável pelo monitoramento.

A estrutura deste trabalho está dividida em 7 capítulos, de modo que no Capítulo 1 tem-se a introdução do tema deste estudo. No Capítulo 2 tem-se uma apresentação dos conceitos de redes, que explica sobre os protocolos de comunicação, como dispositivos realizam a transmissão de dados, como são feitas tais transmissões nos protocolos de comunicação MODBUS e MQTT, bem como algumas topologias de redes. No Capítulo 3 é apresentado o conceito de SCADA, como esse é essencial para a operação de um sistema e alguns softwares SCADA disponíveis no mercado. No Capítulo 4 tem-se conceitos de microturbinas e também como é sua operação quando são utilizadas para geração de energia elétrica a partir de gás, bem como algumas microturbinas disponíveis no mercado e alguns aspectos referentes a cada uma delas. No Capítulo 5 tem-se a metodologia para que fosse possível realizar o monitoramento da microturbina, com análise de fluxogramas e como foram criados os programas de acionamento e de aquisição de dados. Na sequência tem-se o Capítulo 6 no qual pode-se ver os resultados obtidos da com a implementação do protocolo de comunicação MODBUS. Por fim, tem-se o Capítulo 7 no qual são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2. CONCEITOS DE REDES

Rede é o ambiente no qual diversos dispositivos são conectados para que seja possível a transmissão de informação em forma de dados. Para que seja possível compreender como é feita a comunicação entre dispositivos deve-se compreender alguns conceitos sobre redes, sendo esses: ethernet, endereço de IP (*Internet Protocol*) e TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) (KAY; ENTZMINGER; MAZUR, 2014).

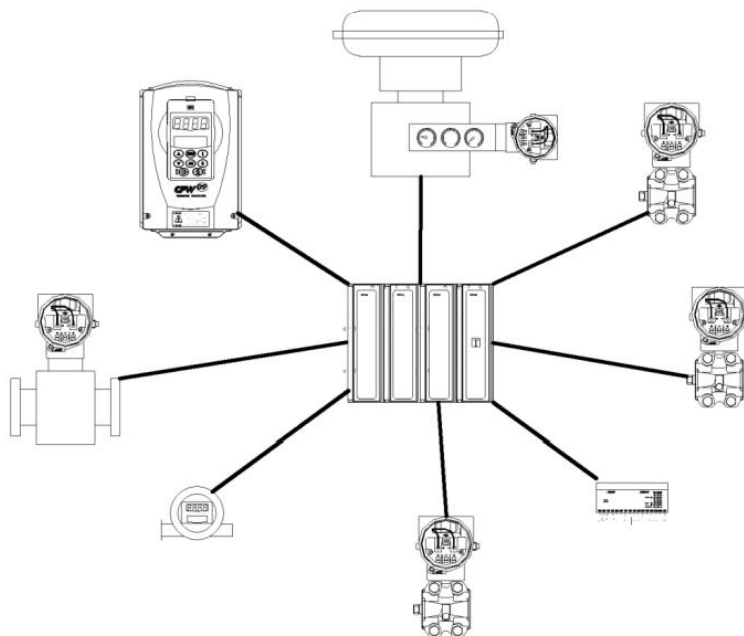
- Ethernet: Tecnologia que permite a conexão de dispositivos por meio de cabos, seja de fibra óptica ou de cobre de par trançado.
- Endereço de IP: Trata-se de um identificador único para cada dispositivo que está conectado a rede Ethernet. Podem ter dois formatos, IP Version 4 (IPV4) e IP Version 6 (IPV6), o IPV4 usa 32 bits para criar um único e exclusivo endereço de rede expresso por 4 números separados por um ponto, esse número varia de 0 até 255 e um exemplo de número é 255.255.255.000. Já o IPV6 utiliza 128 bits para criar um único e exclusivo endereço expresso em 8 grupos de números em base hexadecimal separados por 2 pontos, um exemplo de número é 2001:CBCA:DB8:0000:0000:0000:5357:6912
- TCP/IP: Protocolo de transmissão de controle/Protocolo de internet, conhecido como TCP/IP é responsável pela transmissão e verificação da entrega de dados em pacotes usando o IP. Nesses pacotes há quadros dos quais contém comandos de leitura ou escrita em uma memória compartilhada de um nó ou dispositivo remoto. Por se tratar de um protocolo de comunicação aberto ao público é muito usual para comunicação de dispositivos.

### 2.1 Topologia de Redes

Além dos termos de redes, existem diferentes tipos de topologia, atendendo necessidades específicas, cada uma delas podem ter vantagens e desvantagens em relação às outras. As principais topologias são estrela, barramento, anel e árvore (FAGUNDES, 2015).

A topologia em estrela pode ser vista na Figura 3, a qual tem um dispositivo mestre que se comunica com os dispositivos escravos. Essa topologia é útil, pois os dispositivos escravos podem se comunicar com o dispositivo mestre por protocolos de comunicação diferentes, desde que haja compatibilidade com o dispositivo mestre. A sua desvantagem é que toda a rede está centralizada no dispositivo mestre, assim, toda a rede é comprometida caso o dispositivo central apresentar falhas (FAGUNDES, 2015).

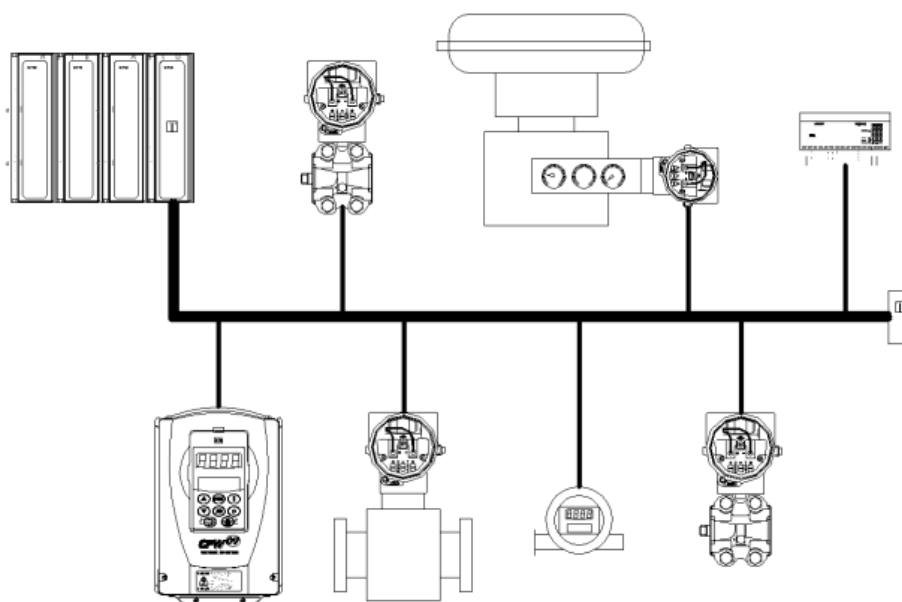
Figura 3 - Topologia de redes em estrela.



Fonte: (FAGUNDES, 2015)

Já na topologia em barramento, como pode-se observar na Figura 4, todos os nós da rede estão conectados a um barramento em comum, dessa forma todas as estações recebem os dados que passam pelo barramento, no entanto uma única estação trata esse dado. Por se tratar de um meio de transmissão compartilhado, utiliza-se controle de acesso e tráfego, de modo que a transmissão pode tornar-se mais lenta que outros tipos de topologia.

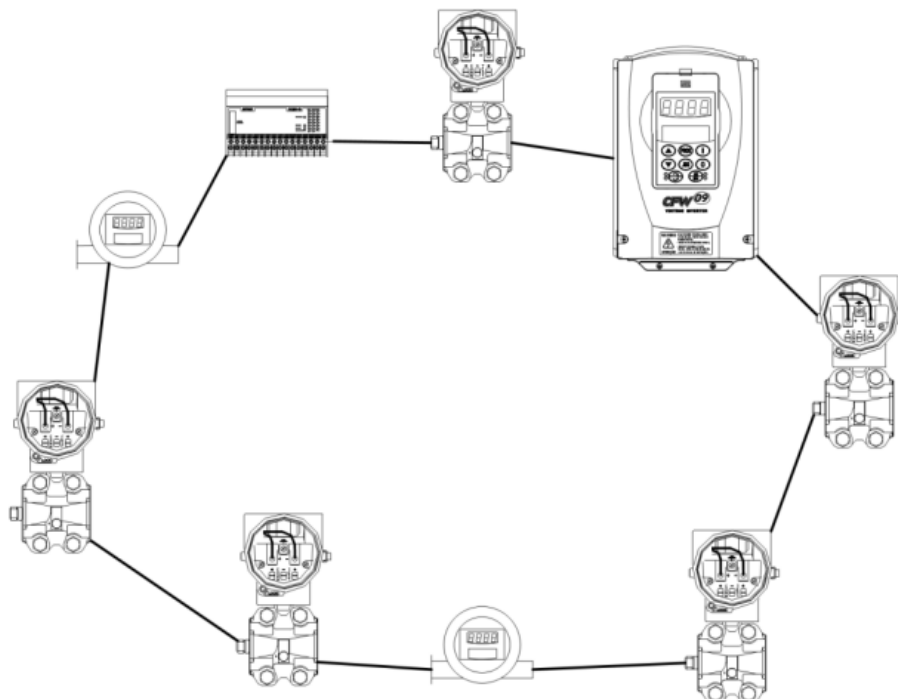
Figura 4 - Topologia de redes em barramento.



Fonte: (FAGUNDES, 2015)

Na sequência tem-se a topologia em anel, como pode-se observar na Figura 5. Nesta topologia os dispositivos são conectados em série, de modo que a implantação seja fácil, no entanto pode-se ter problemas caso haja falha de conexão entre dispositivos, pois a transmissão do dado seria interrompido nesse trecho.

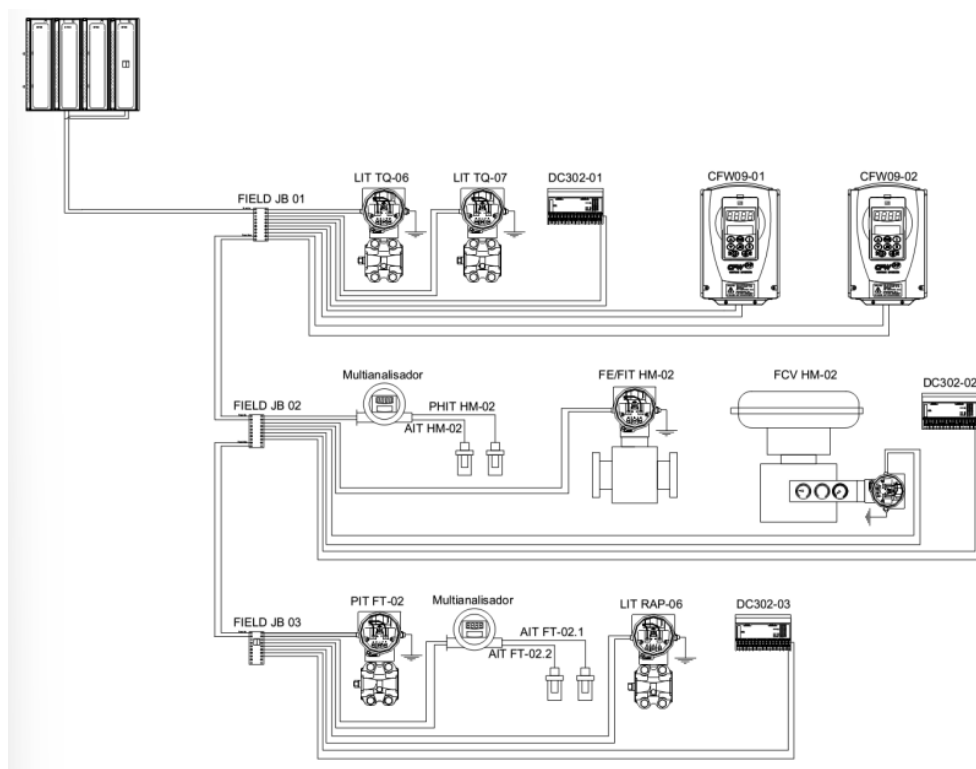
Figura 5 - Topologia de rede em anel.



Fonte: (FAGUNDES, 2015)

Por fim tem-se a topologia em árvore, no qual há vários barramentos secundários conectados a um barramento principal. Essa topologia apresenta grande confiabilidade, no entanto é de difícil implantação. Pode-se ver a topologia de rede em árvore na Figura 6.

Figura 6 - Topologia de Rede em árvore



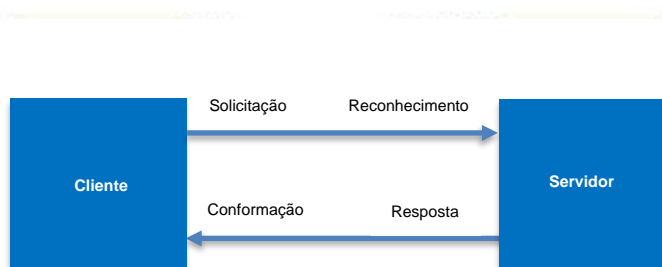
Fonte: (FAGUNDES, 2015)

## 2.2 Protocolo de comunicação Modbus

Modbus é um protocolo de comunicação de dados, que foi desenvolvido pela Modicon Industrial Automation Systems, atualmente conhecida como Schneider Electric. Esse protocolo é um dos mais antigos, porém ainda é um dos mais utilizados em automação industrial.

A comunicação nesse protocolo é do tipo mestre-escravo (ou servidor-cliente), no qual o mestre inicia a comunicação por meio de uma solicitação (*query*), assim os escravos respondem enviando os dados, ou realizam alguma ação solicitada pelo mestre. Desse modo, os escravos não iniciam nenhum tipo de comunicação no meio físico enquanto não houver solicitação do mestre. Pode-se observar como funciona o protocolo MODBUS na Figura 7 (NASCIMENTO; LUCENA, 2003).

Figura 7 - Exemplificação do modo de comunicação dos dispositivos pelo protocolo de comunicação MODBUS



Fonte: (Adaptado de TAMBOLI et al, 2014).

O Modbus possui 4 tipos de variáveis, sendo essas *Coils*, *Input Status*, *Holding Registers* e *Input Registers* (NASCIMENTO; LUCENA, 2003).

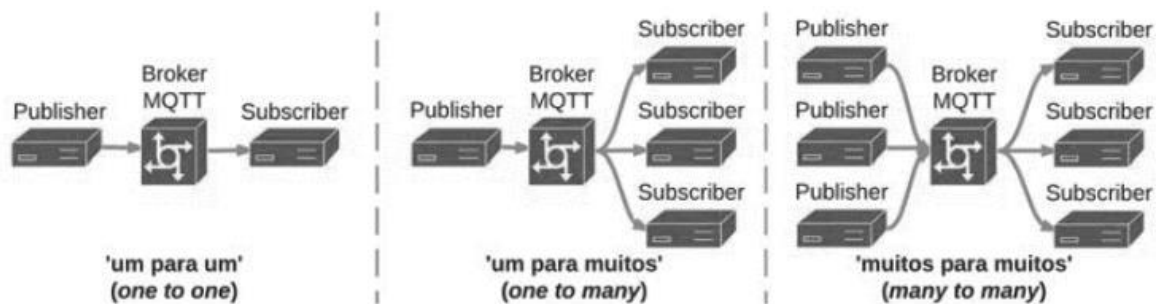
- *Coil* é uma variável de leitura de saídas discretas, logo recebe 0 ou 1;
- *Input Status* é uma variável de leitura de entradas discretas;
- Os *Holding Registers* são registradores de saídas analógicas que podem ler e escrever valores;
- *Input Registers* são registradores de entradas analógicas que só podem ler valores.

### 2.3 Protocolo de comunicação MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é amplamente utilizado para comunicação de dispositivos IoT. Foi criado em 1999 pela IBM com o objetivo de comunicar máquinas entre si no conceito *Machine to Machine* (M2M) (TORRES et al., 2016). O protocolo MQTT se comunica por meio de mensagens no modelo *Publisher/Subscriber*. Neste protocolo a comunicação é feita de maneira assíncrona, no qual as mensagens (*Payload*) são publicadas através de um tópico em um intermediário (*Broker*) e este fica responsável por distribuir as mensagens aos clientes (*Subscribers*) que assinam o tópico (YACCHIREMA et al., 2016)

No protocolo de comunicação MQTT quem está publicando (*Publisher*) não necessita de informações sobre quem solicita os dados (*Subscriber*) e vice-versa. Para que haja comunicação de dispositivos, faz-se necessário apenas que o *Broker* tenha conhecimento do endereço de IP dos dispositivos. O tipo de comunicação pode ser de diferentes tipos, como um para um (*one-to-one*), onde um *Publisher* manda informações para um *Subscriber*, ou um para muitos (*one-to-many*) ou até mesmo muitos para muitos (*many-to-many*). O modo como ocorre tais comunicações ocorre pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Exemplificação do modo de comunicação dos dispositivos pelo protocolo de comunicação MQTT.



Fonte: (TORRES et al, 2016)

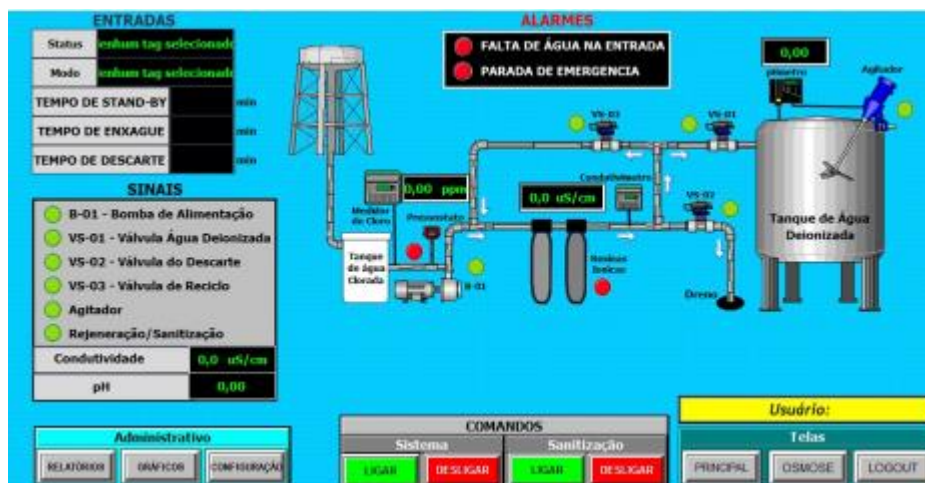
Dado que foram conceituados os diferentes tipos de protocolos de comunicação, bem como explicados o modelo como atuam os protocolos MQTT e MODBUS, no próxima capítulo é apresentado o conceito de SCADA.

### 3. SISTEMAS DE CONTROLE, SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

O termo SCADA significa *Supervisory Control and Data Acquisition* ou Supervisório, Controle e Aquisição de Dados. Esses sistemas são utilizados para supervisionar, monitorar e adquirir dados em sistemas industriais. Fazem uso de protocolos de comunicação para que seja possível monitorar e gerenciar cada uma das atividades dos periféricos envolvidos no sistema o qual o SCADA supervisiona (SILVA, 2018).

Um sistema SCADA é um software que por meio de uma IHM (Interface Homem-Máquina) faz-se a supervisão e controle de um sistema, de modo que seja possível observar valores informados por sensores e status dos equipamentos, como exemplo se algum relé foi acionado e qual falha está registrada. Com SCADA é possível realizar comandos remotos, ou seja, sem necessidade do operador atuar manualmente nos dispositivos, pois o SCADA utiliza protocolos de comunicação para fazer a comunicação M2M. Esses sistemas também registram os dados de operação dos dispositivos de modo que as falhas possam ser estudadas posteriormente, a fim de elaborar relatórios com propósitos distintos, como melhorar a eficiência ou evidenciar falhas, quando tem-se problemas contratuais. Estes sistemas estão presentes em diversos setores industriais (celulose, petróleo, farmacêutico, metalurgia, química, etc) e sua função principal é propiciar que o operador consiga monitorar, por meio de uma interface gráfica, como pode-se visualizar na Figura 9, o processo em tempo real, de modo que haja maior segurança para os mesmos (SILVA, 2017).

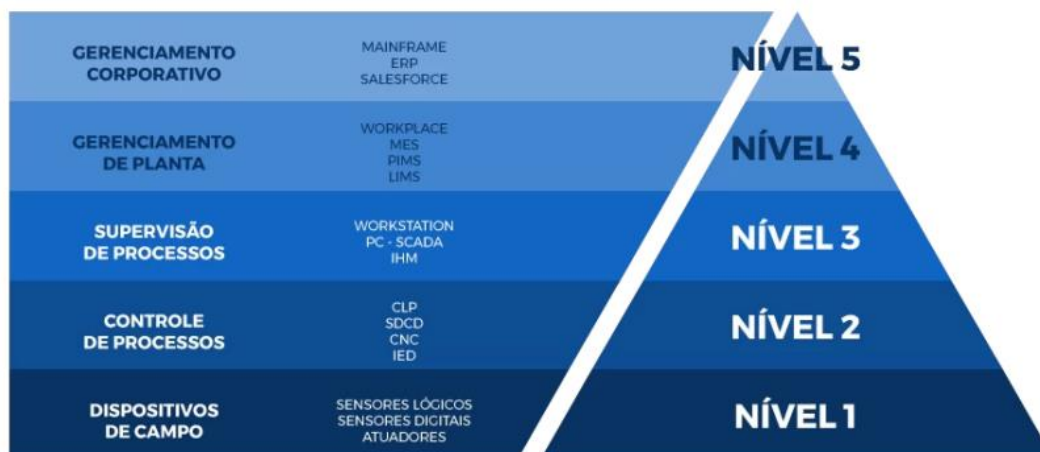
Figura 9 - Interface Gráfica de um Software SCADA



Fonte: (SILVA, 2017)

Em se tratando de arquitetura os SCADA estão situados em uma hierarquia, chamada de hierarquia de automação. Na Figura 10 tem-se uma representação da hierarquia de automação e em que etapa o SCADA se encontra nela.

Figura 10 - Hierarquia de automação

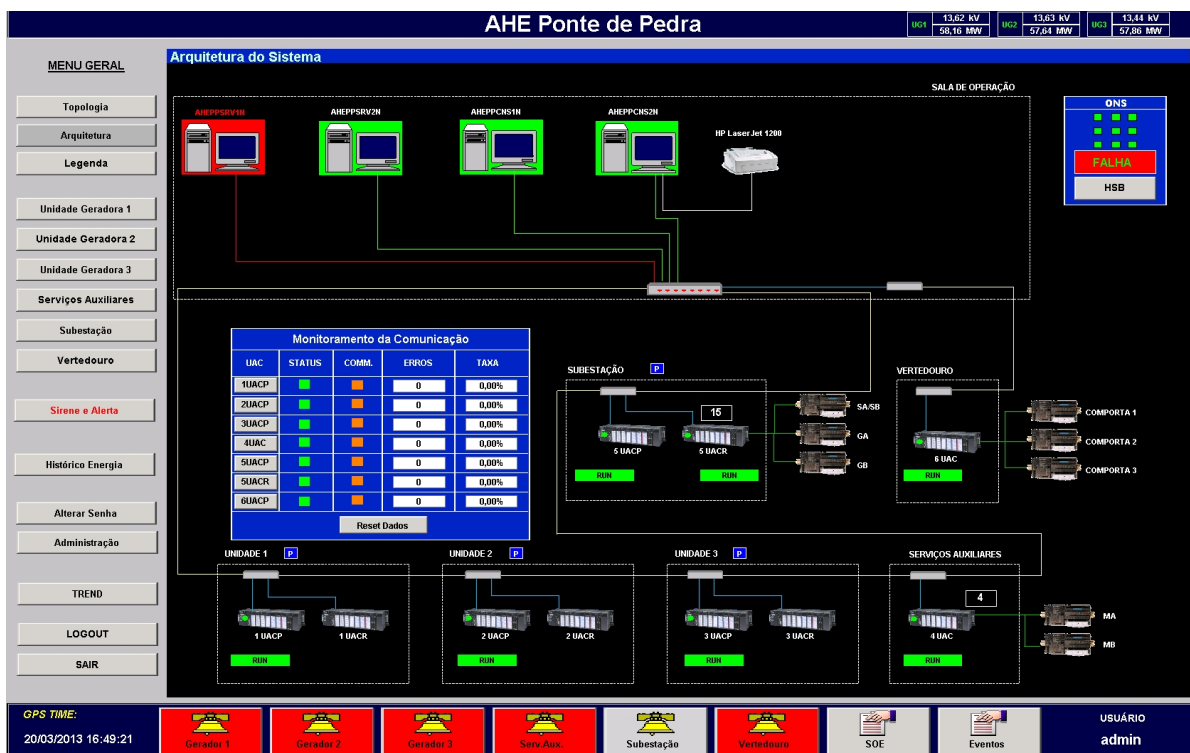


Fonte: ALTUS, 2024

Na Figura 10 pode-se ver os diferentes níveis de atuação dos diferentes componentes da indústria no que tange a parte de automação industrial. No nível 1 pode-se observar dispositivos de campo, sendo esses os sensores e atuadores, responsáveis pelas medições dos parâmetros de interesse do local que estão inseridos. No nível 2, tem-se o controle de processos, que são feitos pelos CLP, SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído), CNC (Controle Numérico Computadorizado) e IED (Dispositivo Eletrônico Inteligente). É nesse nível que o controle é realizado para que os parâmetros fiquem em suas faixas de operação nominais. No nível 3 tem-se os sistemas de supervisão de processo, que são os SCADA e IHM, esses geralmente encontram-se nas salas de operação, chamadas de *Workstation*. Nesse nível ocorre o monitoramento do sistema em tempo real, conforme dito anteriormente. Nos níveis 4 e 5 tem-se as fases de gerenciamento, ou seja, tomada de decisões dadas as condições de funcionamento da planta.

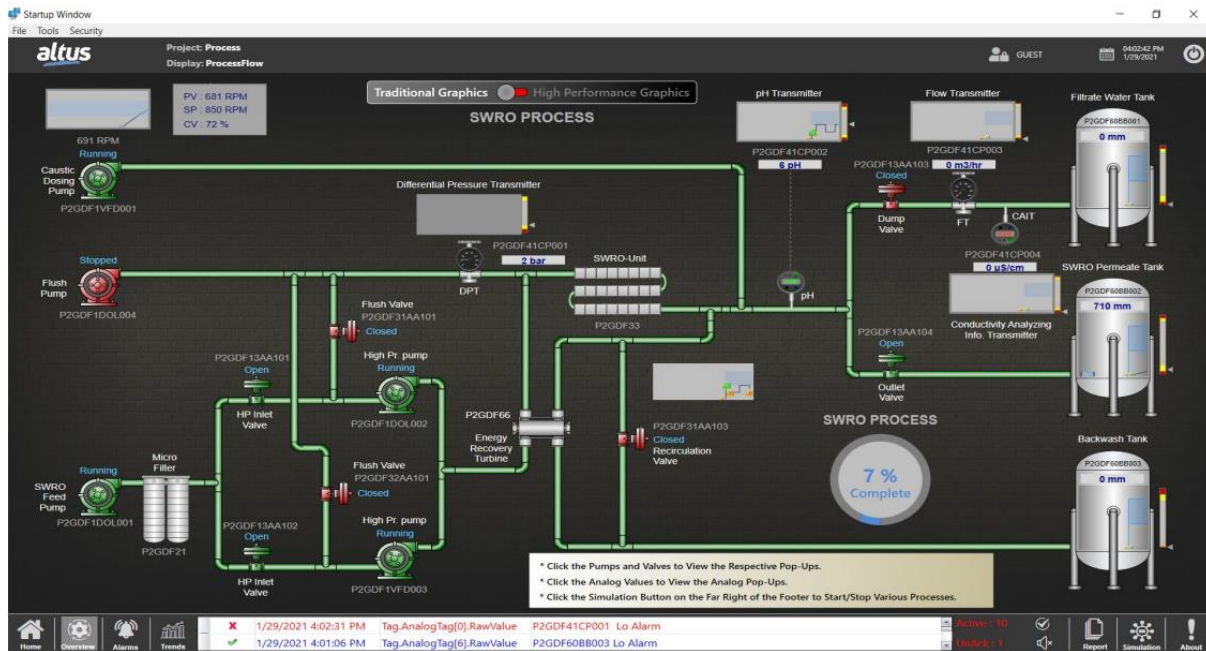
Alguns dos SCADA mais utilizados no mercado são *Elipse*, *Blueplant* da Altus, *WinCC* da *Siemens*. Na Figura 11 tem-se o software SCADA *Elipse* enquanto na Figura 12 tem-se o software *Blueplant*, o qual será utilizado neste trabalho como SCADA. O motivo da escolha de tal software foi que o CLP utilizado neste estudo é do modelo Altus NX3003, enquanto o *Blueplant* também é do mesmo fabricante, o que tornava viável a comunicação do software *MasterTools* com o CLP e com o SCADA.

Figura 11 - Interface de uma UHE com o software SCADA Elipse.



Fonte: (Elipse, 2024)

Na Figura 11 pode-se observar que existem diferentes unidades geradoras, bem como diferentes servidores. Tem-se a data e horário do momento em que se realizou tal leitura, bem como divisões para cada unidade da usina, seja geradora, subestação ou vertedouro. Além disso, pode-se observar que alguns dispositivos encontram-se em falha, pela cor vermelha do painel. Tem-se ainda no canto superior direito a potência em tempo real de cada unidade geradora.

Figura 12 - Interface criada no SCADA *Blueplant*

Fonte: (ALTUS, 2024)

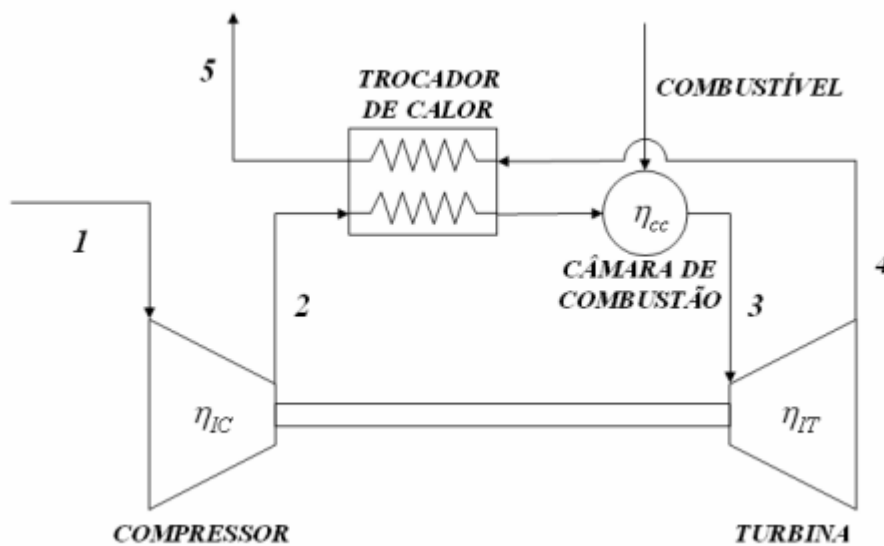
Pode-se observar na Figura 12 vários elementos hidráulicos, como válvulas, registros, sensores de medição, painel de avanço da operação em percentual, tanques com níveis de pressão, bem como a data e horário no qual o programa estava em operação. Além disso tem-se um *logger*, ou seja, um local no qual tem-se registros, indicando as ocorrências das variáveis *Tag.Analog.Tag[0].RawValue* *Tag.Analog.Tag[6].RawValue* que aparentemente são de válvulas a qual se comunicam com o CLP por meio de entradas e saídas analógicas.

#### 4. MICROTURBINAS

Microturbinas são turbinas que operam seguindo o ciclo Brayton, que convertem energia térmica em energia elétrica, e sua faixa de operação é de 30 a 1000 kW (CRUZ, 2011).

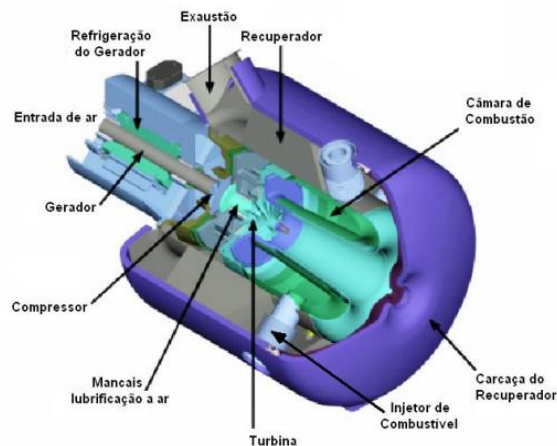
Uma microturbina é composta pelo conjunto turbo-compressor, câmara de combustão, o gerador, e opcionalmente controladores e trocadores de calor. Na Figura 13 pode-se observar um esquemático de uma microturbina (MALDONADO, 2005).

Figura 13 - Esquemático de uma Turbina a gás



Fonte: (MALDONADO, 2005)

Além do esquemático apresentado na Figura 13, pode-se observar na Figura 14 uma microturbina da *Capstone* e seus componentes.

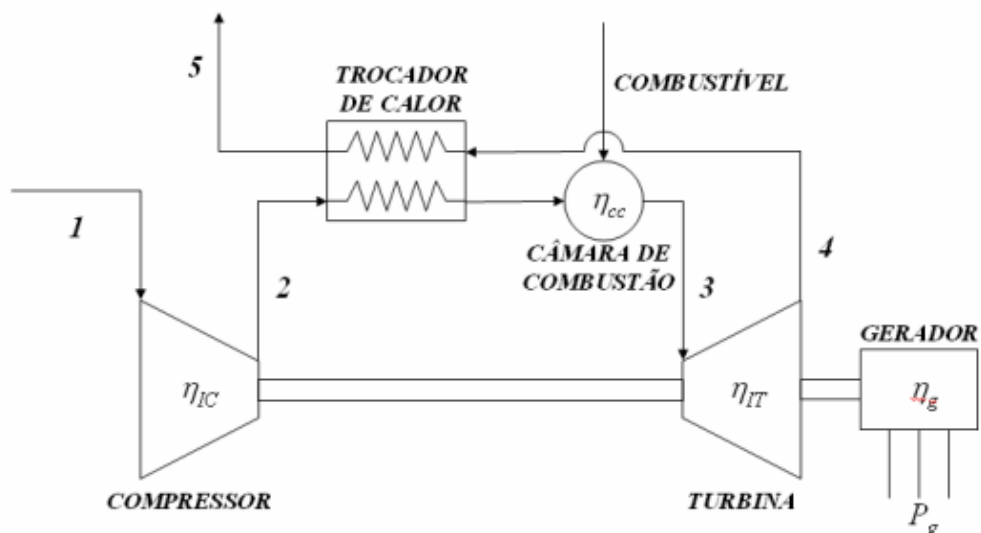
Figura 14 - Microturbina *Capstone*

Fonte: (MERÍCIA, 2007)

O funcionamento de uma microturbina dá-se na seguinte sequência: O fluido utilizado é comprimido pelo compressor (1-2), após isso na câmara de combustão, onde ocorre propriamente a combustão, aumenta-se a temperatura do fluido (2-3). Em seguida essa energia é transferida para a turbina, onde ocorre a expansão do fluido. (3-4). (MALDONADO, 2005).

Para turbinas que utilizam trocadores de calor tem-se o processo chamado ciclo regenerativo, na Figura 15 tem-se um esquemático com numeração para que possa ser compreendido a operação do ciclo regenerativo, que se segue na seguinte sequência: O ar de entrada (1) é comprimido (2) e direcionado para o trocador de calor, onde recebe calor dos gases na saída da turbina antes de entrar na câmara de combustão. Na câmara de combustão o fluido é injetado a uma alta pressão e os gases advindos da combustão (3) são expandidos através da turbina. Na turbina é utilizada energia para girar os conjuntos compressor-turbina e turbina-gerador. Em algumas microturbinas mais modernas o calor que sai da turbina passa pelo trocador de calor, aquecendo o ar que vem do compressor para aumentar a eficiência da turbina. Os gases exaustos (4) são resfriados antes de sair na atmosfera (MALDONADO, 2005).

Figura 15 - Esquemático de uma microturbina com ciclo regenerativo



Fonte: (PILAVACHI, 2002)

Algumas microturbinas existentes no mercado podem ser vistas na Tabela 1, com descrições de potência, combustível e eficiência energética.

Tabela 1 – Microturbinas existentes no mercado e suas respectivas eficiências

<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>POTÊNCIA</b>	<b>COMBUSTÍVEL</b>	<b>EFICIÊNCIA</b>
Capstone	C30 C60	US	30 kW 60 kW	Diesel, Biogás, Gás Natural	26% 28%
Elliot	TA 80R	US	80 kW	Gás Natural	28%
Ingersoll Rand	MT70 MT250	US	70 kW 250 kW	Gás Natural	28% 29%
Avon Aero	T-62T-32	US	60 kW	Gasolina, Kerosene, JP-4	
Bowman	TG-80-RCG	UK	80 kW	Gás Natural	28%
Kawasaki	GPS250	Japão	250 kW	Gás Natural	
Turbec	T100-CHP	Suécia	100 kW	Gás Natural	30%

<i>Honeywell</i>	-	US	75 kW	Gás Natural	24%
<i>Turbo Genset</i>	TG50	França	50 kVA	Gás Natural	

Fonte: (MALDONADO, 2005)

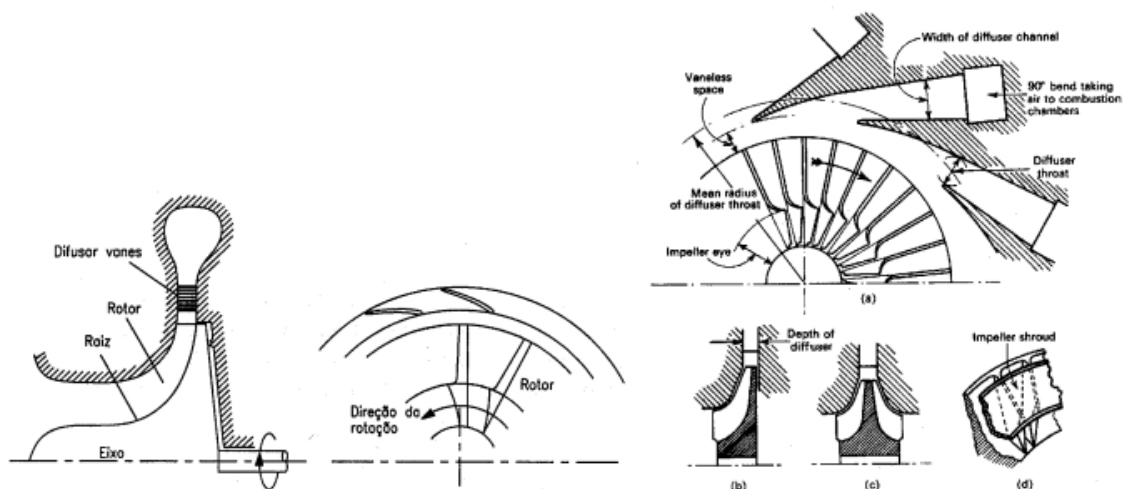
#### 4.1 Componentes de uma microturbina

Uma microturbina a gás é constituída majoritariamente pelo conjunto turbo-compressor, câmara de combustão, o gerador, e opcionalmente controladores e trocadores de calor. Neste momento serão abordados com mais detalhes cada componente da microturbina.

##### 4.1.1 Compressor

O compressor é o componente com função de elevar a pressão do ar, este utiliza parte da potência entregue pela turbina para realizar tal feito. Existem dois tipos de compressor: Centrífugo e Axial, sendo o primeiro utilizado em microturbinas. Este trabalha com pequenas e médias vazões de ar, possui uma razão de compressão típica de 3:1 porém em modelos experimentais tem-se razão de compressão de até 12:1 (MALDONADO, 2005). Na Figura 16 tem-se um esquemático de um compressor centrífugo.

Figura 16 - Esquemático de compressor centrífugo



Fonte: (MALDONADO, 2005)

Pode-se observar pela Figura 12 que esse é um rotor com uma carcaça que contém um difusor. O ar aspirado é impulsionado ao longo do rotor devido à sua alta rotação. A

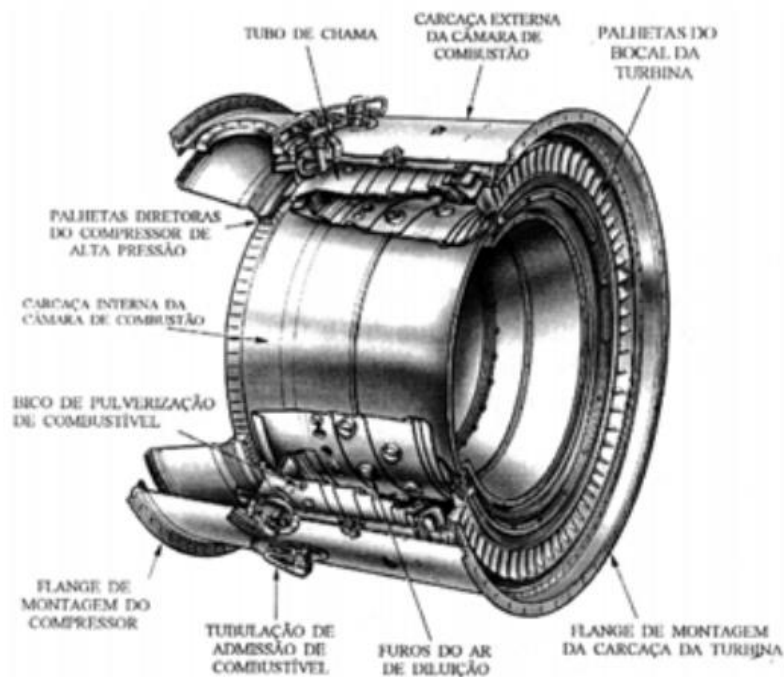
velocidade do fluido é convertida em pressão no mesmo rotor. Na saída do compressor, o difusor converte outra parte dessa energia cinética em pressão (SILVA, 2004).

#### 4.1.2 Câmara de Combustão

A câmara de combustão é o componente da microturbina onde ocorre a queima do combustível fornecido pelo bico injetor, de modo que utilize uma grande quantidade de ar advinda do compressor. Além disso, tem como finalidade a liberação de calor para a expansão do ar, que possibilita a aceleração contra as palhetas da turbina. Tal processo deve ocorrer com mínima perda de pressão e máxima eficiência. Na câmara de combustão utiliza-se diferentes tipos de combustíveis, mas o objetivo principal é que a combustão seja estável e eficiente em toda a faixa de operação (MALDONADO, 2005)

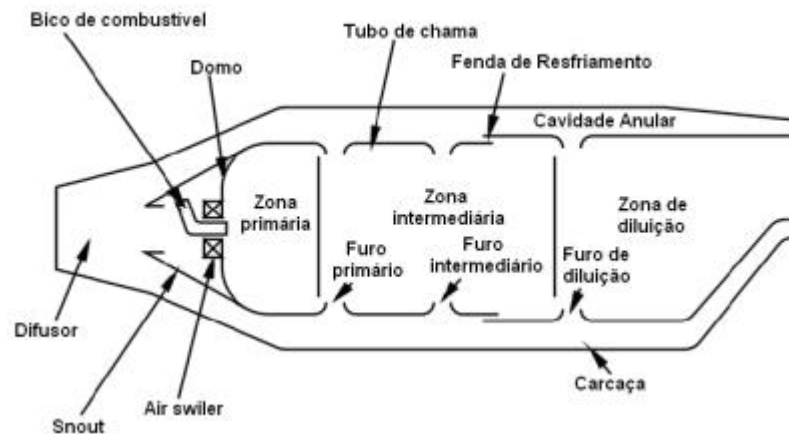
Na Figura 17 tem-se uma ilustração de uma câmara de combustão do tipo anular e na Figura 18 um esquemático.

Figura 17 - Câmara de Combustão tipo Anular



Fonte: (MALDONADO, 2005)

Figura 18 - Esquemático da câmara de combustão com seus principais componentes.



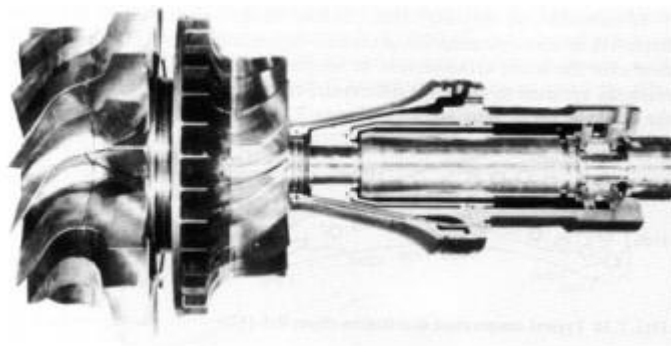
Fonte: (LEFEBVRE, 1998)

Tendo em vista que foram apresentados conceitos da câmara de combustão, o próximo item será voltado para o conceito da turbina.

#### 4.1.3 Turbina

A turbina fornece potência para acionar o compressor e o gerador elétrico, este que se encontra acoplado ao conjunto turbina-compressor. A turbina utiliza a energia cinética dos gases quentes que passam pela câmara de combustão e os expande para uma pressão e temperatura mais baixas. Na Figura 19 pode-se observar uma turbina na Figura 20 um conjunto turbina-compressor.

Figura 19 - Turbina centrípeta



Fonte: (MALDONADO, 2005)

Figura 20 - Conjunto turbina-compressor

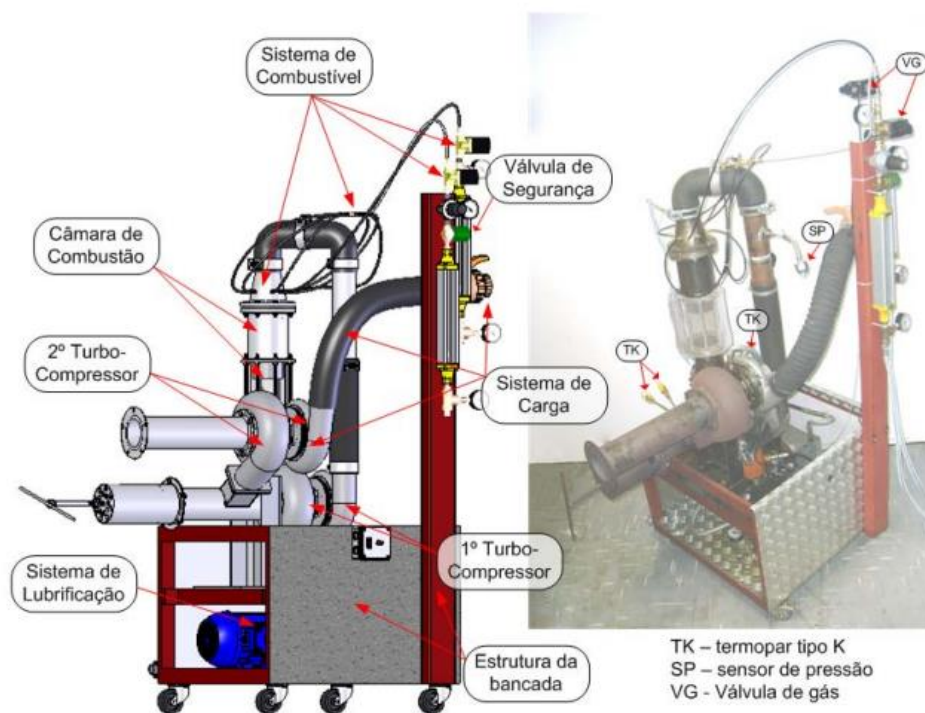


Fonte: (NICOLSI, 2020)

#### 4.1.4 Microturbina de bancada

Após a apresentação de todos os componentes principais de uma microturbina, na Figura 21 pode-se visualizar uma Microturbina de bancada.

Figura 21 - Microturbina de bancada

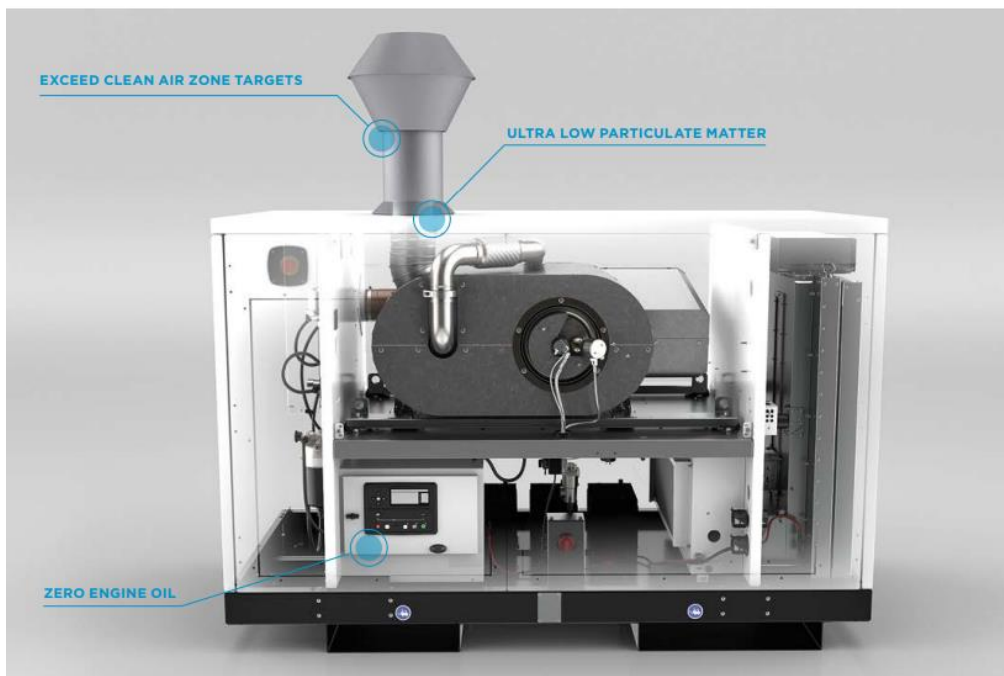


Fonte: (MERÍCIA, 2007)

## 4.2 Microturbinas presentes no mercado

Conforme pode-se ver na Tabela 1, tem-se diferentes microturbinas disponíveis no mercado, com diferentes especificações técnicas. Dessa forma tem-se na Figura 22 a microturbina *Bladon* e na Figura 23 suas especificações técnicas.

Figura 22 - Microturbina Bladon 12 kW.



Fonte: (BLADON, 2024)

Figura 23 - Especificações técnicas microturbina a gás Bladon 12 kW.

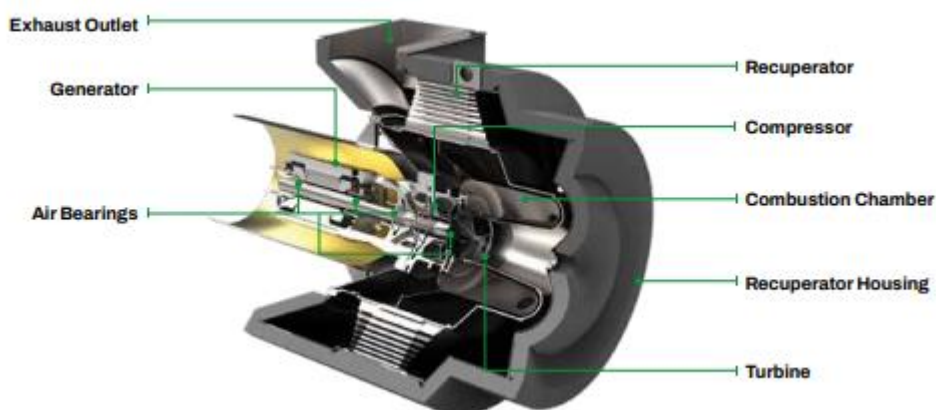
MTG12TL SPECIFICATIONS	
Power Output	0kW to 12kW (Prime / Standby) 230Vac 50Hz/60Hz
Power Factor	1.0
Earthing Configuration	TN-S
Fuel	Diesel Kerosene Illuminating Paraffin Hydrotreated Vegetable Oil Mix (In any ratio of the above. Other fuels upon request)
Engine Type	Variable high speed air cooled gas turbine (up to 135,000 RPM)
Cooling	Air cooled
Lubrication	Air bearings
Noise	<60dB(A) at 7 meters with no low frequency rumble
Vibration	None / Negligible
Environmental Operating Temperature	-10°C to +45°C Further range upon request
Operating Altitudes	Up to 2000 meters
Environmental Air Density Power De-Rate	Approximately 100W per 1°C above 15°C. Approximately 130W per 100m above 0m. Efficiency and emissions are not affected
Overload	Self-recovering software controlled overload protection
Internal Battery	4x 12V lead acid (supplied fitted as standard)
Communications	RS485 Deepsea DSE 890 MKII Gateway 4G (GSM) and Ethernet with built-in roof mounted antenna
Controls	Deepsea 7320 MKII Control Module positioned behind the main access doors.
Warranty	Manufacturers 12 months or 8760 hours parts and labour. Optional extended warranty available.

Fonte: (BLADON, 2024)

Além desta da *Bladon*, tem-se a microturbina da *Capstone* na Figura 24 e suas especificações técnicas na Figura 25.

Figura 24 - Corte com alguns componentes da microturbina Capstone de 1000 kW.

### C200 Engine Components



Fonte: (CAPSTONE, 2024)

Figura 25 - Especificações técnicas da microturbina *Capstone* de 1000kW**Electrical Performance<sup>(1)</sup>**

Electrical Power Output	1000kW
Voltage	400/480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 Wire Wye
Frequency	50/60 Hz
Electrical Efficiency LHV	33%

**Fuel/Engine Characteristics<sup>(1)</sup>**

Digester Gas HHV	20.5–32.6 MJ/m <sup>3</sup> (550–875 BTU/scf)
H <sub>2</sub> S Content	<5,000 ppm
Inlet Pressure	517–551 kPa gauge (75–80 psig)
Fuel Flow HHV	12,000 MJ/hr (11,400,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	10.9 MJ/kWh (10,300 BTU/kWh)

**Exhaust Characteristics<sup>(1)</sup>**

NO <sub>x</sub> Emissions (@ 15% O <sub>2</sub> )	< 9 ppmvd (18 mg/m <sup>3</sup> )
Exhaust Mass Flow	6.7 kg/s (14.7 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	280°C (535°F)

**Dimensions & Weight<sup>(2)</sup>**

Width x Depth x Height	3.0 x 9.1 x 3.0 m (117 x 360 x 119 in)
Weight - Grid Connect Model	17,100 kg (37,700 lbs)
Weight - Dual Mode Model	20,650 kg (45,500 lbs)

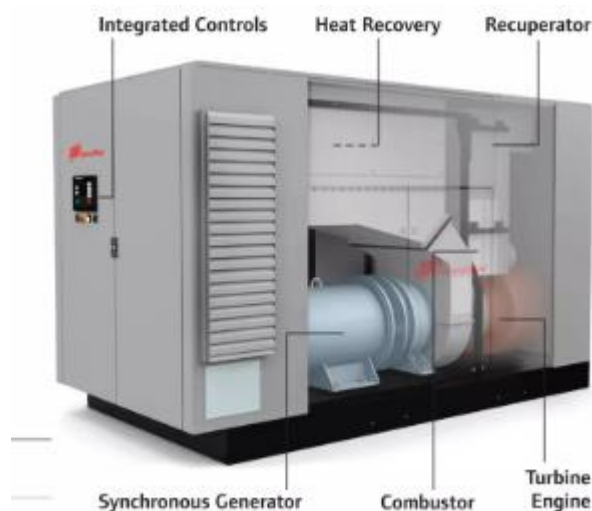
**Minimum Clearance Requirements<sup>(3)</sup>**

Horizontal Clearance	
Left	1.5 m (60 in)
Right	0.0 m (0 in)
Front	1.7 m (65 in)

Fonte: (CAPSTONE, 2024)

Pode-se observar na Figura 25 que essa microturbina tem maior robustez visto que se trata de uma microturbina com 1 MW de potência, embora sua eficiência ainda seja de 33%.

Por fim tem-se na Figura 26 a última microturbina apresentada neste capítulo, sendo essa a uma microturbina de 250 kW da *Ingersoll Rand*.

Figura 26 - Microturbina 250 kW *Ingersoll Rand*

Fonte: (INGERSOLL RAND, 2024)

Figura 27 - Especificações técnicas Microturbina 250 kW *Ingersoll Rand*

<b>Electrical Performance*</b>	
Characteristic	Specification
Electrical efficiency ( $\pm 2$ )	30% LHV without gas booster 29% LHV with gas booster
Nominal heat rate (HHV)	12,645 Btu/kWh without gas booster 13,080 Btu/kWh with gas booster
Nominal heat rate (LHV)	11,380 Btu/kWh without gas booster 11,770 Btu/kWh with gas booster
Electrical power** ( $\pm 15$ )	250 kW nominal @ 59°F without gas booster 242 kW nominal @ 59°F with gas booster 300 kW @ 0°F
Voltage	480 VAC/400 VAC
Frequency	60 Hz/50 Hz
Type of service	3 phase, wye, 4 wire
Grid-isolated regulation (steady state)	$\pm 0.50\%$ nominal voltage $\pm 0.50\%$ nominal frequency
Transient handling (linear loads) (recovery within 5 seconds)	$\pm 10\%$ nominal voltage max $\pm 5$ Hz frequency max

\* at ISO Conditions (59°F [15°C] @ sea level, 60% RH) unless otherwise noted, pipeline natural gas only  
\*\* altitude derate of approximately 8.80 kW per 1000 ft (305 m)

Fonte: (INGERSOLL RAND, 2024)

Dessa forma, após apresentados os conceitos de microturbinas a gás e apresentar algumas destas disponíveis do mercado, o próximo passo é abordar a metodologia.

## 5. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado como foram elaborados os programas de acionamento da microturbina e como foi estabelecida a comunicação destes programas. Tem-se também os materiais que são utilizados.

### 5.1 Materiais Utilizados

Para a realização do estudo de aquisição de dados serão utilizados os seguintes materiais:

- MasterTool IEC XE 3.34;
- BluePlant;
- MSSQL;
- 1 CLP Altus NX 3003;
- 1 Módulo NJ 6100 com 4 saídas analógicas;
- 2 Módulos NJ 6000 com 8 entradas analógicas;
- 1 Módulo NJ1005 com 8 I/O digitais;
- 1 Gerador de sinais Juntek JDS6600;
- Google Sheets;

Na Figura 28 pode-se visualizar o CLP Altus NX 3003 com os módulos NJ 6100, NJ 6000 e NJ1005, que serão utilizados para os testes em bancada. Na Figura 29, tem-se o gerador de sinais Juntek JDS6600 que foi utilizado para simular a velocidade da turbina.

Figura 28 - Bancada com CLP de testes



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 - Gerador de sinais Juntek JDS6600



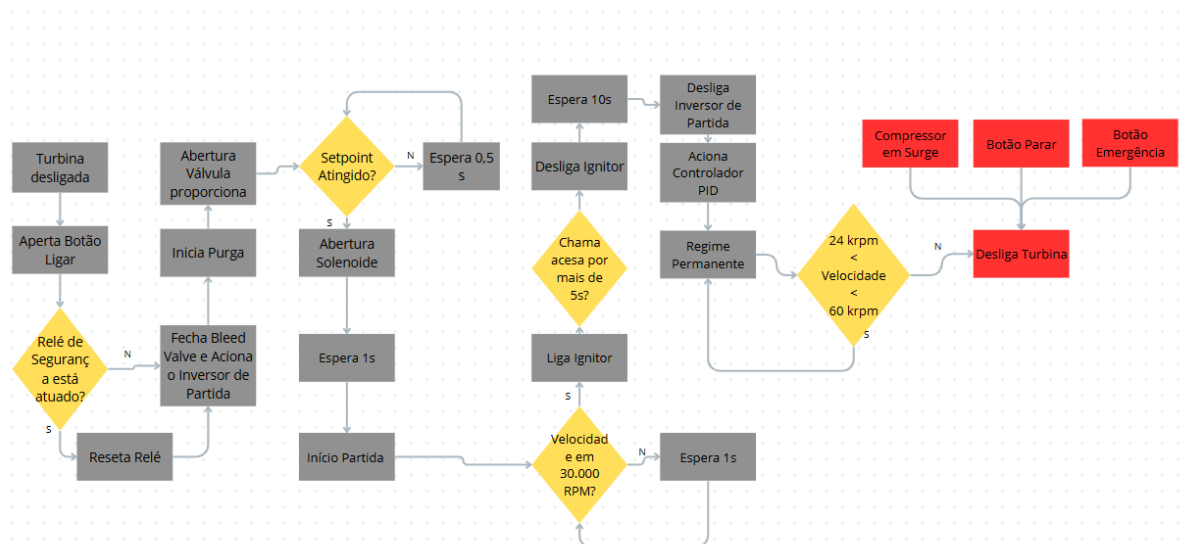
Fonte: (JUNTEK, 2017)

O dispositivo gerador de sinais da Figura 29 permite a criação de sinais de diferentes tipos, sejam eles senoidais, ondas quadradas ou triângulares. Para o estudo em questão criou-se ondas do tipo quadradas em que se mantinham em nível alto em 5% do seu período, a fim de simular como é a rotação da turbina, que contava a leitura de uma rotação apenas quando detectava um traço preto em uma superfície branca que estava girando.

## 5.2 Fluxograma de Operação da Microturbina

Em primeiro momento seguiu-se o fluxograma, que pode ser observado na Figura 30, para criar o programa de acionamento da turbina. Esse programa previamente utilizava o protocolo de comunicação *MQTT*. Assim, o programa foi reformulado com uma estrutura mais organizada e utilizando o protocolo de comunicação *MODBUS*, responsável por estabelecer comunicação entre o CLP, *MasterTools*, *BluePlant* e o banco de dados *MSSQL*.

Figura 30 – Fluxograma da ordem de acionamento da microturbina.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A ordem descrita na Figura 12 é turbina desligada (1), aperta o botão ligar (2), o relé de segurança é checado, se estiver correto, fecha a *bleed valve* e alimenta o inversor de partida (3), caso não, reseta o relé e fecha a *bleed valve* e alimenta o inversor de partida (3). O processo de purga é iniciado (4), ocorre abertura da válvula proporcional (5), depois checa-se o *setpoint* (ponto de interesse) da válvula proporcional, se estiver correto abre a solenoide (6), se não, repete o processo até que seja atingido o *setpoint*. Caso o processo esteja correto, espera-se 1s e tem-se a partida do inversor, para que a turbina opere em modo motor (7). Na sequência espera-se que seja atingido o *setpoint* da velocidade (30.000 RPM). Caso a velocidade seja igual ao *setpoint* liga-se o ignitor (8), caso não, a turbina opera até ser atingido o *setpoint*. Posteriormente, caso estivesse desligado, liga-se o ignitor (9), verifica se a chama foi mantida acesa por 5s, se sim, desliga-se o ignitor (10), aguarda 10s e desliga o inversor de partida (11), para que a microturbina comece a operar como gerador. O próximo passo é ligar o controlador PID (12) até que seja atingido o regime permanente. O controlador mantém a turbina operando acima de 24.000 RPM e abaixo de 60.000 RPM, se ficar fora deste intervalo, a turbina é desligada. Em caso do compressor estar em *Surge*, ou os botões desligar e emergência forem acionados, a turbina é desligada.

### 5.3 Criação do programa no MasterTool

Após o estudo do fluxograma foi criado o programa de acionamento da microturbina no *software MasterTools*. O programa comunica-se com o CLP de modo bidirecional, ou seja, envia instruções ao CLP, para que este atue na turbina, bem como o CLP recebe sinais dos sensores e os envia para o programa, para que esse consiga ativar os alarmes ou executar os próximos passos do fluxograma.

Em seguida criou-se as POU's – *Program Organization Units* ou Partes Organizadas de Programa, essas são dos tipos: Funções, Blocos de Função, Programas, Tarefas e Métodos. Para o acionamento da turbina foram utilizadas POU's do tipo Programas, pois essas são sequências de instruções que podem ser chamadas de outros blocos ou executadas de modo cíclico e formam a estrutura principal do controle.

Posteriormente definiu-se quais eram as variáveis que faziam leitura e quais faziam escrita de dados na turbina (para o caso de estudo, no CLP de bancada), bem como quais variáveis seriam gravadas no banco de dados. Assim que definidas, as variáveis foram anexadas a um dispositivo *MODBUS* criado no *software MasterTools*.

Cada variável do dispositivo *MODBUS* possui um número de endereço e cada uma delas pode receber um dos quatro tipos de dados citados no Capítulo 2.2. Assim, criou-se as variáveis no dispositivo *MODBUS* de acordo com o tipo de dados que essas receberiam, no caso todas as variáveis eram do tipo *Holding Register* pois seriam variáveis de escrita, como pode-se observar na Figura 31.

Alguns pontos pertinentes que podem ser observados na Figura 31 é que o dispositivo *MODBUS* tem um nome, sendo esse *MODBUS\_Device\_01*. Esse dispositivo tem um endereço de IP de destino, nesse caso 192.168.5.197, que é o endereço o qual serão enviados os comandos de leitura ou escrita. Tem-se também um número da sua porta TCP, nesse caso 502.

Figura 31 – Variáveis do dispositivo MODBUS

The screenshot shows the configuration window for a MODBUS client. The top section, 'Configurações do Cliente', includes fields for 'Endereço Inicial de Diagnósticos em %Q' (set to 21738) and 'Tamanho' (set to 20). The 'Protocolo' section has radio buttons for 'RTU via TCP' and 'TCP' (selected). Below this is a table of devices with one entry: 'MODBUS\_Device\_01' at IP '192.168.5.197' and port '502'. The bottom section, 'Mapeamentos do Dispositivo de MODBUS\_Device\_01', contains a table mapping slave addresses to IEC variables.

Nome	IP de Destino	Porta TCP
0 MODBUS_Device_01	192.168.5.197	502

Tipo de Dado	Endereço do Escravo	Endereço Inicial de Escrita	Tamanho dos Dados de Escrita	Variável IEC de Escrita
0 Holding Register	3	1	2	%QW4176
1 Holding Register	3	3	2	%QW4180
2 Holding Register	3	5	2	%QW4184
3 Holding Register	3	7	2	%QW4188
4 Holding Register	3	9	2	%QW4192
5 Holding Register	3	11	2	%QW4196
6 Holding Register	3	13	2	%QW4200
7 Holding Register	3	15	2	%QW4204
8 Holding Register	3	17	2	%QW4208
9 Holding Register	3	19	2	%QW4212
10 Holding Register	3	21	2	%QW4216
11 Holding Register	3	23	2	%QW4220
12 Holding Register	3	25	2	%QW4224

Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto importante é a coluna “Variável IEC de Escrita” que tem um número no formato “%QW0000”, este número que permite a associação da variável do programa do *MasterTools* com a alguma do *MODBUS\_Device\_01*. Outro ponto pertinente deste dispositivo é que este é um dispositivo *MODBUS* do tipo *Master* e de escrita, logo será responsável por solicitar que seja feita escrita software *SCADA BluePlant*, portanto não faz leitura de valores vindos do *BluePlant*.

Em seguida relacionou-se as variáveis do programa de acionamento do *MasterTools* com as do dispositivo *MODBUS*, conforme mostra a coluna de endereços da Figura 32. Essas são as variáveis que serão gravadas no banco de dados *MSSQL* posteriormente.

Figura 32 – Variáveis relacionadas com o dispositivo *MODBUS* tipo *Master*.

Escopo	Nome	Endereço	Tipo de dados
163	VAR_GLOBAL	VAZAO_TOTAL_REAL	%QW4224 REAL
47	VAR_GLOBAL	entrada_combustivel_pressao_REAL	%QW4224 REAL
45	VAR_GLOBAL	entrada_camara_temp_REAL	%QW4220 INT
43	VAR_GLOBAL	entrada_camara_pressao_real	%QW4216 REAL
123	VAR_GLOBAL	saida_turb_temp_MODBUS	%QW4212 INT
122	VAR_GLOBAL	saida_turb_pressao_REAL	%QW4208 REAL
120	VAR_GLOBAL	saida_trocador_temp_MODBUS	%QW4204 INT
116	VAR_GLOBAL	saida_comp_temp_MODBUS	%QW4200 INT
118	VAR_GLOBAL	saida_trocador_pressao_REAL	%QW4196 REAL
112	VAR_GLOBAL	saida_combustivel_pressao_REAL	%QW4192 REAL
167	VAR_GLOBAL	velocidade_eixo	%QW4188 UDINT
114	VAR_GLOBAL	saida_comp_pressao_REAL	%QW4184 REAL
154	VAR_GLOBAL	valvula_proporcional_feedback_leitura	%QW4180 INT
49	VAR_GLOBAL	entrada_turb_temp_MB	%QW4176 INT
62	VAR_GLOBAL	Iac_output_W	%IW4150 WORD
61	VAR_GLOBAL	Iac_output_V	%IW4148 WORD
59	VAR_GLOBAL	Grid_freq	%IW4146 WORD
152	VAR_GLOBAL	Vac_output_W	%IW4144 WORD
151	VAR_GLOBAL	Vac_output_V	%IW4142 WORD
149	VAR_GLOBAL	Teste_check	%IW4140 WORD
142	VAR_GLOBAL	TEMP_MEDIA	%IW4136 DWORD
161	VAR_GLOBAL	VAZAO_TOTAL_2	%IW4132 DWORD
159	VAR_GLOBAL	VAZAO_TOTAL_1	%IW4128 DWORD
157	VAR_GLOBAL	VAZAO_INST	%IW4124 DWORD
166	VAR_GLOBAL	VELO_FLUIDO	%IW4120 DWORD
150	VAR_GLOBAL	Vac_output_U	%IW4114 WORD
60	VAR_GLOBAL	Iac_output_U	%IW4112 WORD
26	VAR_GLOBAL	Cos_phi	%IW4110 WORD
93	VAR_GLOBAL	P_reativa	%IW4108 WORD
92	VAR_GLOBAL	P_ativa	%IW4106 WORD
91	VAR_GLOBAL	P_aparente	%IW4104 WORD
30	VAR_GLOBAL	Derating_read	%IW4102 WORD
96	VAR_GLOBAL	Pdc_input	%IW4100 WORD

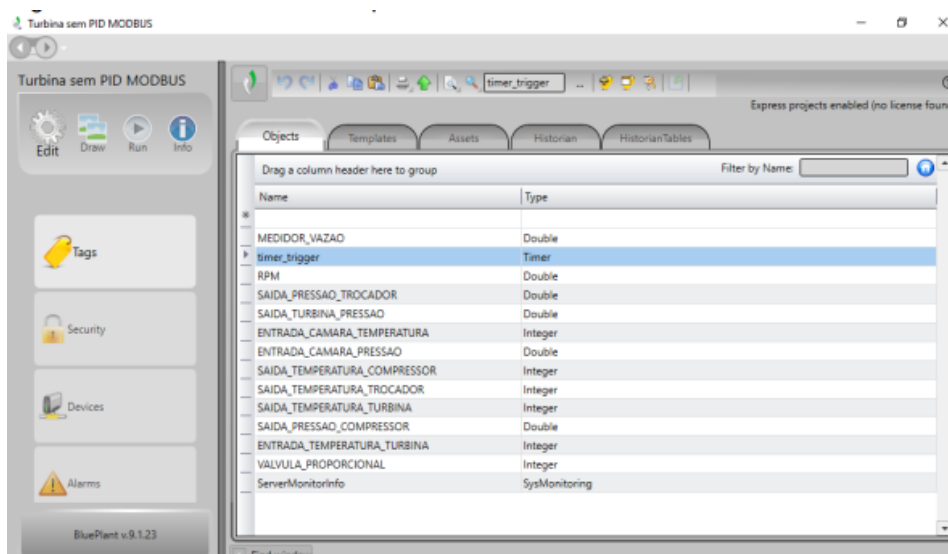
Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se que a coluna de endereços na Figura 32, que tem informações do dispositivo *MODBUS*, possuem um número no formato “%QW0000” que, conforme dito anteriormente, possibilita relacionar as variáveis do programa do *MasterTools* com as do dispositivo *MODBUS* comunicação. Nesse caso um exemplo de variável seria a %QW4188, que foi relacionada com a variável *velocidade\_eixo* do programa de acionamento.

#### 5.4 Criação do Programa no *BluePlant*

O *BluePlant* é um software SCADA e intermediário responsável por receber os valores do CLP, lidos no *MasterTools*, e enviá-los para o banco de dados MSSQL. Para que seja feita esta comunicação, criou-se as variáveis no *Blueplant*, essas são chamadas de *TAGs*. Pode-se observar as *TAGs* de interesse na Figura 33.

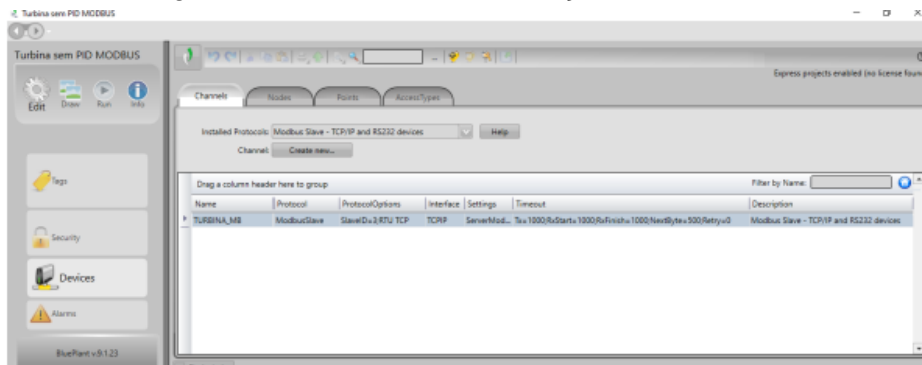
Figura 33 – Variáveis ou TAGs que serão armazenadas no banco de dados MSSQL.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em seguida, criou-se na aba *Devices* um canal de comunicação, sendo esse um dispositivo *MODBUS* do tipo *slave* chamado de *TURBINA\_MB*, que receberá as ordens de escrita do dispositivo *master MODBUS\_Device\_01*, como pode-se ver na Figura 34.

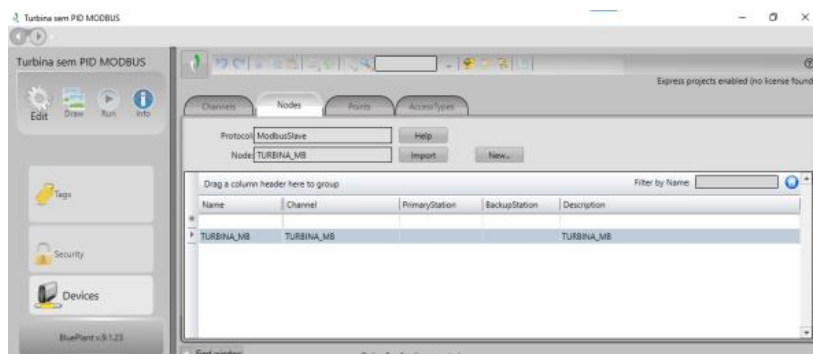
Figura 34 – Canal de comunicação no *BluePlant*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

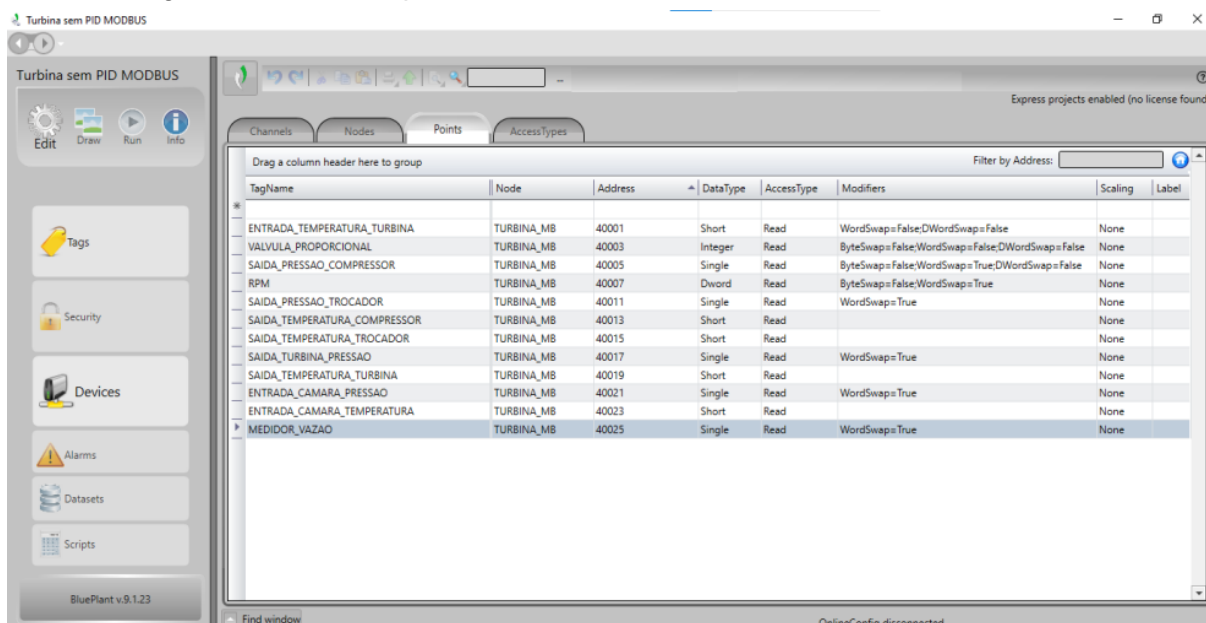
Foi feito na sequência a criação de um nó de comunicação, para que os dados recebidos do *MODBUS\_Device\_01* no canal criado, sejam escritos nas *TAGs* do *BluePlant*. A aba do nós está na Figura 35. O próximo passo foi associar as *TAGs* com o nó criado e atribuir a estas o endereço correspondente a cada uma. Pode-se observar na Figura 36 como ficaram essas associações.

Figura 35 – Nós de comunicação do dispositivo MODBUS escravo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 36 – Pontos que serão armazenados no banco de dados MSSQL.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar na Figura 36, alguns detalhes interessantes, primeiro que na coluna *Address*, que refere-se ao endereço da variável está sempre com o prefixo número 4, o motivo é que as variáveis criadas no dispositivo *master MODBUS* são do tipo *Holding Register*. Outro fato é que o endereço 40001 refere-se a variável de endereço %QW4176, pois na Figura 31 essa tem como seu endereço inicial de escrita o número 1. Outro ponto para se observar são as colunas *DataType* e *Modifiers*, tais colunas são utilizadas para definir qual tipo de dado será lido e armazenado naquela variável. Para compreender o porquê foram selecionadas tais configurações, pode-se observar a Tabela 2.

Tabela 2 - Informações para se ler/escrever dados de tipos especificados no MasterTools.

<b>Variáveis do MasterTool IEC XE</b>	<b>Tipo de Tags do BluePlant</b>	<b>Tipo de DataType do BluePlant</b>	<b>Modifiers</b>
BOOL	Digital	Native	
BIT	Digital	Native	
BYTE	Integer	Byte	
SINT	Integer	Native	
USINT	Integer	Native	
WORD	Integer	Native	
INT	Integer	Short	
UINT	Integer	Native	
DWORD	Double	Dword	WordSwap=True
DINT	Integer	Dword	WordSwap=True
UDINT	Double	Dword	WordSwap=True
LWORD	Long	ULong	WordSwap=True; DWordSwap=True
LINT	Long	Long	WordSwap=True; DWordSwap=True

ULINT	Long	Long	WordSwap=True; DWordSwap=True
REAL	Double	Single	WordSwap=True
LREAL	Double	Real	WordSwap=True; DWordSwap=True
STRING	Text	Native	
WSTRING	Text	Native	
TIME	Timer	Native	
LTIME	Double	Native	
TIME_OF_DAY	Double	Native	
DATE	DateTime	Native	
DATE_AND_TIME	DateTime	Native	

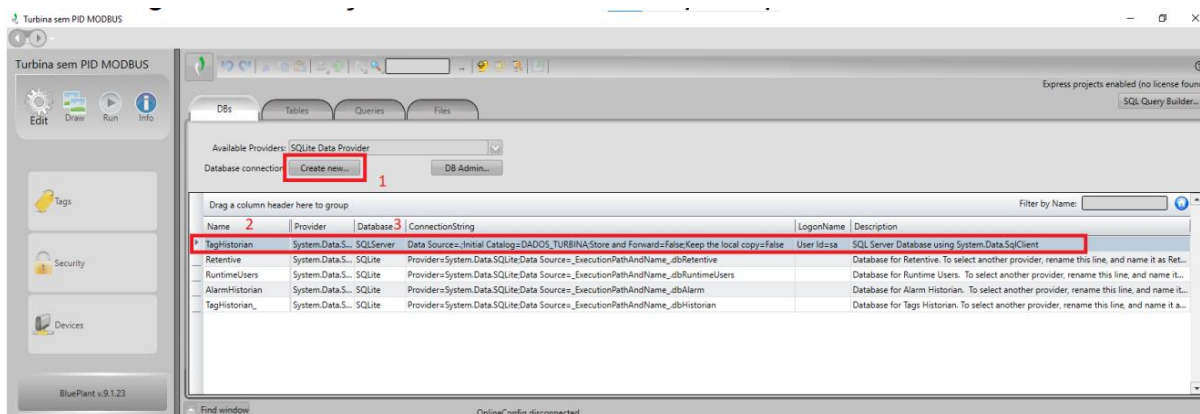
Fonte: (ALTUS, 2024).

Pode-se observar na Figura 32 que as variáveis têm tipos de dados como *REAL*, *WORD*, *INT*, *UDINT* e *DWORD*. Assim, de acordo com a Tabela 2 os dados na coluna *Data Type* do *BluePlant* devem ser *Single*, *Native*, *Short*, *Dword* e *Dword*. Não se vê variáveis do tipo *Native* na Figura 36, pois nenhuma variável do tipo *WORD* seria armazenada no banco de dados.

A próxima parte foi a de configurar o programa para que pudesse ser feita a comunicação dos dados coletados no *BluePlant* com o banco de dados que deseja-se utilizar,

no caso será um banco de dados com o SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) MSSQL. Dessa forma acessou-se a aba *Datasets*, em sequência na guia DBs modificou-se o nome do *Database connection TagHistorian* para *TagHistorian\_*, em seguida selecionou-se “*Creat new...*” e criou-se o *Database connection TagHistorian* com *Database SQLServer*, como apresentado na Figura 37.

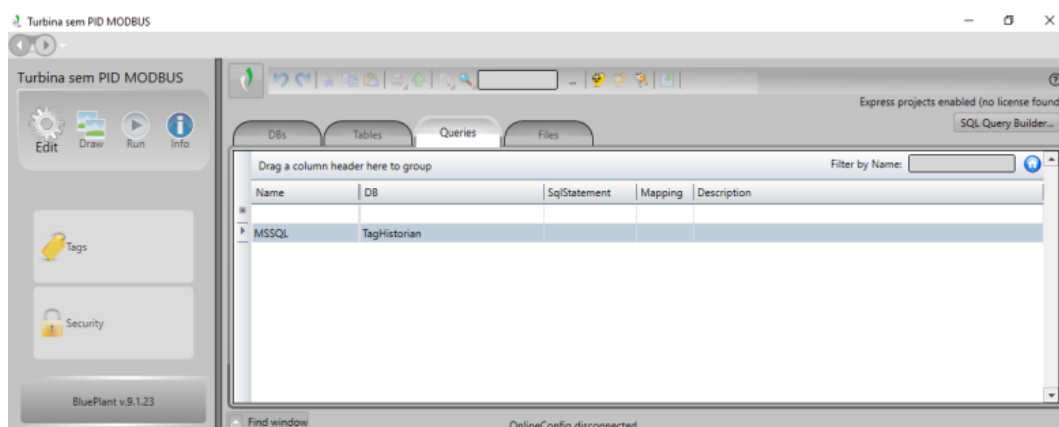
Figura 37 - Criação da conexão do blueplant para o banco de dados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O último passo referente a aba *Datasets* foi criar uma *query*, ou seja, uma instrução para que possa recuperar, inserir ou manipular dados em um banco de dados, na aba *Queries*. Como mostra a Figura 38.

Figura 38 - Criação de uma *query* no *blueplant*.

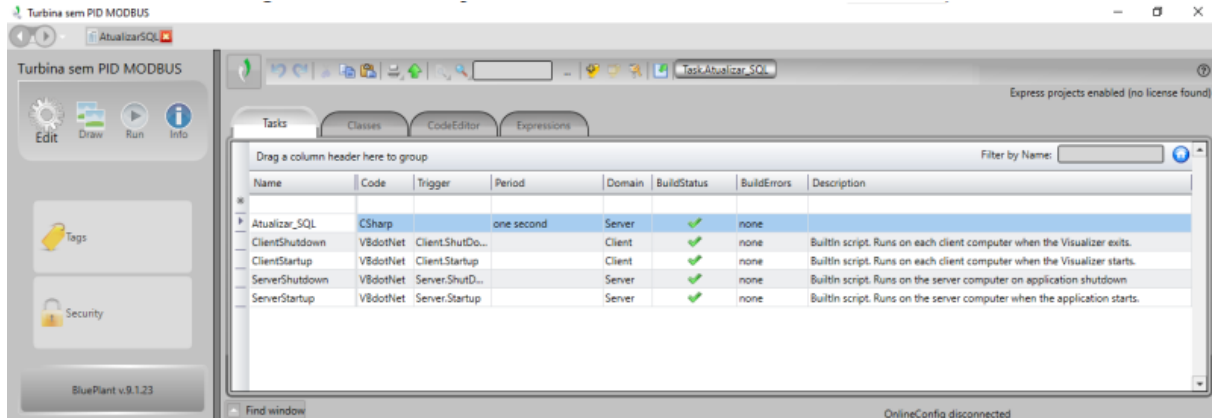


Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesse caso pode-se observar que há uma *query* denominada *MSSQL* a qual executa operações no banco de dados *TagHistorian*.

Para que sejam executadas as instruções das *queries*, deve-se criar *tasks*, que são tarefas as quais permitem fazer as ações desejadas dentro do banco de dados, para tanto utiliza-se a aba *scripts*, e cria-se uma nova *task* na guia *Tasks*. Em seguida, pela aba *CodeEditor* é elaborado um algoritmo na linguagem *CSharp* para atualizar o banco de dados, conforme mostram as Figuras 39 e 40.

Figura 39 - Criação de uma nova *task* na aba *Scripts*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 40 - Código de atualização do banco de dados.

```

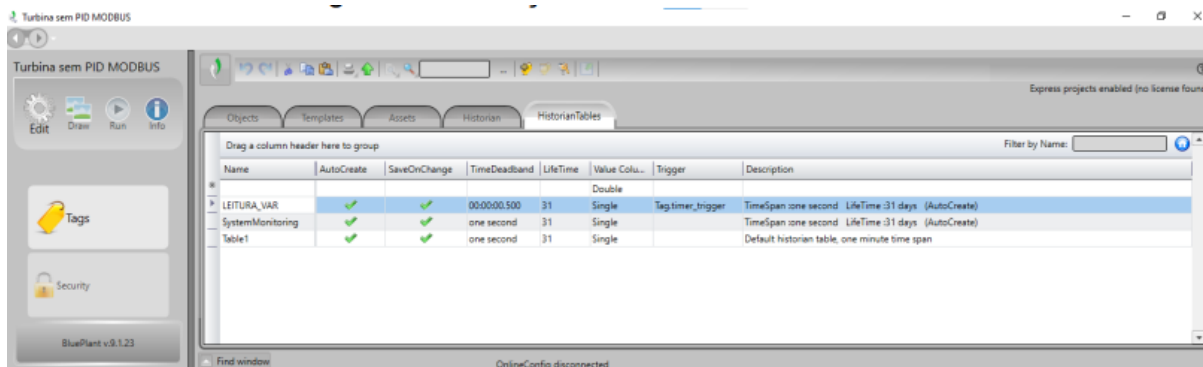
1 // TAG1
2
3 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.ENTRADA_TEMPERATURA_TURBINA.Value + " WHERE ID = '1'";
4
5 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
6
7
8
9 // TAG2
10
11 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.SAIDA_FRESSAO_COMPRESSOR.Value + " WHERE ID = '2'";
12
13 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
14
15
16
17 // TAG3
18
19 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.RPM.Value + " WHERE ID = '3'";
20
21 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
22
23
24
25 // TAG4
26
27 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.VALVULA_PROPORCIONAL.Value + " WHERE ID = '4'";
28
29 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
30
31
32
33 // TAG5
34
35 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.ENTRADA_CAMARA_FRESSAO.Value + " WHERE ID = '5'";
36
37 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
38
39
40
41 // TAG6
42
43 @Dataset.Query.MSSQL.SqlStatement = "UPDATE tags SET Valor = " + @Tag.ENTRADA_CAMARA_TEMPERATURA.Value + " WHERE ID = '6'";
44
45 @Dataset.Query.MSSQL.ExecuteCommand();
46
47

```

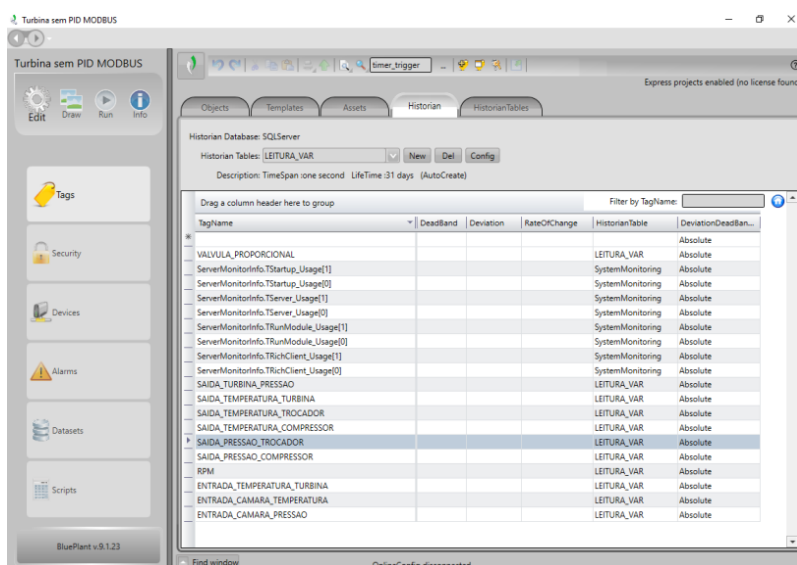
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 39 pode-se observar que a *task* criada recebe o nome de *Atualizar\_SQL* e que não há erros de código, indicado na coluna *BuildStatus*. Já na Figura 40, observa-se o algoritmo utilizado para que a *query* MSSQL seja executada, pode-se visualizar as *Tags* de interesse com suas respectivas colunas na tabela, assim sendo a *Tag* RPM no banco de dados MSSQL terá seus valores escritos na terceira coluna.

Como último passo, retornou-se para a aba *Tags* e na guia *HistorianTables*, foi criada uma tabela de dados históricos, ou seja, uma tabela que armazena os dados recebidos nas *Tags* e registra tais dados para que possam ser enviados ao banco de dados. Em seguida adicionou-se na guia *Historian*, na coluna *TagName*, quais as variáveis de interesse serão escritas no banco de dados e assim, sincronizou-se tais variáveis com a tabela criada na aba *HistorianTables*. Tais informações são mostradas nas Figuras 41 e 42.

Figura 41 - Criação de uma *HistorianTable*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

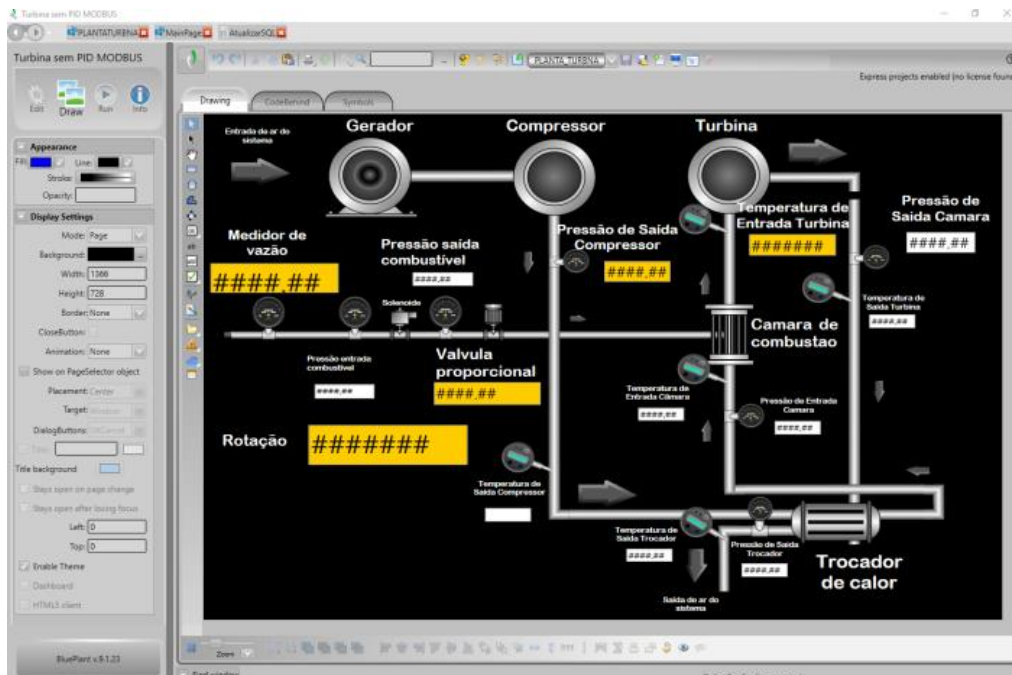
Figura 42 - Histórico de quais variáveis serão atualizadas na *HistorianTable*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 41, pode-se observar que a coluna *trigger* contém a tag *Tag.timer\_trigger* que é a variável responsável por definir em quanto tempo o banco de dados será atualizado com uma nova aquisição. Pela Figura 33 pode-se observar que o tempo é de 200 ms para cada amostra.

O último passo foi a criação de uma IHM para que os operadores da turbina pudessem acompanhar os valores obtidos pelos sensores em tempo real. A IHM é mostrada na Figura 43.

Figura 43 - Interface Homem-Máquina da microturbina.



Fonte: Elaborada pelo autor

## 5.5 Criação do Banco de dados no MSSQL

Após feitas as adequações necessárias em ambos os programas previamente citados, partiu-se para a consulta das informações no banco de dados com o SGPD MSSQL, para que seja possível observar os dados pertinentes, adquiridos anteriormente. Para tanto, abriu-se o *SQL Server 2014 Management Studio*, após realizar o *login*, abriu-se a interface do banco de dados, de modo que fosse selecionada a opção Bancos de Dados, o qual é mostrado o banco de dados "DADOS\_TURBINA" criado anteriormente no *BluePlant*. Após isso é feita a consulta na tabela `dbo.LEITURA_VAR`. Para que seja realizada a leitura pode-se observar a Figura 44, na qual mostra o código necessário para consultar o banco de dados bem como algumas informações registradas.

Figura 44 - Banco de dados MSSQL com os dados coletados pelo *BluePlant*.

The screenshot displays the Microsoft SQL Server Enterprise Manager interface. The left pane shows the server hierarchy for 'LAPTOP-7KDE968A (SQL Server 15.0.2)'. The central pane shows a query window with the following SQL code:

```
USE [DADOS_TURBINA]
GO

SELECT [ID]
,[UTCTimestamp_Ticks]
,[LogType]
,[NotSync]
,[RPM]
,[VALVULA_PROPORCIONAL]
,[ENTRADA_TEMPERATURA_TURBINA]
,[SAIDA_PRESSAO_COMPRESSOR]
,[SAIDA_TEMPERATURA_TURBINA]
,[SAIDA_TEMPERATURA_TROCADOR]
,[ENTRADA_CAVARA_PRESSAO]
,[ENTRADA_CAVARA_TEMPERATURA]
,[SAIDA_TURBINA_PRESSAO]
,[SAIDA_PRESSAO_TROCADOR]
FROM [dbo].[LEITURA_VAR]
GO
```

The bottom pane shows the results of the query, with columns: ID, UTCTimestamp\_Ticks, LogType, NotSync, RPM, SAIDA\_TEMPERATURA\_TURBINA, SAIDA\_TEMPERATURA\_TROCADOR, and SAIDA\_TEM... The data rows are as follows:

ID	UTCTimestamp_Ticks	LogType	NotSync	RPM	SAIDA_TEMPERATURA_TURBINA	SAIDA_TEMPERATURA_TROCADOR	SAIDA_TEM...
1094	638116350377460000	1	0	60000	65336	65336	65336
1095	638116350379650000	1	0	60000	65336	65336	65336
1096	638116350381700000	1	0	60000	65336	65336	65336
1097	638116350383850000	1	0	60000	65336	65336	65336
1098	638116350386000000	1	0	59820	65336	65336	65336
1099	638116350388120000	1	0	59820	65336	65336	65336
1100	638116350390210000	1	0	59820	65336	65336	65336
1101	638116350392360000	1	0	59820	65336	65336	65336
1102	638116350394460000	1	0	59820	65336	65336	65336
1103	638116350396560000	1	0	59820	65336	65336	65336
1104	638116350398670000	1	0	59820	65336	65336	65336
1105	638116350400800000	1	0	60180	65336	65336	65336
1106	638116350403000000	1	0	60180	65336	65336	65336
1107	638116350405000000	1	0	60180	65336	65336	65336
1108	638116350407150000	1	0	60180	65336	65336	65336
1109	638116350409150000	1	0	60180	65336	65336	65336
1110	638116350411200000	1	0	60000	65336	65336	65336
1111	638116350413300000	1	0	60000	65336	65336	65336

The status bar at the bottom indicates: 'Consulta executada com êxito. LAPTOP-7KDE968A (15.0 RTM) sa (70) DADOS\_TURBINA 00:00:00 4.686 linhas'.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesse caso pode-se observar as colunas com as variáveis relativas as *Tags*, criadas no *BluePlant*, sendo algumas dessas, RPM, VALVULA\_PROPORCIONAL, e ENTRADA\_TEMPERATURA\_TURBINA. Uma coluna importante para se observar é a UTCTimeStamp\_Ticks, pois essa mostra um número que representa a data e hora exatas até na escala de milissegundos.

## 6. RESULTADOS

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos, tanto referente ao uso do MQTT quanto ao uso do MODBUS.

Em primeiro momento analisa-se os resultados obtidos a partir do protocolo de comunicação MQTT pois este foi o primeiro utilizado, assim deseja-se entender quais pontos deveriam ser melhorados. Nas Figuras 45, 46 e 47 pode-se observar os dados obtidos em datas diferentes.

Figura 45- Resultados do primeiro teste utilizando MQTT na data 22/12/2022

A	B	C
Data	Posicao Proporcional[%]	Velocidade Eixo[RPM]
22.12.2022 14:20:59.286	20.0	0.0
22.12.2022 14:20:59.486	20.0	0.0
22.12.2022 14:20:59.686	20.0	0.0
22.12.2022 14:20:59.837	20.0	0.0
22.12.2022 14:21:00.038	20.0	0.0
22.12.2022 14:21:01.642	20.0	1000.22
22.12.2022 14:21:01.843	20.0	1000.22
22.12.2022 14:21:02.045	20.0	1000.22
22.12.2022 14:21:02.245	20.0	1000.22
22.12.2022 14:21:02.445	20.0	1000.22
22.12.2022 14:21:03.050	20.0	4.331.413
22.12.2022 14:21:03.250	20.0	4.331.413
22.12.2022 14:21:04.654	20.0	4.331.413
22.12.2022 14:21:04.854	20.0	4.331.413
22.12.2022 14:21:05.054	20.0	4.331.413
22.12.2022 14:21:05.657	20.0	9.497.267
22.12.2022 14:21:05.858	20.0	9.497.267
22.12.2022 14:21:07.464	20.0	9.497.267
22.12.2022 14:21:07.664	20.0	9.497.267
22.12.2022 14:21:07.864	20.0	9.497.267
22.12.2022 14:21:08.266	20.0	14.670.123
22.12.2022 14:21:08.466	20.0	14.670.123
22.12.2022 14:21:08.667	20.0	14.670.123
22.12.2022 14:21:08.867	20.0	14.670.123
22.12.2022 14:21:09.068	20.0	14.670.123

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 46 - Resultados do segundo teste utilizando MQTT na data 22/12/2022

A	B	C
Data	Posicao Proporcional[%]	Velocidade Eixo[RPM]
22.12.2022 14:26:02.604	20.0	29948.08
22.12.2022 14:26:02.805	20.0	29948.08
22.12.2022 14:26:03.005	20.0	29948.08
22.12.2022 14:26:03.206	20.0	29948.08
22.12.2022 14:26:03.406	20.0	29948.08
22.12.2022 14:26:05.012	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:05.213	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:05.414	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:05.615	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:05.816	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:06.016	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:06.218	20.0	29995.57
22.12.2022 14:26:07.423	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:07.623	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:07.824	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:07.975	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:08.176	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:09.580	20.0	30015.91
22.12.2022 14:26:09.781	20.0	30010.74
22.12.2022 14:26:09.981	20.0	30010.74
22.12.2022 14:26:10.181	20.0	30010.74
22.12.2022 14:26:10.381	20.0	30010.74
22.12.2022 14:26:10.581	20.0	30010.74

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 47 - Resultados do segundo teste utilizando MQTT na data 22/12/2022

A	B	C
Data	Posicao Proporcional[%]	Velocidade Eixo[RPM]
17.02.2023 18:45:15.505	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:15.704	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:15.905	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:16.106	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:16.305	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:16.505	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:16.706	0.0	0.0
17.02.2023 18:45:16.907	0.0	10.243.902
17.02.2023 18:45:17.108	0.0	10.243.902
17.02.2023 18:45:17.309	0.0	10.243.902
17.02.2023 18:45:17.509	0.0	10.243.902
17.02.2023 18:45:17.658	0.0	10.243.902
17.02.2023 18:45:19.466	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:19.667	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:19.867	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:20.068	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:20.268	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:20.469	0.0	20487.81
17.02.2023 18:45:23.883	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:24.084	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:24.284	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:24.484	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:24.684	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:24.886	0.0	30769.23
17.02.2023 18:45:26.691	0.0	9000.0
17.02.2023 18:45:26.891	0.0	9000.0
17.02.2023 18:45:27.092	0.0	9000.0
17.02.2023 18:45:27.292	0.0	9000.0
17.02.2023 18:45:27.494	0.0	9000.0

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em segundo momento analisa-se dados em que a aquisição foi feita utilizando o protocolo de comunicação *MODBUS*, tais dados foram aquisitados utilizando um CLP de bancada em conjunto com um gerador de sinais, que ao ter sua frequência alterada, alterava

o valor de velocidade (coluna RPM do banco de dados). Tais dados podem ser vistos na Figura 48.

Figura 48 - Resultados do segundo teste utilizando MODBUS.

SQLQuery1.sql - LA...S\_TURBINA (sa (70))

```

USE [DADOS_TURBINA]
GO
SELECT [ID]
,[UTCTimestamp_Ticks]
,[LogType]
,[NatSync]
,[RPM]
,[VALVULA_PROPORCIONAL]
,[ENTRADA_TEMPERATURA_TURBINA]
,[SAIDA_PRESSAO_COMPRESSOR]
,[SAIDA_TEMPERATURA_TURBINA]
,[SAIDA_TEMPERATURA_TROCADOR]
,[SAIDA_TEMPERATURA_COMPRESSOR]
,[ENTRADA_CAPARA_PRESSAO]
,[ENTRADA_CAPARA_TEMPERATURA]
,[SAIDA_TURBINA_PRESSAO]
,[SAIDA_PRESSAO_TROCADOR]
FROM [dbo].[LEITURA_VAR]
GO
  
```

ID	UTCTimestamp_Ticks	LogType	NatSync	RPM	VALVULA_PROPORCIONAL	ENTRADA_TEMP	SAIDA_PRESSAO	SAIDA_TEMPERATURA_TURBINA	SAIDA_TEMPERATURA_TROCADOR	SAIDA_TEMPERATURA_COMPRESSOR
1094	638116350377460000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336
1095	638116350379630000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336
1096	638116350381700000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336
1097	638116350383890000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336
1098	638116350386000000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1099	638116350388120000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1100	638116350390210000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1101	638116350392360000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1102	638116350394460000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1103	638116350396560000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1104	638116350398670000	1	0	59820	3000	0	0	65336	65336	65336
1105	638116350400840000	1	0	60180	3000	0	0	65336	65336	65336
1106	638116350403000000	1	0	60180	3000	0	0	65336	65336	65336
1107	638116350405000000	1	0	60180	3000	0	0	65336	65336	65336
1108	638116350407150000	1	0	60180	3000	0	0	65336	65336	65336
1109	638116350409150000	1	0	60180	3000	0	0	65336	65336	65336
1110	638116350411200000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336
1111	638116350413300000	1	0	60000	3000	0	0	65336	65336	65336

Consada com êxito. LAPTOP-7KDE968A (15.0 RTM) sa (70) DADOS\_TURBINA 00:00:00 4.686 linhas

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se notar ao observar as Figuras 45, 46 e 47, dos testes que utilizavam como protocolo de comunicação MQTT, que sempre são registradas 5 amostras iguais, no intervalo de 1s, depois desse período é feita a atualização no valor da velocidade, de modo que não fica visível o aumento gradativo da rotação. Quanto ao uso do protocolo MODBUS, pode-se observar na Figura 48 que os registros de velocidade aparentam ter um padrão na amostragem similar ao que ocorre no MQTT, no entanto isso ocorre, pois valor da frequência no gerador de sinais era alterado de forma manual, desse modo assim que a frequência era alterada no gerador de sinais, o valor lido no CLP era registrado no banco de dados imediatamente.

As causas dessas limitações não ficam evidentes se apenas a substituição do protocolo de comunicação foi uma solução para o problema, pois foram coletadas poucas amostras para análises. Além disso, o MQTT tem uma aquisição de forma repetida e que aparenta ser mais lenta, porém seria necessário realizar testes utilizando o MODBUS na microturbina. No entanto, elencou-se pontos comparativos entre ambos os protocolos em aplicações industriais que podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação de aspectos do MODBUS com o MQTT.

<b>Aspecto</b>	<b>Vantagens do MODBUS</b>	<b>Comparação com MQTT</b>
Simplicidade de Implementação	Fácil de configurar e implementar, especialmente em sistemas legados.	MQTT é mais complexo devido à necessidade de configuração de um broker e das mensagens publish/subscribe.
Compatibilidade	Altamente compatível com dispositivos e sistemas industriais tradicionais.	MQTT exige compatibilidade com sistemas mais recentes e pode ser limitado em sistemas legados.
Determinismo	Protocolo mais previsível em termos de troca de informações, útil para aplicações que requerem respostas rápidas e contínuas.	MQTT depende da qualidade da conexão e do broker, podendo não ser determinístico em ambientes com alta latência.
Infraestrutura	Não exige uma infraestrutura complexa; pode ser implementado em redes serial simples (RS-232/RS-485) ou TCP/IP.	MQTT geralmente requer uma infraestrutura baseada em IP e internet, o que pode ser mais caro ou inviável em alguns casos.
Latência	Menor latência em aplicações locais, pois não depende de uma arquitetura distribuída como o MQTT.	MQTT pode introduzir maiores tempos de resposta devido à natureza assíncrona do protocolo.
Custo de Equipamentos	Menor custo ao usar hardware existente, especialmente em sistemas industriais tradicionais.	MQTT pode exigir hardware moderno, além de maior poder de processamento e conectividade com redes IP.
Robustez em Ambientes Hostis	Projetado para ambientes industriais, podendo operar com redes ruidosas, como em comunicação serial.	MQTT depende de conexões de rede mais estáveis e pode ser mais suscetível a interferências em redes de baixa qualidade.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, observa-se que existem inúmeras vantagens do protocolo de comunicação MODBUS em relação ao MQTT para aplicações industriais.

## 7. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar o uso do protocolo de comunicação MODBUS para o melhoramento da aquisição de dados de uma microturbina a gás, em comparação com o protocolo MQTT. Os resultados apresentados demonstram que o MODBUS, por ser amplamente utilizado na indústria e contar com vasta compatibilidade com dispositivos como sensores, atuadores e controladores lógicos programáveis (CLPs), mostrou-se uma escolha adequada e eficiente para as necessidades do sistema estudado.

Durante os testes de bancada, foi possível verificar que o protocolo MODBUS oferece maior confiabilidade e previsibilidade na comunicação, garantindo uma aquisição de dados mais estável. Essa característica se mostra particularmente vantajosa em sistemas industriais que exigem precisão e repetitividade.

Além disso, o MODBUS apresenta uma ampla gama de aplicações em diferentes áreas industriais.

No setor de energia elétrica, o MODBUS é amplamente utilizado para monitoramento e controle de sistemas como subestações, transformadores e redes de distribuição. Por meio da comunicação MODBUS, sensores e medidores inteligentes podem fornecer informações detalhadas sobre tensões, correntes e potências ativas ou reativas. Esses dados são essenciais para diagnósticos, otimização da rede elétrica e prevenção de falhas, contribuindo para uma operação mais eficiente e segura.

No saneamento, o MODBUS é usado para monitorar estações de tratamento de água e esgoto. Equipamentos como sensores de nível, bombas e válvulas podem ser integrados em um sistema centralizado usando MODBUS, permitindo que operadores visualizem e ajustem os parâmetros do sistema em tempo real. Esse protocolo facilita, por exemplo, a detecção de alterações nos níveis de reservatórios ou no fluxo de tratamento, melhorando a gestão dos recursos hídricos e a eficiência operacional.

No setor de petróleo e gás, o MODBUS desempenha um papel crucial no monitoramento de pipelines e controle de processos em plantas de refino. Equipamentos como medidores de pressão, medidores de fluxo e válvulas atuadoras utilizam o MODBUS para comunicar informações críticas para sistemas de controle distribuído (DCS) ou sistemas SCADA. Isso permite supervisão eficiente, detecção rápida de falhas e uma operação contínua e segura.

Outro ponto relevante observado foi a compatibilidade do MODBUS com ferramentas de supervisão como os sistemas SCADA, amplamente utilizados para centralizar o controle de processos e facilitar a tomada de decisões. Essa integração facilita a análise de dados em tempo real e permite intervenções rápidas em casos de desvios de processo, aumentando a eficiência e reduzindo custos operacionais.

Embora o protocolo MQTT seja amplamente reconhecido por sua eficiência em aplicações de Internet das Coisas (IoT) e na comunicação remota, ele apresenta limitações em aplicações industriais devido à sua maior complexidade, dependência de infraestrutura de rede estável e comportamento assíncrono, tornando-o menos adequado para situações que exigem alta confiabilidade e previsibilidade, como sistemas de controle de processos industriais.

Por fim, embora os resultados deste estudo não indiquem claras vantagens na utilização do MODBUS para a aquisição de dados em microturbinas pode-se considerar que este, por ser um protocolo aberto e muito antigo, tendo uma vasta literatura e ainda grande compatibilidade com diferentes tipos de dispositivos, é mais adequado para aplicações industriais como operação de microturbinas. Estudos futuros em ambientes industriais mais complexos são recomendados para validar a aplicabilidade do MODBUS em sistemas de grande escala e em condições operacionais reais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTUS. Curso de Introdução à Automação [Aula 01]. 2018. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/100/curso-de-introducao-a-automacao--5baula-01-5d>. Acesso em: 08 de dez. 2024.

ALTUS, Manual de utilização *Blueplant* Disponível em: <https://www.altus.com.br/produto/20/scada-blueplant> . Acesso em: 08 de dez. 2024.

ALVES FILHO, Henrique José Ribeiro. Sistema de aquisição de dados e controle para bancada experimental de microturbinas. 2020. 138 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) — Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

ANEEL Resolução Normativa 482/2012, disponível em <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida> . Acesso em: 08 de dez. 2024.

BARROS, Ruy Carvalho de. Análise de maturidade no gerenciamento de projetos de tecnologia de automação. 2003.

CRUZ, Thatiana Virginia Granja. Identificação experimental de um modelo dinâmico de uma microturbina a gás com câmara de combustão com baixa emissão de NOx. 2011.

ELIPSE “Versão 4.0 do Elipse E3 otimiza a automação da UH Ponte de Pedra da Tractebel” disponível em: <https://www.elipse.com.br/case/versao-4-0-do-elipse-e3-agrega-melhor-performance-e-confiabilidade-ao-sistema-scada-da-usina-hidreletrica-ponte-de-pedra-da-tractebel/> . Acesso em: 08 de dez. 2024

CARESANA, Flávio; COMODI, Gabriele; PELAGALLI, Leonardo; RENZI, Maximiliano and VAGNI, Sandro. “Use of a testbed to study the performance of micro gas turbines for cogeneration applications,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, 2011.

FAGUNDES, Frederico Duarte. M2M communication applied in didactic plants of pro-cess control. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

GOMES, E B.; Rosa, M. A.; SILVA, E. “CASE STUDIES OF DISTRIBUTED GENERATION PROJECTS WITH MICROTURBINES IN BRAZIL”, *Proceedings of International Joint Power Generation Conference*, June 16-19, 2003 – Atlanta, Georgia.

JUNTEK. Operating Manual JDS6600 Series, 2017. Disponível em: <[https://saliterman.umn.edu/sites/saliterman.umn.edu/files/files/general/jds6600\\_quick\\_guide.pdf](https://saliterman.umn.edu/sites/saliterman.umn.edu/files/files/general/jds6600_quick_guide.pdf)> Acesso em 11. dez. 2024

KAY, J. A.; ENTZMINGER, R. A.; MAZUR, D. C. "Industrial Ethernet: Overview and Application in the Forest Products Industry," in IEEE Industry Applications Magazine, vol. 21, no. 1, pp. 54-63, Jan.-Feb. 2015, doi: 10.1109/MIAS.2014.2345835.

KRAMPF, F.,M.; "A Practical Guide for Gas Turbine Performance Field and Test Analysis Data", ASME Paper No. 92-GT-427, 1992.

KUANG, Y.; ZHANG, Y.; ZHOU, B.; CANBING LI, CAO, Y; LIJUAN LI, ZENG, L. A review of renewable energy utilization in islands, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 504-513, 2016.

LEFEBVRE, A. H. Gas Turbine Combustion. 2nd Edition. Edwards Brothers. EUA, 1998.

MANESIS, Stamatios; NIKOLAKOPOULOS, George. Introduction to industrial automation. CRC Press, 2018.

MALDONADO, M. A. R. "MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE UMA MICRO-TURBINA A GÁS" Dissertação de mestrado, UNIFEI, 2005

NASCIMENTO, J .M. A.; LUCENA, P. B. Protocolo Modbus. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, v. 1, n. 1, p. 1, 2003.

NICOLOSI, Francesco Fabio. Bio-fueled micro gas turbine: fuel flexibility and management optimization. 2022. Tese de Doutorado. Free University of Bozen-Bolzano.

PILAVACHI, P. A. "MINI AND MICRO-GAS TURBINES FOR COMBINED HEAT AND POWER", Applied Thermal Engineering 22 (2002), pp. 2003-2014, published by Elsevier Science Lt

TAMBOLI, S.; RAWALE, M.; THORAIET, R.; AGASHE, S. "Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP communication using Siemens S7-1200 PLC for batch process," 2015 *International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, Avadi, India, 2015, pp. 258-263, doi: 10.1109/ICSTM.2015.7225424.

TORRES, A. B. B.; ROCHA, A. R.; SOUZA, J. N. Análise de desempenho de brokers MQTT em sistema de baixo custo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 36., 2016, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBC, 2016. p. 2804-2815.

YACCHIREMA, D.; PALAU, C.; ESTEVE, M. Smart IoT Gateway For Heterogeneous Devices Interoperability. IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 8, p. 3900-3906, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786378>. Acesso em: 30 ago. 2023

SILVA, A. C. S. (2018). Análise de uso de banco de dados por sistemas de automação industrial.

EXCELENCE, A. What is SCADA? Automation Excellence Private Limited, 2018. Disponível em: .

Silva, Lora Electo; Rosa, do Nascimento Marco A. “GERAÇÃO TERMELETRICA”, Volume 1, Editora Inter-ciência, RJ, 2004.

SILVA , F. R. M. D. (2017). *Implantação e desenvolvimento de uma rede de automação industrial e sistema SCADA para estação de tratamento de água purificada* (Master's thesis, Brasil).