



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Vinício Virissimo da Silva Neto

**Automatização do Processo Composto de Coleta, Tratamento, Análise e Envio
de Dados de Qualidade de Energia Elétrica ao Operador Nacional do Sistema
Elétrico**

Florianópolis
2021

Vinício Virissimo da Silva Neto

Automatização do Processo Composto de Coleta, Tratamento, Análise e Envio de Dados de Qualidade de Energia Elétrica ao Operador Nacional do Sistema Elétrico

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. Felipe Gomes de Oliveira Cabral, Dr.

Supervisor: Thiago Pereira Mendes Vilas Boas, Eng.

Florianópolis
2021

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Vinício Virissimo da Silva Neto

Automatização do Processo Composto de Coleta, Tratamento, Análise e Envio de Dados de Qualidade de Energia Elétrica ao Operador Nacional do Sistema Elétrico

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Florianópolis, 07 de dezembro de 2021.

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Felipe Gomes de Oliveira Cabral, Dr.
Orientador
UFSC/CTC/DAS

Thiago Pereira Mendes Vilas Boas, Eng.
Supervisor
Engie Brasil Energia

Prof. Daniel Coutinho, Dr.
Avaliador
UFSC/CTC/DAS

Prof. Eduardo Camponogara, Dr.
Presidente da Banca
UFSC/CTC/DAS

Este trabalho é dedicado à minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu bisavô, José Virissimo da Silva, por ter sido o alicerce da família e o maior exemplo de homem trabalhador.

Aos meus avós, Vinício Virissimo da Silva e Terezinha Peixoto da Silva, por serem os avós mais amáveis e apoiadores que eu poderia ter.

Aos meus pais, Helder Virissimo Silva e Fernanda da Cruz Virissimo, por sempre estarem presentes na minha vida e por me apoiarem incondicionalmente.

Ao meu orientador, Felipe Gomes, pelo suporte nos momentos em que precisei.

Ao meu supervisor, Thiago Vilas Boas, por me conferir tranquilidade e flexibilidade para realização das atividades.

Aos meus colegas de trabalho na Engie, Felipe Rejes, Renan Eggers e Luisa Schoeller pelas colaborações no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu colega de trabalho na Engie, Adrisson Consoni Floriano, pela ajuda na concepção do tema e no desenvolvimento do projeto.

À todos do setor de Operação na Engie, pelo ambiente de trabalho descontraído, divertido e profissional.

Ao Simón de Lizarza, pelo pronto apoio em questões técnicas sempre que precisei.

Aos professores encarregados da disciplina de PFC, pela compreensão e flexibilidade.

À minha família por sempre ter acreditado em mim.

*“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”
(Henry Ford)*

RESUMO

No atual momento, colaboradores da Engie Brasil Energia atendem manualmente um documento regulatório no qual deve ser coletado dados de medidores de faturamento de forma remota, construir um relatório em planilhas e enviar para o órgão regulador que é o ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Os dados são referentes à informações de qualidade de energia elétrica, como cintilações, harmônicos, fator de desequilíbrio, dentre outros. Os medidores mais atuais apresentam esses dados em memórias de massa que podem ser acessados por programas de aquisição e gerenciamento de dados de forma remota através de redes e protocolos nativos. Através deste trabalho, se é discutido possíveis cenários de solução para automatização do processo manual, que é o principal objetivo. A metodologia usada consiste em quatro etapas simples: planejamento, desenvolvimento implementação e testes, com a utilização de etapas rápidas de testes e ajustes. Os resultados consistiram na validação dos métodos de solução escolhidos e proposição de funcionalidades futuras. A aplicação ainda se encontra em fase de otimização para ser implementada em definitivo.

Palavras-chave: QEE. Automatização. Dados.

ABSTRACT

Currently, employees of Engie Brasil Energia manually comply with a regulatory document in which data from revenue meters must be collected remotely, build a report in sheets and send it to the regulatory agency which is ONS, the National Electric System Operator. The data refer to power quality information, such as flickers, harmonics, unbalance factor, among others. The most current meters present this data in mass memories which can be accessed by data acquisition and management software remotely through native networks and protocols. Through this project, possible solution scenarios for the automation of the manual process are discussed, which is the main goal. The methodology used consists of four simple steps: planning, development, implementation and testing, using quick test and adjustment steps as well. The results consisted of validating the chosen solution methods and proposing future features. The application is still in the optimization phase to be definitively implemented.

Keywords: Automation. Data. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Segmentos da indústria de energia elétrica	18
Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro	19
Figura 3 – Exemplos de perturbações na tensão elétrica	22
Figura 4 – Harmônicos em sinal de tensão/corrente pelo tempo	26
Figura 5 – Distorção harmônica	27
Figura 6 – Curva de sensibilidade do olho humano	28
Figura 7 – Operação de um motor de indução trifásico	29
Figura 8 – Integração de camadas de serviços via redes	30
Figura 9 – Usabilidade dos protocolos de rede	32
Figura 10 – Modelo OSI	33
Figura 11 – Janela de configuração de um driver no Elipse E3	36
Figura 12 – Sistema SCADA	37
Figura 13 – Medidor de faturamento ION 8650	40
Figura 14 – Módulos de um medidor ION 8650	41
Figura 15 – Software ION Setup	43
Figura 16 – Elipse E3 Studio	45
Figura 17 – Elipse E3 Viewer	45
Figura 18 – Seção Organizer do E3 Studio	46
Figura 19 – Exemplo de script no E3 Studio	47
Figura 20 – Visão geral do PI System	48
Figura 21 – PI Interface Configuration Utility	50
Figura 22 – Processo AS IS	52
Figura 23 – Fluxograma da Metodologia Proposta	54
Figura 24 – Divisão dos servidores em camadas de rede	56
Figura 25 – Cenário 1	57
Figura 26 – Cenário 2	58
Figura 27 – Cenário 3	60
Figura 28 – Número dos módulos dos Data Records	63
Figura 29 – Pasta Driver do objeto Medidor	65
Figura 30 – Criação de um ponto no PI Builder	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução das Redes Industriais	31
Quadro 2 – Principais Protocolos de Comunicação	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de conexões para comunicação do ION 8650	41
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CLP	Controlador Lógico-Programável
DNP	Distributed Network Protocol
EBE	Engie Brasil Energia
FD	Fator de Desequilíbrio
FTP	File Transfer Protocol
ICU	Interface Configuration Utility
IED	Intelligent Electronic Device
IHM	Interface homem-máquina
IOT	Internet of Things
ISO	International Standardization Organization
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPC	OLE for Process Control
OSI	Open Systems Interconnection
PLT	Perceptibility Long Term
PST	Perceptibility Short Term
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RTU	Remote terminal unity
SAS	Sistemas de Automação de Subestações
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCDE	Sistema de Coleta de Dados de Energia
SIN	Sistema Interligado Nacional
SMF	Sistema de Medição e Faturamento
TCP	Transmission Control Protocol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	15
1.2	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	16
1.3	SIGILO DE DADOS	16
2	ENGIE BRASIL ENERGIA	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	18
3.2	QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)	20
3.3	REGULAMENTAÇÕES DA ONS	22
3.3.1	Submódulo 2.9 do ONS - Requisitos mínimos de QEE para acesso ou integração à Rede Básica	24
3.4	COMUNICAÇÃO VIA REDES INDUSTRIAIS	29
3.4.1	Protocolos Industriais	32
3.4.2	Driver	35
3.5	SISTEMAS SCADA	36
3.5.1	Tags de comunicação	38
3.6	MEDIDORES DE FATURAMENTO	39
3.6.1	Medidor ION 8650	39
3.6.1.1	Data Record	41
3.6.1.2	ION Setup	42
3.7	FERRAMENTAS	43
3.7.1	Elipse E3	43
3.7.1.1	Elementos e Scripts	46
3.7.2	PI System	47
4	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	51
4.1	PROCESSO AS IS	51
4.2	REQUISITOS DO SISTEMA	52
5	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	54
5.1	METODOLOGIA	54
5.2	ANÁLISE DE SOLUÇÕES	55
5.2.1	Cenário 1	56
5.2.2	Cenário 2	58
5.2.3	Cenário 3	59
5.3	COLETA	61
5.4	TRATAMENTO	66
5.5	ANÁLISE	67
5.6	ENVIO	68

6	RESULTADOS E CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DE DRIVER VIA SCRIPT NO E3 STUDIO	74
	ANEXO A – PRINCIPAIS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS E SUAS CAU- SAS	75
	ANEXO B – DOCUMENTAÇÃO DO DRIVER ION32	76

1 INTRODUÇÃO

De forma principalmente a agregar valor tecnológico aos seus processos, nessas últimas décadas as empresas cada vez mais vêm buscando variadas formas de modelar estes processos e automatizá-los, se assim for viável e conveniente para elas. Não só como uma forma de acelerar e otimizar produções quaisquer, mas também como forma de marketing e de estabelecimento vívido na concorrência de mercado.

Na Engie Brasil Energia (EBE) não é diferente. A empresa se apresenta com um porte tecnológico bastante alto, mas sempre buscando melhorar, não a toa que dezenas de milhares de equipamentos da rede de geração e transmissão de energia espalhados pelo país são monitorados e controlados remotamente daqui de Florianópolis. Dentre as atividades atreladas a este sistema robusto de supervisão, temos a “prestação de contas” para com as unidades reguladoras de energia como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), das quais pode-se citar os documentos regulatórios geralmente divididos em submódulos que são atualizados regularmente, dispondo de regras, indicadores, métricas, limites que devem ser seguidos para praticamente todo e qualquer processo das empresas de energia relacionado com suas linhas de trabalho, seja ela geração, transmissão ou distribuição. Afinal, a rede nacional está interconectada através do SIN (Sistema Interligado Nacional) e por isso a importância do monitoramento das unidades que a compõe.

O projeto proposto busca automatizar o atendimento a um dos submódulos, via envio de dados prescritos no documento em forma de relatório, que descreve algumas exigências relacionadas à Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Tal processo, desde a coleta dos dados do equipamento em campo até o envio das informações necessárias ao ONS, é feito manualmente por colaboradores na EBE.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é, através das ferramentas utilizadas pela empresa para controle e monitoramento remoto, propor um projeto de automatização do processo de envio dados para verificação de requisitos exigidos no submódulo 2.9 da ONS, intitulado “Requisitos Mínimos de Qualidade de Energia Elétrica para Acesso ou Integração à Rede Básica”, que tem uma frequência semanal.

Pode-se, ainda, elencar mais objetivos a serem atingidos que são motivações para elaboração e desenvolvimento deste projeto, além da agregação de valor tecnológico já citada: economia de homem-hora, agilidade no escopo da tarefa e eliminação de possíveis erros humanos no processo.

1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

No capítulo 2, é feita uma breve apresentação da empresa cujo ambiente de trabalho foi utilizado para confecção deste projeto: a Engie Brasil Energia.

No capítulo 3, há a fundamentação teórica, isto é, o estudo de todos os conceitos necessários para o entendimento do desenvolvimento do projeto, desde conceitos básicos de energia elétrica até *softwares* de ponta utilizados em processos industriais de larga escala.

No capítulo 4, é explicitado quais são os requisitos de projeto, quais as funcionalidades a serem atingidas e quais as restrições para tal, bem como a descrição de como o processo é feito atualmente de forma manual.

No capítulo 5, trata-se do decorrerimento de todas as etapas técnicas da proposta de projeto, de forma detalhada, após a discussão e comparação de três possíveis soluções para a automatização do processo.

No capítulo 6, expõe-se as conclusões finais e o que se espera para trabalhos futuros.

1.3 SIGILO DE DADOS

A fim de preservar informações internas da empresa, não serão exibidos certos dados, nomes, nem mostrado algumas arquiteturas e aplicações. Quando se fizer realmente necessário, nomes fantasia serão usados.

Estas restrições não comprometem em nada o desenvolvimento deste trabalho e serão consideradas apenas para o sigilo de dados.

2 ENGIE BRASIL ENERGIA

No ano de 1995, a extensão da tradicional companhia belga Tractebel, a Tractebel Electricity and Gas, vem ao Brasil buscando se estabelecer no país e expandir seus negócios no ramo de energia. Nos dois anos posteriores, consegue atingir seu objetivo e abre seu primeiro escritório da cidade do Rio de Janeiro. A partir deste momento, a expansão se acelera com a concessão de usinas e absorção de outras empresas, como a estatal Gerasul em 1998, somando investimentos pesados oriundos de recursos próprios, sem financiamento local, e passando a ser nomeada de Tractebel Energia. (ENGIE. . . , 2021)

Paralelamente à Tractebel, a francesa Engie, nesta época sob o nome de SUEZ, também atuava no mesmo ramo em terras brasileiras e se desenvolvia já há várias décadas. Em 2008, a SUEZ se une à sua conterrânea Gaz de France (GDF), nascendo então o grupo GDF SUEZ que passa a se chamar Engie. Desde então, a empresa se consolidou mundialmente como uma das líderes em geração de energia junto a uma política de sustentabilidade, partindo para um plano de transição energética para zero carbono até 2045. No Brasil, seguindo o ritmo, há uma forte tendência em tornar todas as suas fontes de energia para fontes limpas e renováveis bem antes da meta internacional.

Em 2016, a Tractebel Energia passa a compor o grupo de empresas da Engie no Brasil, e se torna então a Engie Brasil Energia (EBE), braço responsável pela linha de negócio Geração e Comercialização de Energia. Bem recentemente, em agosto de 2021, passou oficialmente também a ser transmissora de energia, com a conclusão do Projeto Gralha Azul que suporta mais de 1000 quilômetros de linhas de transmissão que passam por 24 municípios no estado do Paraná.

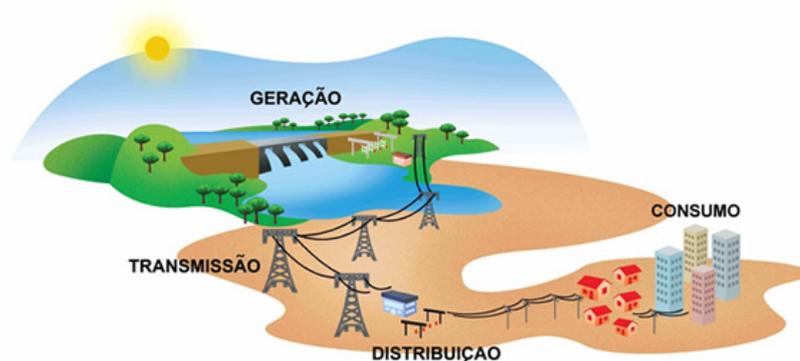
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são estudados os conceitos teóricos relacionados com o desenvolvimento do projeto. Todo o conhecimento necessário não só para compreender a natureza do processo e suas ramificações, mas também as ferramentas e seus componentes cujos entendimentos são fundamentais para se poder trabalhar soluções para o problema de automatização.

3.1 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Anteriormente à apresentação das instituições que compõem o setor elétrico, é importante compreender exatamente quais são os serviços e processos que culminam no bem produzido que é a energia elétrica e, portanto, os motivos fundamentais pelas quais elas foram criadas.

Figura 1 – Segmentos da indústria de energia elétrica



Fonte – ABRADDEE 2021

Na Figura 1 está representado graficamente, de maneira intuitiva e macro, os segmentos envolvidos. A geração é a etapa inicial onde as usinas têm o contato com a matéria-prima da natureza (água dos rios, carvão, vento, biomassa), que por sua vez será manipulada para transformar fisicamente e quimicamente sua energia em energia elétrica, injetando esta na próxima etapa. A transmissão coleta a energia elétrica gerada das usinas e é responsável por transportá-la até localidades próximas aos centros consumidores, onde centros de distribuição são os que vão distribuir de forma pulverizada para os consumidores médios e pequenos. (ABRADEE, 2021)

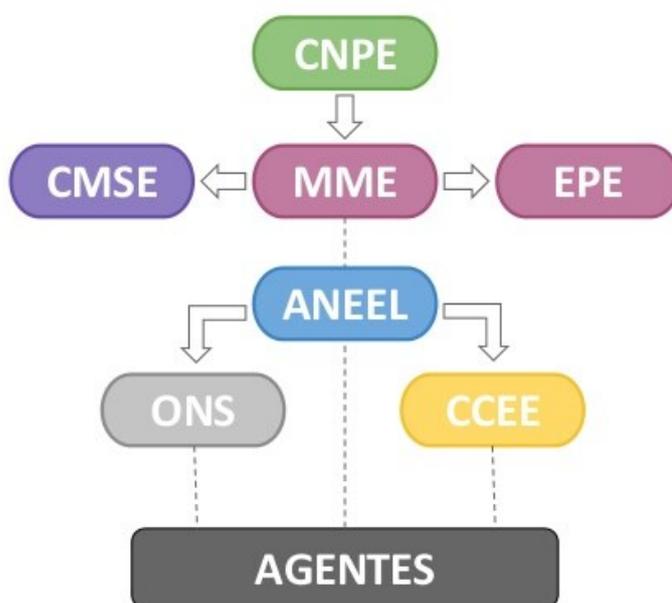
Além destes, vale citar um outro segmento que é relativamente novo que é a comercialização, responsável por estabelecer e controlar o mercado de compra e venda de energia elétrica entre os participantes do setor (geradores, comercializadores, consumidores livres e especiais, importadores e exportadores).

Desde o começo da produção de eletricidade no Brasil nos anos finais do século XIX organizadas por pequenas empresas privadas nacionais, passando pelo estabelecimento de concessionárias estrangeiras que logo passaram a fomentar o setor e o mercado, pela expansão e aumento da demanda de consumo de energia com a explosão tecnológica, até chegar ao que conhecemos hoje, o setor elétrico brasileiro foi obrigado a conceber uma estrutura organizacional através do governo e a criação de instituições. (LORENZO, 2002)

Com o passar das décadas, as atribuições e responsabilidades foram transferidas entre instituições por diversas vezes, conforme novos órgãos foram surgindo para suprir novas necessidades de acordo com que os respectivos governos pensavam e decidiam com respeito ao setor.

No momento atual, a estrutura organizacional do setor elétrico brasileiro é mostrada na Figura 2

Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro



Fonte – ONS 2017

Resumidamente, as respectivas funções dessas instituições são:

- CNPE (Conselho Nacional de Política Energética): assessora a presidência e desenvolve políticas para o setor.
- MME (Ministério de Minas e Energia): promove investimentos, pesquisas financeiras e implementa políticas do governo.

- CMSE (Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico): monitora a segurança e eficiência do suprimento de energia.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética): responsável por desenvolver planejamento integrado e de longo prazo para o setor elétrico.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica): regula e fiscaliza a geração, transmissão, comercialização e distribuição de energia elétrica. Também concede ou autoriza novas instalações e serviços no setor.
- ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico): coordena e controla a geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN).
- CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica): coordena o mercado livre de compra e venda de energia.
- AGENTES: compreende o grupo de participantes do setor, as empresas que atuam na geração, transmissão e comercialização.

A Engie Brasil Energia, enquanto agente que atua nos três segmentos descritos acima na definição, tem portanto contato mais íntimo e rotineiro com o ONS, a ANEEL e a CCEE. É o ONS que trabalha diariamente junto com o setor de Operação da Engie que controla e supervisiona as usinas e linhas de transmissão, coordenando despachos de energia elétrica, coletando dados para relatórios, dentre outras atividades.

O ONS dispõe de uma extensa documentação regulamentária que é explicada nas seções seguintes deste documento, onde uma das exigências se refere aos dados de qualidade de energia elétrica (QEE). É este ponto que tange a motivação do projeto proposto neste documento.

3.2 QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)

Quando nos referimos a qualquer produto no cotidiano, popularmente falando, é comum que reparemos na qualidade do mesmo. Por exemplo: quanto aos alimentos nós observamos características como a aparência, o gosto, o formato para decidir se a qualidade é boa ou não. Entretanto, não é comum pensar o mesmo sobre a energia elétrica que recebemos em casa. A tendência popular e leiga é um julgamento quase binário: se tem energia ou não se tem (*blackout*, poste derrubado). Em outras palavras, a importância do produto reside quase que exclusivamente à continuidade do serviço.

Não tão evidentemente, o produto energia elétrica também possui características e comportamentos através dos quais podemos definir sua qualidade mesmo com a continuidade estável. Conforme também os consumidores atingem um nível de sofisticação tecnológica mais alto, outros fatores além da continuidade começam a ser determinantes para muitos dos aparelhos utilizados.

No advento da energia elétrica, ela era usada na forma de corrente contínua. No entanto, isso trazia limitações técnicas para transporte e até então era reservada à castas mais ricas da sociedade. Com a difusão da corrente alternada no começo do século XX, o transporte de energia agora era possibilitado por dezenas de quilômetros distante da unidade geradora, o que possibilitou também a expansão maciça de seu uso. Os primeiros equipamentos elétricos não tinham o grau de importância que têm hoje, a sensibilidade aos parâmetros elétricos era baixa.

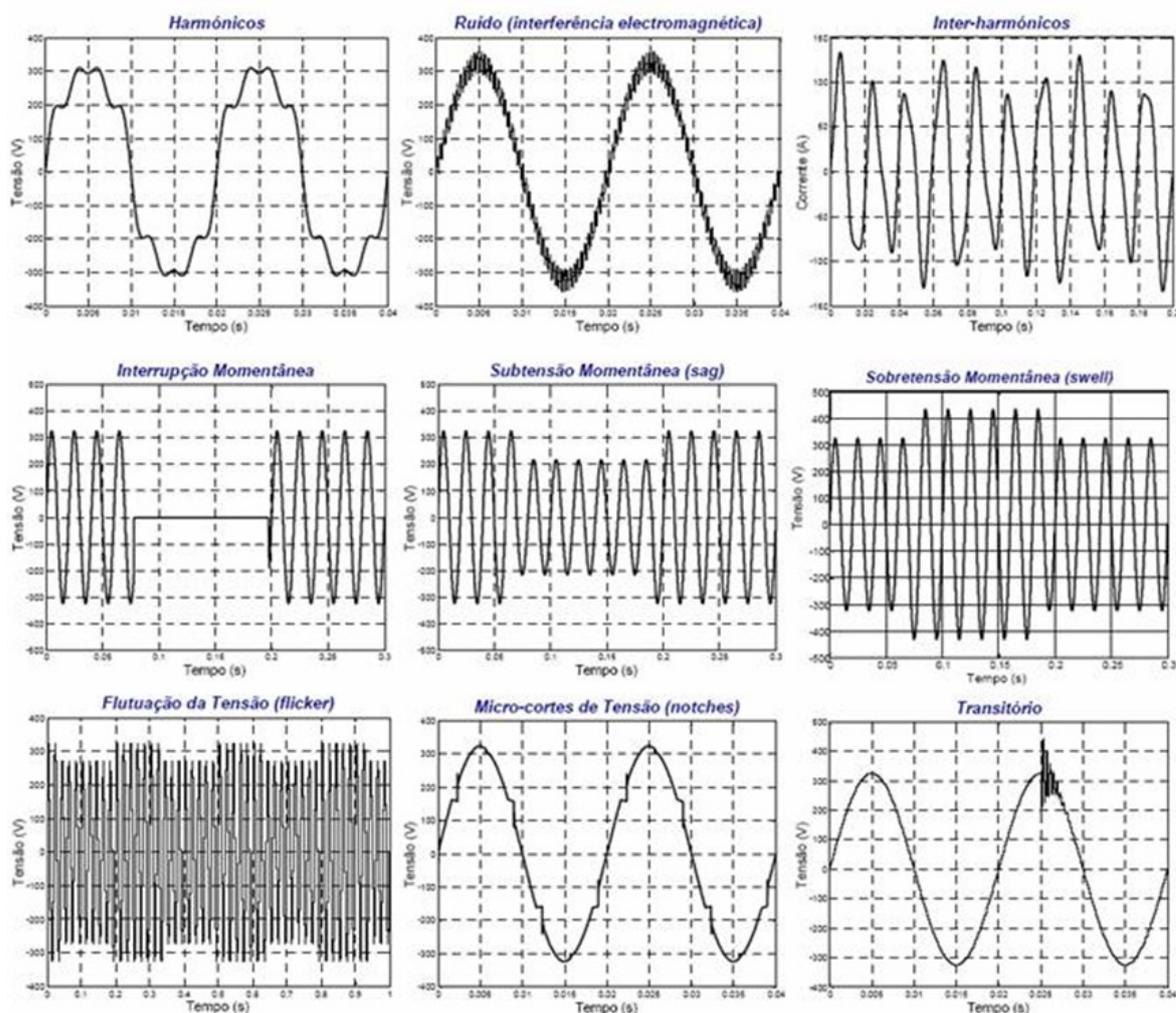
Com o surgimento da eletrônica, principalmente os semicondutores, os parâmetros passaram a ser observados com mais atenção e também tiveram que acompanhar a evolução, pois agora esses novos tipos de condutores já não são tão robustos e facilmente podem ser danificados/interferidos por distúrbios nos parâmetros elétricos. (FOURIER, 2021)

Na Figura 3, é possível observar a influência de alguns possíveis distúrbios sobre um sinal senoidal de tensão elétrica. No ANEXO A ao fim deste documento, é apresentado uma tabela para aprofundamento no assunto com os principais tipos de distúrbios com o resumo de suas definições, causas e sintomas perceptíveis aplicadas a computadores.

Pela quantidade considerável de equipamentos pelos quais a energia elétrica passa desde sua geração até chegar no destino final de consumo, e também pelos fenômenos físicos de perturbação na transmissão, é praticamente impossível esta energia ser entregue sem interferência alguma. Os próprios equipamentos eletrônicos, além de sofrerem desses fenômenos, também são causadores de "poluição" sobre a rede pois distorcem ondas de tensão e corrente que lhe são entregues. (MEHL, 2005)

Portanto, foi necessário estabelecer limites para estas variações, e é aqui que entra a concepção dos documentos regulamentários pelas instituições responsáveis, dentre os quais residem também os dedicados à QEE.

Figura 3 – Exemplos de perturbações na tensão elétrica



Fonte – Fourier Engenharia

3.3 REGULAMENTAÇÕES DA ONS

Explicitadas as funções das instituições envolvidas no setor elétrico brasileiro para controle e regulamentação, bem como algumas características básicas de QEE, é possível abranger e avançar para os documentos propriamente ditos.

Sob fiscalização e aprovação da ANEEL, o ONS dispõe de uma cartilha de módulos chamados de procedimentos de rede. Estes procedimentos são um conjunto de regras propostas para as atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN). (ONS, 2021a) Os módulos são:

- Módulo 1 - Relacionamento com agentes

- Módulo 2 - Critérios e requisitos
- Módulo 3 - Planejamento da operação
- Módulo 4 - Programação da operação
- Módulo 5 - Operação do sistema
- Módulo 6 - Avaliação da operação
- Módulo 7 - Integração de instalações
- Módulo 8 - Administração dos contratos e contabilização financeira
- Módulo 9 - Indicadores

Estes módulos servem como agrupadores onde cada um é subdividido em submódulos. Essa estrutura documental é frequentemente adaptada e atualizada pelo ONS, assim como o conteúdo das regulamentações também passa por revisões e reformas todos os anos destacando a alta frequência de evolução desse setor, o que por sua vez exige alta adaptabilidade das regras, organização e atenção dos agentes os quais estão submetidos.

Na Engie Brasil Energia, se referindo à área de operação, por exemplo, o submódulo mais importante e mais diretamente relacionado é o Submódulo 2.16 - Requisitos operacionais para os centros de operação e instalações da Rede de Operação (que até bem recentemente era o submódulo 10.14, mas foi alterado via reformulação dos procedimentos). O documento trata de pontos como:

- Requisitos para os centros de operação
- Requisitos para assistência de instalações da rede de operação
- Indicadores de assistência de instalações da rede de operação
- Requisitos para instalações que se relacionam diretamente com um centro de operação do ONS
- Requisitos para subestações compartilhadas
- Testes de serviços auxiliares de instalações da rede de operação
- Ações para preparação e operação durante regime especial de operação

Tanto este documento quanto os de todos os outros submódulos têm acesso livre para consulta no site do ONS. Com variadas frequências à escolha do órgão, são exigidos documentos de fiscalização destes requisitos, onde o agente tem que

comprovar, via relatórios e apresentação de dados, que atende às regras ditadas nos submódulos. Alguns têm frequências de vários meses, outros são exigidos mediante eventos específicos ou quando o ONS julgue necessário.

É comum, por exemplo, no caso de novas aquisições ou construções de parques eólicos que são recém adicionados à rede do SIN, que o ONS exija relatórios com os dados de qualidade de energia elétrica para monitoramento e atendimento aos requisitos do submódulo 2.9 - Requisitos mínimos de QEE para acesso ou integração à Rede Básica. A este período de de monitoramento e requisição de dados por parte do ONS a um agente se dá o nome de campanha.

3.3.1 Submódulo 2.9 do ONS - Requisitos mínimos de QEE para acesso ou integração à Rede Básica

No caso específico do submódulo 2.9, as campanhas costumam durar alguns meses e têm uma exigência semanal, isto é, a cada sete dias, o agente precisa enviar um arquivo excel com uma porção de dados de parâmetros elétricos coletados de medidores de faturamento que monitoram os ativos, integralizados em intervalos de 10 minutos cada indicador.

As cargas elétricas comandadas eletronicamente possuem uma característica intrínseca que é a não-linearidade das mesmas, ou seja, não requerem a corrente elétrica constantemente, mas solicitam apenas picos de energia em determinados momentos. (MEHL, 2005) O submódulo 2.9 dos procedimentos de rede do ONS, então, descreve os requisitos a serem atendidos por instalações que contenham elementos cujas características não-lineares ou especiais possam vir a ocasionar distorções relativas à qualidade de energia elétrica na Rede Básica. (ONS, 2021b)

O documento deste submódulo, em uma representação macro da versão de revisão 2020.12 e vigência de 01/01/2021, descreve os seguintes pontos:

- Requisitos para os equipamentos de medição
- Requisitos de desempenho quanto aos indicadores de QEE
 - Indicadores de continuidade de serviço
 - Indicadores de frequência
 - Indicadores de tensão de atendimento em regime permanente
 - Indicadores de desempenho da flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica de tensão
 - * Flutuação de tensão
 - * Desequilíbrio de tensão
 - * Distorção harmônica de tensão

- Indicadores de variação de tensão de curta duração
- Avaliação do impacto de instalações que contenham elemento não-linear ou especial em processo de acesso ou de integração à Rede Básica quanto a QEE

Para melhor entendimento do que se exige no relatório gerado, é necessário entender a medida estatística dos percentis. Como descrito no submódulo 2.9, junto ao histórico de dados listados nas planilhas, alguns deles exige-se o cálculo do percentil 95 pois são esses valores, no fim, que devem estar de acordo com limites definidos pelo ONS no documento.

Os percentis, dado uma amostra de dados, são medidas separatrizes que dividem essa amostra, ordenada em ordem crescente de dados, em 100 partes iguais, cada uma com uma porcentagem de dados aproximadamente igual. Ou seja, pode-se então obter o percentil 1, 2, 3 e assim por diante até o 99.

Por exemplo: em uma amostra $A = [1, 2, 3, 4]$ deseja-se saber o percentil 30. No intervalo de 1 até 4, temos 3 unidades, que divididas em 100 partes iguais, temos 100 partes de 0,03. Para se ter o percentil 30, deseja-se saber a trigésima posição dentro desse intervalo de partes de 0,03, isto é, 30 vezes 0,03 que é igual a 0,9. Partindo do dado inicial da amostra, que é o valor 1, soma-se 0,9 e então temos que o percentil 30 da amostra A é 1,9.

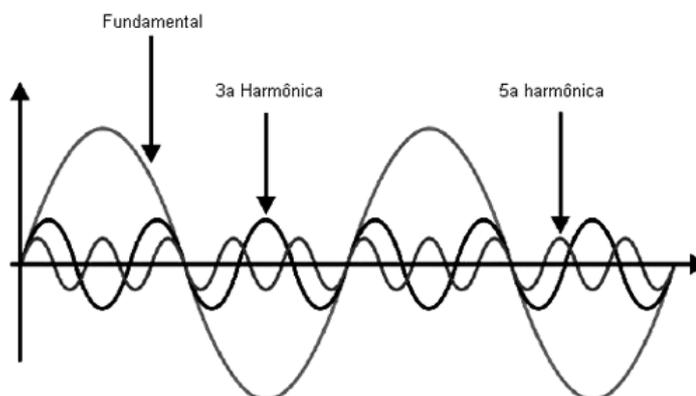
Portanto, ao solicitar percentis 95 de parâmetros elétricos neste submódulo significa que, para o atendimento aos intervalos e limites aceitáveis, o nonagésimo quinto valor dentro da amostra crescente e igualmente dividida da amostra de dados de um parâmetro é representativo o suficiente. No software Excel já é disponibilizado uma função/método PERCENTIL para cálculo direto dessa medida, bastando referenciar o intervalo de dados e o número do percentil desejado. (MICROSOFT, 2021)

Uma vez então solicitado o arquivo e as planilhas com os dados, o ONS avaliará se os parâmetros coincidem e/ou estão dentro das faixas estabelecidas e permitidas segundo o submódulo. Nada impede também que o próprio agente realize uma auto-avaliação se assim for conveniente e necessário. Organizados então em planilhas bem segmentadas, os dados inseridos correspondentes a uma semana, com tempo de amostragem de 10 minutos, são: o fator de desequilíbrio, distorção total harmônica, flickers PST e PLT e harmônicos individuais.

- HARMÔNICOS INDIVIDUAIS

A energia elétrica que está presente no nosso dia a dia é de corrente alternada e tem a frequência de 60Hz, a que chamamos de fundamental. Harmônicos são componentes de onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental ($n = 1$) e são misturadas a essa no sinal resultante que é utilizado pelas cargas consumidoras de energia.

Figura 4 – Harmônicos em sinal de tensão/corrente pelo tempo



Fonte – Instituto NCB (2011)

A princípio, qualquer dispositivo/componente que utilize energia da rede elétrica de forma não-linear pode causar harmônicos (fontes, lâmpadas fluorescentes ou de LED, computadores, carregadores de celular, eletrônicos em geral). As harmônicas interferem na maior parte dos componentes elétricos, eletrônicos e também nos condutores. Os indutores e capacitores têm a sua reatância dependente da frequência. Desta forma, quando existem harmônicas na rede elétrica, há uma variação nas reatâncias capacitivas e indutivas. Os motores também sofrem impacto quando o índice de qualidade da energia é baixo, devido a alta quantidade de distorção harmônica. Harmônicas podem causar sobrecarga no condutor neutro e diminuir a vida útil dos transformadores, capacitores, motores, dentre outros. (MATTEDE, 2021)

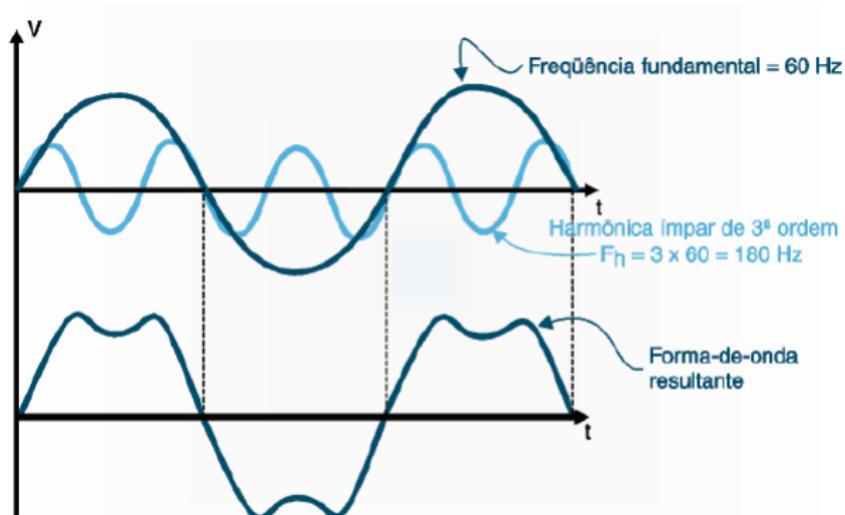
Visualmente, o sinal resultante do efeito dos componentes harmônicos em uma componente fundamental pode ser observado no primeiro gráfico da Figura 3.

- DISTORÇÃO TOTAL HARMÔNICA (DHTT)

A Distorção Harmônica Total de Tensão é a raiz quadrada do somatório quadrático das relações de tensões harmônicas de ordens 2 a n pela fundamental, sendo n a enésima harmônico considerada suficiente pro cálculo, já que componentes harmônicos muito distantes podem tender a valores muito próximos de zero.

$$DHTT = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (1)$$

Figura 5 – Distorção harmônica



Fonte – Alexandre Capelli (2021)

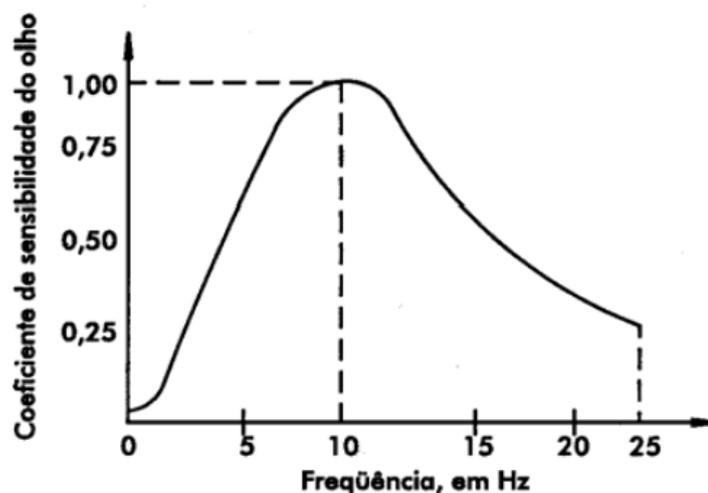
As distorções harmônicas são um tipo específico de "energia suja" que estão presentes de forma contínua e associadas ao crescente número de acionamentos estáticos (inversores de frequência, variadores de velocidade) e, em suma, dispositivos que lidam com a rede de forma não-linear já descritos acima nos harmônicos individuais. (MEHL, 2005)

- FLICKERS PST E PLT

Flickers Perceptibility Short Term (PST) e Perceptibility Long Term (PLT), ou cintilações, são fenômenos constatados através da impressão visual resultante das variações de fluxo luminoso, como observado em lâmpadas por exemplo. São resultados de pequenas flutuações de tensão provocadas pelo funcionamento de cargas variáveis como a potência instável de uma turbina eólica durante operação contínua, fornos a vácuo, motores, equipamentos de solda etc. (PINHEIRO, 2003)

As cargas com ciclo variável têm uma frequência de operação a qual produz uma modulação da magnitude de tensão da rede na faixa de 0 a 30 Hz. Nessa faixa, o olho humano é extremamente sensível às variações da emissão luminosa de lâmpadas, sendo que a máxima sensibilidade do olho é em torno de 10 Hz. (MEHL, 2005)

Figura 6 – Curva de sensibilidade do olho humano



Fonte – Ewaldo L. M. Mehl - UFPR (2005)

A medida de severidade dessa cintilação luminosa é a representação quantitativa do incômodo visual percebido pelos olhos humanos expostos ao efeito de cintilação. Os indicadores de severidade adotados como representativos da flutuação de tensão num dado barramento são:

- Pst: probabilidade de severidade de flicker de curta duração que representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos.
- PstD95%: valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de 24 horas.
- Plt: probabilidade de severidade de flicker de longa duração representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 2 horas.
- PltS95%: valor do indicador Plt que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de uma semana, sete dias completos e consecutivos. (PINHEIRO, 2003)
- FATOR DE DESEQUILÍBRIO (FD)

De acordo com a literatura clássica e com vários trabalhos apresentados ao longo dos anos, o grau ou Fator de Desequilíbrio (FD) de tensão de um sistema elétrico pode ser definido de diversas maneiras. O fator de desequilíbrio definido pela ANEEL, e portanto adotado pelo ONS em suas regulamentações, exprime a relação

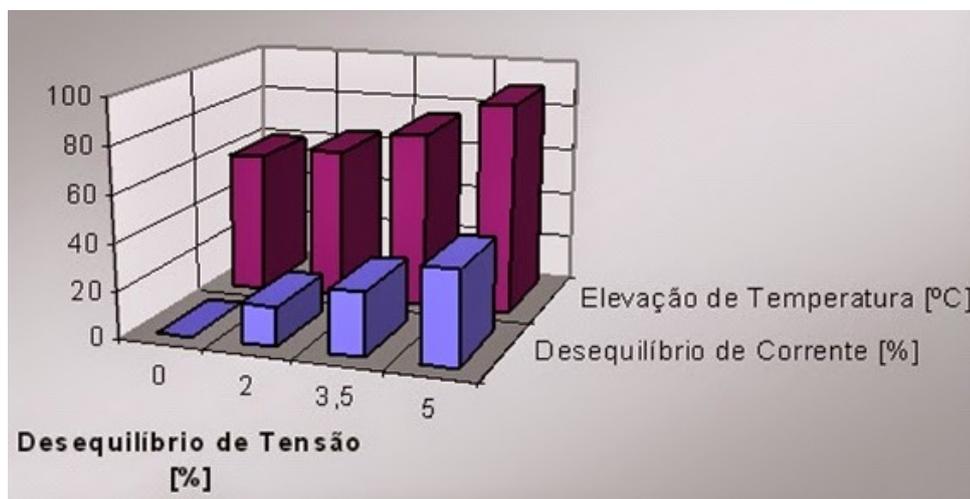
entre as componentes de sequência negativa (V_2) e sequência positiva (V_1) da tensão expressa em termos percentuais da componente de sequência positiva. (PAULILO, 2021)

$$FD\% = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100 \quad (2)$$

Esta definição está baseada no fato de que um conjunto trifásico de tensões equilibradas possui apenas componentes de sequência positiva. O surgimento, por alguma razão, de componentes de sequência zero, provoca apenas a assimetria das tensões de fase. As tensões de linha, cujas componentes de sequência zero são sempre nulas, permanecem equilibradas. Entretanto, a presença de componentes de sequência negativa também introduz uma assimetria nas tensões de linha. (PAULILO, 2021)

Estes desequilíbrios causam aquecimento em equipamentos como motores e transformadores causando assim a redução de suas vidas úteis, vide Figura 7. Também são responsáveis por desperdício de energia, devido à perda Joule.

Figura 7 – Operação de um motor de indução trifásico



Fonte – José Carlos de Oliveira - UFU (2021)

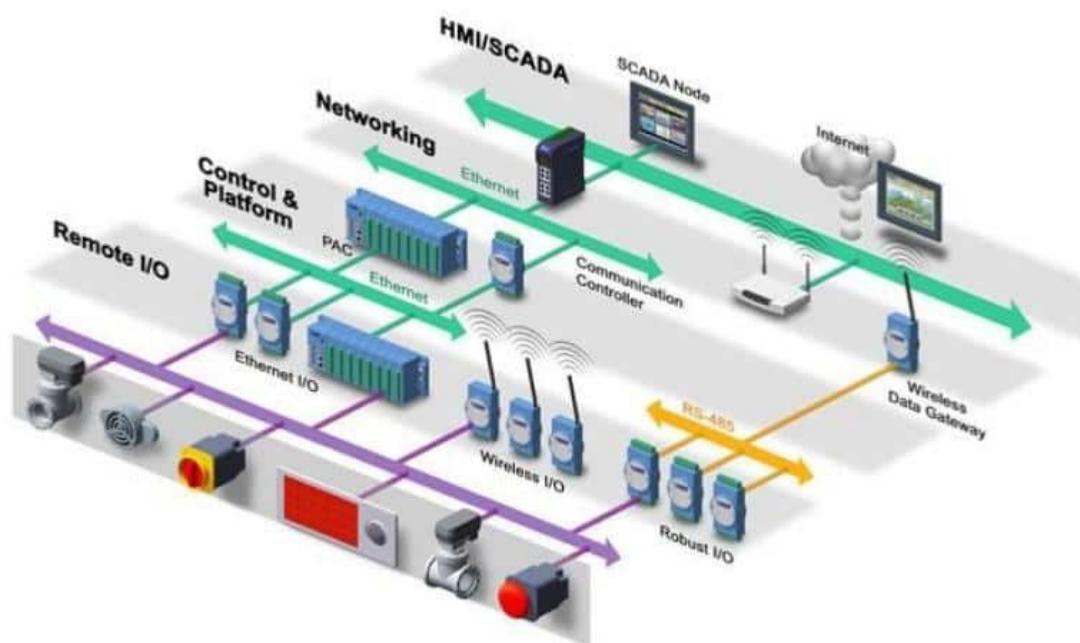
3.4 COMUNICAÇÃO VIA REDES INDUSTRIAIS

Com o processo de digitalização dos processos e meios de produção que foi fomentado e expandido no século 20, mais e mais dispositivos que compõem estes processos produtivos foram sendo aderidos, novas camadas e hierarquias administrativas e operacionais também foram formadas. Nesse contexto, o fluxo de informações entre esses dispositivos e camadas de processo aumentou exponencialmente, exigindo as-

sim um alto nível de sofisticação dos links de comunicação que são responsáveis pela conversa entre os elementos.

A Figura 8 abaixo exemplifica, de modo geral, um ambiente industrial integrado através de redes. Partindo de atuadores e sensores no chão de fábrica (Nível de Campo), dados podem ser trocados com dispositivos concentradores próximos via redes com fio (ethernet) ou sem fio (*wireless*). Estes, por sua vez, se comunicam com controladores centrais que são responsáveis por ditar o comportamento das grandezas que estão sendo trocadas via dados através das redes (Nível de Controle), dentre outros parâmetros como a frequência e também a manipulação dos dados. Os controladores então se comunicam com a camada de aplicação (Nível de Planta) - Interface homem-máquina (IHM) e softwares de aquisição e supervisão de dados (SCADA) - através de uma camada intermediária de rede, onde por exemplo estão roteadores para o caso de comunicações sem fio. Esta estrutura é bastante básica e usada apenas para exemplificar de um modo didático. Existe uma infinidade de modos e *frameworks* cujas aplicações sempre vão depender da natureza do processo envolvido.

Figura 8 – Integração de camadas de serviços via redes



Fonte – Carlos Márcio Freitas (2017)

Um bom exemplo da importância dessa discussão sobre redes se dá na seguinte situação-problema: dado um chão de fábrica onde os meios de produção são de manufatura e utiliza bastantes máquinas integradas no processo, a utilização de cabeamento para comunicação dessas máquinas pode trazer mais confiabilidade e

garantia na entrega de pacotes de dados do que via *wireless*, mas dependendo do alto fluxo de pessoas que possa vir a ter nesse chão, pode influenciar em questão de segurança dos funcionários. Além disso, se o número de cabeamento necessário for muito alto, se torna um problema organizacional para facilitar futuras manutenções. Deste modo, se estabelece um problema em como estabelecer essas vias de comunicação julgando prós e contras que estão diretamente relacionados à natureza do processo e quais são suas prioridades.

Redes industriais podem ser classificadas em uma série de aspectos como, dentre outros, por exemplo: topologia física (barramento, anel, estrela, árvore, mista); tipo de conexão (ponto a ponto, múltiplos pontos); modo de operação (simplex, *half duplex*, *full duplex*); modo de transmissão (serial, paralela).

O Quadro 1 apresenta um breve histórico de como as redes se adaptaram no passar das últimas décadas.

Quadro 1 – Evolução das Redes Industriais

Década de 60	Transmissão analógica (0-10V ou 4-20mA). Painel de instrumentos conectados diretamente aos transdutores ou atuadores.
Década de 70	Transmissão digital (controle digital direto entre controlador e os dispositivos de entrada /saída (I/O)). Controlador Lógico Programável (CLP)
Década de 90	Redes de controladores de lógica programável (controle distribuído - Fieldbus). Controlador programável (CP) e software supervisório central, que gerencia alarmes, receitas e relatórios.
Atualmente	Redes que interligam dispositivos de campo inteligentes (sensores e atuadores), CLPs etc.

Fonte – CASSIOLATO (2011).

A constante evolução vem despertando nos gestores a necessidade de informações em tempo real, sendo cada vez mais necessária a sinergia dos dados reportados com as ações a serem tomadas. O conceito de redes industriais proporciona justamente essa agilidade necessária como uma de suas vantagens. As informações obtidas durante um processo produtivo, quando manipuladas corretamente, possibilitam extrair relatórios gerenciais não só do processo em si, mas também de arquiteturas individuais que compõem o mesmo, transformando aquela informação binária em dados extremamente relevantes, mensuráveis e estatísticos. (CARDOSO, 2019)

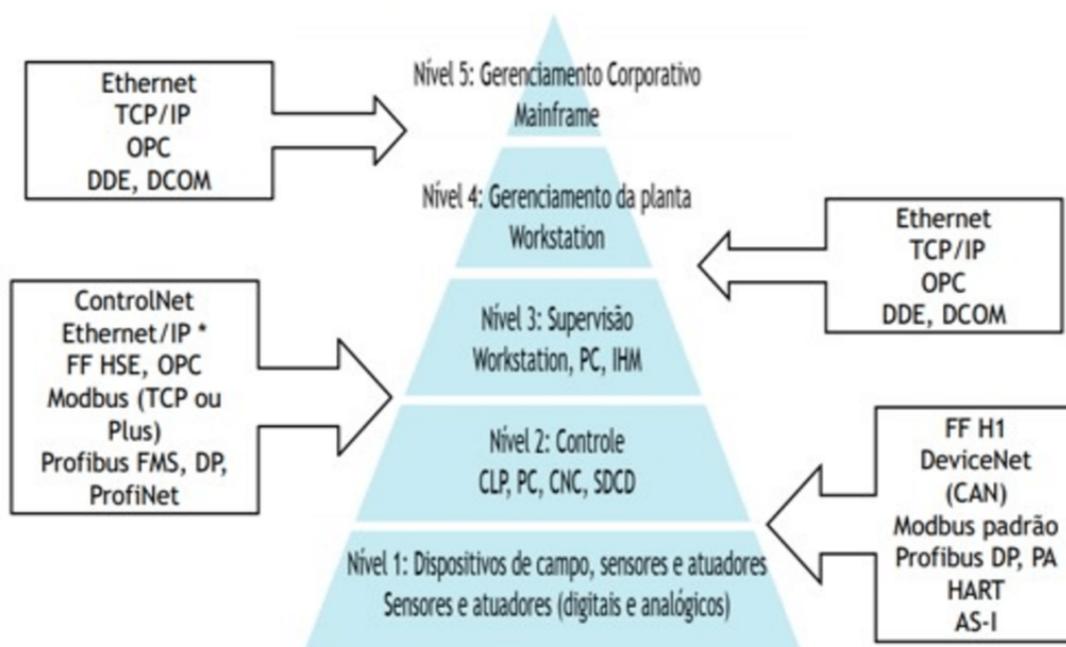
Com a popularização da Internet of Things (IOT) e com o fenômeno da indústria 4.0 se tornando cada vez mais realidade para as empresas, as redes de comunicação passam a ter um campo de aplicação ainda maior.

3.4.1 Protocolos Industriais

Os protocolos de redes industriais são um conjunto de códigos que ditam o comportamento nas transferências de dados entre dispositivos, de forma que estes consigam "se entender" e "conversar". Portanto, eles definem como a comunicação será orientada. Assim como os variados tipos de redes, também existem variados protocolos que dependem do tipo de aplicação e dos equipamentos envolvidos. A escolha do protocolo de comunicação mais adequado influencia diretamente no bom desempenho do sistema.

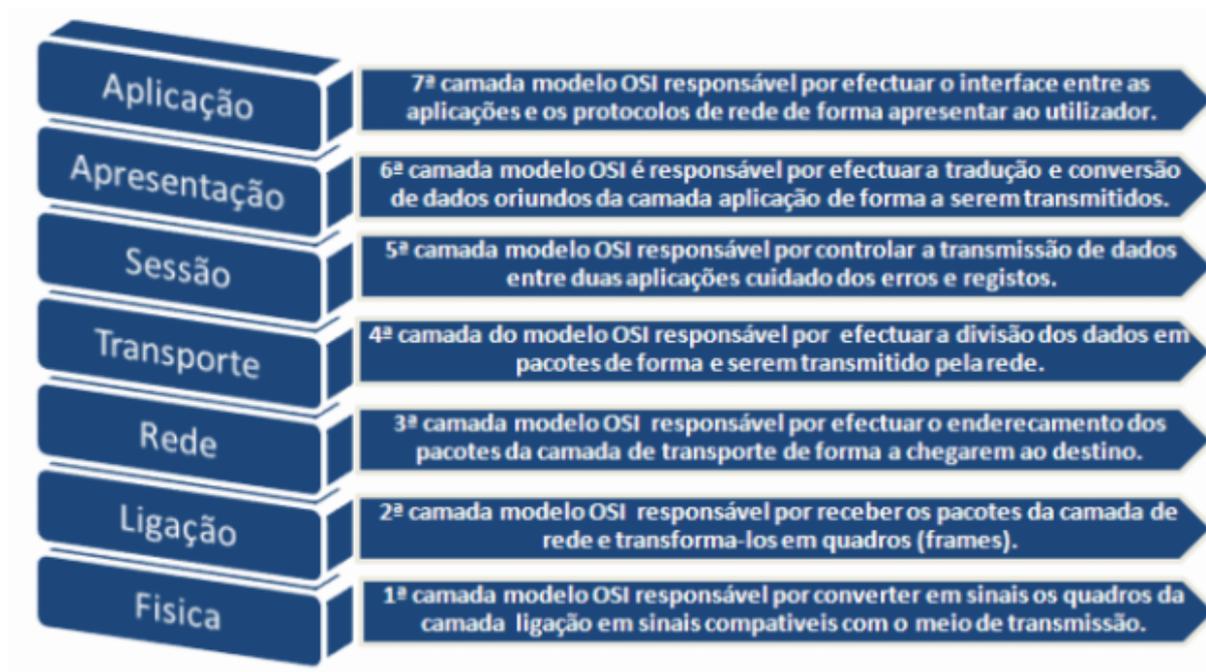
Na Figura 9 é apresentado, dentro de uma dada divisão de um sistema genérico em níveis, onde alguns tipos de protocolos são utilizados comumente.

Figura 9 – Usabilidade dos protocolos de rede



Fonte – KALATEC (2021)

Figura 10 – Modelo OSI



Fonte – FATEC (2021)

Os principais protocolos, bem como os que são convenientes entender para este trabalho também, podem ser resumidos no Quadro 2. Para melhor entendimento, é essencial conhecer o famoso modelo Open Systems Interconnection (OSI) (Figura 10). Em 1984, a International Standardization Organization (ISO) definiu um modelo de camadas que permitisse a comunicação entre computadores, e a partir do qual fabricantes pudessem criar protocolos seguindo um padrão.

Quadro 2 – Principais Protocolos de Comunicação

Modbus	Inicialmente implementado como um protocolo de nível de aplicação com o objetivo de transferir dados por uma camada serial, o Modbus foi expandido para incluir implementações em comunicações seriais, TCP/IP e UDP (<i>user datagram protocol</i>). Protocolo clássico, bastante utilizado em chão de fábrica em CLPs e outros dispositivos de instrumentação.
OPC	OLE for Process Control (OPC). Permite a troca de dados, realizando a integração dos equipamentos de chão de fábrica com os sistemas de controle de forma segura e fácil. Foi idealizado para possibilitar a conectividade entre objetos com diferentes protocolos de comunicação.
Ethernet	Também conhecido por protocolo 802.3, o ethernet lida com o link de dados e controla o método pelo qual computadores e dispositivos se comunicam. Na internet, ele atua nas camadas 1 e 2 do modelo OSI e é também usado pelo protocolo agrupador TCP/IP.
TCP/IP	Conjunto de protocolos que atua no modo cliente-servidor e, a despeito das 7 camadas do modelo OSI, utiliza 4 camadas. O Transmission Control Protocol (TCP) inicialmente há o recebimento das informações (camada de aplicação), depois elas são empacotadas para o formato da rede (transporte). Por fim, os dados são endereçados (rede, IPs) e enviados (interface). É o principal protocolo utilizado na rede de internet.
FTP	Protocolo de transferência de arquivos que atua no modo cliente-servidor. O File Transfer Protocol (FTP) estabelece um link via rede entre dois dispositivos para troca rápida de arquivos, sem ter a necessidade de armazenamento no disco rígido do dispositivo de uso.

Fonte – CRAVO (2021)

Além dos citados no Quadro 2, é válido apresentar outros dois protocolos que são amplamente utilizados em meios industriais de tecnologia de ponta, como é o caso da Engie que trabalha com operação remota de usinas. São eles:

- IEC 61850

Melhor definido como uma norma, ou padrão, surgiu em 1990 e desde então vem passando por atualizações. Tem como principais características a interoperabilidade e intercambialidade entre equipamentos de fabricantes diferentes. Isto faz com esses equipamentos de origens distintas consigam se entender e trocar informações sem maiores problemas, além de facilitar a manutenção com a troca de Intelligent Electronic Device (IED) e continuidade do funcionamento mesmo com defasagens tecnológicas entre os dispositivos. Por estas razões e por várias outras, este protocolo é altamente aceito por vários países e instituições internacionais do setor e vem sendo firmado como um padrão mundial.

É bastante utilizada por concessionárias de energia elétrica em Sistemas de Automação de Subestações (SAS). Um de seus protocolos é o de mensagens Goose, os quais são responsáveis pela troca de dados relacionados com comandos que

tornam o sistema mais confiável, como a abertura de dispositivos de proteção para desligamentos em casos de emergência no sistema. Para estes tipos de mensagem, o protocolo dispõe de um processo de reenvio de mensagens a fim de evitar colisões de pacotes e, conseqüentemente, evitar perdas de dados, o que é essencial quando se trata de eventos emergenciais.

- DNP-3

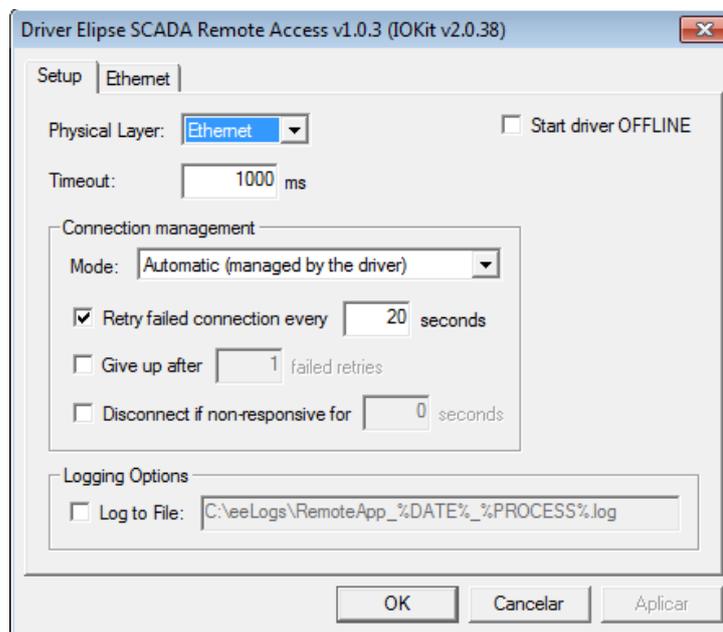
O protocolo Distributed Network Protocol (DNP) é do tipo mestre-escravo, de código aberto, também trabalha com três camadas (aplicação, enlace e física), além de uma pseudo-camada de transporte por necessitar de algumas funções específicas deste nível. Ele possibilita a comunicação entre dispositivos em um sistema de automação e, diferentemente de outros protocolos que realizam funções semelhantes, se preocupa com a qualidade na entrega de pacotes e trabalha seguindo a lei do menor esforço de forma otimizada. Por estas razões é bastante utilizado em sistemas SCADA. (SOUZA, 2016)

3.4.2 Driver

Basicamente, um driver é um pequeno programa que permite que o sistema operacional do computador possa se comunicar com o dispositivo conectado a ele. Ao conectarmos algum dispositivo novo no computador como, mouse, teclado, placas, os sistemas operacionais mais recentes buscam instalar o driver deste dispositivo de forma automática, para que ele seja reconhecido e passe a funcionar devidamente. Caso o dispositivo seja muito incomum ou o sistema operacional não consiga instalar automaticamente, deve ser feito de forma manual. Por isso alguns equipamentos antigamente vinham acompanhados de CDs para instalação, como as impressoras por exemplo. (CARVALHO, 2021)

Da mesma forma, os *softwares* que lidam com configuração e utilização de protocolos de comunicação, geralmente exigem que estes arquivos sejam associados ao projeto e, em sequência, configurados os parâmetros de drivers para que haja a comunicação com os dispositivos de campo ou em outros servidores.

Figura 11 – Janela de configuração de um driver no Elipse E3



Fonte – ELIPSE (2021)

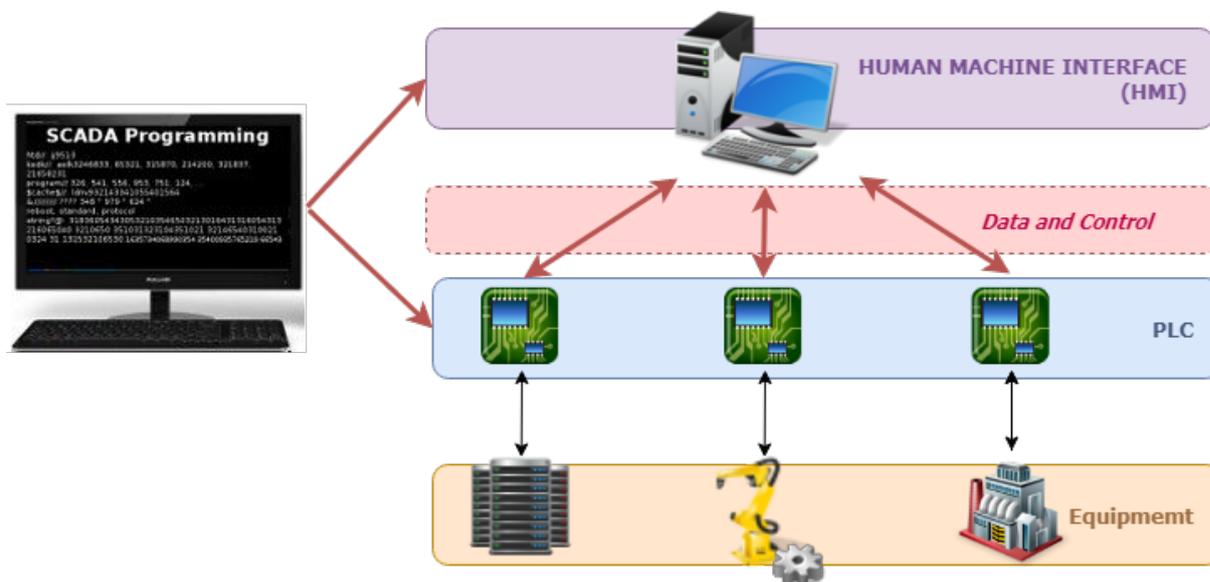
Na Figura 11 é mostrado um exemplo genérico de configuração de um driver no programa SCADA da empresa Elipse Software, o Elipse E3, o mesmo que é utilizado na aplicação descrita neste documento e é explicitado mais adiante nas próximas seções. Todos os protocolos de comunicação suportados pelo programa, são disponibilizados seus respectivos drivers de forma livre no próprio site da Elipse. No caso do exemplo da Figura 11, o protocolo sendo configurado é um protocolo simples para acesso remoto, e por isso dispõe de poucas abas e parâmetros, mas os exibidos na aba "setup" são padrão de todos os drivers. Como pode-se perceber, é possível configurar o modo de comunicação da camada física, se o driver começa *online* ou *offline* junto da aplicação, se tenta a reconexão caso falhe em determinado tempo escolhido, o caminho de gravação dos arquivos de log, dentre outros parâmetros personalizáveis.

3.5 SISTEMAS SCADA

O Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, resumidamente falando, é o sistema responsável por controlar e monitorar plantas através da comunicação com sensores e atuadores. Eles possibilitam esse gerenciamento do processo de forma remota, trazendo segurança e comodidade aos usuários. São capazes de coletar e processar dados em tempo real, enviando comandos e tratando informações.

A Figura 12 exibe um exemplo de sistema SCADA e como ele se integra às camadas de um processo industrial.

Figura 12 – Sistema SCADA



Fonte – DPS Telecom (2021)

No decorrer do relatório com a apresentação de um software SCADA e como ele é usado no desenvolvimento do trabalho, fica mais claro como são suas funcionalidades. Na Figura 12, fica evidente que ele atua na camada de aplicação, a interface homem-máquina, exibindo telas de supervisão e controle ao usuário, sendo que esses comandos de controle e informações de supervisão são dados trocados com os controladores dos equipamentos (atuadores e sensores).

Portanto, as principais funções de um sistema SCADA são (DPSTELE, 2021):

- Aquisição de dados: através de links de comunicação via redes e protocolos, dados são coletados de máquinas e sensores em campo. Essa coleta frequentemente envolve conversões analógicas-digitais.
- Comunicação de dados via rede: a coleta de dados ou é transmitida espontaneamente, ou em resposta a uma requisição de um consolidador ou mestre. O canal de comunicação pode ser analógico ou digital e tipicamente exige algum tipo de validação de transporte.
- Apresentação de dados: os dados coletados são processados, organizados e apresentados para os operadores do sistema, para que estes tenham condições de análise e tomada de decisão. Pode variar de forma simples como textos até gráficos e animações.

- Controle: se o sistema tem suporte para saídas (*outputs*), comandos podem ser despachados pelo operador para mudar algum estado da planta. A maioria das ações de controle são efetivas por Remote terminal unity (RTU) e Controlador Lógico-Programável (CLP)

Os principais componentes presentes em uma arquitetura SCADA são (DPS-TELE, 2021):

- Inputs (entradas): entradas e saídas analógicas ou digitais, sinais elétricos que diretamente interferem em elementos localizados em locais remotos. Os primeiros contatos com equipamentos de campo. Entretanto, os dados brutos precisam ser coletados e reportados ao usuário de uma forma significativa, o que é a função das RTUs.
- RTU: do inglês *Remote Telemetry Units* (unidade terminal remota), assim como os CLPs, são pequenas unidades computadorizadas utilizadas em campo. Atuam como pontos de coleta no recolhimento de relatórios de sensores e entrega de comandos de controle.
- HMI: do inglês *Human Machine Interface* (interface humano-máquina), pode ser um tablet, uma tela de computador, um celular, qualquer dispositivo que tenha capacidade de compartilhar e exibir ao usuário informações do sistema o qual deseja supervisionar e controlar, bem como oferecer a possibilidade de manipulação desses elementos em tela e entrada de comandos controláveis.
- Redes de comunicação: é a responsável pela troca de dados entre os equipamentos do sistema, entre a telemedição e o programa SCADA.

3.5.1 Tags de comunicação

Outro elemento importante e que compõe os sistemas que envolvem troca de dados via redes e programas SCADA são as *tags* de comunicação.

As variáveis de processo lidas em campo têm seus valores associados a estes elementos chamados de *tags*, e é assim que os *softwares* da aplicação conseguem interpretar e lidar com os dados.

Elas também são responsáveis por transformar o valor bruto de uma variável em informação, pois podem dispor de propriedades que podem ser configuradas como: nome, unidade de medida, escalas de medição, descrição, estampa de tempo, parâmetros de protocolo de comunicação.

Um exemplo de *tag* em um programa SCADA pode ser a temperatura de um forno, onde o valor da temperatura é o valor recebido via rede de outro dispositivo (um RTU, por exemplo), mas o restante das propriedades são personalizadas. As *tags*,

neste caso, podem ainda configurar alarmes para caso a temperatura do forno seja muito alta ou muito baixa, e são esses eventos (*triggers*, gatilhos) de atingimento de limites que podem ser associados a animações em uma tela de supervisão.

3.6 MEDIDORES DE FATURAMENTO

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), através do Sistema de Medição e Faturamento (SMF), realiza o monitoramento da energia produzida e consumida pelos agentes. Esse monitoramento é feito via dispositivos chamados medidores de faturamento, dos quais os principais são os responsáveis por contabilizar a quantidade de energia elétrica que é transmitida, compostos pelo principal e retaguarda. No entanto, existem outros componentes que integram o SMF (2WENERGIA, 2020):

- Transformadores de Instrumentos – TI
- Transformadores de Potencial – TP
- Transformadores de Corrente – TC
- Canais de comunicação entre os agentes e CCEE
- Sistemas de coleta de dados de medição para faturamento.

Os medidores de energia são conectados ao Sistema de Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), que é o sistema da CCEE responsável pela coleta horária e pelo tratamento dos dados de medição.

As últimas versões de medidores que surgiram no mercado são modelos mais robustos e já incluem, por exemplo, a disponibilidade de dados de qualidade energia elétrica, como é o caso do ION 8650 da empresa Schneider Electric que é o utilizado nesse trabalho.

3.6.1 Medidor ION 8650

O modelo ION 8650 é um medidor bastante potente e atualizado. São três versões do produto:

- ION8650C PowerLogic para medição de faturamento
- ION8650B PowerLogic para medição de faturamento e monitoramento da qualidade da energia
- ION8650A PowerLogic para medição de faturamento e análise avançada de qualidade de energia

Figura 13 – Medidor de faturamento ION 8650



Fonte – SCHNEIDER ELECTRIC (2021)

Suas principais funcionalidades são (SCHNEIDER, 2015):

- Medição de faturamento de alta precisão em pontos da rede de intercâmbio ou cargas industriais críticos, incluindo transformador e compensação de instrumentos
- Fornecer várias partes de acesso seguro aos dados de faturamento
- Verificar o cumprimento do contrato com as mais recentes normas de qualidade de energia
- Analisar e isolar a origem de problemas de qualidade de energia
- Fornecer valores de medições operacionais precisos para sistemas SCADA para melhorar a confiabilidade da rede em tempo real
- Monitorar equipamentos para prever iminentes problemas de manutenção
- Fornecer dados de longo curso para automatizar sistemas remotos

A Tabela 1 mostra outra porção de informações importantes e relevantes para qualquer aplicação que venha a se conectar com o medidor. O limite de conexões simultâneas é de oito, e a tabela exhibe quantas conexões de cada protocolo podem ser utilizadas ao mesmo tempo. Por exemplo: em uma aplicação que colete dados do medidor, ou um grupo de aplicações separadas, pode ter no máximo 5 conexões via protocolo ION, que é um protocolo nativo do equipamento, mais 3 conexões DNP3. Ou então, 6 conexões Modbus e 2 via DNP3, e assim por diante.

Tabela 1 – Tabela de conexões para comunicação do ION 8650

Protocolo	Porta TCP	Número máximo de conexões por protocolo
ION	7700	8
EtherGate COM1	7801	1
EtherGate COM4	7802	1
DNP 3.0	20000	3
IEC 61850	102	5
Modbus TCP	502	8
Modbus RTU	7701	8
Telnet	23	1
FTP	21	1
Websserver	80	1

Fonte – SCHNEIDER ELECTRIC (2021)

3.6.1.1 Data Record

Os dados no medidor ION 8650 são dispostos em sua memória através de módulos, que são agrupamentos desses dados. Por exemplo, temos espaços alocados para os módulos dos dados de Flicker, dos dados de harmônicos, entradas digitais, saídas digitais, medidor de energia (que agrupa correntes, tensões, potências etc) que é o usado para faturamento, dentre todos os outros mostrados na Figura 14.

Figura 14 – Módulos de um medidor ION 8650

- Alert Modules
- Analog Out Modules
- AND/OR Modules
- Arithmetic Modules
- Averaging Modules
- Bin Modules
- Calibration Pulsar Modules
- Clock Modules
- Comm Modules
- COMTRADE Modules
- Convert Modules
- Counter Modules
- Data Acqcn Modules
- Data Rec Modules
- Diagnostics Modules
- Digital In Modules
- Digital Out Modules
- Display Modules
- Display Options Modules
- Dist Direction Detection Modules
- Disturbance Analyzer Modules
- DLMS Log Export Module Modules
- DNP Slave Export Modules
- DNP Slave Import Modules
- DNP Slave Options Modules
- EventLogCtl Modules
- Ext Bool Modules
- Ext Num Modules
- Ext Pulse Modules
- Factory Modules
- Feedback Modules
- FFT Modules
- Flicker Modules
- Harmonics Evaluation Modules
- Harmonics Measurement Modules
- Harmonics Modules
- IEC 61850 GGIO Cust AI Modules
- IEC 61850 GGIO Cust DI Modules
- IEC 61850 GGIO Exp Modules
- IEC 61850 GGIO Onb Modules
- IEC 61850 MHAI Modules
- IEC 61850 MMTR Modules
- IEC 61850 MMXU Modules
- IEC 61850 MSQI Modules
- IEC 61850 MSTA Modules
- Instr Xformer Correction Modules
- Integrator Modules
- Log Export Modules
- Mains Signaling Evaluation Modules
- Maximum Modules
- Minimum Modules
- Modbus Export Modules
- Modbus Import Modules
- Modbus Master Device Modules
- Modbus Master Map Modules
- Modbus Master Options Modules
- Modbus Slave Modules
- OneShot Tmr Modules
- Periodic Tmr Modules
- Power Harmonics Modules
- Power Meter Modules
- Power Quality Aggregator Modules
- Pulse Merge Modules
- Pulsar Modules
- Relative Setpoint Modules
- Sag/Swell Modules
- Scheduler Modules
- Scroll Modules
- Security Options Modules
- Security User Modules
- Setpoint Modules
- Signal Limit Evaluation Modules
- Store Modules
- SWinDemand Modules
- Symm Comp Modules
- ThrmDemand Modules
- Time Of Use Modules
- Transient Modules
- Voltage Selection Modules
- Web Page Modules
- Wform Rec Modules

Fonte – Arquivo pessoal

Esse equipamento também dispõe dos módulos de Data Records ("Data Rec

Modules"na Figura 14). Estes têm a função de armazenar as memórias de massa, que como o próprio nome diz, são porções enormes de dados históricos que datam desde o início de funcionamento do medidor e, por serem tão abrangentes, esses dados são integralizados e gravados em períodos de 5, 10 minutos, dependendo do tipo de dado no Data Record. Portanto, o próprio medidor faz o trabalho de integralização que, convenientemente, é o modo com que a CCEE pede no envio dos dados de faturamento. A quantidade de módulos de Data Records pode chegar até 50 no equipamento.

Todos os endereços de memória, incluindo os endereços dos módulos e dos dados individualizados, são encontrados em um documento anexo aos *softwares* de *driver* do medidor e é chamado de Handle Map. Os endereços estão listados em hexadecimal, mas para aplicações de SCADA que usam valores decimais, por exemplo, basta uma conversão numérica simples na hora de configurar. Ele é chamado de mapa de handles pois, na memória do medidor e nas aplicações que vão acessar esta memória, são utilizadas duas entidades localizadoras:

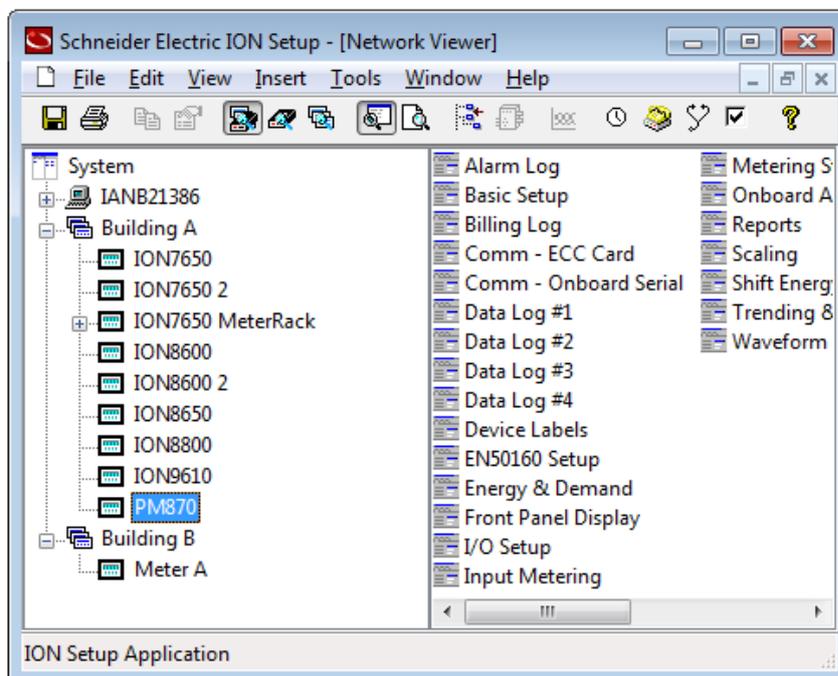
- Handle: valor que indica a localidade do módulo ou do dado individual no espaço de memória.
- Ponteiro: valor que indica a posição de um dado gravado.

Portanto, em um endereço fixo de *handle*, que representa o local de um dado que é gravado a cada 5 minutos, se coletarmos o valor de ponteiro atual desse dado e o observar, veremos que a cada 5 minutos o valor do ponteiro incrementa em uma unidade. Caso for de interesse o acesso a dados históricos, há de se manipular matematicamente o valor de ponteiro para buscá-los na memória.

3.6.1.2 ION Setup

Assim como os computadores têm os sistemas operacionais que ditam seu funcionamento, os medidores ION têm o ION Setup. No programa, é possível então ter acesso a todas as funcionalidades e ferramentas com acesso direto ao *hardware* do medidor, enquanto *software* nativo da Schneider Electric. É nele que se configura todos os parâmetros do medidor e dos módulos, visualiza dados, baixa relatórios etc. Na Figura 15 tem-se um exemplo de tela inicial do programa, onde o mesmo concentra o gerenciamento de medidores oriundos de dois locais.

Figura 15 – Software ION Setup



Fonte – SCHNEIDER ELECTRIC (2021)

É nele também onde são consultados em quais Data Records estão quais tipos de dados, onde tal técnica é utilizada e explicada no desenvolvimento deste trabalho.

3.7 FERRAMENTAS

3.7.1 Elipse E3

Da empresa Elipse Software, o Elipse E3 é uma plataforma tanto SCADA (sistema de supervisão e aquisição de dados), quanto HMI (interface homem-máquina), e é utilizado para controle e monitoramento de processos em meios industriais.

Nele é possível criar aplicações de tempo real com uma arquitetura de integração bastante robusta, capaz de interligar diferentes sistemas composto de IEDs (dispositivos eletrônicos inteligentes) com servidores em rede, outros softwares e bancos de dados, e ainda exibir telas de supervisão e controle do processo.

Algumas das principais características da solução Elipse E3 são (ELIPSE, 2021a):

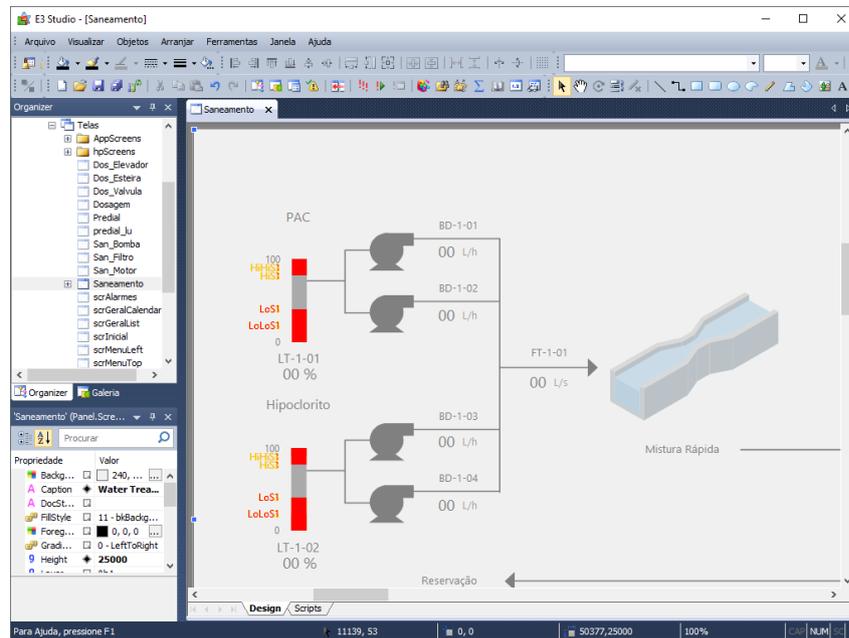
- Multiusuários e multiprojetos: Permite editar e executar diversos projetos simultaneamente
- Redundância nativa com sincronismo de dados históricos e alarmes
- Bibliotecas de objetos gráficos e estruturas de dados reutilizáveis

- Editor de telas
- Conexão nativa transparente entre servidores remotos. Conexão com a maioria dos equipamentos (PLC's, remotas, concentradores de dados) de mercado
- Segurança e compactação na transmissão de dados
- Grande flexibilidade na gestão de alarmes e eventos
- Poderosa ferramenta de scripts
- Acesso nativo a bancos de dados comerciais
- Ferramenta de logs, consultas e relatórios integrada
- Alta segurança e rastreabilidade de acordo com a norma FDA CFR 21 Part 11
- OPC Classic e UA
- Integração com o Windows Active Directory, sistemas corporativos e de gestão

Dentro do Eclipse E3, tem-se dois componentes que interessam e são utilizadas neste trabalho:

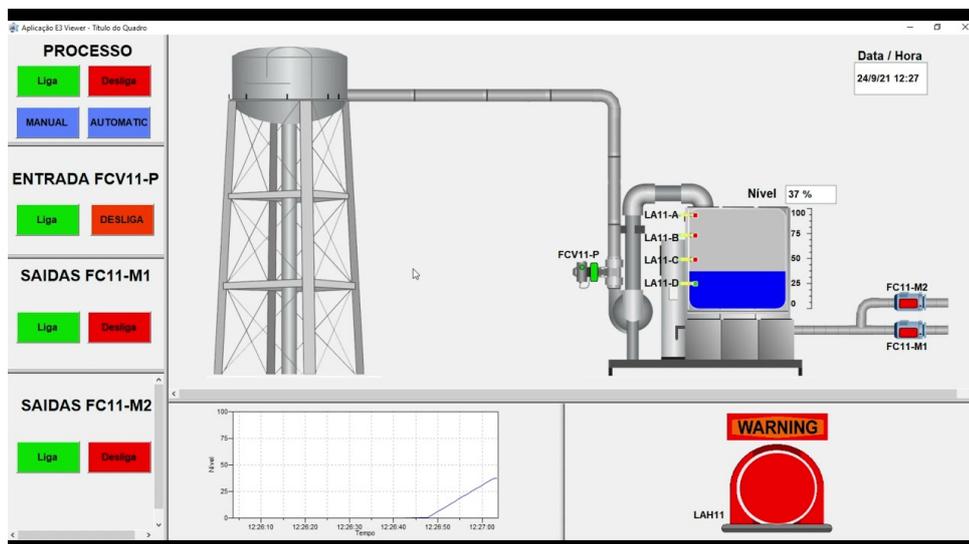
- E3 Studio: é o principal *software* de trabalho. É nele onde se cria e implementa a aplicação como um todo, concebendo os arquivos de projeto, os objetos, *scripts*, confecção de telas, configurações de drivers e bancos de dados, organização da estrutura e hierarquia dos projetos que compõe a aplicação. Na Figura 16 é mostrado um exemplo do Studio, onde se está criando uma tela de supervisão e associando os objetos gráficos, bem como seus comportamentos, aos dados.
- E3 Viewer: é o supervisor da aplicação gerada no Studio. É a camada de aplicação onde o usuário do sistema pode interagir. As aplicações podem ou não ter telas de supervisão, assim sendo elas podem rodar em plano de fundo mesmo sem um Viewer. Na Figura 17 é exibida uma tela para supervisão e controle do nível de um tanque.

Figura 16 – Elipse E3 Studio



Fonte – ELIPSE SOFTWARE (2021)

Figura 17 – Elipse E3 Viewer



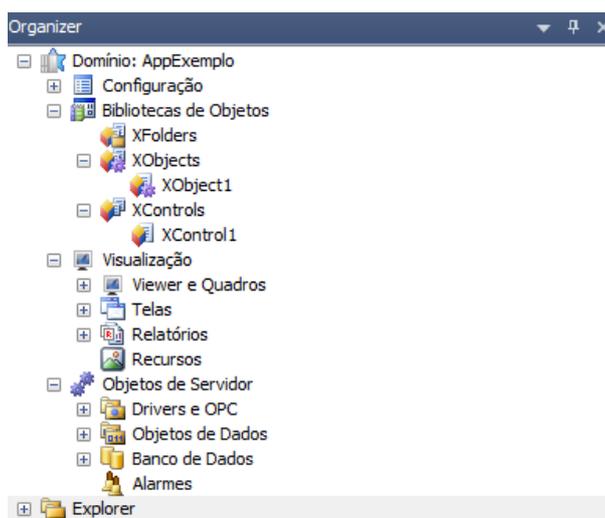
Fonte – Assis Gabriel - UFSC (2021)

Além destes, por trás há o E3 Server, que é o servidor onde são gerenciadas os principais processos do sistema, integrando as informações que fluem entre a aplicação gerada pelo Studio e o Viewer.

3.7.1.1 Elementos e Scripts

Ao se utilizar o E3 Studio, algumas ferramentas são essenciais e bastante utilizadas durante a criação de um projeto. Dentro da seção "Organizer" do Studio (Figura 18), a "Biblioteca de Objetos" concentra os tipos de objetos que são usados na construção da aplicação. Dois deles são os mais utilizados: os XObjects e os Xcontrols.

Figura 18 – Seção Organizer do E3 Studio

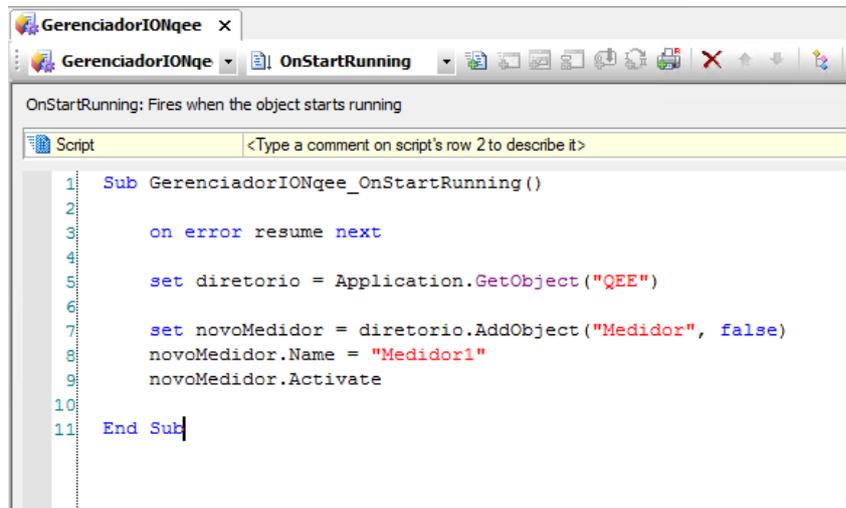


Fonte – Arquivo pessoal

- XObject: objetos de dados da biblioteca. Com eles, pode-se definir uma estrutura de dados a ser executada no servidor. Tal estrutura poderá realizar cálculos, associações, comunicações, verificação de alarmes, registro histórico etc, que independam de alguma interface gráfica (Viewer) aberta ou em execução naquele momento. (ELIPSE, 2021b)
- XControl: objetos gráficos da biblioteca. O XControl define uma interface gráfica com o usuário, que pode ser composta de quaisquer objetos do E3, com o propósito de ser multiplicada facilmente por seu projeto. (ELIPSE, 2021b)

Além dos objetos, outra ferramenta bastante utilizada são os *scripts*. No caso do Elipse E3 Studio, os *scripts* são trechos de código (programação) na linguagem VBscript com os quais se podem criar procedimentos associados a eventos específicos, permitindo grande flexibilidade no desenvolvimento e no uso de aplicações. Todos os *scripts* estão associados a eventos, e cada objeto do E3 possui uma lista de eventos previamente definidos, sendo possível também definir novos eventos de usuário. (ELIPSE, 2021b)

Figura 19 – Exemplo de script no E3 Studio



```
GerenciadorIONqee x
GerenciadorIONqee OnStartRunning
OnStartRunning: Fires when the object starts running
Script <Type a comment on script's row 2 to describe it>
1 Sub GerenciadorIONqee_OnStartRunning()
2
3     on error resume next
4
5     set diretorio = Application.GetObject("QEE")
6
7     set novoMedidor = diretorio.AddObject("Medidor", false)
8     novoMedidor.Name = "Medidor1"
9     novoMedidor.Activate
10
11 End Sub
```

Fonte – Arquivo pessoal

Na Figura 19 há um exemplo de *script* associado a um evento de um XObject. Neste caso particular, o algoritmo é executado quando o objeto começa a rodar, ou seja, se esse objeto estiver na aplicação assim que ela iniciar, ele automaticamente será iniciado também e então o evento *OnStartRunning()* é disparado e o *script* executado. No exemplo, o objeto portador do código é um gerenciador que irá criar um novo XObject do tipo "Medidor", nomeá-lo e ativá-lo.

Alguns eventos padrões que já vêm implementado no E3 Studio e que são comumente usados são:

- *OnStartRunning()*: dispara quando o objeto começa a executar
- *OnRead()*: dispara quando um valor é recebido
- *Constructor()*: dispara quando o objeto é ativado
- *OnAsyncQueryFinish()*: dispara quando o resultado de uma consulta de banco de dados é recebido
- *OnValueChanged()*: dispara quando o valor é mudado

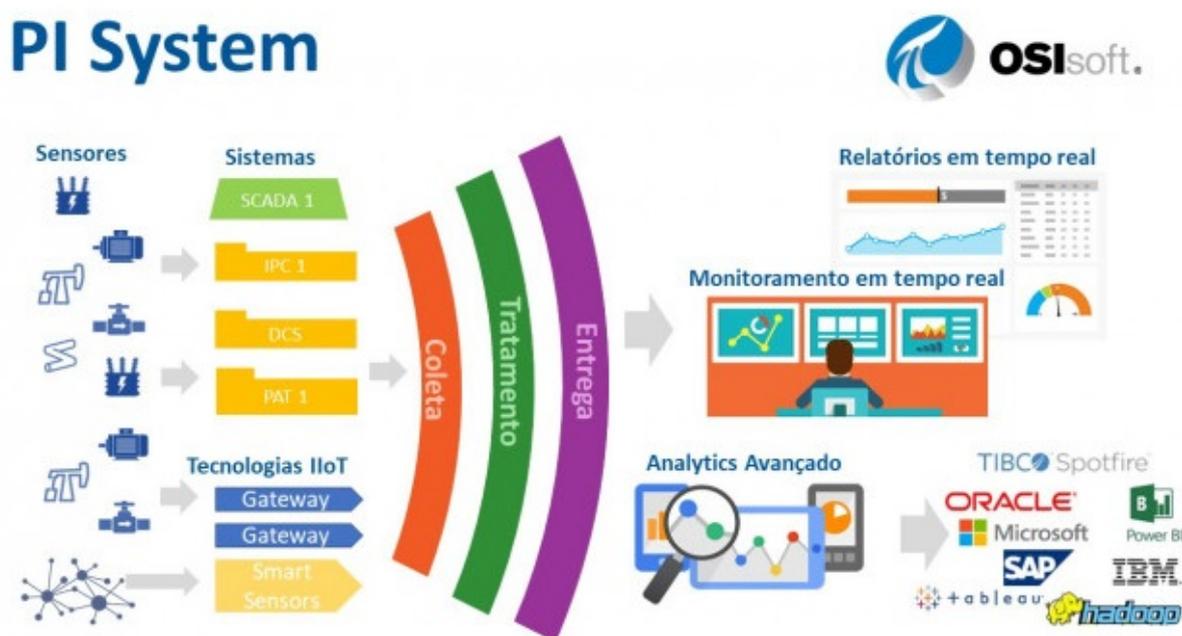
3.7.2 PI System

Da empresa OsiSoft, o PI System pode ser entendido como um conjunto de soluções para dados operacionais com o intuito de modernizar os meios de trabalho com suas aplicações, amplamente utilizado no meio industrial "surfando na onda" da indústria 4.0.

Com suas ferramentas, é possível (OSISOFT, 2021):

- Coletar dados em tempo real oriundos de vários dispositivos/sistemas interconectados.
- Armazenar dados de dezenas de anos em um histórico de fácil acesso. Gravação em tempo real e possibilidade de previsão de alta fidelidade.
- Gerenciar estes dados contextualizando-os e transformando-os em informação. Criação de hierarquias e metadados através de agrupamentos, rótulos e outros artifícios organizacionais.
- Visualizar as informações através de relatórios e *dashboards* com variedade gráfica e implementação de eventos e alarmes.
- Integrar os dados com outras ferramentas de análise e algoritmos de inteligência artificial através da nuvem.

Figura 20 – Visão geral do PI System



Fonte – OsiSoft (2021)

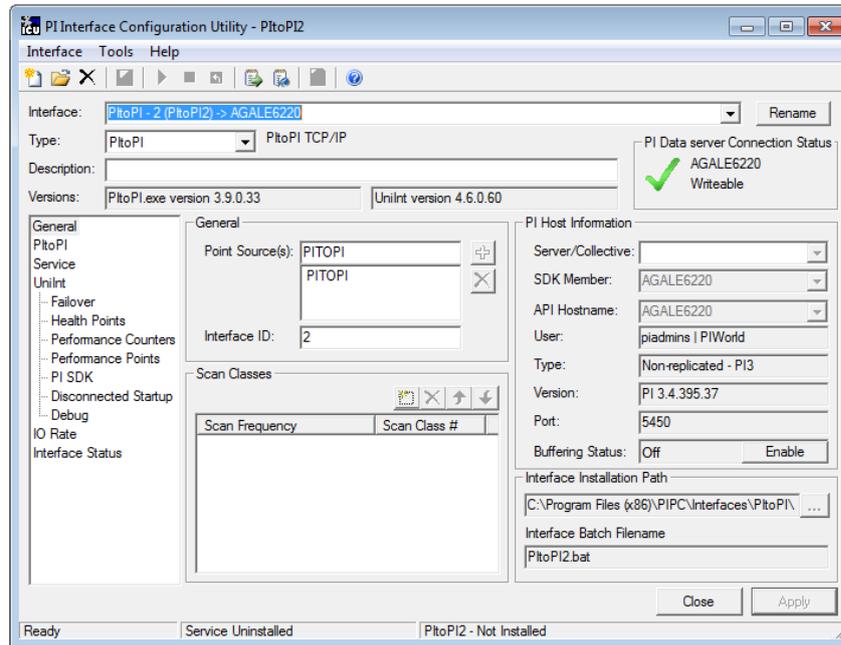
A Figura 20 apresenta visualmente e de forma resumida as principais funcionalidades do PI System.

Desse conjunto de soluções da OsiSoft, os componentes que são utilizados neste trabalho são o PI System Explorer, PI Vision e os dois *addons* (programa de extensão, complemento) do Excel: PI Data Link e PI Builder.

- PI System Explorer: um programa que oferece uma interface gráfica para criar, editar e gerenciar objetos do PI System. Possibilita realizar inúmeras manipulações de dados, incluindo análises, *templates* (estruturas padronizadas de dados agrupados para replicação), tratamento de informações, interação com banco de dados, geração de notificações e alarmes, etc.
- PI Vision: é a camada de aplicação do PI System. Nela, o usuário consegue montar telas personalizadas usando os objetos de dados configurados no Explorer (chamados de "elementos") para supervisão dos processos.
- PI Data Link: enquanto complemento do Excel, o Data Link permite adicionar rapidamente dados operacionais a planilhas. É possível automatizar consultas de dados do PI System utilizando funções do próprio Excel, gerando relatórios personalizados.
- PI Builder: assim como o Data Link, também é um complemento do Excel e possui uma gama de ferramentas próprias. Com ele é possível criar e manipular PI Points, que são as *tags* usadas pelo PI System e associadas aos elementos do Explorer, ao nível de protocolo, configurando também parâmetros de comunicação.

Além destes, é importante citar o PI Interface Configuration Utility (ICU) que é o programa responsável pela criação e gerenciamento de interfaces de rede que conectam um servidor ao outro para que, deste modo, consigam trocar informações. Parâmetros associados aos servidores e definidos no ICU, como endereços de IP, portas e interface ID, são os que determinam origem e destino dos dados, e por isso são usados no PI Builder para se criar ou editar as informações que transitam, os PI Points.

Figura 21 – PI Interface Configuration Utility



Fonte – OsiSoft (2021)

Esse grupo de aplicações também é chamado de Historiador no meio industrial, justamente por conseguir armazenar e manipular dados históricos com maestria.

4 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Este capítulo tem por objetivo explicitar como o processo de coleta de dados de QEE, a geração do relatório e envio para o ONS, é feito de forma manual, desta forma descrevendo qual é a sequência de etapas que devem ser abrangidas e automatizadas. Deste modo, ao analisar o que deve ser proposto de aplicação, é possível listar requisitos funcionais e não-funcionais para o projeto.

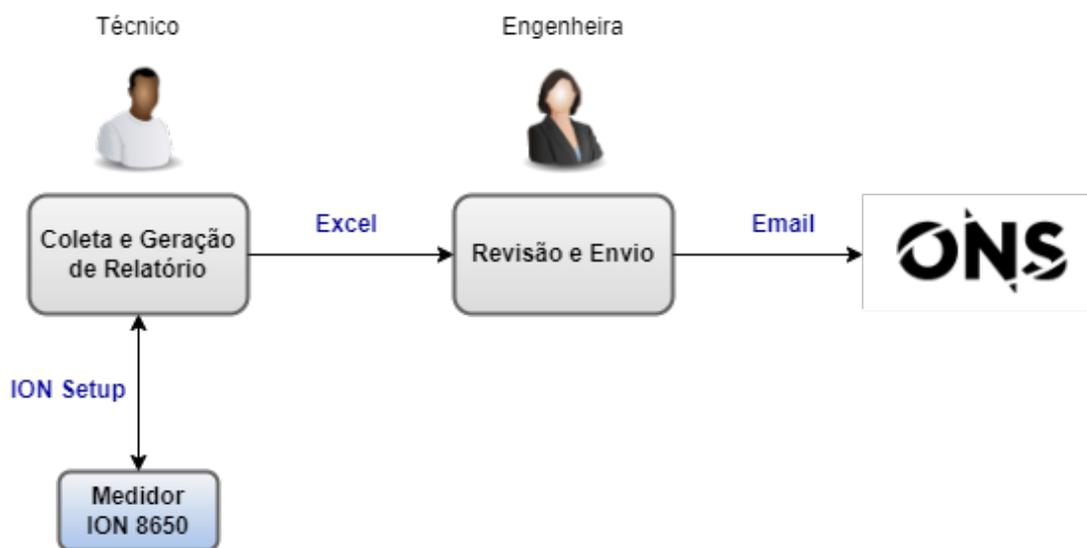
4.1 PROCESSO AS IS

O conceito de AS IS está relacionado com o modo em que um dado processo é feito em um determinado momento pela empresa. Costuma compreender etapas iniciais de planejamento de um projeto que visa otimizar/incrementar tais processos.

O processo a ser automatizado é ilustrado na Figura 22. Em campanhas atuais do ONS, é feito de forma manual cujas etapas são:

1. Via software ION Setup, um técnico de operação e manutenção coleta os dados de QEE dos Data Records do medidor.
2. Os dados são exportados do ION Setup em formato de arquivo de texto TXT. Estes arquivos são então importados para um arquivo do excel, através de algumas configurações de limpeza e tratamento desses dados, e organizados em planilhas bem segmentadas.
3. O arquivo Excel e os arquivos TXT são enviados a uma engenheira do setor de Operação para revisão e envio ao ONS.

Figura 22 – Processo AS IS



Fonte – Arquivo pessoal

Processo tal que, apesar de sequencial, está sujeito à atrasos e erros humanos.

4.2 REQUISITOS DO SISTEMA

Requisitos compreendem um grupo de propriedades que são definidas com base nas necessidades do projeto. São solicitações, desejos que devem ser seguidos e atendidos na maneira em que o sistema será condicionado. Podem ser classificadas em requisitos funcionais e não funcionais.

Os requisitos funcionais, como o próprio nome diz, está diretamente associado às funcionalidades do sistema e definem o que ele deve ser capaz de cumprir e entregar em sua etapa final. Os não funcionais estão relacionados com a forma/maneira de se atingir os objetivos, e por isso impõe restrições às etapas e ferramentas usadas no projeto. (CANGUÇU, 2021)

Requisitos funcionais:

1. Definição de usina/medidor para a coleta de dados
2. Consulta de Data Records nos medidores
3. Coleta e armazenamento de dados em bancos
4. Geração de relatórios no tipo de arquivo "Planilha do Microsoft Excel", com organização de planilhas
5. Envio de *email* com anexo

6. Execução da parte de geração de relatório e envio a cada 7 dias
7. Disponibilização dos dados ao PI Vision durante a campanha do ONS

Requisitos não funcionais:

1. Deve ser usado o protocolo de comunicação nativo da Elipse Software, o ION 2.0, para acesso às memórias dos medidores
2. Relatórios gerados devem ser do tipo de arquivo "Planilha do Microsoft Excel", com organização de planilhas em um modelo definido (o mesmo enviado manualmente)
3. Programação dos códigos de *script* na linguagem VBscript

5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Nesta seção serão explanadas de forma detalhada as técnicas, estratégias e modo de uso das ferramentas para se atingir o objetivo final, que é a concepção de um sistema sequencial protótipo que automatize o processo manual.

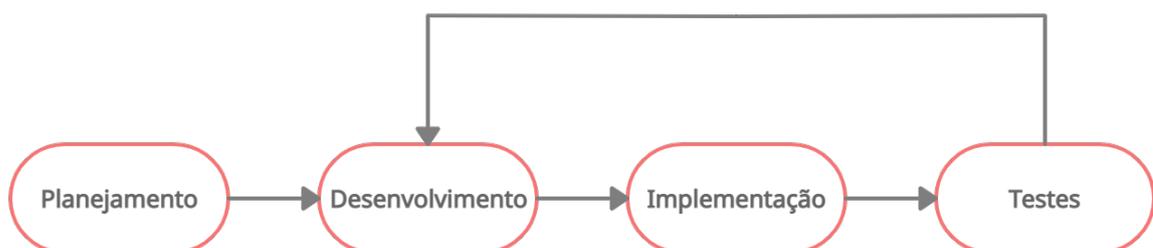
Assim como explanado na introdução deste documento, serão aqui usados nomes fantasia para os servidores, ativos etc, a fim de garantir o sigilo de dados da empresa, bem como ocultação de informações que venham a por esta condição em risco. O cumprimento destas regras não afeta em nada a proposta de projeto e as soluções utilizadas.

5.1 METODOLOGIA

Anteriormente à qualquer atividade prática para desenvolvimento do projeto, foi concebido um planejamento em etapas para melhor organização e projeção das atividades. É boa prática de engenharia estabelecer uma metodologia de projeto, para assim seguir uma linha de trabalho bem definida e alcançar um bom desempenho.

A seguir são apresentadas as ditas etapas, que por sua vez compõe uma metodologia padrão e simples, nada muito rebuscado como, por exemplo, desenvolvimento de *softwares* que possam necessitar de metodologias do tipo Waterfall ou Scrum. Foram, então, propostas quatro etapas: Planejamento, Desenvolvimento, Implementação e Testes.

Figura 23 – Fluxograma da Metodologia Proposta



Fonte – Arquivo pessoal

- Planejamento: na etapa inicial são feitos estudos acerca dos conceitos envolvidos, principalmente com relação à QEE e ao submódulo 2.9 da ONS, e também de todas as etapas e *softwares* que compõe o processo de envio de dados. Reuniões com os colaboradores da empresa que realizam este processo manualmente, bem como com os demais engenheiros mais experientes para auxílio no planejamento de como o sistema automatizado pode ser concebido e com

quais ferramentas. Traçar qual a melhor sequência de tarefas a serem realizadas na próxima etapa de projeto e em quais servidores serão feitas.

- Desenvolvimento: criação offline de uma nova aplicação/projeto no SCADA envolvendo atividades como a programação de *scripts* com novas variáveis, implementação de redes, criação e/ou associação do banco de dados, criação de rotina para execução programada do processo e geração de relatórios periódicos. Configuração do PI System para manipulação dos dados, principalmente disponibilização dos mesmos para análises internas.
- Implementação: integração da nova aplicação, ou partes da aplicação, às demais que estão funcionando em tempo real no mesmo servidor, tornando-a online.
- Testes: execução da nova aplicação; observação e análise dos resultados. Nesta etapa final, é possível que ajustes específicos e necessários forcem o retorno à etapa de desenvolvimento até que, conseqüentemente, os testes apresentem apenas resultados desejados indicando a finalização do projeto.

Vale ressaltar que, por mais que estejam bem definidas as etapas a serem seguidas, dependendo da realidade do dia a dia no trabalho, esta possa vir a modificar o ritmo planejado por pura adaptação a um modo de trabalho mais produtivo e eficiente. Foi observado, a partir de um certo momento durante a etapa de desenvolvimento, que era possível aplicar mini etapas de testes para implementações parciais. Com isto, do meio para o fim do projeto, percebeu-se que as etapas de Desenvolvimento, Implementação e Testes estavam praticamente mescladas dada a alta velocidade do fluxo entre elas.

5.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES

Em um primeiro momento e de forma macro, foi realizado uma sessão de *brainstorming* - levantamento de ideias - de como possivelmente poderia ser automatizado o processo e quais ferramentas e técnicas poderiam ser utilizadas.

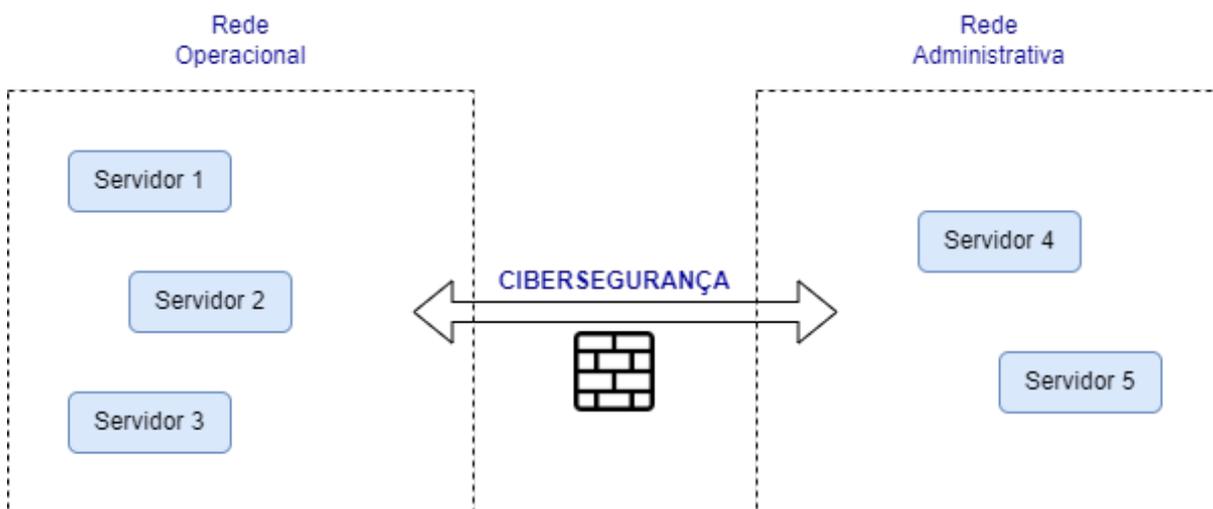
Em conversas e reuniões com os colegas engenheiros da equipe, estabeleceu-se então três possíveis soluções as quais foram compostas de técnicas factíveis.

No entanto, antes de adentrá-las, é importante o entendimento de como é o ambiente em que se está trabalhando, uma vez que ele está diretamente relacionado à forma com que as ferramentas serão usadas e as estratégias abordadas.

A Figura 24 ilustra uma técnica de arquitetura de rede comum nas empresas que lidam com dados operacionais. Nos servidores de 1 a 3, por exemplo, pode-se ter conexões diretas com equipamentos de campo e com bancos de dados da empresa, o que exige um nível de segurança maior. Por isso, nesta rede operacional, não se costuma ter acesso à internet como a conhecemos (envio de *emails*, acesso a *sites*,

etc) e são destinadas fundamentalmente a cumprir suas funções operacionais. Já a rede administrativa é o local onde estão os computadores e servidores de uso rotineiro da equipe, onde também a exigência de um nível alto de segurança é menor que a operacional, permitindo acesso à internet exterior e demais atividades que executamos em um computador pessoal.

Figura 24 – Divisão dos servidores em camadas de rede



Fonte – Arquivo Pessoal

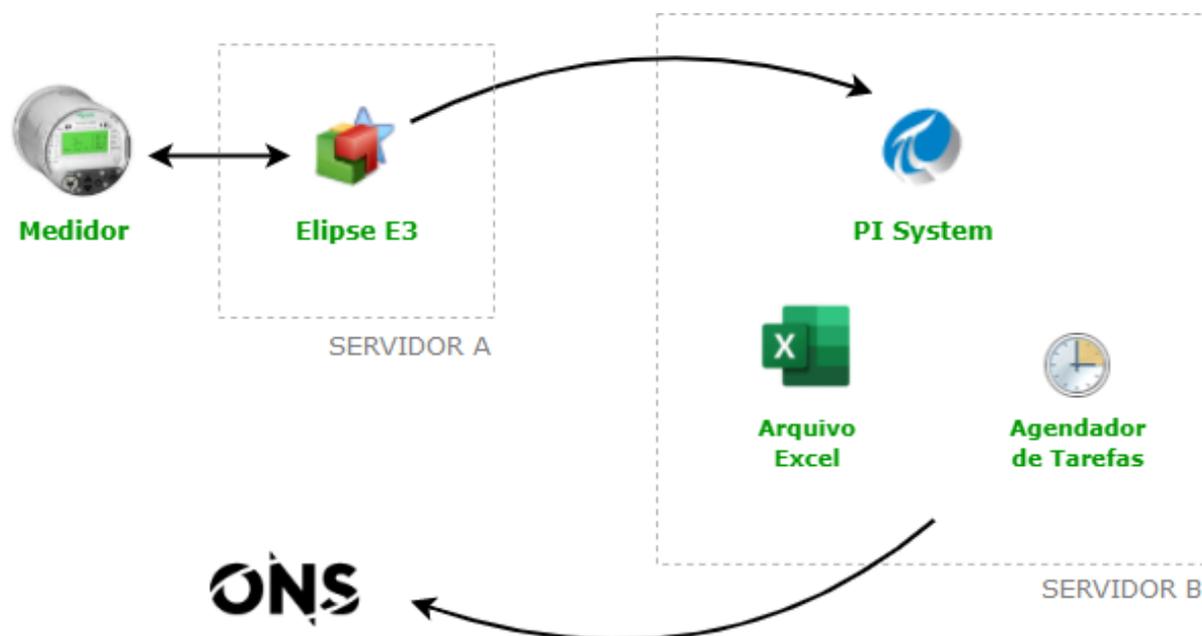
5.2.1 Cenário 1

No início do desenvolvimento, pensou-se que poderia ser possível automatizar todas as etapas do processo em um único servidor, com um único *software*: o programa SCADA Elipse E3. No E3 Studio, conforme foram se aprofundando os estudos de suas funcionalidades, notou-se que ele é capaz de, além de coletar os dados do medidor que é sua função principal, gerar relatórios em arquivo Excel e enviá-los por email, tudo isso via comandos em *scripts*. Inclusive testes neste sentido foram iniciados nas primeiras semanas.

Entretanto, um pequeno porém importantíssimo detalhe impediu que essa simples estratégia seguisse adiante: o servidor onde se encontra o Elipse E3 é um servidor da rede operacional, e portanto não consegue enviar *emails* para a internet comum.

Com a ideia descartada então, partiu-se para outras possíveis soluções pouco mais complexas porém inevitáveis.

Figura 25 – Cenário 1



Fonte – Arquivo Pessoal

Após pesquisas em fóruns na internet, com a consulta de aplicações de outras pessoas com objetivos semelhantes, chegou-se ao cenário 1 de possível solução. Na Figura 25 é exibido o fluxo de informações entre servidores, medidor e o ONS. Os servidores A e B estão localizados, respectivamente, em rede operacional e rede administrativa.

Por se tratar da automatização de um processo sequencial, é possível então enumerar os passos a serem realizados:

1. Usuário inicia processo com o clique de um botão na tela de Viewer do Elipse E3 no servidor A
2. Elipse E3 coleta dados de QEE da memória de massa do medidor de faturamento via protocolo ION 2.0
3. Os dados são transportados para o PI System via protocolo OPC configurado no PI ICU
4. No mesmo servidor do PI System, um arquivo Excel está postado e é previamente configurado com um algoritmo VBA o qual faz com que, ao ser aberto, atualize automaticamente as planilhas com os dados exigidos via funções do PI Data Link, gera o arquivo de relatório e envia o *email* com ele anexado
5. Um agendador de tarefas executa uma tarefa de abrir este arquivo uma vez a cada 7 dias, cumprindo a periodicidade exigida de envio

6. Usuário encerra o serviço ao fim da campanha do ONS com o clique de outro botão para finalização no Viewer do Elipse E3

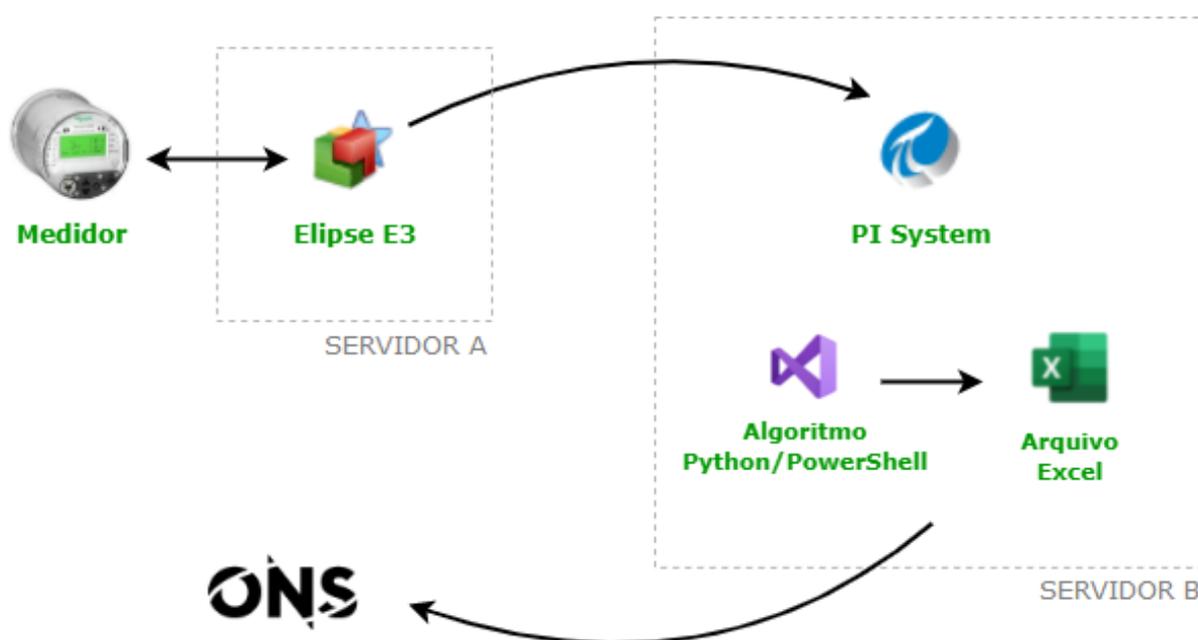
A proposta desse cenário é executável, porém não é agradável. No caso, ao iniciar uma campanha de QEE do ONS, exigiria do usuário realizar duas ativações: no Elipse E3 e no agendador de tarefas. Para parar a geração e envio de relatórios, o mesmo, desativar nos dois lugares. Enquanto que, em um cenário ideal, o usuário deveria apenas clicar em um botão para iniciar tudo, e o mesmo esforço para encerrá-lo.

Além disso, muitos softwares diferentes sendo utilizados deixa a integração um pouco complicada e mais suscetível a *bugs* (erros de processamento nos programas).

5.2.2 Cenário 2

Uma outra alternativa viável é a utilização das funcionalidades que o PI AF SDK disponibiliza. O AF SDK é um *addon* instalado no sistema operacional que fornece uma biblioteca estruturada na linguagem .NET, possibilitando a criação de algoritmos que usem essas bibliotecas para acessar e manipular os dados armazenados no PI System. Esses algoritmos podem ser criados no PowerShell do Windows, ou também podem ser criados em programas utilizando a linguagem C# ou C++, como o Visual Basic. Códigos em Python também podem importar o PI AF SDK.

Figura 26 – Cenário 2



Fonte – Arquivo Pessoal

As etapas desse cenário seriam então:

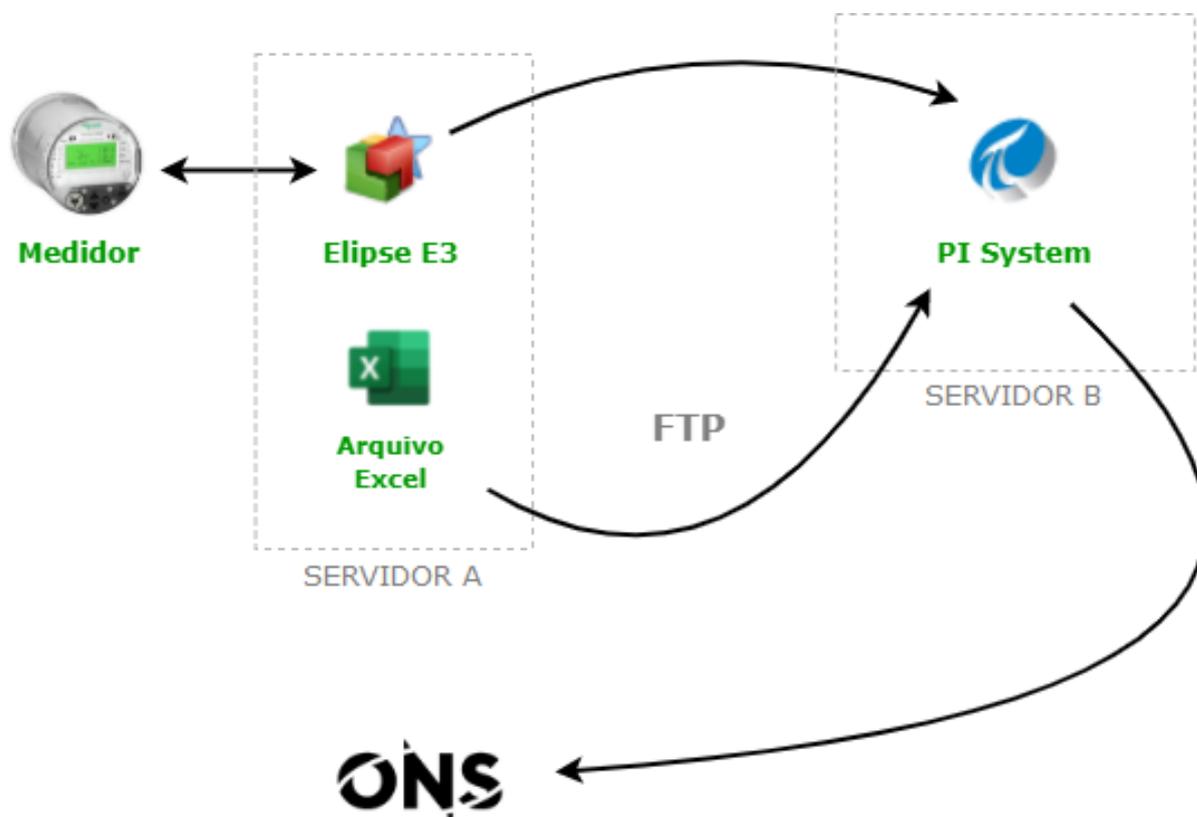
1. Usuário inicia processo com o clique de um botão na tela de Viewer do Elipse E3 no servidor A
2. Elipse E3 coleta dados de QEE da memória de massa do medidor de faturamento via protocolo ION 2.0
3. Os dados são transportados para o PI System via protocolo OPC configurado no PI ICU
4. No mesmo servidor do PI System, um algoritmo utilizando o AF SDK é disparado a cada 7 dias e é responsável por manipular dados do PI System, gerar o relatório em arquivo Excel e enviar o email com anexo para o ONS
5. Usuário encerra o serviço ao fim da campanha do ONS com o clique de outro botão para finalização no Viewer do Elipse E3

Como é possível perceber, praticamente os mesmos pontos negativos do cenário 1 permanecem aqui. Além disso, adiciona-se o fato de que a necessidade da nova linguagem de programação exigida para o algoritmo que utiliza o AF SDK se tornaria mais um requisito não funcional.

5.2.3 Cenário 3

Prosseguindo com as pesquisas e consultas, foi possível chegar agora em uma solução mais elegante, utilizando menos softwares e concentrando atividades.

Figura 27 – Cenário 3



Fonte – Arquivo Pessoal

No cenário 3, além de coletar os dados, o Elipse E3 também passa a gerar o arquivo Excel, o qual pode ser acessado pelo PI System via FTP. Esta nova conexão via protocolo de transferência de arquivos pode ser estabelecida mediante permissão concedida pela equipe de TI da empresa.

As etapas de processo passam a ser:

1. Usuário inicia processo com o clique de um botão na tela de Viewer do Elipse E3 no servidor A
2. Elipse E3 coleta dados de QEE da memória de massa do medidor de faturamento via protocolo ION 2.0
3. Apenas informações de ativação do processo e *email* para cópia são transportados para o PI System via protocolo OPC configurado no PI ICU
4. Elipse E3 gera o arquivo de relatório Excel a cada 7 dias
5. Ao perceber a geração de um novo arquivo Excel na pasta compartilhada via protocolo FTP, o PI System o anexa a um *email* e envia ao ONS e a um segundo *email* fornecido em cópia

6. Usuário encerra o serviço ao fim da campanha do ONS com o clique de outro botão para finalização no Viewer do Elipse E3

Na etapa 3, a informação de ativação de processo se trata de um simples *tag* de valor binário que, ao clicar no botão de iniciar o processo, ele vai de 0 para 1, deste modo "avisando" o PI System que o processo iniciou, e o inversou para dizer que o processo foi encerrado. O *email* para cópia serve para que um engenheiro da equipe, tendo seu *email* em cópia no envio, consiga conferir e garantir que o envio foi efetuado com sucesso.

Desta forma, conclui-se que a solução apresentada no cenário 3 é a melhor das ponderadas. Os principais motivos podem ser elencados:

- Menor número de *softwares* utilizados, o que facilita a manutenção no futuro
- Transferência dos dados de QEE das memórias de massa para o PI System para utilização no PI Vision se torna opcional e seletiva
- Menos arquivos transitando entre redes. Antes, nos outros cenários, todos os dados de QEE eram enviados para o PI System assim que coletados. Agora, pode-se escolher os dados de QEE para esta finalidade, e o envio do arquivo via FTP é um processo leve
- Arquitetura simplificada que impede surgimento de mais requisitos não funcionais

Nas seções seguintes, então, será considerado este último cenário para a proposta de projeto a ser implementado na automatização do processo de coleta, tratamento, análise e envio dos dados de QEE ao ONS.

Para partida inicial do desenvolvimento do projeto, confecciona-se um objeto gráfico XControl para ser inserido no Viewer do Elipse E3 no servidor A. Neste objeto, tem-se dois botões - de iniciar e parar a aplicação - e a seleção de qual medidor de qual ativo (usina, parque) será usado para a campanha. Este parâmetro de escolha do medidor é passado adiante para o algoritmo do programa saber de onde retirará os dados. Através deste parâmetro, o primeiro passo da aplicação é buscar em um banco de dados, onde se tem as informações de todos os medidores da empresa, incluindo as estáticas, os dados necessários para conexão e acesso como o IP do equipamento e valores de ponteiros.

5.3 COLETA

Antes de se iniciar conexões e criar qualquer parte da aplicação no E3 Studio, é essencial realizar uma atividade de reconhecimento dos Handles dos Data Records nos medidores.

Os handles são endereços dos módulos (agrupamento de dados) dentro da memória de um medidor. Existe um módulo que agrupa todos os Data Records, e cada Data Record tem o seu próprio endereço de Handle. Em um primeiro contato com um medidor, não se sabe quais Data Records armazenam quais tipos de dados, por isso é necessário realizar algumas etapas para descobri-los. Caso contrário, não se saberá onde coletar os dados na memória de massa do equipamento.

Essas informações não são informadas em *datasheets* ou manuais, pois podem variar em atualizações de *firmware* e versões dos medidores.

Inicialmente, se acessa o ION Setup, o *software* nativo gerenciador dos medidores, e se segue os seguintes passos:

1. Na tela inicial, procurar o ícone do medidor e clicar com o botão direito > 'propriedades'
2. Na janela de 'propriedades', ir até a aba 'ferramentas'
3. Em 'ferramentas', na opção de 'configuração do dispositivo', selecionar a opção 'mostrar configurações avançadas'. Dar 'OK'.
4. À direita, duplo clique na pasta 'Data Rec Modules'. Os módulos de QEE irão aparecer
5. Botão direito sobre qualquer um dos módulos de QEE e "Mostrar nomes dos módulos"

Após seguir essas etapas, deve ser exibido em tela as informações conforme Figura 28.

Figura 28 – Número dos módulos dos Data Records

Module Name	Label
Data Rec 1	Revenue Log
Data Rec 2	Sag/Swell Log
Data Rec 3	Flicker PLT
Data Rec 4	Flicker PST
Data Rec 5	Grav FP
Data Rec 6	FD%
Data Rec 7	DTT%
Data Rec 8	Regim. Perm.
Data Rec 9	Loss Log
Data Rec 10	DIT%_1-5
Data Rec 11	SagSwellState
Data Rec 12	DIT%_6-10
Data Rec 13	DIT%_11-15
Data Rec 14	DIT%_21-25
Data Rec 15	DIT%_16-20
Data Rec 16	DIT%_26-30
Data Rec 17	DIT%_31-35
Data Rec 18	DIT%_36-40
Data Rec 19	Freq
Data Rec 20	DIT%_41-45
Data Rec 21	DIT%_46-50
Data Rec 30	Transient Log

Fonte – Arquivo Pessoal

Com os números dos módulos, bastou recorrer ao Handle Map, documento que acompanha os *softwares* do medidor, para adquirir os valores dos endereços correspondentes.

Tendo em mãos agora os parâmetros específicos do medidor escolhido, e também sabendo quais são os endereços dos handles, foi possível prosseguir com a criação da aplicação no Eclipse E3 Studio.

Foram criadas então duas entidades principais através da criação de dois XObjects na biblioteca de objetos:

- Gerenciador: objeto que estará implementado na aplicação para que, ao início desta, ele crie dinamicamente novos objetos do tipo Medidor
- Medidor: objetos criados pelo Gerenciador e responsável por realizar a coleta dos dados QEE da memória de massa do medidor escolhido e armazenamento destes em bancos de dados

A estratégia do Gerenciador é útil para o caso de haver mais de uma campanha que necessite coleta de dados de mais de um medidor. Para este projeto de protó-

tipo, será considerado apenas um medidor para coleta, sendo que a adaptação para inclusão de dois ou mais ativos ao mesmo tempo (incluindo adaptação do XControl de seleção no início), será direcionado para melhorias futuras da aplicação.

O Gerenciador, além do *script* para criação de objetos do tipo Medidor em seu evento *OnStartRunning()*, tem dentro de si um elemento do tipo E3Query que faz a consulta no banco de dados descrita ao fim da seção anterior sobre o cenário 3.

Já o XObject do Medidor contém 2 elementos:

- Pasta de Driver: responsável por acessar as memórias de massa do medidor e coletar os dados
- Elemento do tipo DB.Hist: tem a função de gravar os dados no banco de dados na forma de uma tabela configurada

O ANEXO B ao fim deste documento descreve com mais detalhamento como deve ser implementado os elementos dentro da pasta Driver para se estabelecer a comunicação com o medidor, e foram os mesmos passos usados neste projeto.

A Figura 29 demonstra como estão dispostos esses elementos dentro do Driver, usando um exemplo de coleta de dados de faturamento. Perceba que o terceiro parâmetro da *tag* bloco (*tag* agrupadora de *tags*) "Tabela_Revenue" tem o valor 3968. Este é o endereço do handle, em decimal, que aponta para o módulo de dados de faturamento na memória de massa. Mais informações sobre a configuração e o que representam os parâmetros estão no ANEXO B.

Figura 29 – Pasta Driver do objeto Medidor

Nome	Dispo...	Item	P1/N1...	P2/N2...	P3/N3...	P4/N4...	Tamanho...	Varredura	Leitura?	Escrita?	Escala?	Min. UE	Máx. UE
DriverION			0	0	0	0							
Config													
Gateway			0	1	4938	21		5000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
IP			0	1	4936	21		5000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Mask			0	1	4937	21		5000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Modelo			0	1	4864	21		5000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Serial			0	1	4868	21		5000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Settime			0	0	0	0		5000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
LocalTime			0	1	23420	21		3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Revenue													
Block_Size			0	4	5	1		2000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Finish			0	4	6	1		8000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Pointer_Handle			0	4	2	1		2000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Pointer_Method			0	4	3	1		1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Ponteiro			0	4	4	1		5000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Inirec			0	4	0	1		2000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Tabela_Revenue			0	3	3968	1	5	5000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Posicao							0				<input type="checkbox"/>	0	1000
ENEAT_DEL							1				<input checked="" type="checkbox"/>	0	1000
ENERE_DEL							2				<input checked="" type="checkbox"/>	0	1000
ENEAT_REC							3				<input checked="" type="checkbox"/>	0	1000
ENERE_REC							4				<input checked="" type="checkbox"/>	0	1000
OnLine													
LocalTime			1	1	23420	21		3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000
Power_Meter_01			1	1	22528	21	18	3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Power_Meter_02			1	1	22546	21	18	3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Power_Meter_03			1	1	22560	21	12	3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Universal_Time			1	1	23420	21		3000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000

Fonte – Arquivo Pessoal

A pasta Driver também deve ser configurada e associada ao arquivo "ION32.dll", que é o arquivo propriamente dito de *driver* e é nativo da Elipse Software, podendo ser baixado de seu site e seu manual é o ANEXO B. Esta configuração pode ser feita no ato da criação da aplicação. No entanto, as configurações dinâmicas que dependem da escolha do medidor devem ser feitas em tempo de execução, no evento *AfterStart()* da pasta Driver. Um exemplo de *script* para configuração em tempo de execução está no APÊNDICE A, já que no manual não é muito bem explicado essa parte.

No fim, resumidamente, ao exemplo da Figura 19 apresentada na seção de fundamentação teórica na parte de *scripts*, o Gerenciador então instancia e ativa um novo objeto Medidor para que a coleta seja iniciada. A gravação no banco de dados pode ser configurada para acontecer no elemento DB.Hist a cada chegada de um novo bloco de valores, registrando assim a cada 10 minutos. O funcionamento da coleta pode ser averiguado utilizando-se a ferramenta Watch Window do E3 Studio, que permite visualizar as atualizações de valores das *tags* em tempo real.

Todo esse processo é feito para um Data Record e deve ser feito para os demais, de modo que colete todos os dados de QEE necessários. Isto é, um driver para cada coleta de Data Record diferente. Os Data Records alvos são:

- Flicker PLS

- Flicker PST
- FD%
- DTT%
- DIT%1-5
- DIT%6-10

As harmônicas individuais até a 10 são suficientes.

No banco de dados, utilizar uma tabela para registro de cada Data Record facilita o tratamento posteriormente na criação do relatório em Excel.

5.4 TRATAMENTO

O Elipse E3 Studio possui a capacidade de lidar com arquivos Excel, criar, ler e escrever neles de forma bem intuitiva e simples. A própria base de tutoriais da Elipse Software, o Elipse Knowledge Base, dispõe de exemplos os quais foram usados para realizar os testes neste projeto. Tal tutorial é referenciado neste documento. (ELIPSE, 2020)

Para efetuar essa etapa de criação do relatório em arquivo Excel, é usado uma *tag* interna com *script* associado ao evento *OnValueChanged()*. Desse modo, a etapa de envio contará com uma *tag* do tipo Timer, que a cada 7 dias mudará o valor da *tag* interna, disparando a criação do relatório.

Um pseudo-código para esse script é bastante simples: criação do arquivo Excel; criação das planilhas; preenchimento das planilhas; fim. O *script* é capaz de acessar e colher os dados dos bancos de dados onde foram previamente registrados, manipulando suas respectivas tabelas. O arquivo final de relatório deve conter as seguintes informações na seguinte estrutura:

- Planilha 1: "Gerais- contém: estampas de tempo de início e fim da coleta, código do agente, código da estação, ID do prestador e descrição
- Planilha 2: "Cadastro_mecedor- contém: fabricante, tipo, modelo, número de série, código do medidor e tipo de medida
- Planilha 3: "Cadastro_transdutor- contém: fabricante, tipo, modelo, número de série, código do transdutor e fase
- Planilha 4: "Des_Estat- contém: percentis 95 do fator de desequilíbrio em cada um dos sete dias e a indicação de qual foi o dia com maior percentil 95
- Planilha 5: "Deseq- contém todos os valores coletados de fator de desequilíbrio na semana precedidos de suas estampas de tempo

- Planilha 6: "Flutu- contém: todos os valores de PST e PLT em suas três fases coletados durante a semana, precedidos de suas estampas de tempo
- Planilha 7: "Harmo- contém: todos os valores de harmônicos em suas três fases coletados durante a semana precedidos de suas estampas de tempo
- Planilha 8: "Harm_Estat- contém: todos os percentis 95 diários máximos dos dados da planilha anterior
- Planilha 9: "Flu_Estat- contém: todos os percentis 95 máximos diários do PST e PLT em suas três fases

Esse é o padrão de relatório adotado pelo processo AS IS e aceito pelo ONS durante uma campanha.

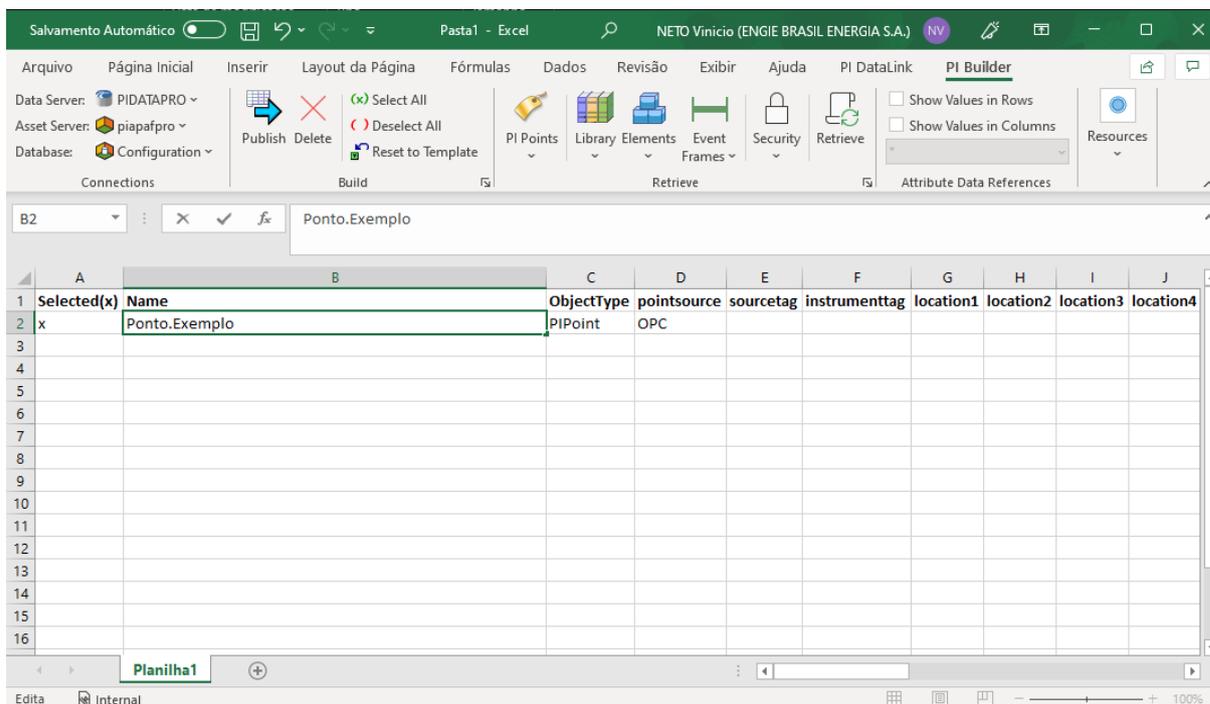
5.5 ANÁLISE

Esta etapa estava mais direcionada aos cenários 1 e 2, onde os dados obrigatoriamente eram transportados ao PI System e assim poderiam ser usadas por qualquer funcionário da empresa ao acessar o PI Vision.

No cenário 3, se tornou opcional e uma implementação bônus. Caso alguma porção de dados específicos seja interessante de se disponibilizar, devem ser feitas duas atividades:

- Criação dos elementos no PI System Explorer
- Criação dos PI Points no Pi Builder para serem associados aos seus respectivos elementos no Explorer

Figura 30 – Criação de um ponto no PI Builder



Fonte – Arquivo Pessoal

Na Figura 30 se tem um exemplo de como realizar a segunda atividade citada acima. Tanto o parâmetro "pointsource", quanto os "locations", são informações que foram configuradas na interface do PI ICU, que gerencia os links entre os servidores do PI System. É através deles que se indica para onde o dado está indo. Com eles preenchidos e também o nome, basta clicar em "Publish".

Deste modo, é possível utilizá-los para confecção de telas de supervisão no PI Vision e possibilita, portanto, a análise dos dados de maneira personalizada.

5.6 ENVIO

Etapa final do processo automatizado e a mais simples de se configurar.

No PI System Explorer, uma das funcionalidades do software é chamada de Notification Rules (regras de notificação). Nada mais são do que ações que são configuradas para serem tomadas assim que ocorrer algum evento também configurado pelo usuário. Portanto, é possível fazer com que haja o envio de um *email* com arquivo anexado, assim que surgir um novo relatório, arquivo Excel, na pasta compartilhada via protocolo FTP com o servidor do Eclipse E3 (Servidor A). Estes são a ação tomada e o evento de disparo, respectivamente.

Para iniciar e parar esta regra de notificação, tem-se o valor binário recebido ao clique do botão no Viewer do Servidor A, a tela de supervisão do E3 Studio. E para o

email em cópia, também é recebido a informação da mesma origem.

6 RESULTADOS E CONCLUSÃO

Partindo então da discussão e ponderação dos cenários de solução gerados para automatização do processo, chegou-se à conclusão que o terceiro cenário é a melhor escolha pelos motivos já citados na seção anterior. Portanto, com a implementação do proposto sistema, atinge-se os seguintes objetivos:

- Substituição da mão-de-obra humana no processo de entrega de relatórios durante uma campanha do ONS por uma aplicação sequencial e automatizada.
- Como consequência do item anterior, maior velocidade na geração e entrega do relatório e eliminação de possíveis erros humanos neste processo.
- Se optado por, disponibilidade dos dados de qualidade de energia elétrica do(s) ativo(s) envolvido(s) no Historiador, possibilitando que qualquer colaborador da empresa tenha acesso a eles e possa criar telas personalizadas de supervisão no PI Vision.
- Geração de conhecimento através da documentação deste relatório, podendo-se consultar futuramente o *know-how* para acesso aos medidores de faturamento e possíveis tratamentos posteriores dos dados.

Até o momento de confecção e entrega desta monografia, o projeto continua sendo desenvolvido e incrementado. Entretanto, testes de validação das técnicas e estratégias utilizadas na proposta de projeto desse protótipo foram realizados para serem documentados. Para a "versão 2.0" da aplicação, pretende-se realizar a implementação da geração de *logs* (arquivos de textos gerados pelo software SCADA) detalhados que exibam cada etapa de execução do programa e informem o recebimento dos dados em tempo real. Em adição, serão discutidas formas de otimização do sistema como, por exemplo, estudar uma forma de utilizar mais inteligentemente as conexões de driver para uso do protocolo ION 2.0, pois os links de comunicação com os equipamentos são limitados.

Portanto, por estes motivos citados, até o momento a aplicação não está rodando em definitivo. Além disso, é necessário estudar, junto aos demais colaboradores envolvidos no processo manual, a melhor forma e o melhor momento de executá-lo oficialmente, pois já existe uma campanha em andamento.

REFERÊNCIAS

2WENERGIA. **O que é um Sistema de Medição e Faturamento?** [S./], 2020.

Disponível em:

<https://2wenergia.com.br/sistema-de-medicao-e-faturamento-de-energia/>.

Acesso em: 16 nov. 2021.

CANGUÇU, Raphael. **O que são Requisitos Funcionais e Requisitos Não Funcionais?** [S./]. Disponível em:

<https://codificar.com.br/requisitos-funcionais-nao-funcionais/>. Acesso em:

20 nov. 2021.

CARDOSO, Gabriel. **Tipos de redes industriais e suas principais aplicações no mercado.** [S./], 2019. Disponível em: <https://balluffbrasil.com.br/tipos-de-redes-industriais-e-suas-principais-aplicacoes-no-mercado/>. Acesso em: 7 nov. 2021.

CARVALHO, Victor. **O que são drivers? Entenda o que são e como eles funcionam nos PCs.** [S./], 2021. Disponível em:

<https://canaltech.com.br/produtos/drivers-entenda-o-que-sao-e-como-eles-funcionam-195604/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CRAVO, Edilson. **10 protocolos de comunicação mais usados na automação industrial.** [S./], 2021. Disponível em:

<https://blog.kalatec.com.br/protocolos-de-comunicacao/>. Acesso em: 7 nov. 2021.

DPSTELE. **How Do SCADA Systems Work?** [S./], 2021. Disponível em:

<https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ELECTRIC, Schneider. **PowerLogic™ ION8650 Energy and power quality meter**

User manual. [S./], 2015. Disponível em: https://www.powersolutions.com.bo/wp-content/uploads/2019/05/ION8650_Guia-Usuario.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

ELIPSE SOFTWARE. **Como ler/escrever em arquivos Excel via Elipse E3/Power.** [S./], 2020. Disponível em:

<https://kb.elipse.com.br/como-ler-escrever-em-arquivos-excel-pelo-elipse/>.

Acesso em: 23 nov. 2021.

ENGIE Brasil Energia: Nossa História. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.engie.com.br/institucional/sobre-a-engie/>. Acesso em: 30 out. 2021.

ISAEEL, Regis. **Classificação das Redes Industriais**. [S.l.], 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/70147586-Classificacao-das-redes-industriais-curso-tec-automacao-professor-regis-isael.html>. Acesso em: 7 nov. 2021.

LORENZO, H. C. de. **O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PASSADO E FUTURO**. São Paulo: [s.n.], 2002. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/perspectivas/article/download/406/291/1062>. Acesso em: 16 out. 2021.

MATTEDE, Henrique. **Harmônicas em sistemas elétricos. Guia completo**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com/harmonicas-em-sistemas-eletricos-guia-completo/>. Acesso em: 3 nov. 2021.

MEHL, Ewalo L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curitiba: [s.n.], 2005. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

MÉTODO WorksheetFunction.Percentile -Excel. [S.l.]. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/office/vba/api/excel.worksheetfunction.percentile>. Acesso em: 3 nov. 2021.

O PI System potencializa insights operacionais e novas possibilidades. [S.l.]. Disponível em: <https://www.osisoft.pt/pi-system>. Acesso em: 3 nov. 2021.

PAULILO, Gilson. **Qualidade de energia - CAP 3 - Desequilíbrios de tensão**. [S.l.]. Disponível em: https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed86_fasc_qualidade_cap3.pdf. Acesso em: 4 nov. 2021.

PINHEIRO, Thelma M. M. **REQUISITOS DE QUALIDADE DE ENERGIA PARA AS TURBINAS EÓLICAS CONECTADAS À REDE ELÉTRICA: UMA EXPERIÊNCIA BRASILEIRA**. Sergipe, 2003. Disponível em: https://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081215150041-aju_06_084.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

PROCEDIMENTOS DE REDE. [S./]. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/>. Acesso em: 2 nov. 2021.

QUALIDADE de energia. [S./]. Disponível em:

<http://www.fourier.com.br/qualidade-de-energia.html>. Acesso em: 30 out. 2021.

SOFTWARE, Elipse. **Elipse E3**. [S./], 2021a. Disponível em:

<https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SOFTWARE, Elipse. **Manual do Usuário do E3**. [S./], 2021b. Disponível em:

<https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=19&key=Manual&language=ptbr>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SOUZA, Eric Henrique Nicacio de. **AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES COM PROTOCOLO IEC-61850: estudo de caso**. Curitiba, 2016. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13158/1/CT_CEAUT_2015_10.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

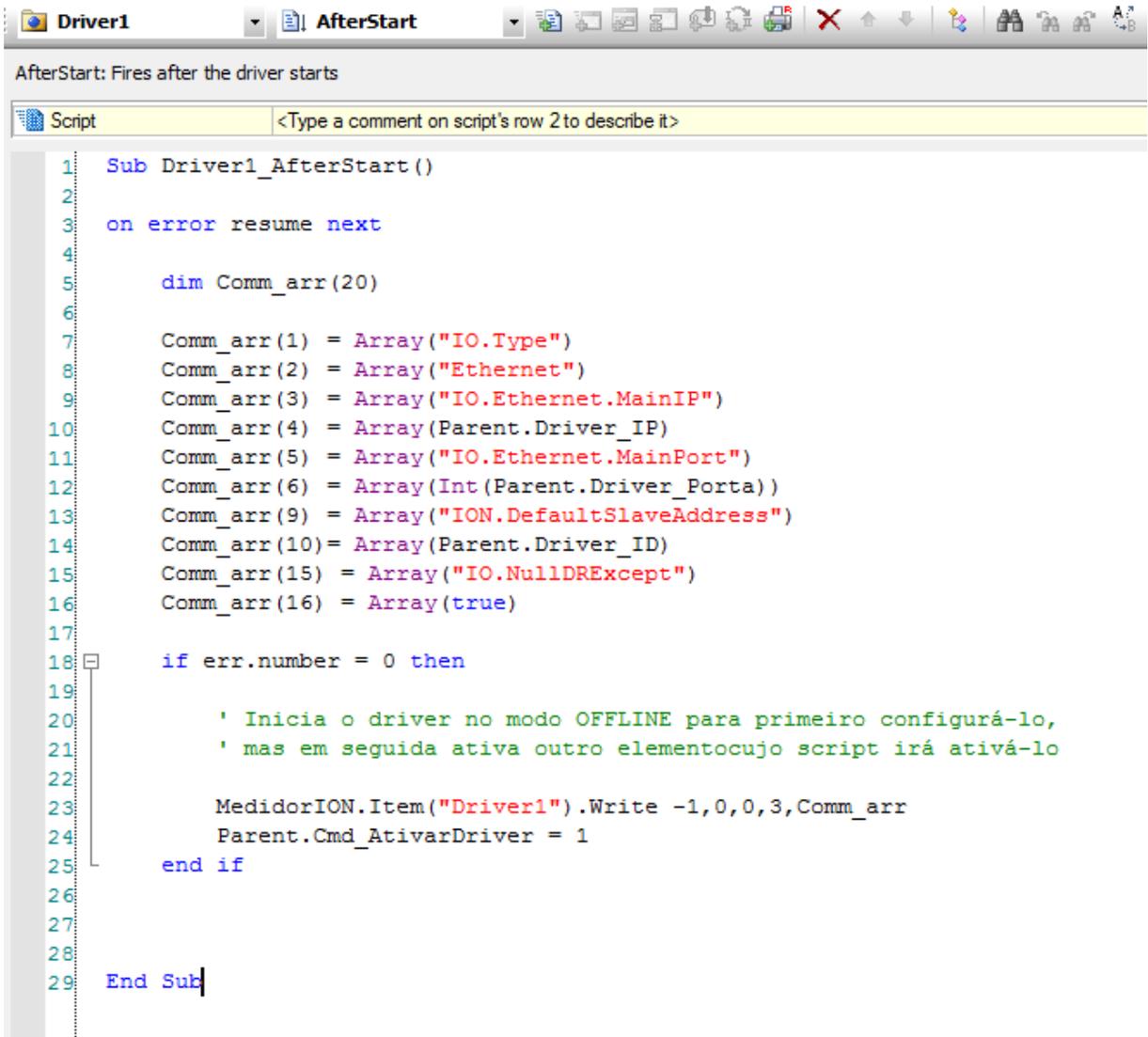
SUBMÓDULO 2.9 Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica. [S./]. Disponível em:

http://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%202.9-RQ_2020.12.pdf. Acesso em: 2 nov. 2021.

VISÃO GERAL DO SETOR. [S./]. Disponível em:

<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor/>. Acesso em: 30 out. 2021.

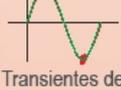
APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DE DRIVER VIA SCRIPT NO E3 STUDIO



The screenshot shows the E3 Studio interface with the 'Driver1' object selected and the 'AfterStart' event active. The script editor displays the following code:

```
1 Sub Driver1_AfterStart ()
2
3 on error resume next
4
5     dim Comm_arr(20)
6
7     Comm_arr(1) = Array("IO.Type")
8     Comm_arr(2) = Array("Ethernet")
9     Comm_arr(3) = Array("IO.Ethernet.MainIP")
10    Comm_arr(4) = Array(Parent.Driver_IP)
11    Comm_arr(5) = Array("IO.Ethernet.MainPort")
12    Comm_arr(6) = Array(Int(Parent.Driver_Porta))
13    Comm_arr(9) = Array("ION.DefaultSlaveAddress")
14    Comm_arr(10) = Array(Parent.Driver_ID)
15    Comm_arr(15) = Array("IO.NullDRExcept")
16    Comm_arr(16) = Array(true)
17
18    if err.number = 0 then
19
20        ' Inicia o driver no modo OFFLINE para primeiro configurá-lo,
21        ' mas em seguida ativa outro elementocujo script irá ativá-lo
22
23        MedidorION.Item("Driver1").Write -1,0,0,3,Comm_arr
24        Parent.Cmd_AtivarDriver = 1
25    end if
26
27
28
29 End Sub
```

ANEXO A – PRINCIPAIS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS E SUAS CAUSAS

DISTÚRPIO	DEFINIÇÃO	PRINCIPAIS CAUSAS	SINTOMAS PERCEPTÍVEIS
 Falta de Energia	Ausência de energia elétrica na rede comercial.	Falhas da concessionária, acidentes, manutenção da rede, descargas atmosféricas.	Desligamento com perda de informações não salvas.
 Subtensão	Tensão da rede elétrica abaixo do especificado.	Excesso de cargas ligadas à instalação elétrica.	Desligamento com perda de informações não salvas.
 Sobretensão	Tensão da rede elétrica acima do especificado.	Falhas da concessionária, desligamento abrupto de cargas de uma rede vizinha.	Queima de fontes de alimentação.
 Picos de Tensão	Surto de alta tensão na rede elétrica.	Descargas atmosféricas.	Queima de fontes de alimentação e periféricos, como impressoras e scanners.
 Ruídos de Linha	Sinais elétricos indesejados presentes na rede elétrica.	Cargas com baixo fator de potência ligadas a mesma rede, como motores elétricos industriais.	Travamento das operações, parada dos sistemas.
 Subfrequência	Frequência da rede elétrica abaixo do especificado (no Brasil, 60Hz).	Falhas da concessionária.	Aquecimento excessivo dos equipamentos
 Sobrefrequência	Frequência da rede elétrica acima do especificado (no Brasil, 60Hz).	Falhas da concessionária.	Aquecimento excessivo dos equipamentos.
 Oscilações	Variações de caráter contínuo na tensão da rede elétrica.	Ligamento e desligamento contínuo de cargas de alta potência.	Travamento do sistema, danos no hardware.
 Transientes de Chaveamento	Presença de ruídos de curta duração na rede elétrica.	Ligamento e desligamento contínuo de cargas de alta potência, como motores e pontes rolantes.	Diminuição da vida útil das fontes de alimentação, travamento, eventuais danos no hardware.
 Distorção Harmônica	Mudança na forma de onda da rede elétrica comercial (idealmente é senoidal).	Falhas da concessionária, uso de grupos geradores substituindo a rede comercial.	Travamento do sistema, danos de hardware, perda de informações.

ANEXO B – DOCUMENTAÇÃO DO DRIVER ION32

Driver Power Measurements ION



Nome do Arquivo	ION32.DLL
Fabricante	Power Measurements
Equipamentos	
Protocolo	ION 2.0
Versão	2.0 build 1
Última Atualização	
Plataforma	Win32
Dependências	Nenhuma

Introdução

Este driver comunica-se com os modelos **7500/7600/8500/8400** dos Power Measurements ION Meters, bem como outros medidores com suporte ao protocolo ION.

Este driver extrai dados dos medidores Power Measurements, incluindo:

- dados em tempo real;
- eventos;
- data recorder;
- *waveforms* (formatos de onda).

Configuração do Driver

Esta seção contém informação sobre os parâmetros de configuração do driver.

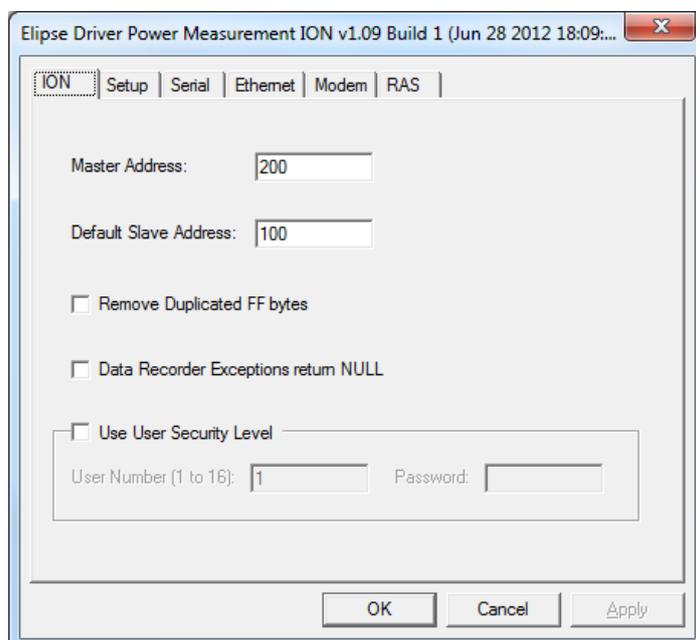
Parâmetros [P]

Este driver não mais utiliza os parâmetros de configuração P. Todas as configurações do driver e do IOKit devem ser realizadas na Janela de Configuração do Driver.

- P1** Não utilizado
- P2** Não utilizado
- P3** Não utilizado
- P4** Não utilizado

Janela de Configuração do Driver

Outros parâmetros de configuração podem ser definidos na janela de configuração do driver:



Note que a janela possui seis abas, sendo a primeira (**ION**) específica deste driver, e as demais (**Setup**, **Serial**, **Ethernet**, **Modem** e **RAS**) usadas para a configuração do IOKit.

A aba **ION** apresenta os seguintes itens:

ITEM	DESCRIÇÃO
Master Address	Endereço de origem, ou seja, o endereço que o driver assumirá na rede. Não deve conflitar com os endereços dos medidores presentes na rede (Slave Id).
Default Slave Address	Identifica o endereço de um medidor se ele estiver configurado como 0 no tag.
Remove Duplicated FF bytes	Remove FF bytes indesejados que aparecem no início do quadro como resultado de chaveamento da portadora se um canal de comunicação dedicado apresentar ruído.
Data Recorder Exceptions return NULL	Retorna NULL, e não com o texto/descrição de exceção informado pelo medidor durante a extração de memória de um registro de dados (leitura de memória de massa).
User Security Level	Configura o driver para o controle de senha alfanumérico dos usuários.
User Number (1 to 16)	Número do usuário (de 1 a 16) utilizado pelo driver se a opção User Security Level estiver habilitada.
Password	Senha alfanumérica (até 6 caracteres) para o usuário informado na opção User Number (1 to 16) .

Para informações sobre a configuração das abas referentes à configuração do IOKit, consulte o Manual do Usuário do IOKit, que é instalado na máquina com o supervisor, e é também disponibilizado online no site da Elipse (www.elipse.com.br).

Parâmetros Offline

Todos os parâmetros na seção anterior podem ser modificados em tempo de execução através do IOKit. (Para maiores informações, consulte o Manual do IOKit). Para isto, deve-se utilizar as seguintes strings:

- "ION.MasterAddress"
- "ION.DefaultSlaveAddress"
- "ION.CutDoubleFF"
- "ION.NullDRExcept"
- "ION.UserPwd"
- "ION.UserNumber"
- "ION.UserSecurityLevel"

Referência de Tags

Esta seção contém informações sobre a configuração dos tags [N/B] do driver.

Parâmetros [N]

Esta seção contém informações sobre a configuração dos tags [N] do driver. Todos os tags utilizam o parâmetro N1 para identificar o endereço do medidor, ou N1=0 se for utilizado o endereço padrão definido na janela de configuração do driver.

SYNC

ESCRITA

N1	Endereço do medidor (<i>Slave Id</i>)
N2	0
N3	0
N4	0

Deve ser escrito o valor do deslocamento GMT, em segundos. Este valor será adicionado ao valor do relógio interno do computador, e então enviado ao medidor para sincronização.

R/W Index and Range Definitions for Log Table

LEITURA/ESCRITA

N1	Endereço do medidor (<i>Slave Id</i>)
N2	4
N3	Config

N4 Faixa de variação

Durante a leitura de logs, uma estrutura de variação (*Range*) é reservada para cada tabela (no máximo, 20 tabelas simultaneamente). Cada estrutura possui algumas variáveis que auxiliam na extração de dados da tabela.

A faixa de variação vai de 0 a 19, uma para cada tabela ou *waveform*.

Tabela: Config

CONFIG	DESCRIÇÃO
0	Registro inicial de leitura (L/E)
2	<i>Handle</i> do ponteiro da tabela (L/E)
3	Método do ponteiro da tabela (geralmente 28h) (L/E)
4	Posição do ponteiro da tabela (atualizado com o medidor)
5	Quantidade: número de registros a serem retornados em cada leitura (máx. 15) (L/E)
6	Atualização da tabela: retorna 1 quando o registro tiver atingido o ponteiro da tabela; do contrário, retorna 0.

PASSWORD**ESCRITA**

- N1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- N2** 5
- N3** 0
- N4** 0

Número inteiro, sem sinal e com 32 bits, utilizado para escrever qualquer valor no medidor.

Read Waveforms**LEITURA**

- N1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- N2** 9
- N3** *Handle*
- N4** Faixa de variação

Leitura que retorna todos os valores de um log de *waveform*. Cada log armazena *waveforms* para uma variável.

NOTA: O comando *Read Waveforms* leva um tempo considerável para ser completado.

Waveforms Read Status**LEITURA**

- N1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- N2** 10
- N3** *Handle*
- N4** Faixa de variação

Este tag retorna -1 se a operação com N2=9 apresentar falha; 0 se o *waveform* não tiver nenhum valor; ou 1 se houver algum *waveform* disponível.

Get Waveforms**LEITURA**

- N1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- N2** 11
- N3** *Handle*
- N4** Faixa de variação

Este tag retorna a informação para a aplicação quando um *waveform* estiver disponível (N2=10, valor 1). O *waveform* é uma sequência de números para o mesmo tag, com a propriedade *TimeStamp* sendo alterada para cada valor.

Parâmetros [B]

Esta seção contém informações sobre a configuração dos tags [B] do driver. Todos os tags utilizam o parâmetro B1 para identificar o endereço do medidor, ou B1=0 se for utilizado o endereço padrão definido na janela de configuração do driver.

R/W Simple Method**LEITURA/ESCRITA**

- B1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- B2** 1
- B3** *Handle*
- B4** Método

Operação de Leitura ou Escrita utilizando o Método Simples. Para o endereço da handle, verifique o PDF *Documentação de Handles* anexo a este documento. Para o método, consulte a tabela abaixo.

Tabela: Handles do Método Simples

CÓDIGO	NOME
01h	Read ION Class
02h	Read ION Name
03h	Read ION Label

14h	Read Register Time
15h	Read Register Value
1Ch	Read Boolean Register on name
1Dh	Read Boolean Register off name
1Eh	Read Boolean Register on label
1Fh	Read Boolean Register off label
20h	Read Boolean Register state label
23h	Read Array Register depth
25h	Read Array Register rollover
28h	Read log register position
2Dh	Read Event Log Alarms
50h	Read Module Setup Counter
64h	Read Manager Setup Counter
95h	Read Value
96h	Write Value

R/W Extended Method**LEITURA/ESCRITA**

- B1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
B2 2
B3 *Handle*
B4 Método

Operação de Leitura ou Escrita utilizando o Método Estendido. Para o endereço da *handle*, verifique o PDF *Documentação de Handles* anexo a este documento. Para o método, consulte a tabela abaixo.

Tabela: handles de método estendido

CÓDIGO	NOME
03E8h	Read Module Input Handles
03EFh	Read Module Input Names
03ECh	Read Module Setup Handles
0406h	Read Module State

Read Log Table**LEITURA**

- B1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
B2 3
B3 *Handle*
B4 Faixa de variação

Para esta leitura, o driver utiliza uma *handle* e um método específicos para cada tabela. Isto é configurado através de tags com N2=4.

Read Log Table - Update New Records First**LEITURA**

- B1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- B2** 7
- B3** *Handle*
- B4** Faixa de variação

Para esta leitura, o driver utiliza uma *handle* e um método específicos para cada tabela. Isto é configurado através de tags com N2=4. Com esta leitura, o driver enviará uma lista de valores solicitados, mais qualquer novo registro adicionado enquanto o driver não atingir o ponteiro da tabela.

Read Log Events with Description**LEITURA**

- B1** Endereço do medidor (*Slave Id*)
- B2** 8
- B3** *Handle*
- B4** Faixa de variação

Adiciona dois novos elementos ao bloco, além das oito colunas originais: *Log Position*, *Priority*, *Replace*, *ION Cause*, *Cause Value*, *ION Effect*, *Effect Value*, e *Ack Time*. As posições destes novos elementos serão 9ª e 10ª, com uma descrição textual dos *handles* de causa e efeito.

Exemplo de Leitura de Dados do Energy Recorder

Cada Energy Data Recorder possui um *Handle* (uma espécie de ponteiro) que aponta para sua estrutura. Cada medidor possui um número limitado de *Data Recorders*, que podem armazenar qualquer variável (tensão, corrente, energia, etc). Neste exemplo, vamos assumir que o *Data Recorder 1* contém os valores de energia que precisamos.

O próximo passo é criar um tag bloco mapeando cada coluna do registro de dados para um elemento, em sequência. No nosso exemplo, para o medidor 8500, o *Handle* para o *Data Recorder 1* é F80h.

Para iniciar a leitura, deve-se realizar os seguintes procedimentos básicos:

1. Associar uma estrutura interna à Tabela a ser lida, e inicializá-la.
2. Descobrir a posição de log atual.
3. Definir o registro inicial para a leitura.
4. Habilitar a varredura do tag bloco.

A aplicação terá que executar então os seguintes passos, por script:

1. Escrever o valor F80h no tag X.4.2.0 (*Table Pointer Handler*) – esta escrita associa a estrutura zero (N4=0) ao *Handle* F80h.

2. Escrever o valor 28h no tag X.4.3.0 (valor padrão para o *Table Pointer Method*).
3. Escrever o valor 10 no tag X.4.5.0 (*Quantity*), para trazer, neste exemplo, 10 registros a cada operação de leitura (varredura).
4. Ler o tag X.4.4.0, que retorna a posição atual do Log (*Log position*).

Assumindo por exemplo que o *Data Register 1* grave registros novos a cada cinco minutos, será necessário calcular o número de registros a serem lidos.

Exemplo:

PONTEIRO	HORÁRIO
1000	01/01/2010 00:00
1001	01/01/2010 00:05
1002	01/01/2010 00:10
1003	01/01/2010 00:15
1004	01/01/2010 00:20
1005	01/01/2010 00:25
...	...
1400	02/01/2010 09:20
1401	02/01/2010 09:25
1402	02/01/2010 09:30
1403	02/01/2010 09:35
1404	02/01/2010 09:40

Ao ler o valor do tag (X.4.4.0) será retornado a posição atual do ponteiro (no exemplo corresponde a posição 1404), que é último registro do medidor: 02/01/2010 09:40.

Se desejarmos ler o dia anterior, devemos calcular quantos registros retornar. Entre o último registro do medidor (02/01/2010 09:40) e a data inicial desejada (01/01/2010 00:00) há 2020 minutos (1 dia + 9 horas + 40 minutos). A cada 5 minutos temos um registro, então devemos retornar 404 registros.

Portanto, se quisermos ler do medidor registros a partir de 01/01/2010 00:00 devemos escrever no tag (X.4.0.0) o valor 1000.

Tendo calculado a posição do Registro Inicial, deve-se prosseguir com estes passos:

5. Escrever o valor calculado (1000 para este exemplo) da posição do Registro Inicial no tag X.4.0.0 (Registro Inicial para Início da Leitura).
6. Habilitar a varredura do tag bloco X.3.F80h.0

Durante a varredura, a cada vez que um novo bloco for coletado do medidor, serão retornados 10 registros (*Quantity*), e o valor do Registro Inicial retornado pelo tag X.4.0.0 será incrementado em 10 unidades, conforme o valor escrito no tag X.4.5.0 (*Quantity*).

A aplicação-exemplo está disponível no Elipse Knowledgebase.