

HELTON HARADA
SÉRGIO RICARDO SCHWERZ

**Smart meter com recurso de alívio de carga
usando norma IEC 61850 e mensagens rápidas GOOSE**

São Paulo
2015

HELTON HARADA
SÉRGIO RICARDO SCHWERZ

**Smart meter com recurso de alívio de carga
usando norma IEC 61850 e mensagens rápidas GOOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti
Pellini

São Paulo
2015

HELTON HARADA
SÉRGIO RICARDO SCHWERZ

**Smart meter com recurso de alívio de carga
usando norma IEC 61850 e mensagens rápidas GOOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti
Pellini

São Paulo
2015

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Hoje a concessionária de energia elétrica não dispõe de meios para selecionar e interromper instantaneamente determinadas atividades consumidoras de energia elétrica, menos prioritárias de consumo.

Portanto é necessário um dispositivo que permita a concessionária medir o consumo e selecionar usuários para descarte de carga, quando sistema estiver sobrecarregado. O sistema deve permitir o desligamento pela concessionária remotamente.

O objetivo do projeto consiste em desenvolver e prototipar um dispositivo que forneça a potência consumida pelo consumidor residencial em determinado circuito e transmita o valor a concessionária. O dispositivo deve permitir também que a concessionária de energia elétrica desative este circuito através da internet ou outro meio a distância. O dispositivo deve seguir a normas e padrões impostos pela agência reguladora e mercado.

Palavras-Chave: Smart Grid. Descarte seletivo de carga. Norma IEC61850. Gestão sob demanda. Energia elétrica. Gestão-Energia elétrica.

ABSTRACT

Today, the electrical power utility does not have the resources to select and instantly stop consuming certain activities of electricity, less priority consumption.

So is necessary a device that allows the utility to measure the consumption and select users to load shedding is necessary when the system is overloaded. The system should allow the shutdown by the utility remotely.

The project goal is to develop and prototype a device that provides the power consumed by the residential customer in particular circuit and transmit the value the dealership. The device should also allow the electrical power utility disable this circuit over the internet or other means the distance. The device must follow the rules and standards imposed by the regulator and market.

Keywords: Smart Grid. Charge selective disposal. IEC61850 standard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os dez Países que mais investem em Smart Grid no mundo em 2010 ...	14
Figura 2 - Dois disjuntores de entrada do controlador de demanda residencial	15
Figura 3 – Esquema de funcionamento do controlador e explicação sobre funcionamento	15
Figura 4 – ETR - Estação de Trabalho Remota	17
Figura 5 – Módulos SX403	17
Figura 6 – Dispositivo Inteligente	18
Figura 7 – Dispositivo instalado no consumidor para testes de campo	18
Figura 8 – Serviços da Silver Spring	19
Figura 9 – Projeção de crescimento do mercado Global de REI (2012-2020)	22
Figura 10 – Árvore de Objetivos Hierarquizada	24
Figura 11 – Priorização das mensagens GOOSE nos dispositivos de rede	26
Figura 12 – Mecanismo utilizado pelos quadros ethernet GOOSE na ocorrência de um evento	28
Figura 13 – Decomposição Funcional Nível 0	29
Figura 14 – Proposta inicial do protótipo a ser implementado	30
Figura 15 – Decomposição Funcional Nível 1	30
Figura 16 – Decomposição Funcional da placa de Condicionamento	31
Figura 17 – Decomposição Funcional da Placa de Processamento	31
Figura 18 – Placa de condicionamento com dispositivos análogos	32
Figura 19 – Circuito de Placa de Condicionamento	32
Figura 20 – Simulação com a Placa de Condicionamento	34
Figura 21 – Simulação com a Placa de Condicionamento	34
Figura 22 – Simulação com a Placa de Condicionamento	35
Figura 23 – Simulação com a Placa de Condicionamento	35
Figura 24 – FRDM-K64F - Disposição de componentes	40
Figura 25 – FRDM-K64F - Diagrama de Blocos	42
Figura 26 – Ambiente de Desenvolvimento MBED	43
Figura 27 – Diagrama das Relações do software embarcado	44
Figura 28 – Visão Geral do Sistema	45
Figura 29 – FRDM-K64F – Teste de Conexão	46
Figura 30 – FRDM-K64F – Teste de Validação do Código	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 31 – Fonte OMICRON	47
Figura 32 – Gráfico de Calibração de Vef	48
Figura 33 – Gráfico de Calibração de Ief	49
Figura 34 - Virtual Manufacturing Device (VMD)	50
Figura 35 – Virtual Manufacturing Device (VMD)	51
Figura 36 – Encapsulamento do frame MODBUS TCP/IP	52
Figura 37 - Arquitetura MODBUS TCP/IP	53
Figura 38 – Diagrama de Interligação das placas	54
Figura 39 – Placa de Condicionamento	55
Figura 40 – Placa de Condicionamento com caixa	55
Figura 41 – As duas placas interligadas	56
Figura 42 – Sistema Completo – com carga	57
Figura 43 – Gerador de mensagem GOOSE	57
Figura 44 – Módulo Supervisório com SCADABR	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela Comparativa – método AHP	23
Tabela 2 – Lista de Materiais Críticos	36
Tabela 3 – Cronograma do Projeto	37

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Event</i>
CDR	Controlador de Demanda Residencial
SIGED	Sistema Integrado de Gerência e Demanda
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
ETR	Estação de Trabalho Remota
REP	Repetidora
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
REI	Redes Elétricas Inteligentes
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
TIC	Tecnologia da Comunicação e Informação
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
L.PROT	Laboratório de Pesquisa em Proteção e Automação de Sistemas Elétricos
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>

SUMÁRIO

1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.1 Objetivos	13
2. LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO	14
3. TECNOLOGIAS RELEVANTES	16
3.1 O controlador de demanda residencial – CDR	16
3.2 SIGED – Sistema Integrado de Gerência e Demanda	17
3.3 Dispositivo inteligente para reduzir a demanda de ponta em equipamentos de linha branca	19
3.4 A Plataforma de Energia Inteligente	20
3.5 Smart Grid no Brasil	20
3.5.1 Projetos Piloto de Smart Grid no Brasil	22
3.6 Smart Grid no Mundo	23
4. ÁRVORE DE OBJETIVOS DO DISPOSITIVO	24
5. ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	26
6. PROJETO	30
6.1 Decomposição Funcional	30
6.1.1 Decomposição Funcional Nível 0	30
6.1.2 Decomposição Funcional Nível 1	31
6.1.3 Decomposição Funcional Nível 2	32
6.2 Seleção de dispositivos	33
6.3 Circuito da Placa de Condicionamento	34
6.4 Simulação com a Placa de Condicionamento	35
7. ANÁLISE DE RISCO	37
8. CRONOGRAMA	38
9. A PLACA E O PROCESSAMENTO	39
9.1 Programação da placa de processamento	43
9.2 Testes com a placa de processamento	46
9.3 Calibração	48
9.4 Protocolos	50
10. VERSÃO FINAL DO PROJETO	55
11. RESULTADOS	59
12. REFERÊNCIAS	60

1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.

Quando uma concessionária de energia elétrica atinge o seu limite de fornecimento de energia, existe a necessidade de descartar determinados consumidores que são menos prioritários, hoje a concessionária não tem um controle específico sobre cada usuário do sistema, caso ele queira interromper o fornecimento, deve fazê-lo para um grupo ou região da cidade. Quando a concessionária interrompe o fornecimento, causa grandes transtornos e impacto na região afetada.

Recentemente na cidade de São Paulo, dia 19/01/2015, houve um descarte de carga, frente ao aumento de demanda, o circuito escolhido foi o do metrô, pois apesar dos grandes transtornos, ainda era o menos prioritário. [1]

Hoje a concessionária de energia elétrica não dispõe de meios para interromper determinadas atividades consumidoras de energia elétrica, menos prioritárias de consumo. Podemos elencar os circuitos de ar-condicionado, chuveiro como menos prioritários. Estes circuitos têm alto consumo e caso a concessionária pudesse selecioná-los, frente as demais atividades, seriam circuitos prioritários para desligamento.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) determina que as concessionárias sigam um esquema de proteção chamado ERAC (Esquema Regional de Alívio de Carga) que, através do desligamento automático e escalonado de blocos de carga, utilizando relés de frequência, minimiza os efeitos de subfrequência decorrentes da perda de grandes blocos de geração. [18]

Se estes blocos de carga pudessem ser selecionados e priorizados para descarte, uma atuação do ERAC geraria impactos menores ao permitir o consumidor conhecer de antemão quais cargas serão desligadas prioritariamente em uma contingência do sistema elétrico.

Portanto é necessário um dispositivo que permita a concessionária medir o consumo e selecionar usuários para descarte de carga, quando sistema estiver sobrecarregado. O sistema deve permitir o desligamento da concessionária remotamente.

1.1 **Objetivos**

O objetivo do projeto consiste em desenvolver e prototipar um dispositivo que forneça a potência consumida pelo consumidor residencial em determinado circuito e transmita o valor a concessionária. O dispositivo deve permitir também que a concessionária de energia elétrica desative este circuito através da internet ou outro meio a distância. O dispositivo deve seguir a normas e padrões impostos pela agência reguladora e mercado.

2. LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO.

Existe uma forte tendência mundial em investimento em Smart Grids [2], o termo representa, sinteticamente a junção das redes de energia com sistemas de medição e controle inteligentes. Este projeto está inserido neste contexto, ainda tendo um viés de gestão pela demanda.

Figura 1 – Os dez Países que mais investem em *Smart Grid* no mundo em 2010

TOP TEN COUNTRIES FOR FEDERAL SMART GRID INVESTMENT, 2010



SOURCE: Zpryme Research & Consulting

Fonte: http://powertown.no/wp-content/uploads/2011/11/SmartGrid_Ueberblick_ohneLegende.jpg

3. TECNOLOGIAS RELEVANTES.

Para exemplificar o estado atual da tecnologia pesquisamos de dispositivos similares ao projeto ou que cumpram funções análogas.

3.1 O controlador de demanda residencial – CDR

O controlador de demanda residencial ou CDR, é instalado no interior das residências, junto ao aparelho medidor da concessionária. O CDR é composto por um *timer* e um disjuntor de capacidade menor do que o disjuntor padrão (15 amperes contra 40 amperes). Entre 17 e 19 horas ou entre as 18 e as 20 horas, o *timer* desvia a entrada do circuito para este disjuntor menor, fazendo com que qualquer chuveiro ou aparelho de grande potência ligado neste horário, que é pré-definido, desarme este disjuntor e desligue o circuito da residência. [7]

A experiência de gerenciamento pelo lado da demanda implementada foi na cidade de Alfenas, Minas Gerais pela concessionária de Energia Elétrica CEMIG.

Figura 2 - Dois disjuntores de entrada **Figura 3 - Esquema de funcionamento do controlador de demanda do controlador e explicação sobre funcionamento residencial**



Fonte: <http://www.margirius.com.br/plugue-nao-desmontavel-2p-t-180-3-pinos-20a-14840>

3.2 SIGED – Sistema Integrado de Gerência e Demanda

O SIGED foi desenvolvido em conjunto pela SISTRON Sistemas de Energia e a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG.

O objetivo deste sistema é automatizar processos ligados ao faturamento (com a facilidade de aplicação de Tarifação Diferenciada para Baixa Tensão – tarifa amarela – em quaisquer configurações – incluindo possibilidade de tarifa binômica), corte social (limitação 24 h da corrente máxima fornecida para a unidade consumidora a partir de 1 A), Telemedicação e Medição Centralizada, Gerenciamento de Carga (nas unidades consumidoras – com possibilidade de aplicação sazonal e seletiva - e de transformadores de distribuição), Corte e Religamento remotos (ofertando religamento de urgência 24 horas por dia) , controle de perdas (balanço energético de perdas através de medição efetuada em cada secundário de transformador), curva de carga de transformadores - BT e alimentadores - MT, alarmes de falta de tensão (por fase), localização de fase de alimentação de unidade consumidora e DEC/FEC de cada transformador e alimentador.[8]

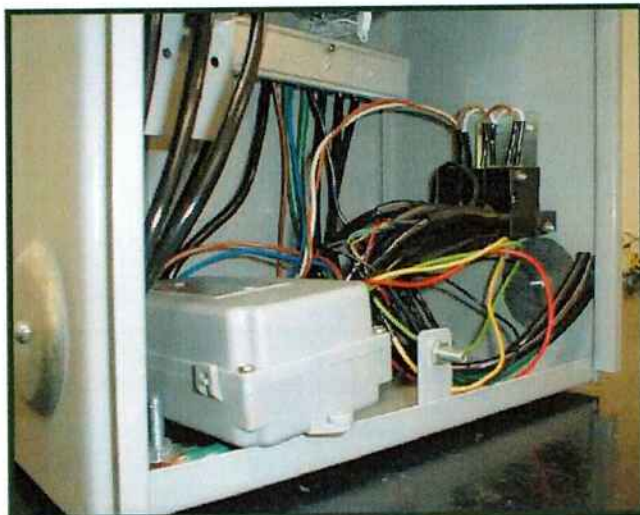
O sistema possui quatro componentes básicos. A ETR, que é instalada no mesmo poste do transformador; a REP(Repetidora), que é instalada nos postes do circuito; os módulos SX403, que são instalados nas caixas de medição (conectados aos medidores) das unidades consumidoras e o software, SCTDAcom, que pode ser instalado em qualquer micro que possua a configuração exigida pelo sistema e que pode residir no sistema corporativo integrado as demais rotinas já implementadas, como por exemplo: sistema de faturamento, sistema de informação de consumidores, sistemas de controle geoprocessados, etc. [8]

Figura 4 – ETR - Estação de Trabalho Remota



Fonte: Campos (2004)

Figura 5 - Módulos SX403



Fonte: Campos (2004)

3.3 Dispositivo inteligente para reduzir a demanda de ponta em equipamentos de linha branca

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um aparelho para gerenciamento da energia em equipamentos da linha branca, minimizando o consumo de energia durante a ponta de carga. Este aparelho foi projetado para ser instalado diretamente num dado equipamento da linha branca (refrigerador ou freezer), permitindo um gerenciamento imediato, via programa inteligente de avaliação de suas características funcionais e parâmetros temporais, melhorando assim sua inserção, de forma programável, em um ambiente onde a economia de energia e sua consequente racionalização seja um fator importante a ser levado em consideração.

Figura 6 – Dispositivo Inteligente



Fonte: Campos (2004)

Figura 7 – Dispositivo instalado no consumidor para testes de campo



Fonte: Campos (2004)

3.4 A Plataforma de Energia Inteligente

A *Silver Spring* capacita as concessionárias de serviços públicos a adotarem rapidamente e a custo efetivo um amplo conjunto de iniciativas de rede inteligente de energia (*Smart Grid*). Mesmo a concessionária comece com aplicações de Medição Avançada (*Advanced Metering – AM*) ou Automação da Distribuição (*Automation Distribution – AD*), ou se concentre nas aplicações para o consumidor com sistema de Resposta à Demanda (*Demand Response – DR*) ou projetos de veículos elétricos, a *Silver Spring* oferece a plataforma unificada de rede de serviços públicos necessária para o sucesso dessas metas.

A largura e profundidade da sua plataforma de *smart grid*, com seu alto nível de personalização explicam a ampla adoção da *Silver Spring* por diferentes concessionárias de serviços públicos de todo o mundo. Apenas nos EUA, a *Silver Spring* implantou a sua plataforma de *smart grid* em concessionárias que servem a 20% de todos os consumidores norte-americanos.[5]

Figura 8 - Serviços da *Silver Spring*



Fonte:

http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Revista%20P&D_05.pdf

3.5 *Smart Grid* no Brasil

Segundo O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) existem cerca de 200 projetos de *Smart Grid* em andamento no Brasil [11], sendo estimado um investimento aproximado em pesquisa e desenvolvimento de R\$1,6 Bilhão,

envolvendo 450 instituições, sendo 126 instituições de pesquisa e desenvolvimento na área fornecimento de energia elétrica.

De acordo com o MCTI [11], os principais motivos para o investimento em P&D nesta área estão:

- A expectativa de melhoria da qualidade do fornecimento;
- A redução de custos operacionais;
- A possibilidade de se ter um maior gerenciamento e visibilidade do que acontece no fornecimento de energia.

Entre as barreiras identificadas para o desenvolvimento do setor no Brasil estão [11]:

- A limitação dos recursos de P&D, especialmente no aspecto da inovação;
- O esgotamento do modelo regulatório;
- A baixa maturidade do mercado;
- A ausência de uma política industrial vertical (com linhas específicas para REI – Redes Elétricas Inteligentes);
- A dificuldade de sinergia com as telecomunicações;
- A falta de formação de mão de obra qualificada.

O MCTI classificou o andamento dos projetos das 63 empresas concessionárias de distribuição [11]:

- 45% do dela estão iniciando os processos de estudo a adoção de tecnologias de *smart grids*.
- 15% das companhias são consideradas investigadoras e trabalham com uma gama variada de áreas.
- 27% das empresas estão em fase de demonstração dos projetos.
- As concessionárias pioneiras nos projetos de *smart grids* equivalem a 12% do total. São projetos avançados esperando a disseminação.

3.5.1 Projetos Piloto de *Smart Grid* no Brasil

Segundo o site redesinteligentesbrasil.org.br[10], existem 9 projetos piloto envolvendo *smart grid* no Brasil em andamento, estes projetos estão em diversas fases distintas de desenvolvimento.[12]

Abaixo segue a lista dos projetos.

Minas Gerais

- Cidades do Futuro (Cemig) - Cidade de Sete Lagoas/MG

Rio de Janeiro

- Cidade Inteligente Búzios (Ampla/Endesa Brasil) - Cidade de Búzios/RJ
- Smart Grid Light (Light) - Cidade do Rio de Janeiro/RJ

Amazonas

- Parintins(Eletronorte Amazonas Energia) - Cidade de Parintins/AM

São Paulo

- Smart Grid(AES Eletropaulo) - Barueri e outras localidades, São Paulo/SP
- InovCity(EDP Bandeirante) - Aparecida/SP

Ceará

- Cidade Inteligente Aquiraz(Coelce/Endesa) - Cidade de Fortaleza/CE

Paraná

- Paraná Smart Grid(Copel) - Curitiba/PR

Pernambuco

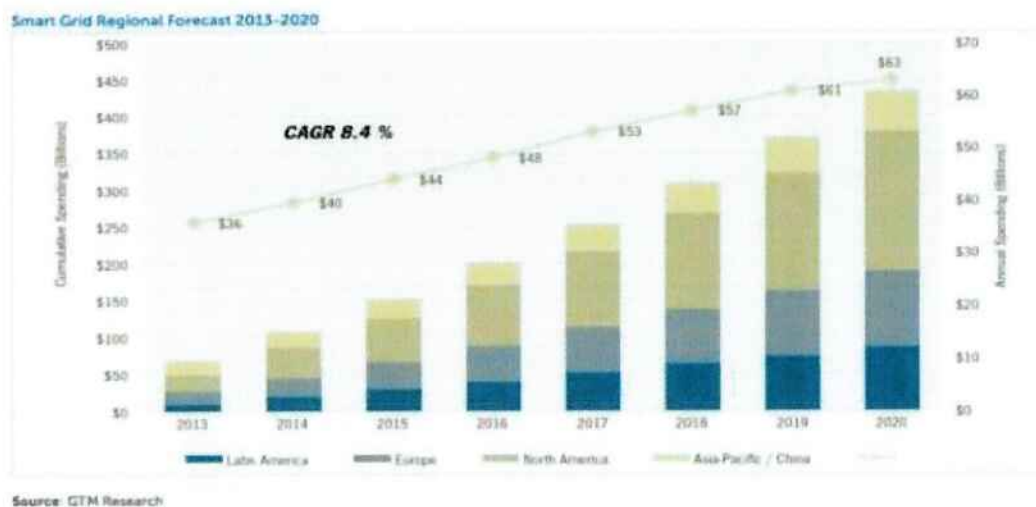
- Arquipélago de Fernando de Noronha(CELPE) - Ilha de Fernando de Noronha/PE

3.6 Smart Grid no Mundo

Projeta-se um Crescimento Médio Anual de 8.4% entre 2013-2020 no Mercado Global de Redes Elétricas Inteligentes (REI), com possibilidade de superar o valor acumulado de US\$ 400 bilhões no ano de 2020.

A Figura 16 mostra uma estimativa desse crescimento por região a nível mundial, incluindo os mercados de REI considerados “emergentes” (Ásia-Pacífico, China e América Latina). Destacam-se, nesta figura, a América do Norte e a Europa com grande participação no Investimento Médio Anual em REI nos próximos anos. Estima-se, para a América Latina, um investimento anual da ordem de US\$ 5-18 bilhões em REI, entre os anos 2015 e 2020. Observa-se, por fim, que a curva de Investimento Global em REI começa a se acomodar a partir de 2020.[12]

Figura 9. Projeção de Crescimento do Mercado Global de REI (2012-2020)



Fonte: GTM Research

4. ÁRVORE DE OBJETIVOS DO DISPOSITIVO.

Principais características desejadas:

- 1) Conectividade, interoperabilidade. Permitir compatibilidade com vários equipamentos.
- 2) Dispositivo embarcado (minimalista, barato, confiável, adequado para o ambiente residencial, comercial)
- 3) Sistema de tempo real (baixa latência nas medições, comunicações e tomadas de decisão, envolve o uso de um sistema operacional em tempo real, sistema executivo).

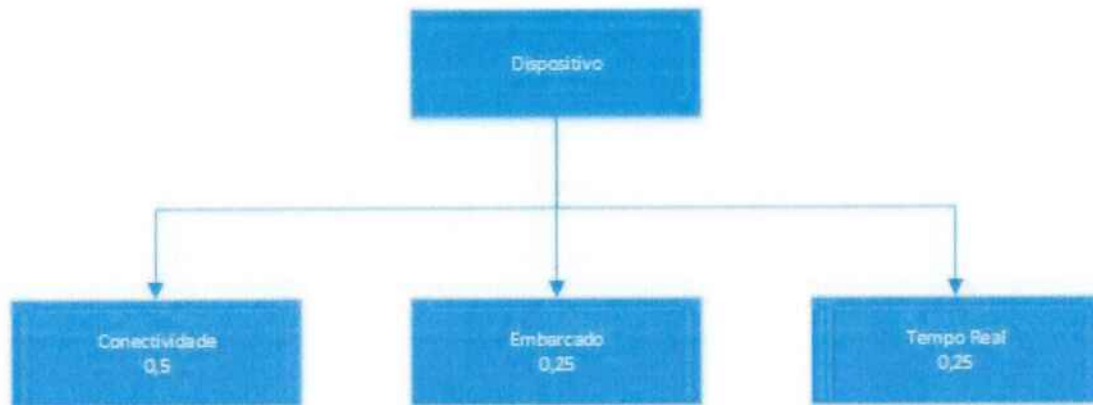
Será feita uma árvore de Objetivos Hierarquizada, para tanto utilizaremos o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) empregando comparação par a par e média geométrica.

Tabela 1 – Tabela Comparativa – método AHP

	<i>Conectividade</i>	<i>Embarcado</i>	<i>Tempo Real</i>	<i>Média Geo</i>	<i>Pesos</i>
<i>Conectividade</i>	1	2	2	1,59	0,5
<i>Embarcado</i>	0,5	1	1	0,79	0,25
<i>Tempo Real</i>	1	0,5	1	0,79	0,25
			Soma	3,17	1

Fonte: Autor

Figura 10 – Árvore de Objetivos Hierarquizada



Fonte: Autor

5. ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS.

O dispositivo usará a norma NBR IEC 61850 como padrão de comunicação com a concessionária, utilizando a interface de rede padrão Ethernet, conforme previsto na norma. [13]

A norma IEC 61850 foi desenvolvida pelo comitê TC57 da IEC em 2003 e, atualmente, está em sua segunda edição, publicada em 2008. O objetivo principal da norma foi estabelecer a interoperabilidade entre dispositivos eletrônicos inteligentes de diversos fabricantes, com foco na comunicação em redes e sistemas de subestações.

A interoperabilidade permite a simplificação da configuração dos dispositivos do sistema de automação de subestações (SAS – Substation Automation Systems), o aumento da confiabilidade, a redução de custos e uma maior segurança. [17]

O padrão IEC61850 apresenta modelos normalizados de objetos, semântica, serviços e protocolos existentes e consagrados para sistemas elétricos, de forma a assegurar elevados níveis de INTEROPERABILIDADE entre IEDs (Intelligent Electronic Devices) e aplicações, buscando um modelo de comunicação independente da plataforma de hardware chamado ACSI (Abstract Communication Service Interface).

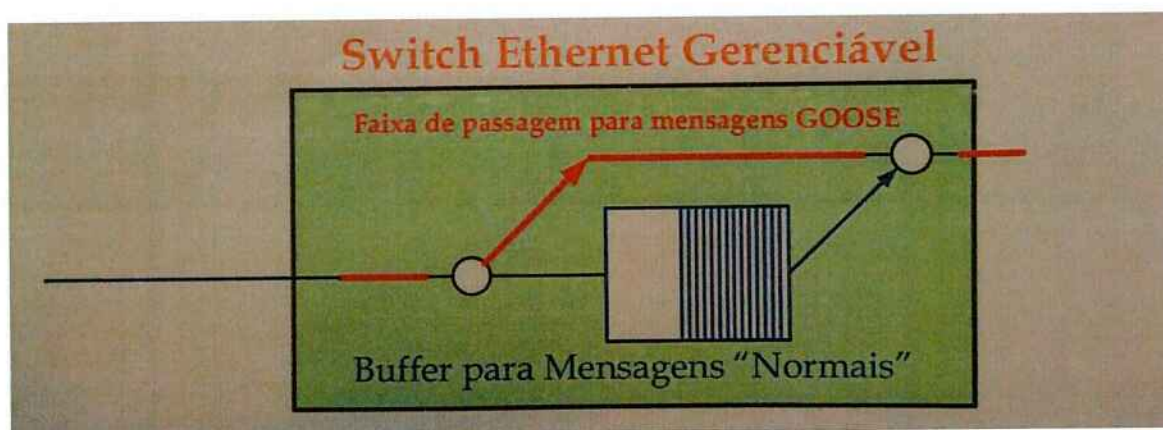
A Série IEC 61850 representa as normas para interoperabilidade do **Smart Grid**, uma vez que estão relacionadas com medição, proteção, controle, monitoração de falhas e comandos de dispositivos.

Uma recente publicação chamada IEEE 2030 (Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-use Applications and Loads) definiu a série de normas da IEC 61850 como parte do Smart Grid, o que o motivou o seu uso neste projeto.

O projeto deste dispositivo utilizará alguns conceitos previstos nas normas da IEC 61850, como a utilização da mensagens prioritárias GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) e das mensagens MMS (Manufacturing Message Specification).

As mensagens GOOSE são quadros ETHERNET que são PRIORIZADOS em relação aos outros tipos numa rede padrão Ethernet.

Figura 11 - Priorização das mensagens GOOSE nos dispositivos de rede



Fonte: Araujo (2011).

A comunicação do sinal de desligamento remoto (TRIP) por necessidade de Alívio de Carga do Sistema Elétrico, deverá ser realizada por rede, utilizando mensagens rápidas do tipo GOOSE, previsto na norma IEC 61850.

O envio periódico dos sinais de potência das cargas (03 circuitos) do consumidor para a concessionária deverá utilizar mensagens do tipo MMS, previsto na norma IEC 61850.

As cargas deverão ser tais que a corrente de consumo não ultrapasse 20 A eficazes por circuito, a dois fios mais fio terra de proteção.

Para que o dispositivo atenda aos requisitos de tempo necessários ao Alívio de Cargas, fica definido o tempo máximo de 10 ms para ocorrer o desligamento através da mensagem GOOSE.

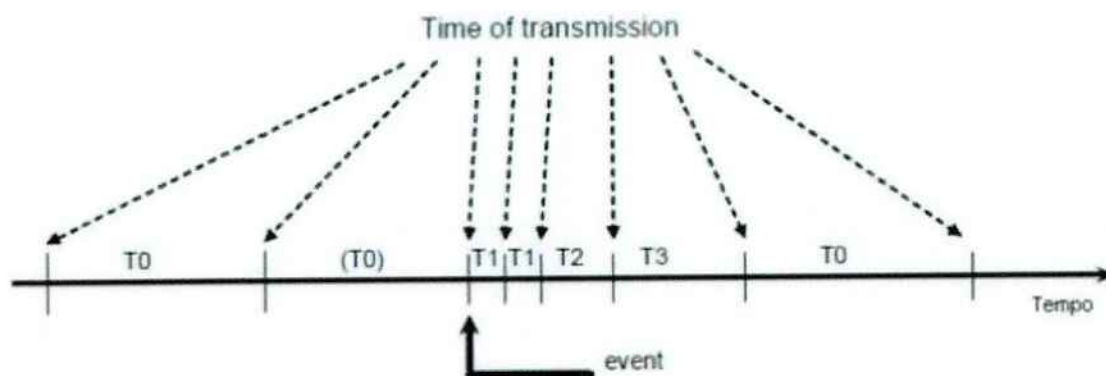
Para fornecer os valores de potência elétrica das cargas para a concessionária, levando-se em conta que o perfil de utilização das cargas não apresenta variações bruscas ao longo do tempo, fica definido o intervalo de 1s para o envio dos valores para a concessionária, através de mensagens do tipo MMS.

Caso ocorram variações bruscas nos valores de consumo, em um intervalo menor do que 1s, existirá uma grande probabilidade de ter ocorrido uma situação de falta elétrica no circuito (tipicamente um curto-circuito ou sobrecarga), sendo esta tratada pelo dispositivo de proteção do circuito correspondente, atuando no desligamento e eliminação da falta. O dispositivo receberá circuitos com tensão entre 0 e 230 V eficazes.

As mensagens MMS utilizarão comunicação do tipo cliente-servidor, pelo mecanismo TCP (quarta camada do modelo OSI), enviando valores de potência das cargas do consumidor para a concessionária.

As mensagens prioritárias GOOSE podem ser enviadas simultaneamente para diversos dispositivos (multicast). Nas mensagens GOOSE a confirmação de recebimento das mensagens não é realizada, como no MMS. Para assegurar o recebimento destes dados, as mensagens serão enviadas multicast repetidamente até a estabilidade do sistema. Ver figura abaixo:

Figura 12 - Mecanismo utilizado pelos quadros ethernet GOOSE na ocorrência de um evento



T0	tempo de retransmissão em condições estáveis (sem eventos)
(T0)	tempo de retransmissão em condições estáveis que será reduzido por um evento
T1	menor tempo de retransmissão após um evento
T2, T3	tempos de retransmissão até estabilizar as condições normais de retransmissão

Fonte: Araujo (2011)

As mensagens GOOSE utilizam o paradigma de comunicação do tipo Publish-Subscribe.

6.PROJETO

6.1 Decomposição Funcional

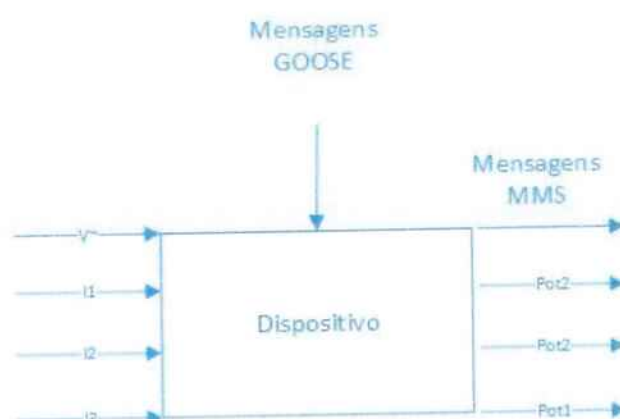
Com o objetivo de deixar claro as funcionalidades de cada parte do projeto, apresentaremos a decomposição funcional em vários níveis.

6.1.1 Decomposição Funcional Nível 0

Figura 13 - Decomposição Funcional Nível 0

Funcionalidades:

Comunicação Ethernet, IEC 61850;
Alívio de Carga, Priorização, Medição



Fonte: Autor

Figura 14 – Proposta inicial do protótipo a ser implementado

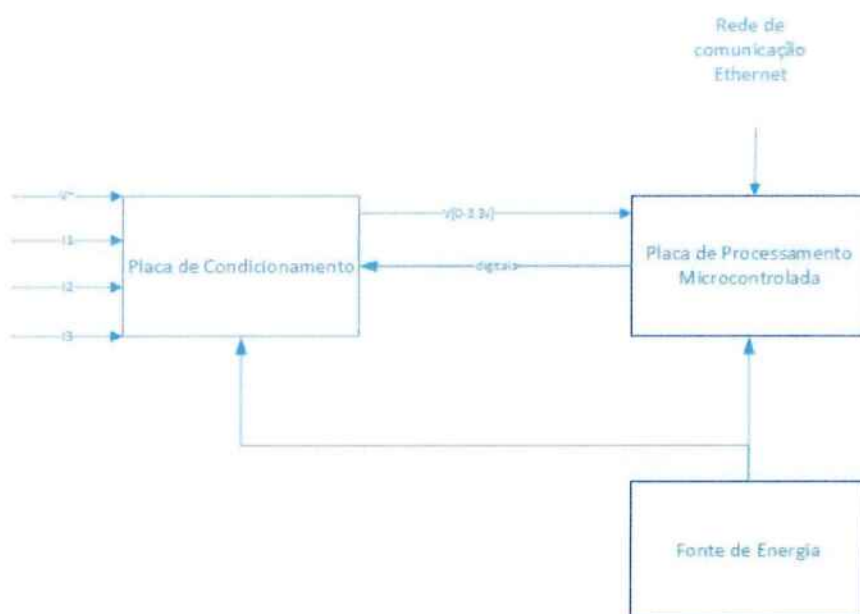


Fonte: Autor

- O controle de cada tomada será independente.
- Haverá uma entrada para conexão internet
- Os plugs de energia seguirão a norma NBR 14136

6.1.2 Decomposição Funcional Nível 1

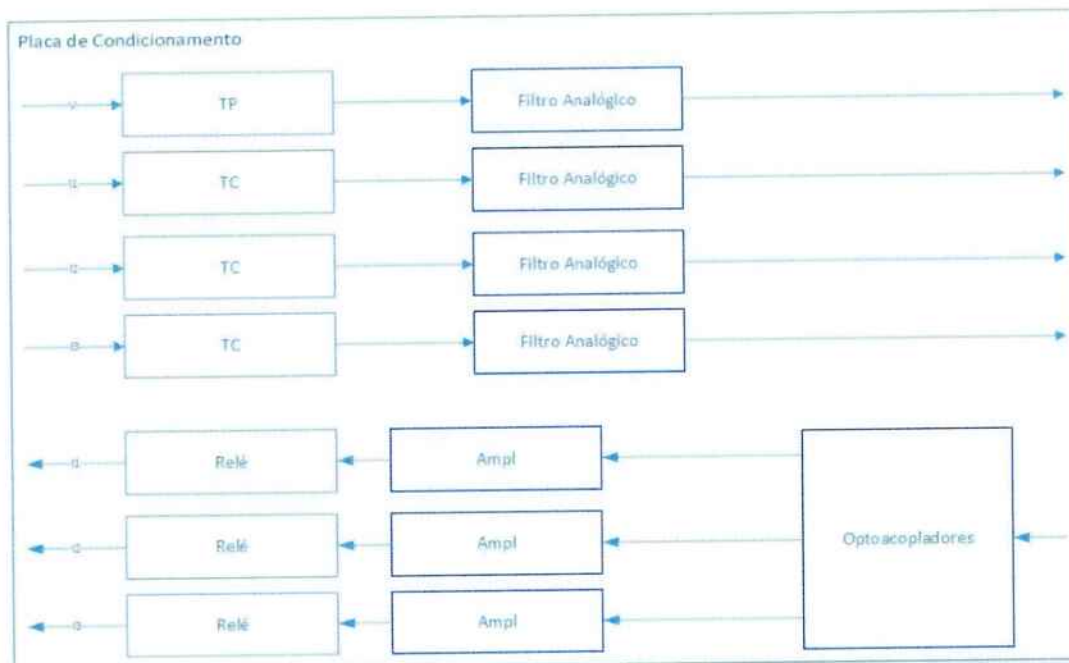
Figura 15 - Decomposição Funcional Nível 1



Fonte: Autor

6.1.3 Decomposição Funcional Nível 2

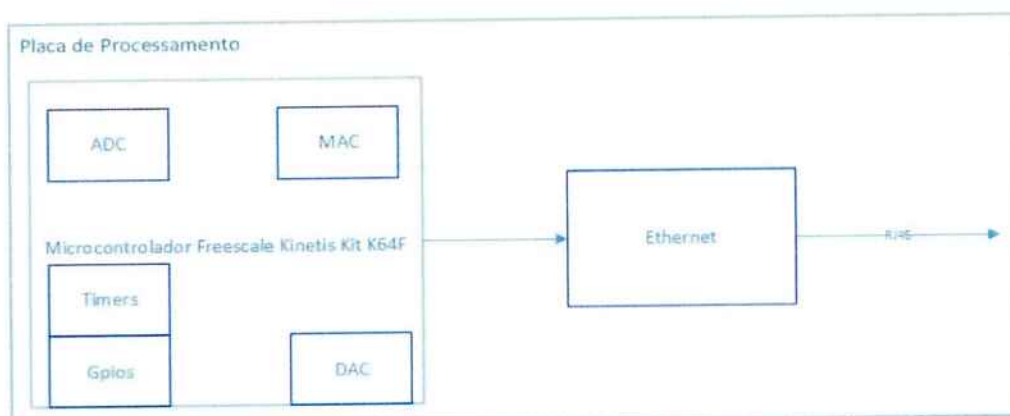
Figura 16 - Decomposição Funcional da placa de Condicionamento



Fonte

: Autor

Figura 17 - Decomposição Funcional da Placa de Processamento



Fonte: Autor

6.2 Seleção dos dispositivos

Para a seleção dos dispositivos a serem utilizados os seguintes critérios:

- A disponibilidade do dispositivo para uso.
- Facilidade de aquisição do dispositivo, sendo extremamente relevante o tempo de entrega.
- O preço unitário(baixo).
- Atender os requisitos técnicos, mas com certa uma folga, permitindo ajustes caso necessário.

Abaixo segue exemplo de placa de condicionamento análoga a ser projetada pelo grupo.

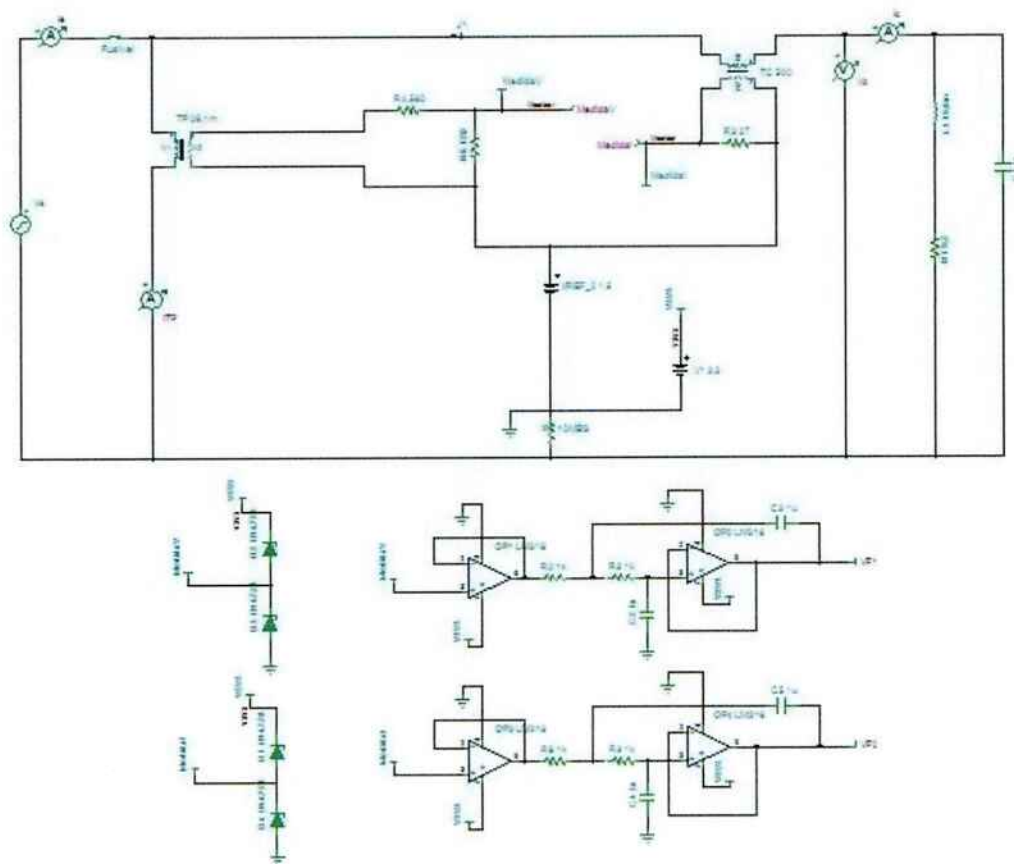
Figura 18 - Placa de condicionamento com dispositivos análogos



Fonte: Autor

6.3. Circuito da Placa de Condicionamento

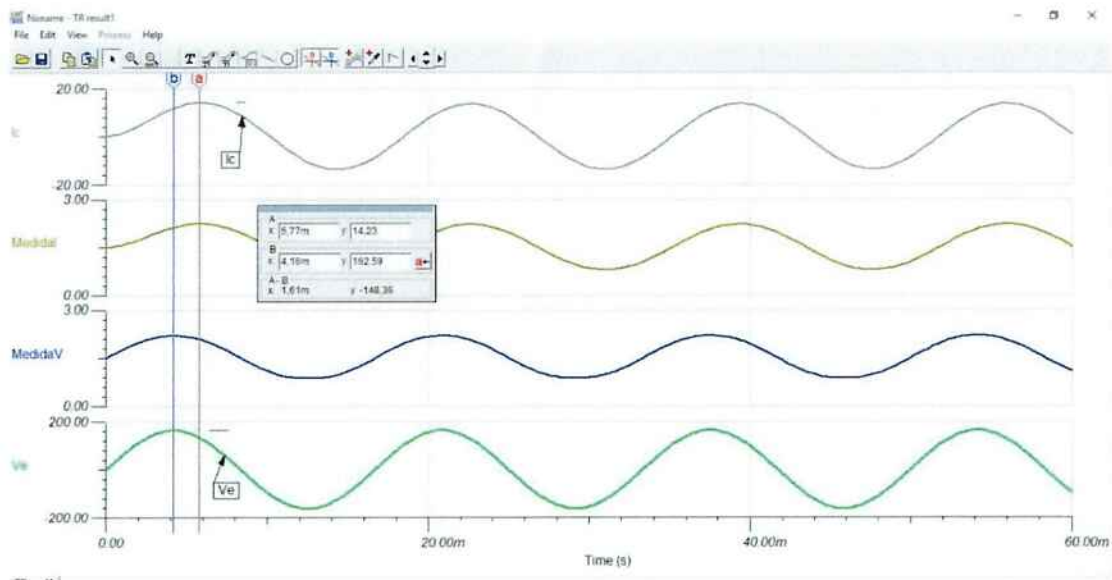
Figura 19. Circuito da Placa de Condicionamento



Fonte: Autor

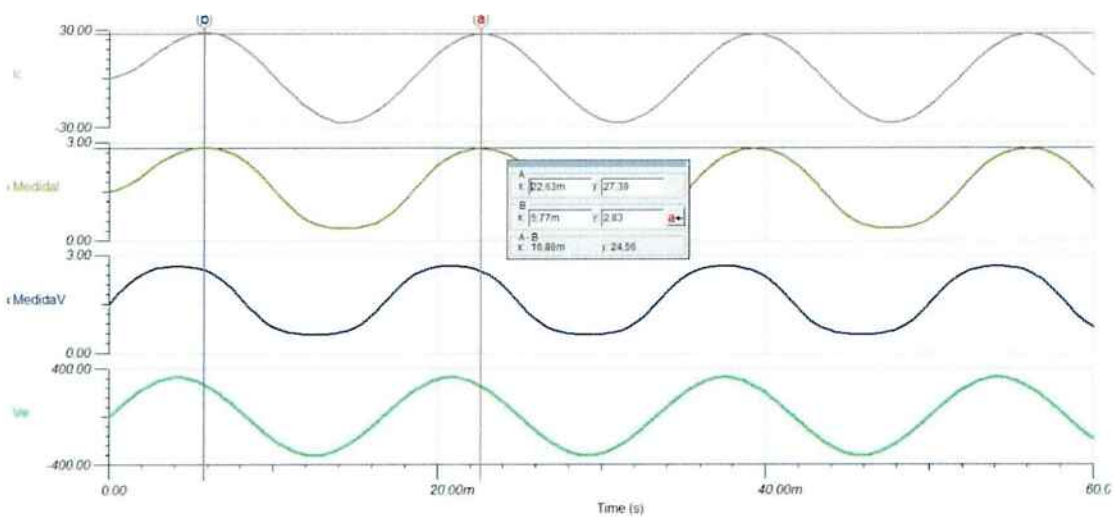
6.4. Simulações com a Placa de Condicionamento

Figura 20. Simulação com a Placa de Condicionamento



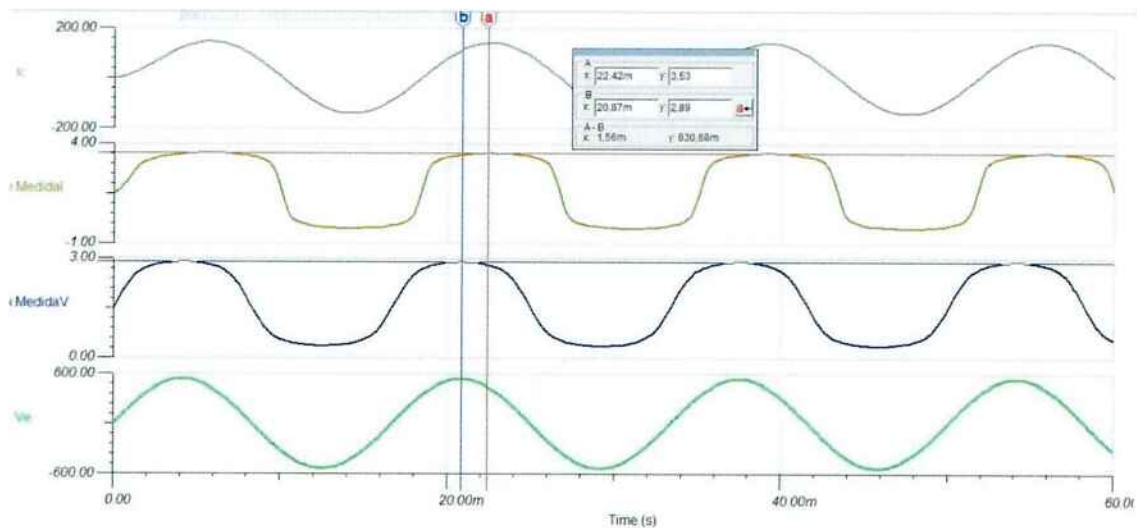
Fonte: Autor

Figura 21. Simulação com a Placa de Condicionamento



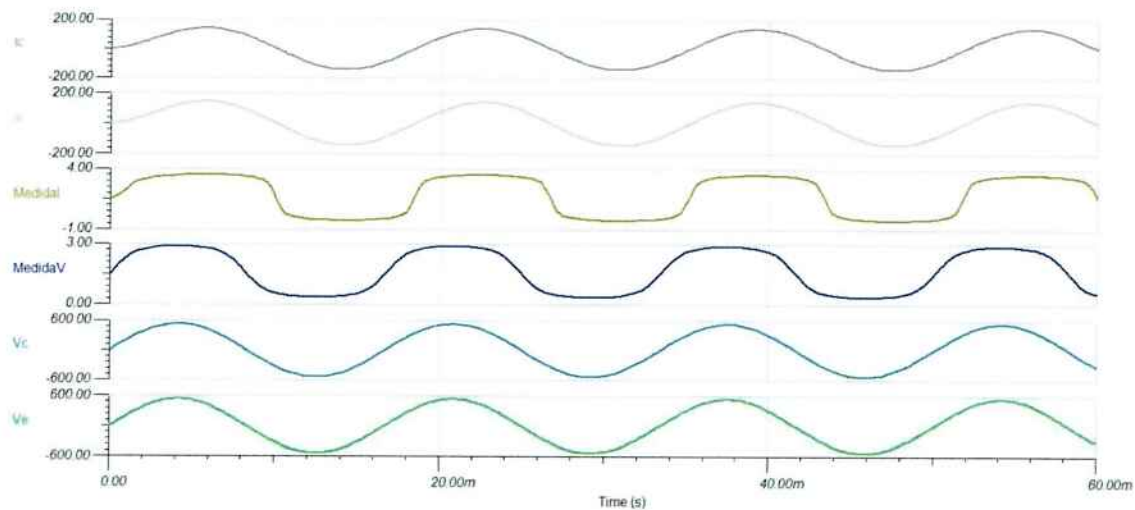
Fonte: Autor

Figura 22. Simulação com a Placa de Condicionamento



Fonte: Autor

Figura 23. Simulação com a placa de Condicionamento



Fonte: Autor

7. ANÁLISE DE RISCO.

Abaixo segue uma lista dos materiais necessários para a realização do projeto, acompanha uma estimativa de preço.

Tabela 2 Lista de Materiais Críticos

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	PRAZO	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	CUSTO REAL	FINANCIAMENTO
A	KIT PLACA MICROCONTROLADOR COM MÓDULO ETHERNET	1	imediate	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ -	Departamento PEA
B	FONTE DE ALIMENTAÇÃO	1	imediate	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ -	Departamento PEA
C	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E MANOBRA (CARGAS)	3	1 mês	R\$ 50,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	Próprio
D	TRANSFORMADORES DE POTENCIAL	1	1 mês	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	Próprio
E	TRANSFORMADORES DE CORRENTE	3	1 mês	R\$ 80,00	R\$ 240,00	R\$ 240,00	Próprio
F	GERADOR HEXAFÁSICO DE CORRENTE E MENSAGENS GOOSE	1	imediate	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ -	Departamento PEA
					R\$ 5.740,00	R\$ 440,00	

Fonte: Elaboração Própria.

8. CRONOGRAMA.

Abaixo seguem as tarefas a serem realizadas pelo grupo. Em amarelo estão destacadas as tarefas consideradas mais críticas, que terão sua execução priorizada visando minimizar o risco.

Tabela 3 – Cronograma do Projeto.



Fonte: Elaboração Própria

9. A PLACA DE PROCESSAMENTO.

A Placa de processamento escolhida é a FRDM_K64F, ela tem as seguintes características[14]:

Performance

- Up to 120 MHz ARMv7-M4 core with DSP instructions and floating point unit

Memories and memory interfaces

- Up to 1 MB program flash memory and 256 KB RAM
- Up to 128 KB FlexNVM and 4 KB FlexRAM on devices with FlexMemory
- FlexBus external bus interface

System peripherals

- Multiple low-power modes, low-leakage wake-up unit
- Memory protection unit with multi-master protection
- 16-channel DMA controller
- External watchdog monitor and software watchdog

Security and integrity modules

- Hardware CRC module
- Hardware random-number generator
- Hardware encryption supporting DES, 3DES, AES, MD5, SHA-1, and SHA-256 algorithms
- 128-bit unique identification (ID) number per chip

Analog modules

- Two 16-bit SAR ADCs
- Two 12-bit DACs
- Three analog comparators (CMP)
- Voltage reference

Communication interfaces

- Ethernet controller with MII and RMI interface
- USB full-/low-speed On-the-Go controller
- Controller Area Network (CAN) module

- Three SPI modules
- Three I2C modules. Support for up to 1 Mbit/s
- Six UART modules
- Secure Digital Host Controller (SDHC)
- I2S module

Timers

- Two 8-channel Flex-Timers (PWM/Motor control)
- Two 2-channel FlexTimers (PWM/Quad decoder)
- IEEE 1588 timers
- 32-bit PITs and 16-bit low-power timers
- Real-time clock
- Programmable delay block

Clocks

- 3 to 32 MHz and 32 kHz crystal oscillator
- PLL, FLL, and multiple internal oscillators
- 48 MHz Internal Reference Clock (IRC48M)

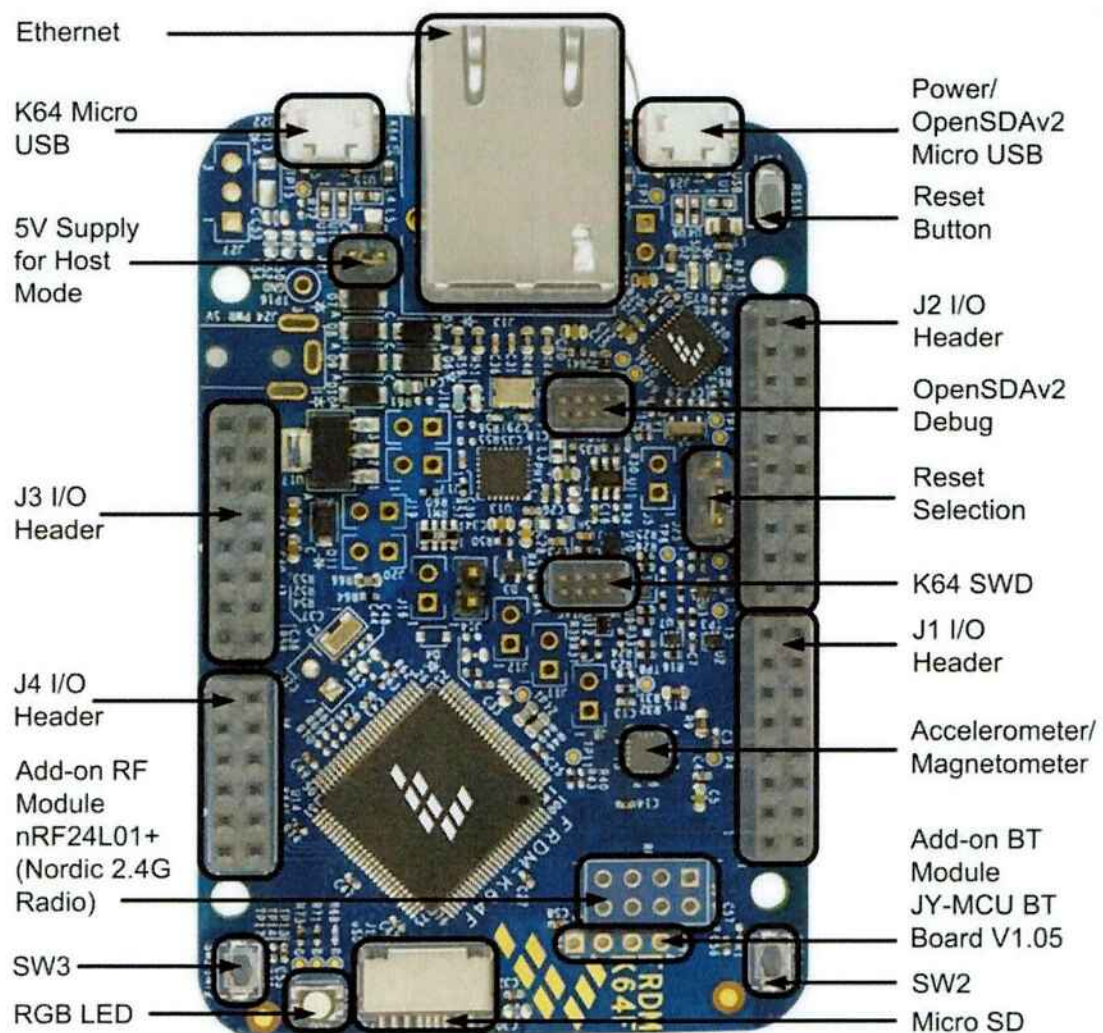
Operating Characteristics

- Voltage range: 1.71 to 3.6 V
- Flash write voltage range: 1.71 to 3.6 V
- Temperature range (ambient): -40 to 105°C

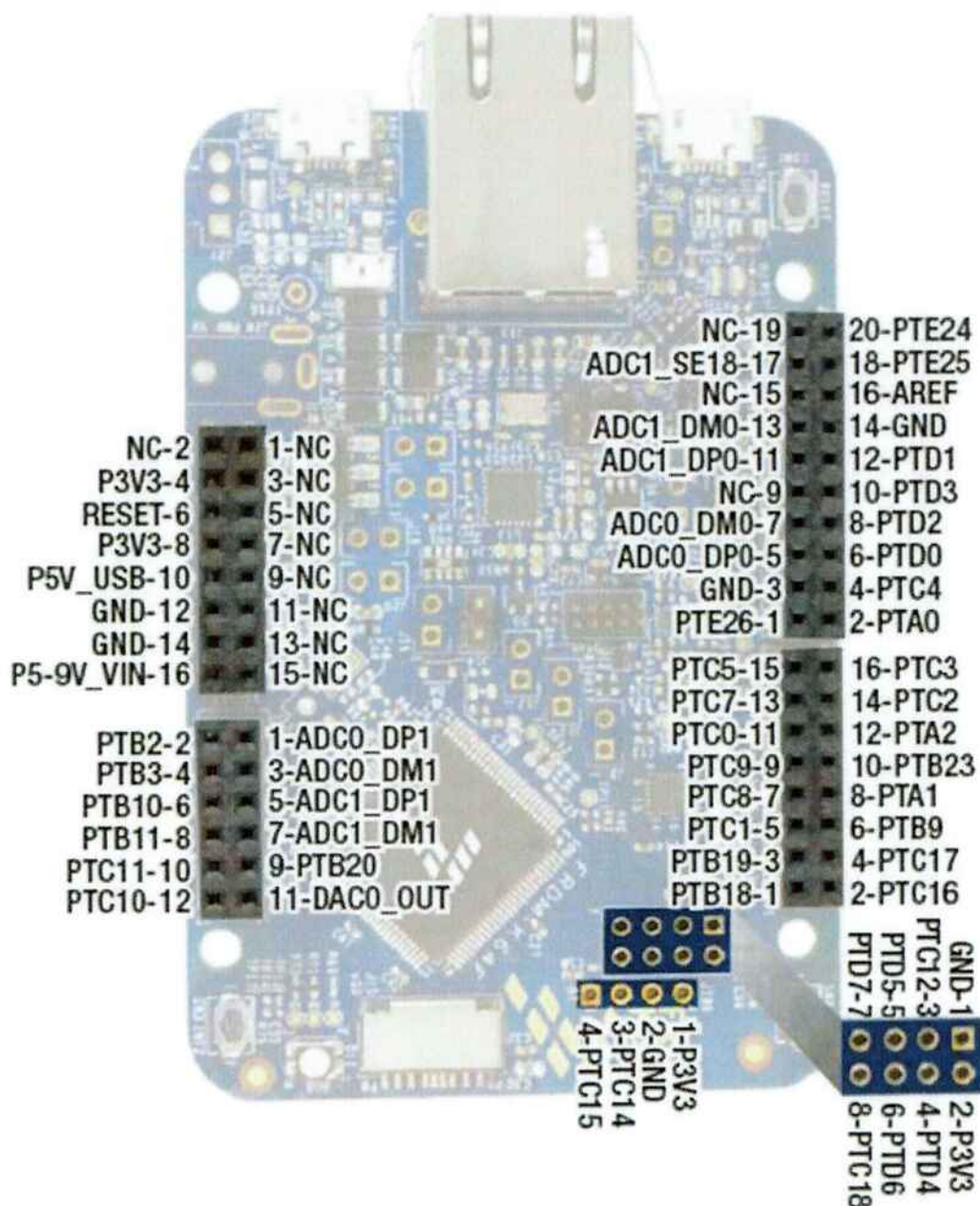
A Placa FRDM_K64F foi escolhida por suportar todas as necessidades para o desenvolvimento do projeto, e termos a disponibilidade imediata desta placa dentro do Laboratório de Pesquisa em Proteção e Automação de Sistemas Elétricos (L.PROT).

A placa tem a seguinte disposição de componentes:

Figura 24. FRDM-K64F - disposição de componentes

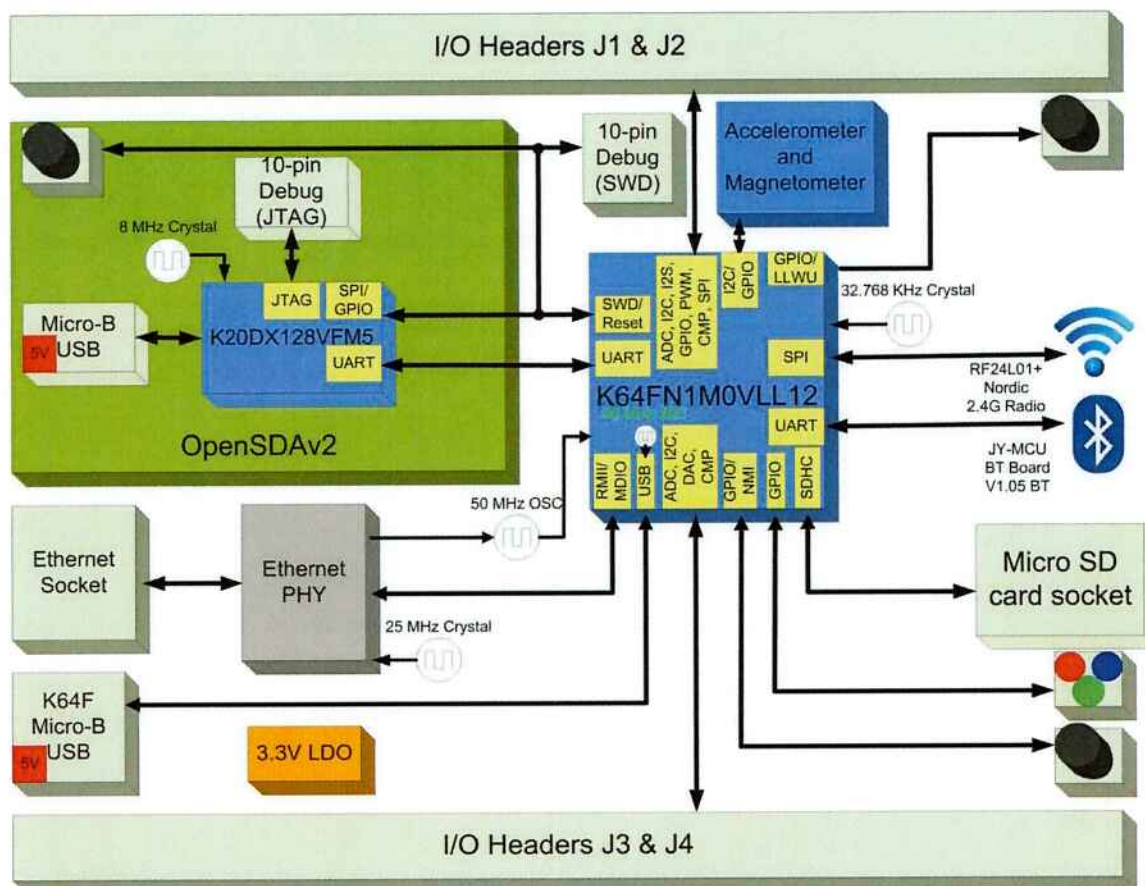


Os pinos da Placa estão dispostos conforme a figura abaixo:



Fonte: K64F Sub-Family DataSheet . Document number K64P144M120SF5.

Figura 25. Diagrama de Blocos da placa FRDM-K64F.



Fonte: K64F Sub- Family DataSheet Document number K64P144M120SF5

9. 1. Programação da Placa de Processamento

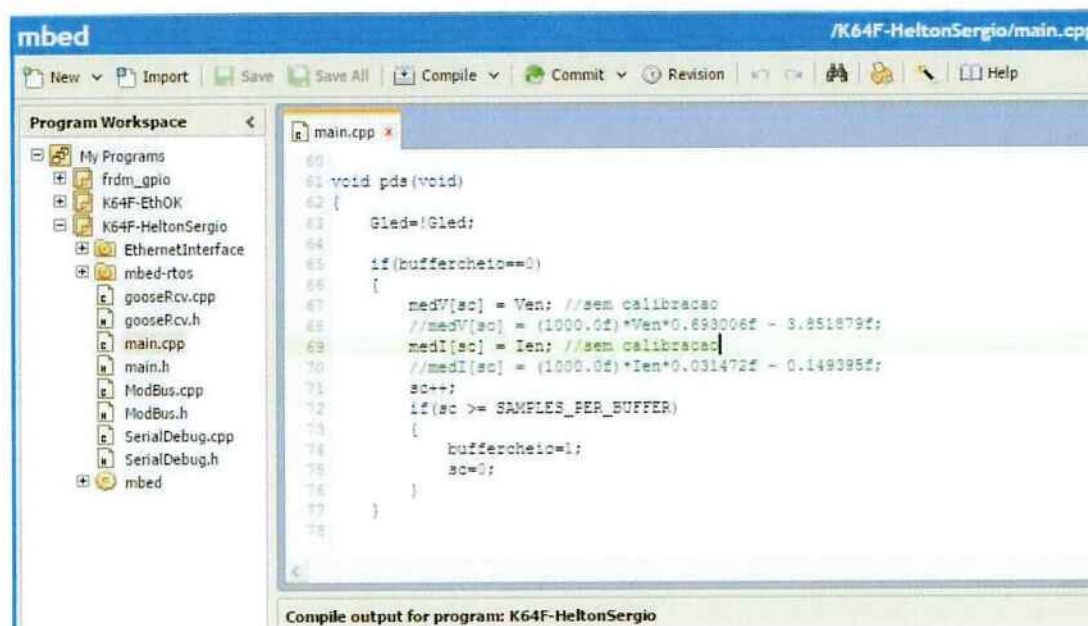
O desenvolvimento do software da placa de processamento foi realizado no site MBED(<https://developer.mbed.org/>), tendo o site um compilador Online, vários exemplos e documentação para a geração de código para a placa FRDM-K64F.

O site disponibiliza na página <https://developer.mbed.org/handbook/Homepage> várias informações sobre bibliotecas e documentos para desenvolvimento. A

biblioteca MBEd.h é a base para este desenvolvimento. Esta biblioteca disponibiliza uma gama de bibliotecas desenvolvidas em C/C++ para a construção de aplicações.

Abaixo o ambiente de Desenvolvimento MBED

Figura 26: Ambiente de Desenvolvimento MBED



Fonte: Autor

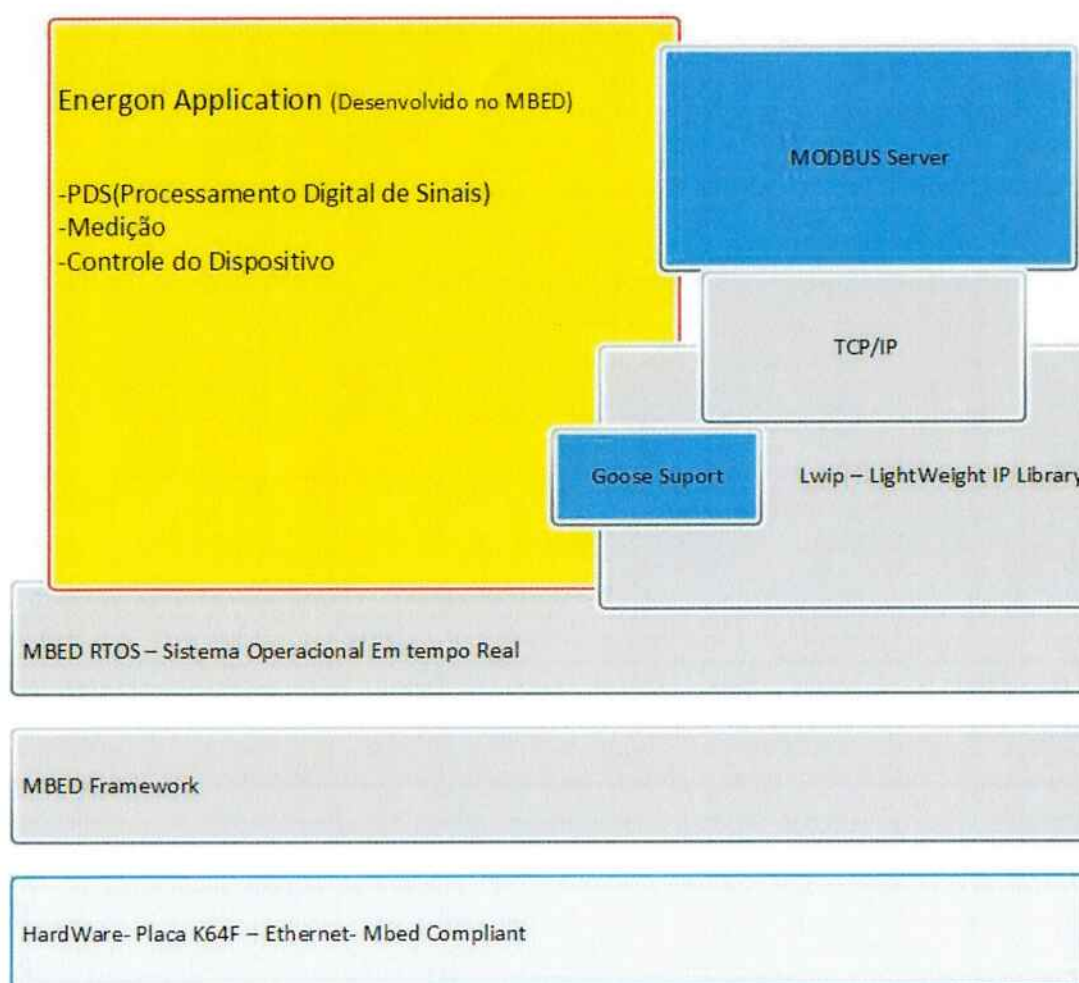
Podemos dividir o Projeto(Energon Application) desenvolvido no MBED em 3 partes:

- Processamento digital de sinais(PDS), onde serão amostrados valores de tensão e corrente, bem como calculados valores de tensão e corrente eficazes e potência. Esta implementação foi realizada no arquivo "Main.cpp".
- Servidor ModBus TCP, que implementa um Servidor seguindo os padrões MODBUS, este servidor enviará informações ao Client com os valores lidos e calculados no módulo PDS. Este módulo foi implementado basicamente no arquivo "ModBus.cpp".
- Receptor de Mensagens GOOSE, implementa a recepção de mensagens GOOSE, realizando o seccionamento da carga. Este módulo foi implementado basicamente no arquivo "gooseRcv.cpp".

Este software utilizou as seguintes como recurso as 3 seguintes bibliotecas: EthernetInterface, mbed-rtos, mbed.

Um diagrama mostrando como o software foi desenvolvido e a relação com as demais bibliotecas e partes do sistema.

Figura 27: Diagrama das Relações do software embarcado



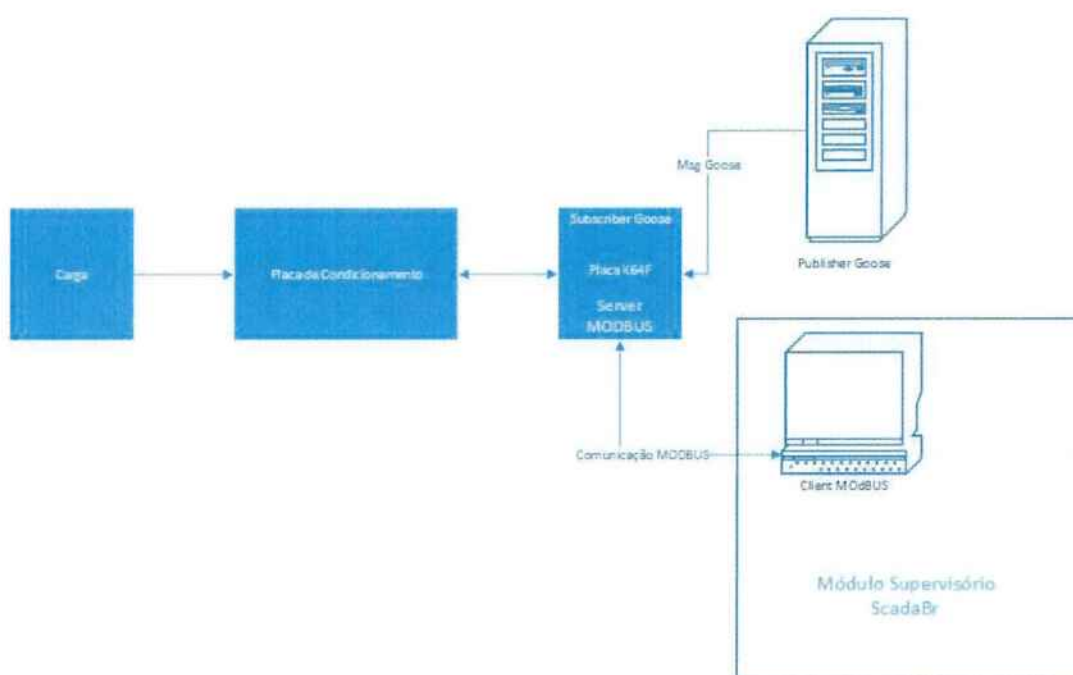
Fonte: Autor

Uma visão geral do sistema, com seus relacionamentos pode ser visualizada na figura seguinte. Percebe-se na figura a existência de módulos fora da placa como o módulo supervisor implementado utilizando o ScadaBR, ele será

responsável por mostrar os dados coletados pela placa K64F e o estado do Relê responsável pelo seccionamento.

Também podemos visualizar o servidor de mensagens GOOSE, responsável pelo seccionamento da carga. Estes dois módulos representam o papel da concessionária de energia.

Figura 28: Visão Geral do Sistema



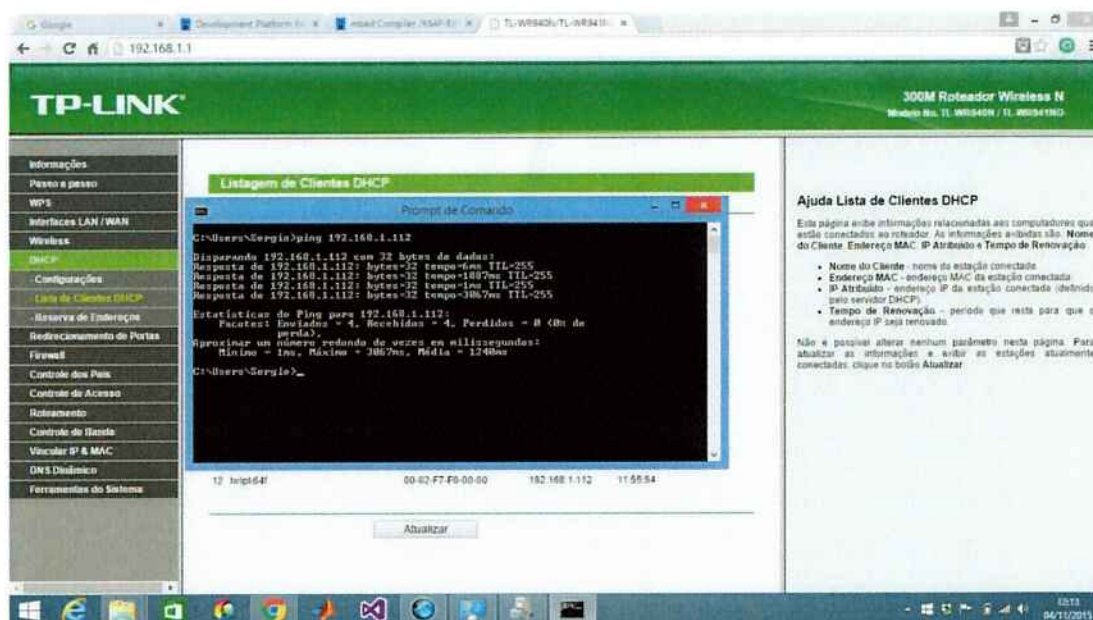
Fonte: Autor

9. 2. Testes com a Placa de Processamento

Foram realizados teste de conexão com a placa FRDM-K64F, tendo ela se logado na rede, obtendo IP através de DHCP. Realizamos o PING da placa e a mesma respondeu.

Na listagem de clientes DHCP fornecida pelo roteador aparece o cliente lwipk64f, com seu endereço MAC e IP, isto pode ser visualizado na imagem abaixo.

Figura 29: FRDM-K64F – Teste de Conexão



Fonte: Autor

Foram realizados testes com a placa para validar o código de Leitura de Potência, Tensão e Corrente.

Foi gerado uma tensão senoidal pela própria placa, esta tensão já está nos limites suportados pela placa de processamento, não sendo necessária a placa de condicionamento. Com os valores gerados foram amostrados valores de Tensão e Corrente, permitindo o cálculo de Potência.

Foi realizada e análise do sinal no osciloscópio, sendo validado o sinal gerado. O Anexo1 é o Código Utilizado para o Teste de Cálculo de Potência.

Figura 30: FRDM-K64F – Teste de Validação do Código



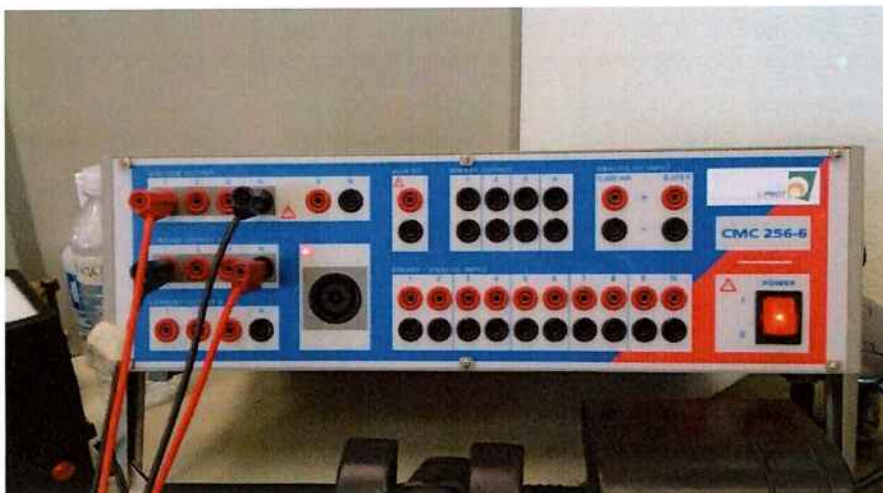
Fonte: Autor

9. 3. Calibração

Como realizamos diversas transformações no sinal de entrada para condicionarmos o sinal em um nível apropriado para a placa K64F, a medição do sinal não é o sinal de entrada. Mas visando encontrar a correspondência entre os sinais de entrada e os medidos realizamos a calibração.

Para tanto foi realizada a variação dos sinais de entrada através da fonte OMICRON.

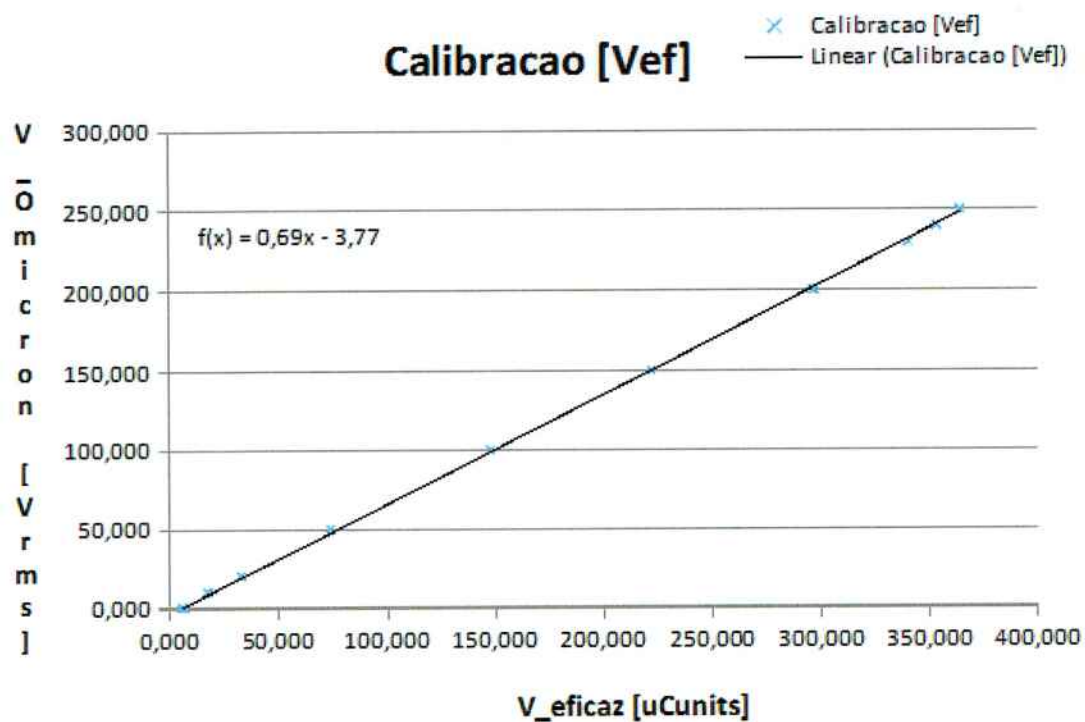
Figura 31: Fonte OMICRON



Fonte: Autor

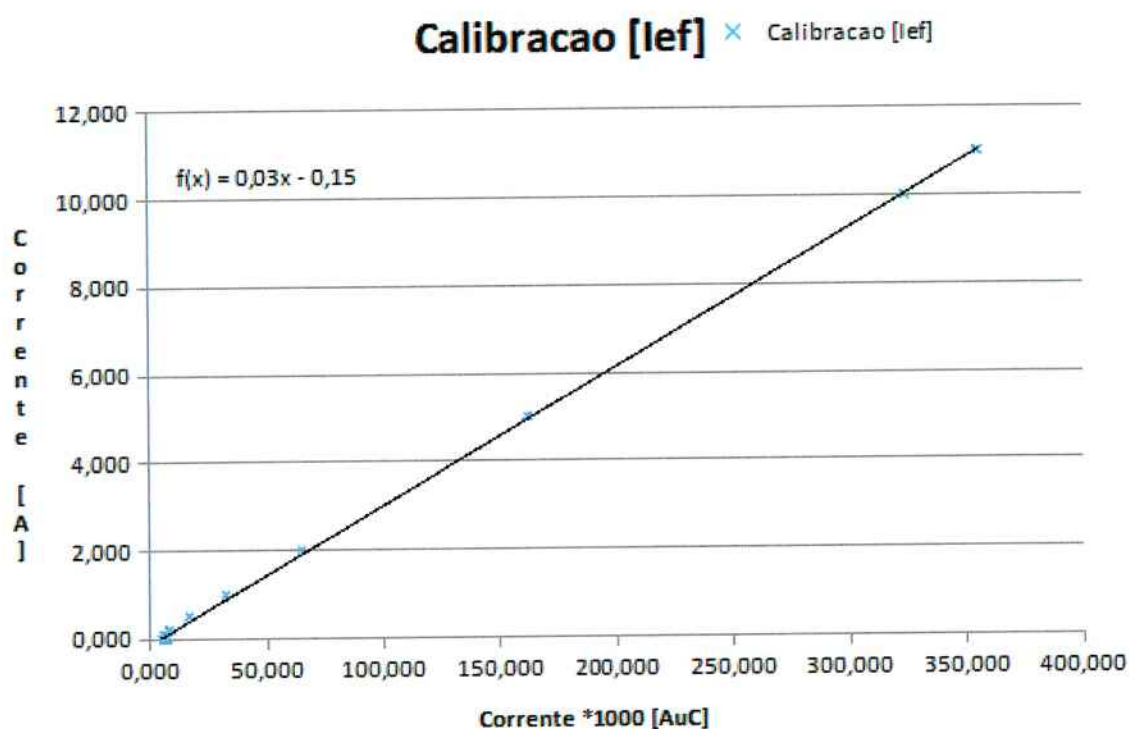
Foram gerados 2 gráficos durante calibração, o resultado corresponde ao ajuste das curvas da tensão e corrente.

Figura 32: Gráfico de Calibração de Vef



Fonte: Autor

Figura 33. Gráfico de Calibração da Ief

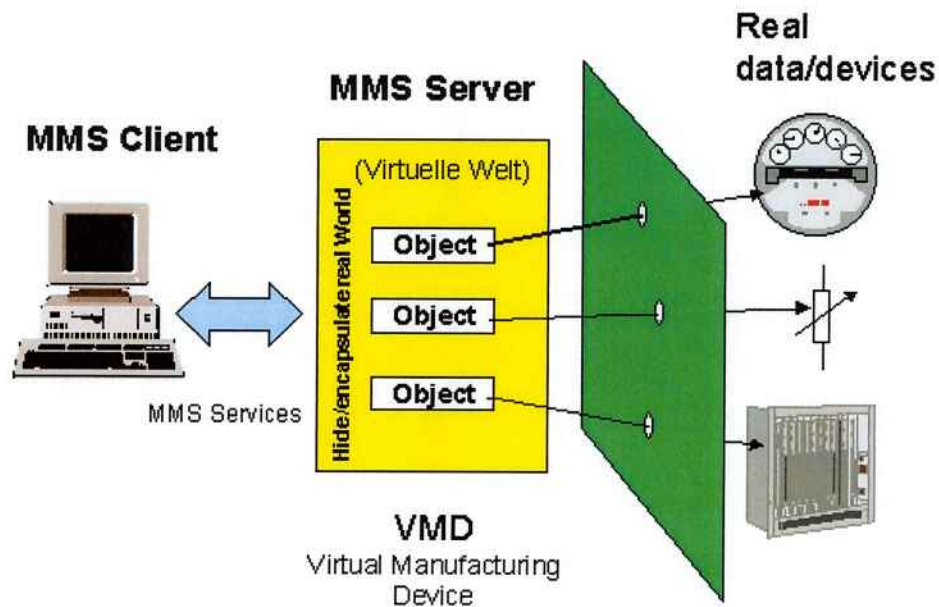


Fonte: Autor

9. 4. Protocolos

A norma IEC61850 utiliza como padrão de comunicação entre o controle supervisão e os dispositivos da rede mensagens **Manufacturing Message Specification** (MMS) que estão normatizadas na ISO 9506. Estas mensagens carregam as informações de leitura, escrita e eventos dos dispositivos. Este padrão utiliza o conceito de Virtual Manufacturing Device (VMD).

Figura 34: Virtual Manufacturing Device (VMD)

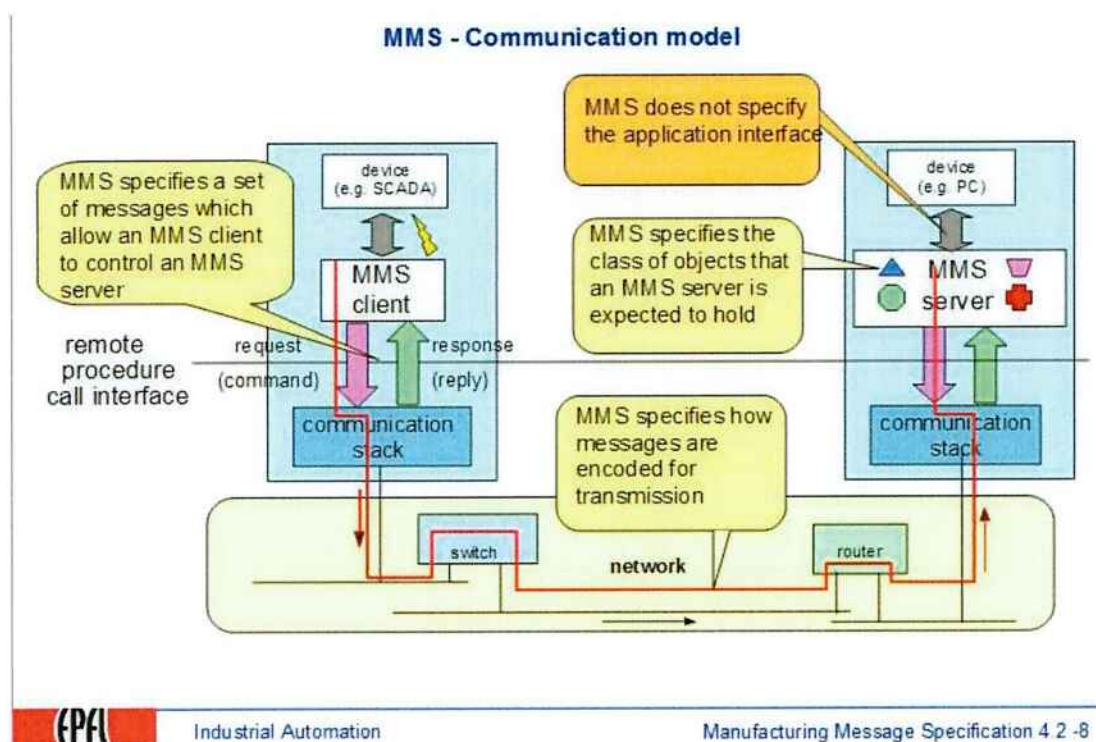


Fonte:

http://www.nettedautomation.com/standardization/ISO/TC184/SC5/WG2/mms_intro/intro3.html

Podemos entender o funcionamento dos sistemas que utilizam as mensagens MMS visualizando o diagrama abaixo.

Figura 35: Virtual Manufacturing Device (VMD)



Fonte: Presentation by Prof. Dr. H. Kirrmann, ABB Research Center, Baden, Switzerland

Devido à dificuldade de implementação das mensagens MMS e as restrições de tempo impostas a este projeto optamos por utilizar o protocolo MODBUS TCP/IP em substituição ao padrão MMS.

O MODBUS é um protocolo já estabelecido no mercado, sendo largamente utilizado em sistemas de automação industrial. Este protocolo foi criado pela Modicon Equipamentos em 1979 e posteriormente a Schneider Electric (atual controladora da Modicon) transferiu os direitos do protocolo para a Modbus Organization em 2004, tornando a utilização deste protocolo livre de taxas [23].

O MODBUS foi originalmente criado utilizando comunicação serial e utilizando o paradigma Mestre – Escravo, onde a comunicação só se inicia havendo uma requisição do mestre.

O MODBUS TCP/IP significa que os dados agora foram encapsulados em frames TCP, podendo agora ser utilizados em redes Ethernet.

O MODBUS TCP/IP utiliza um novo paradigma Cliente – Servidor, em analogia ao paradigma anterior Mestre – Escravo, o cliente assume o papel do mestre solicitando as informações ao servidor antigo escravo.

Como principais vantagens do protocolo MODBUS TCP/IP podemos citar:

- **Simplicidade:** Exige poucos equipamentos, com drivers para vários sistemas operacionais, com equipamentos baratos.
- **Padrão Ethernet:** O MODBUS TCP/IP adotou como padrão a ethernet, sendo um padrão largamente difundido.
- **Aberto:** Sendo um padrão aberto o MODBUS TCP/IP tem exemplos disponíveis e diagnósticos disponíveis em MODBUS TCP toolkit.
- **Disponível para muitos dispositivos:** A interoperabilidade e compatibilidade entre diversos fabricantes faz do MODBUS TCP/IP um excelente escolha.

Abaixo um como é encapsulamento do frame MODBUS TCP/IP.

Figura 36: Encapsulamento do frame MODBUS TCP/IP

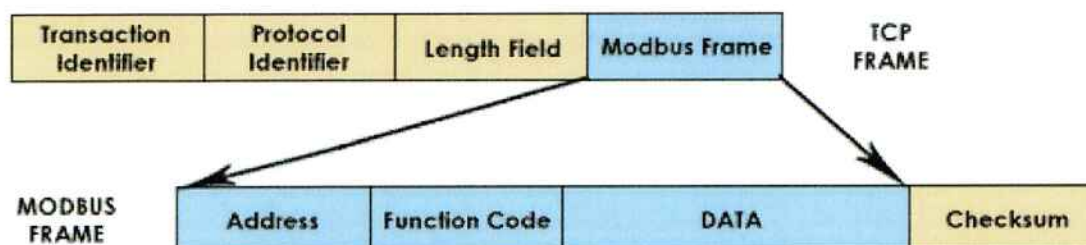
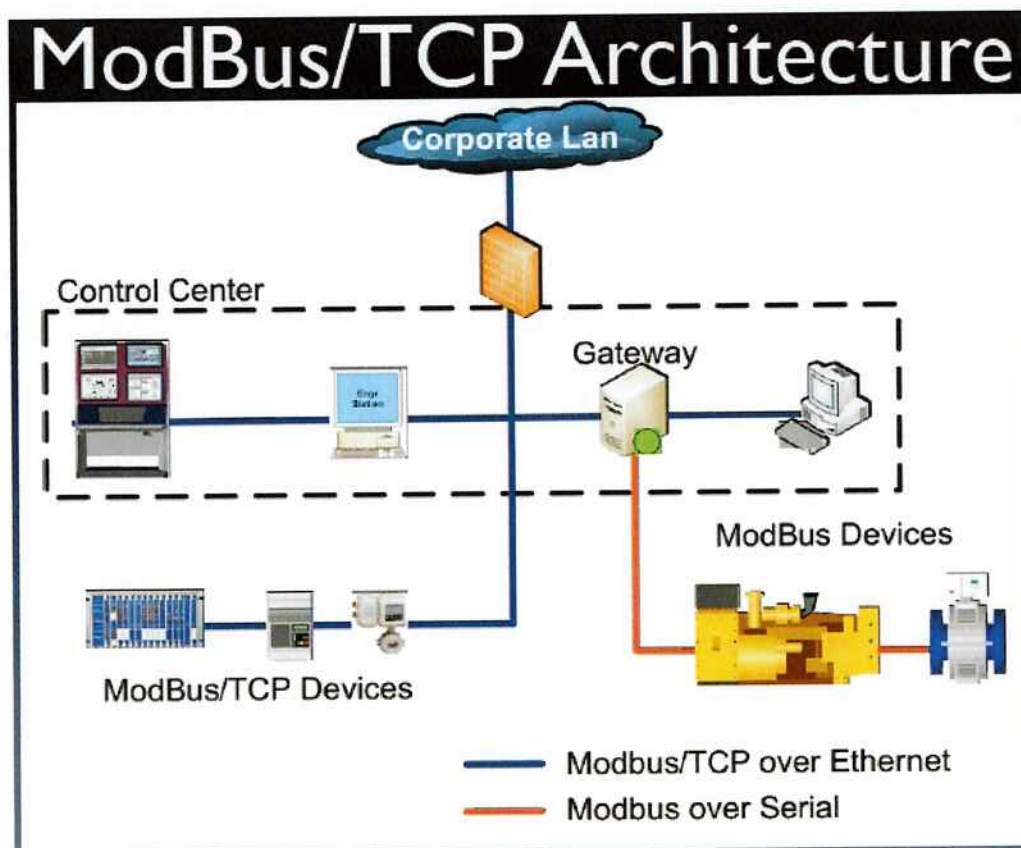


Figura 14. Encapsulamiento de la trama Modbus en TCP.

Fonte: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>

Abaixo uma arquitetura MODBUS TCP/IP.

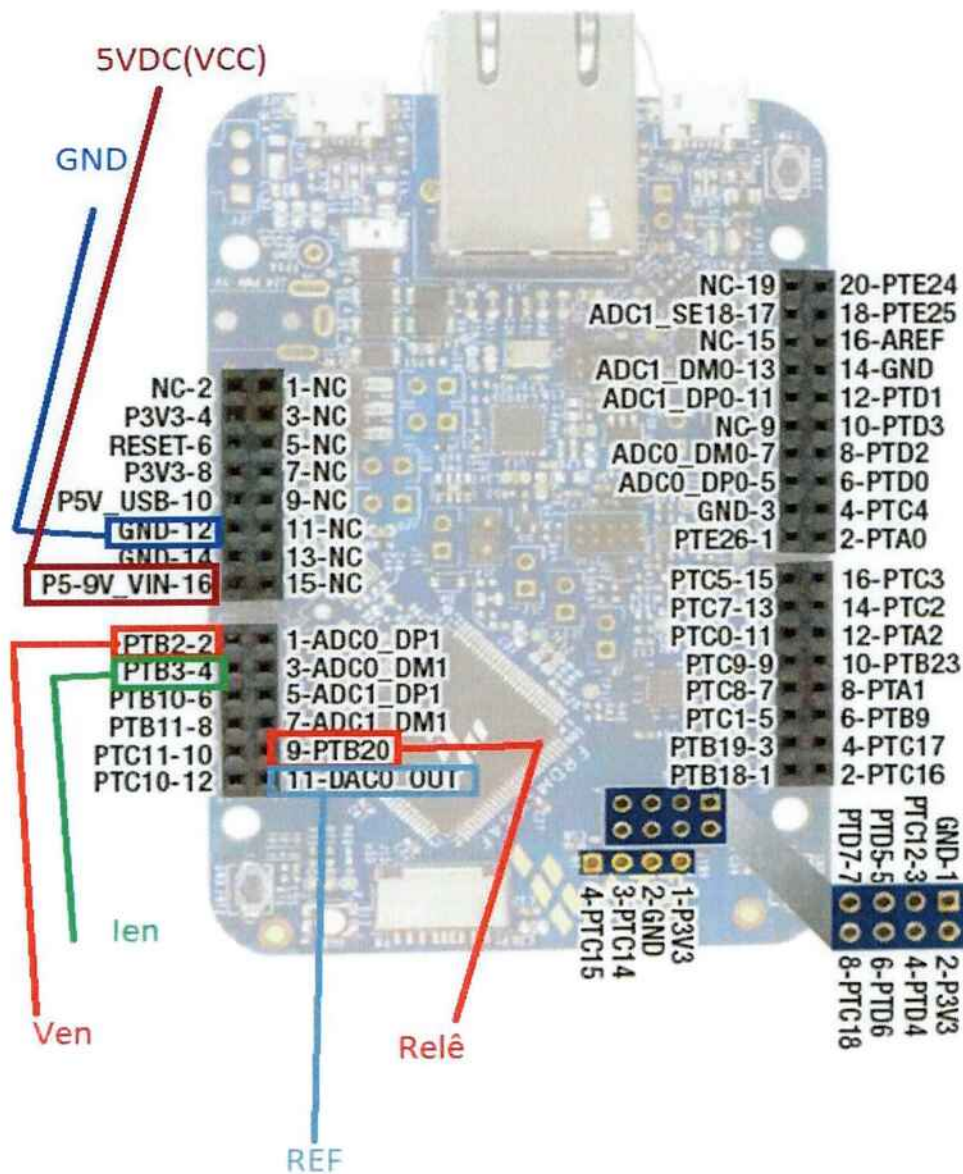
Figura 37: Arquitetura MODBUS TCP/IP



Fonte: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>

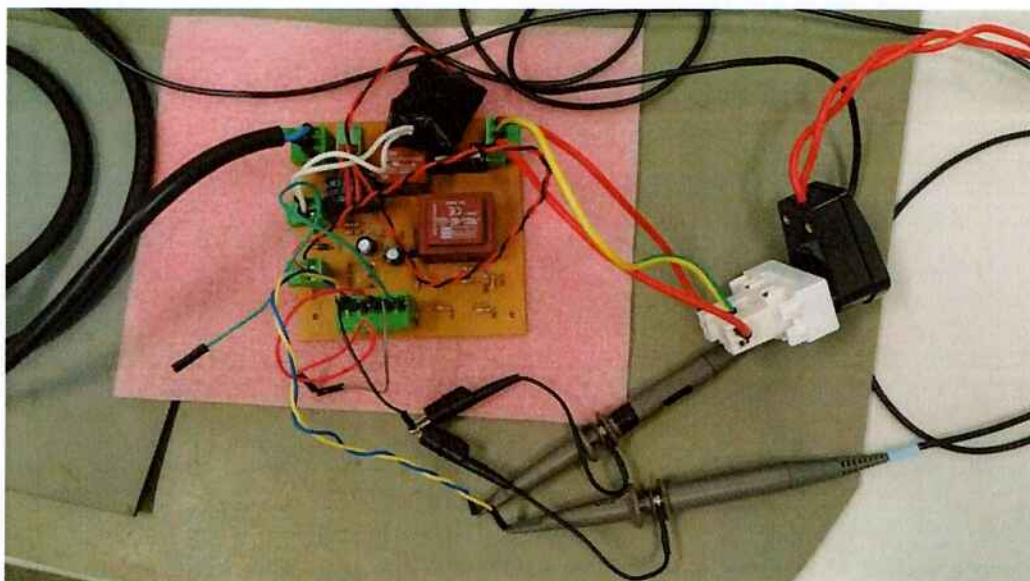
10. VERSÃO FINAL DO PROTÓTIPO.

Figura 38: Diagrama de interligação das placas



Fonte: K64F Sub-Family DataSheet . Document number K64P144M120SF5
modificado pelo autor.

Figura 39: Placa de Condicionamento



Fonte: Autor

Figura 40: Placa de Condicionamento com caixa



Fonte: Autor

Figura 41: As duas placas interligadas



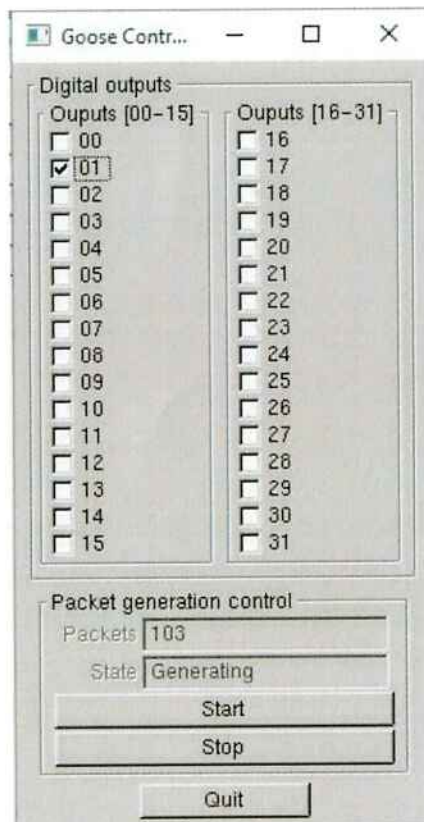
Fonte: Autor

Figura 42: Sistema completo – com carga



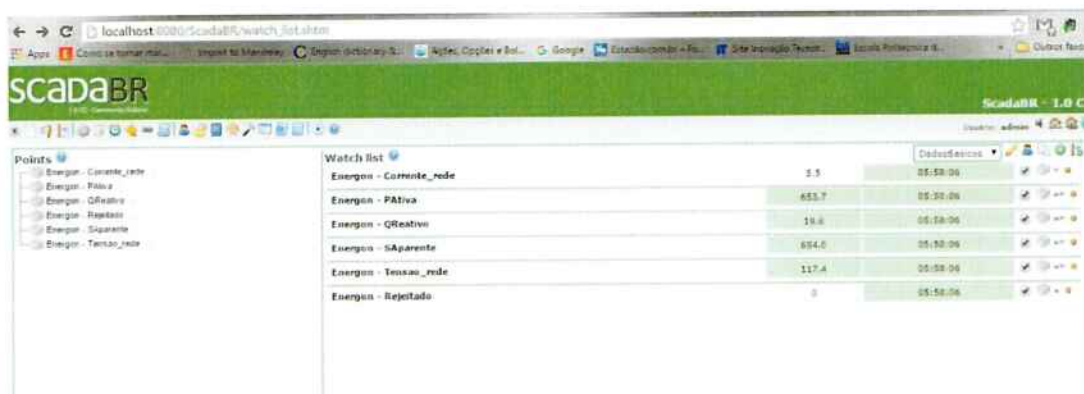
Fonte: Autor

Figura 43: Gerador de mensagens GOOSE.



Fonte: Autor

Figura 44: Módulo Supervisório com SCADA BR



Fonte: Autor

11. RESULTADOS

O protótipo realiza adequadamente o descarte da carga através das mensagens GOOSE previstas na norma IEC 61850, e fornece os valores de potência, tensão e corrente através do protocolo MODBUS/TCP, utilizando comunicação Ethernet. Para demonstrar a comunicação, foi implementado um sistema supervisor com o ScadaBR.

12. REFERÊNCIAS

- [1] BORBA, J. NEVES, F. P. SOUZA, F. MACHADO, L. MARQUES, J. VETTORAZZO, L. **Apagão atinge 11 Estados e DF; causa seria consumo em razão do calor.** São Paulo: Folha de São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/01/1577192-apagao-atinge-parte-da-grande-sp-e-rio-linha-do-metro-e-prejudicado.shtml>>. Acesso em: 17 maio 2015.
- [2] **Top 10 nations for smart grid investment.** Disponível em: <<http://www.reliableplant.com/Read/27393/Nations-smart-grid-investment>>. Acesso em: 20 maio 2015.
- [3] APOSTOLOV, A. PAULINO , M. **Interfaces de comunicação no SmartGrid.** SmartGrid – Redes Inteligentes. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed76_fasc_smart_grids_cap12.pdf>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [4] **Metodologia avalia nível de segurança em medidores inteligentes.** Cpqd. Disponível em: <<https://www.cpqd.com.br/midia-eventos-e-publicacoes/fatos/metodologia-avalia-nivel-de-seguranca-de-medidores-inteligentes/>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [5] **Silver Spring delivers a powerful and comprehensive suite of Internet of Things networking solutions for critical infrastructure.** Disponível em: <<http://www.silverspringnet.com/pt/solutions/>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [6] CAIRES, L. E. **Aplicações de Redes Elétricas Inteligentes em Instalações residenciais.** 2012. 184 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.poli.usp.br/images/stories/media/download/bibliotecas/DiretrizesTesesDissertacoes.pdf>> . Acesso em: 27 maio 2015.

- [7] CAMPOS, A. **Gerenciamento pela Demanda: Um Estudo de Caso**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29102004-105201/pt-br.php>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [8] **SIGED – sistema integrado de gerência e demanda**. Disponível em: <<http://www.bracier.org.br/downloads/CIERTEC/IV/BR-20.pdf>>. Acesso: 27 maio 2015.
- [9] ANEEL. EDP BANDEIRANTE. Aparelho acoplado a refrigerador permite reduzir o consumo durante o horário de ponta. **REVISTA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA ANEEL**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Revista%20P&D_05.pdf>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [10] REDES INTELIGENTES BRASIL. Projetos Piloto no Brasil. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/projetos-piloto-brasil.html>>. Acesso em: 01 julho 2015.
- [11] CONVERGÊNCIA DIGITAL. **Smart grid têm investimentos de R\$ 1,6 bilhão no Brasil**. Disponível em <<http://convergenciadigital.uol.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=38218&sid=3>>. Acesso em: 01 julho 2015.
- [12] ABDI. AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ABDI. **Mapeamento da Cadeia Fornecedora de TIC e de seus Produtos e Serviços para Redes Elétricas Inteligentes (REI)**. 2014. Disponível em <http://www.abdi.com.br/Estudo/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20do%20Produto%203_ed_VSZ09jan15.pdf>. Acesso em: 02 julho 2015.

- [13] IEC 61850. Ed. 2.0. INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION.: **Communication networks and system for power utility automation.** Disponível em: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-6%7Bed2.0%7Den.pdf. Acesso em: 02 julho 2015.
- [14] FREESCALE SEMINCONDUTOR, Inc. Kinetis K64F Sub-Family DataSheet . Document number K64P144M120SF5. **Data Sheet: Technical Data Rev. 6,** 08/2015. Disponível em: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/K64P144M120SF5.pdf. Acesso em: 02 julho 2015.
- [15] PETENEL, F. PANAZIO, Cristiano. **Análise de uma rede Smart Grid usando a norma IEC 61850 e dados de medições.** In: XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. 2012. Brasília.
- [16] DUARTE, Alexandre Bitencourt. **Fundamentos da Série de Normas IEC 61850 e sua aplicação nas subestações.** 2012. 58 p. Monografia. Universidade federal Tecnológica do Paraná, 2012.
- [17] PETENEL, F. H. J. **Análise de problemas ligados às comunicações em Redes Elétricas Inteligentes.** 2014. 123 p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.
- [18] ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Acompanhamento do esquema regional de alívio de carga – ERAC. Leitura de 15/12/2004. Rio de Janeiro: Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2005. (RE-3/101/2005).
- [19] SCADABR 0.7 Sistema Open-Source para Supervisão e Controle. Manual do Software. 2010. 70 p.
- [20] SALLES, R. O. **Estudo sobre os esquemas de Rejeição de Cargas para Sistemas Elétricos de Potência.** 2012. 69 p. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

- [21] ARAUJO, A. R. **Aplicação da norma IEC 61850-8-1 nas redes de proteção do sistema elétrico**. 2011. 55 p. Monografia. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.
- [22] ZANIRATO, E. **Modernização das funções de seletividade lógica e falha do disjuntor com a utilização da norma IEC-61850 (Mensagens GOOSE) – caso real**. IEEE PCIC BR 2008-20. Campinas – São Paulo.
- [23] MODBUS. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Modbus>>. Acesso em 22 dezembro 2015.

ANEXO1 – Programa Main

```
#include "main.h"

//Data structure for global data
typedef struct EnergonRuntime
{
    float Voltage;
    float Current;
    float ActivePower;
    float ReactivePower;
    float AparentPower;
} EnergonRuntime;

//global objects and data structures
EnergonRuntime EnRt; //hold measurements
Serial      PC(USBTX,USBRX); //USB port virtual serial adapter
DigitalOut  Rled(LED_RED); //onboard red led
DigitalOut  Bled(LED_BLUE); //onboard blue led
DigitalOut  Gled(LED_GREEN); //onboard green led
DigitalIn   Sw2(PTC6); //tecla de usuario 1
DigitalIn   Sw3(PTA4); //tecla de usuario 2
AnalogIn    Ven(A0);
AnalogIn    len(A1);
AnalogOut   Ref(DAC0_OUT);

#define SAMPLES_PER_CYCLE 20
#define SAMPLE_FREQUENCY (60.0f*SAMPLES_PER_CYCLE)
#define SAMPLE_PERIOD (1.0f/SAMPLE_FREQUENCY)
#define SAMPLES_PER_BUFFER ((int)(SAMPLE_FREQUENCY))
```

```
#define SYNT_FREQUENCY    (4000.0f)
#define SYNT_PERIOD      (1.0f/SYNT_FREQUENCY)

Ticker t1, temporizador, aquisicao;
float w = 377.7f;
float t = 0.0f;
float a = 0.2f;

float medV[SAMPLES_PER_BUFFER]; //raw data acquisition from voltage analog
input
float medI[SAMPLES_PER_BUFFER]; //raw data acquisition from current analog
input
int sc = 0;           //sample counter
int buffercheio = 0; //flag for full buffer
float vDC = 0;
float iDC = 0;
float potencia = 0;

//keep alive led
void blink1()
{
    Bled = !Bled;
}

//Signal generation routine
void rotina(void)
{
    Ref = 0.5f + a*sin(w*t);
    t = t + 0.00025f;
}

void pds(void)
```



```

{
    Gled=!Gled;

    if(buffercheio==0)
    {
        medV[sc] = Ven;
        medI[sc] = Ien;
        sc++;
        if(sc >= SAMPLES_PER_BUFFER)
        {
            buffercheio=1;
            sc=0;
        }
    }
    //medX[i] = a0*ven + b0;
    //medY[i] = a1*ien + b1;

}

void retiraNivelDC(void)
{
    int i;
    vDC=0; iDC=0;
    for(i=0; i<SAMPLES_PER_BUFFER; i++) {
        vDC = vDC + medV[i];
        iDC = iDC + medI[i];
    }
    vDC = vDC/SAMPLES_PER_BUFFER;
    iDC = iDC/SAMPLES_PER_BUFFER;
    for(i=0; i<SAMPLES_PER_BUFFER; i++) {
        medV[i] = medV[i] - vDC;
        medI[i] = medI[i] - iDC;
    }
}

```

```
    }  
}
```

```
void calculaPotencia(void)  
{  
    int i;  
  
    for(i=0; i<SAMPLES_PER_BUFFER; i++) {  
        potencia = potencia + medV[i]*medI[i];  
    }  
    potencia = potencia/SAMPLES_PER_BUFFER;  
}
```

```
int main(void)  
{  
    //initialize global data  
    EnRt.Voltage=0.0f;  
    EnRt.Current=10.0f;  
    EnRt.ActivePower=20.0f;  
    EnRt.ReactivePower=30.0f;  
    EnRt.AparentPower=40.0f*atan(1.0f);  
  
    //initialize serial  
    PC.baud(9600);  
    PC.printf("\r\n\r\n** Energon: K64F Ethernet Smart Grid Application. Build: %s -  
%s\r\n", __DATE__, __TIME__);  
  
    //Initialize Ethernet  
    PC.printf("** Ethernet initializing... please wait... ");  
    EthernetInterface eth;  
    eth.init(); //dinamic IP
```

```
//eth.init(MBED_DEV_IP, MBED_DEV_MASK, MBED_DEV_GW); //Assign a static
device ip, mask and gateway
```

```
eth.connect();
```

```
PC.printf("OK\r\n");
```

```
PC.printf("*** IP Address is %s\r\n", eth.getIPAddress());
```

```
//Initialize ModBus
```

```
PC.printf("*** Modbus TCP server initializing...\r\n");
```

```
for(int i=0;i<MB_DATA_AREA_SIZE;i++)
```

```
    MBRt.Data[i]=0;
```

```
Thread MBThread(ModBusSlaveService);
```

```
//Modbus word register map
```

//ADDR	Description	Nature
//0	Version = 1000	READ ONLY
//1	Uptime in seconds	READ ONLY
//2	Digital inputs (16 points)	READ ONLY
//3	Digital outputs (16 coils)	READ ONLY
//10	RMS Voltage (float - low part)	READ ONLY
//11	RMS Voltage (float - high part)	READ ONLY
//12	RMS Current (float - low part)	READ ONLY
//13	RMS Current (float - high part)	READ ONLY
//14	Active Power (float - low part)	READ ONLY
//15	Active Power (float - high part)	READ ONLY
//26	Reactive Power (float - low part)	READ ONLY
//27	Reactive Power (float - high part)	READ ONLY
//28	Aparent Power (float - low part)	READ ONLY
//29	Aparent Power (float - high part)	READ ONLY

```
MBRt.Data[0]=1000; //sets version
```

```
t1.attach(&blink1, 0.5f); //keep alive led blinker attach
PC.printf("*** Data Synthesis at [%1.3f ms]\r\n", SYNT_PERIOD*1000.0f);
temporizador.attach(&rotina, SYNT_PERIOD);
PC.printf("*** Acquisiton at [%1.3f ms]\r\n", SAMPLE_PERIOD*1000.0f);
aquisicao.attach(&pds, SAMPLE_PERIOD);

PC.printf("*** System ready\r\n\r\n");
while (true)
{
    if(buffercheio)
    {
        retiraNivelDC();
        calculaPotencia();
        PC.printf("Pot = %f vDC = %f iDC = %f\r\n", potencia, vDC, iDC);
        buffercheio=0;
    }

    //refresh ModBus register map
    MBRt.Data[1]++; //updates uptime
    MBRt.Data[2] = 0x1003; //test pattern for 16 digital inputs
    MBRt.Data[3] = 0x9005; //test pattern for 16 digital outputs

    EnRt.Voltage += 11.1f;

    EnRt.ActivePower = potencia;

    AdjustFloatToModBus(EnRt.Voltage, &MBRt.Data[10], &MBRt.Data[11]);
    AdjustFloatToModBus(EnRt.Current, &MBRt.Data[12], &MBRt.Data[13]);
    AdjustFloatToModBus(EnRt.ActivePower, &MBRt.Data[14], &MBRt.Data[15]);
    AdjustFloatToModBus(EnRt.ReactivePower, &MBRt.Data[16], &MBRt.Data[17]);
    AdjustFloatToModBus(EnRt.AparentPower, &MBRt.Data[18], &MBRt.Data[19]);
```

```
Rled = !Rled;  
Thread::wait(1000);  
}  
}
```