



Projeto de Formatura

Relatório Final

Orientador: Professor Dr. Nelson Kagan

Local: Escola Politécnica da USP – Grupo Enerq.

Aluno: Lucas Torres Witzler (N.º USP – 5696354)

Título do Projeto: Aplicação da tecnologia PLC em sistemas elétricos, Smart Grids.

Objetivos do Projeto: Desenvolvimento de inteligência na medição de energia elétrica, para tarifação e controle de qualidade em consumidores de baixa tensão, dentro do conceito Smart Grids (Redes Elétricas Inteligentes), utilizando a tecnologia PLC (Power line communications) como comunicação para o sistema.

Dezembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu Senhor e salvador Jesus, que me deu a Sua a própria vida para que eu desfrutasse de saúde, paz e alegria. Obrigado pela oportunidade de estudar na Escola Politécnica de USP, pela inteligência e provisão.

Honro meus Pais que durante 24 anos de minha vida me sustentaram e investiram certos de que haverá bom fruto o não será frustrada a esperança. Muito Obrigado.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas de turma pelas inúmeras noites de estudo, pela colaboração e companheirismo.

Sou grato a todos os professores que durante estes 5 anos de curso me incentivaram, ensinaram e compartilharam suas experiências com dedicação e afinho para que eu me tornasse um engenheiro de sucesso. Faço todos eles representados neste agradecimento pelo meu professor e orientador Nelson Kagan.

Muito obrigado a todos que colaboraram para que eu concluísse esta etapa de minha vida com sucesso!

RESUMO

O objetivo deste projeto de formatura é estudar a aplicação da tecnologia de comunicação PLC (Power Line Communications) em sistemas elétricos dentro do conceito de Smart Grids (Redes Elétrica Inteligentes).

Dentro do conceito de Smart Grids, foi desenvolvido e aplicada a tecnologia PLC para o monitoramento remoto de consumo, indicadores de qualidade, dentre outras inteligências.

ABSTRACT

The objective of this graduation project is to study the application of communication technology PLC (Power Line Communications) in electrical systems within the concept of Smart Grids.

Within the concept of smart grids, was developed and implemented with PLC technology for remote monitoring of consumption, quality indicators, among other intelligences

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO	4
ABSTRACT	4
SUMÁRIO.....	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO	8
2.1 RESUMO.....	8
2.2 INTRODUÇÕES AO PROJETO.....	8
2.3 OBJETIVOS.....	8
2.4 JUSTIFICATIVA	9
2.5 ESCOPO DO PROJETO.....	9
3 TECNOLOGIA PLC	10
3.1 DESCRIÇÃO	10
3.2 FUNCIONAMENTO	10
3.3 TOPOLOGIA TÍPICA DA REDE PLC.....	11
3.4 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	12
3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	13
3.6 REGULAMENTAÇÃO	13
4 SMART GRID	15
4.1 DESCRIÇÃO	15
4.2 BENEFÍCIOS.....	16
4.3 ANÁLISE.....	16
5 EQUIPAMENTOS	22
5.1 REASON RQE-III	22
5.1.1 REGISTROS DE MEDIÇÃO CONTÍNUA.....	22
5.1.2 EXEMPLO ARQUIVO .CSV FORNECIDO PELO MEDIDOR	23
5.2 MASTER PLCLINK MITSUBISH ELECTRIC	25
5.3 MODEM PLCLINK MITSUBISH ELECTRIC	25
6.1 DEMANDA	26
6.2 DEMANDA MÁXIMA E MÉDIA	26
6.3 FATOR DE CARGA.....	26
6.4 INDICADORES DE QUALIDADE	26

6.4.1	DIC E FIC	27
6.4.2	DEC E FEC	28
6.4.3	DEMIC	28
6.5	FATOR DE POTÊNCIA.....	28
6.6	CONCEITOS GERAIS DE TARIFICAÇÃO	28
7	PROJETO.....	29
7.1	ESTUDO DOS MANUAIS DE EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS	29
7.1.1	MEDIDOR REASON RQE-III	29
7.1.2	PLC MITSUBISH	30
7.2	DESENVOLVIMENTO DE AMBIENTE	32
7.3	TESTE DE MEDIÇÃO E COMUNICAÇÃO	34
8	DESENVOLVIMENTO DE INTÉLIGENCIAS	37
8.1	INTRODUÇÃO	37
8.2	FLUXO DE DADOS	38
8.3	FUNCIONALIDADES	42
8.4	SOFTWARE	43
9	CONCLUSÃO	45
10	BIBLIOGRAFIA.....	47
	DE ACORDO	48

1. INTRODUÇÃO

Motivado por necessidades mercadológicas, pela facilidade e baixo custo de implementação de redes de comunicação utilizando a infra estrutura das redes de transmissão elétricas foi estudada a aplicações da, relativamente nova, tecnologia PLC (Power Line Communications) em sistemas elétricos, Smart Grids (Redes Elétricas Inteligentes).

Neste sentido foi desenvolvida a aplicação desta tecnologia de comunicação, PLC, para o monitoramento remoto de indicadores de qualidade, medição, tarifação e comercialização de energia elétrica, dentre outras aplicações.

A tecnologia PLC consiste em transmitir dados e voz em banda larga através de uma das redes mais utilizadas em todo o mundo: A rede de energia elétrica. A principal vantagem desta tecnologia é o fato de não necessitar de obras para ser implantada, uma vez que utiliza uma infra-estrutura já disponível.

As Smart grids (Redes inteligentes) permitem um amplo controle do sistema minimizando os custos com o gerenciamento de redes e aumentando a qualidade do serviço. Através das redes inteligentes podemos minimizar os riscos de apagões, perdas técnicas de energia (Furto), maior controle do consumo, entre outros atrativos.

Neste projeto foi aplicada a tecnologia PLC na implementação de um modelo de Smart Grid, para gerenciamento da medição, tarifação e comercialização de energia proveniente de consumidores residenciais e comerciais.

2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

2.1 Resumo

Neste projeto foi estudada a aplicação da tecnologia PLC (Power Line Communications) em sistemas elétricos dentro do conceito de Smart Grids (Redes Elétrica Inteligentes).

2.2 Introdução ao projeto

Dentro do conceito de Smart Grids, foi trabalhado no desenvolvimento e aplicação da tecnologia PLC para o monitoramento remoto de consumo, indicadores de qualidade, dentre outras inteligências, como controle de carga e desligamento de consumidores.

A tecnologia PLC permite transmitir dados provenientes de medidores de energia, medidores de qualidade e sensores em banda larga através da rede de energia elétrica na qual eles estão alocados. A principal vantagem desta tecnologia é o fato de não necessitar de obras para ser implantada, uma vez que utiliza uma infra-estrutura já disponível.

O conceito Smart Grids (Redes inteligente) permitiram um amplo controle do sistema minimizando os custos com o gerenciamento de redes e aumentando a qualidade do serviço. Através das redes inteligentes foi possível minimizar os riscos de apagões, perdas técnicas e comerciais de energia, maior controle da demanda, entre outros atrativos.

Neste projeto, foi aplicada a tecnologia PLC na implementação de um modelo de rede Smart Grid.

2.3 Objetivos

Aplicação da tecnologia PLC na implantação de um modelo de rede elétrica Smart Grid para o gerenciamento de medição, de indicadores de qualidade e de cargas provenientes de consumidores residenciais e comerciais.

2.4 Justificativa

No cenário atual do setor energético brasileiro temos o aumento da demanda, a elevação no preço da energia, a pressão para o uso de fontes renováveis, o aumento da complexidade dos mecanismos de mercado e a disponibilização de grandes fluxos de capital para o investimento em novas tecnologias de geração de menor impacto ambiental, o que tem gerado o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias como o conceito Smart Grid.

Neste cenário, busca-se integrar um novo conceito com uma nova tecnologia, fornecendo uma solução ecologicamente correta, de baixo custo, de fácil implementação e que vem de encontro com as atuais necessidades mercadológicas.

2.5 Escopo do projeto

Buscando cumprir os objetivos do projeto foi criado no laboratório do Enerq um ambiente que simulou uma rede de distribuição de energia elétrica para consumidores residenciais e comerciais de baixa tensão. Utilizando o medidor de qualidade de energia elétrica REASON RQE-III para a medição dos parâmetros necessários (Tensão, corrente, demanda, Fator de potência, potência ativa, potência reativa, potência aparente, espectro de harmônicas).

Através do Modem PLCLINK MITSUBISHI ELECTRIC, CPE-AM10-20250 foi criada uma rede PLC para comunicação entre medidor e concessionária.

Para a coleta dos dados e processamento das leituras foi desenvolvido um Software que calcula e disponibiliza: curva de demanda, DIC, FIC, DEC, FEC, consumo mensal, fator de potência, demanda máxima e demanda média, disponibilizando estas informações para a concessionária.

Para benefício do consumidor é disponibilizado uma tela de leitura na internet gerando um melhor controle de demanda, consumo e qualidade da energia.

3 TECNOLOGIA PLC

3.1 Descrição

A tecnologia PLC (Power Line Communication) vem sendo estudada e desenvolvida desde o início do século XX por empresas de energia elétrica com o intuito de suportar serviços de telecomunicação. Inicialmente, com o intuito de comunicação interna entre usinas geradoras e subestações, esta tecnologia se expandiu ao ponto de nos últimos anos um grande esforço ter sido realizado para a produção de tecnologia que permita a utilização da rede elétrica para transmissão de dados em banda larga.

Adicionalmente, as empresas de energia elétrica pretendem aproveitar a disponibilidade da banda larga nas instalações de seus usuários, para introduzir uma série de melhorias na gerência da rede e do comportamento dos consumidores, sendo a medição remota do consumo a mais evidente de todas.

3.2 Funcionamento

Existem dois tipos de PLC:

- Indoor: a transmissão é conduzida usando a rede elétrica interna de um consumidor;
- Outdoor: a transmissão é conduzida usando a rede pública exterior de energia elétrica

O princípio básico de funcionamento das redes PLC é que, como a frequência dos sinais de conexão é na casa dos MHz (1 a 30 MHz), e a energia elétrica é da ordem dos Hz (50 a 60 Hz), os dois sinais podem conviver harmoniosamente, no mesmo meio. Com isso, mesmo se a energia elétrica não estiver passando no fio naquele momento, o sinal da Internet não será interrompido.

A tecnologia, também possibilita a conexão de aparelhos de som e vários outros eletroeletrônicos em rede. A Internet sob PLC possui velocidade não

assíncrona, ou seja, você tem o mesmo desempenho no recebimento ou envio de dados.

O sinal sai da central, indo para o injetor, que vai se encarregar de enviá-lo à rede elétrica. No caminho, o repetidor tem a função de não deixar com que os transformadores filtrem as altas frequências.

Chegando perto da casa, o extrator, que deixa o sinal pronto para uso da casa, chegando até o modem, que vai converter para uso pelo computador, através de uma porta Ethernet.

3.3 Topologia típica da rede PLC

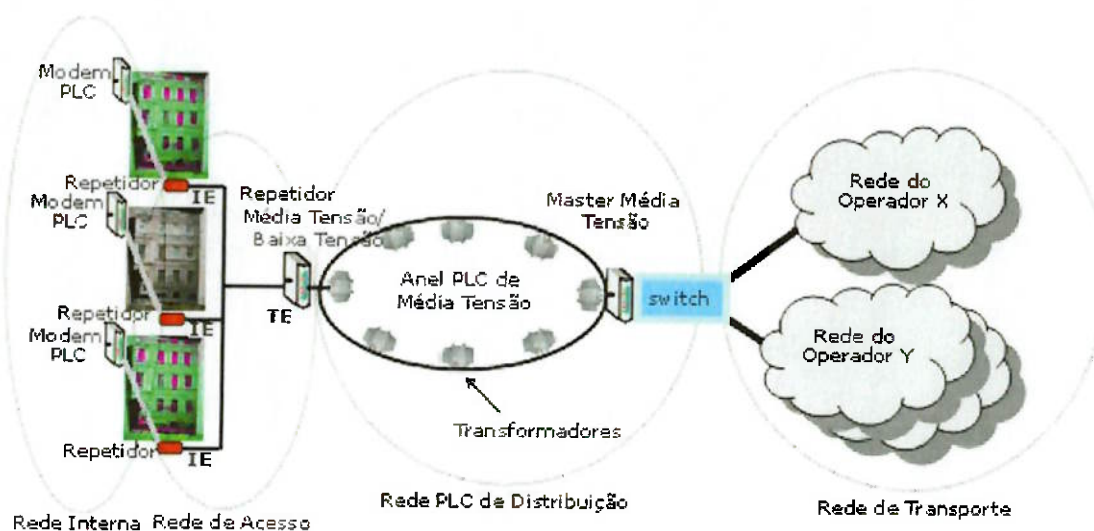


Figura 1.0 Topologia típica da rede PLC

Rede Interna do Usuário Final:

A rede do usuário final é constituída pela rede de distribuição elétrica nas instalações do usuário, e pelos modems para conexão dos equipamentos que serão interligados ao serviço de banda larga. Inúmeros modems podem estar conectados nas tomadas de energia elétrica disponíveis em uma instalação de usuário.

Rede de Acesso

A rede de acesso PLC se inicia junto ao medidor de energia elétrica do usuário com introdução do equipamento Repetidor. Este equipamento tem como função receber os sinais PLC gerados nos diversos modems existentes na rede, bypassar o medidor e reinjetá-los na rede de baixa tensão

Rede PLC de Distribuição

A Rede PLC de Distribuição interconecta os Repetidores de Baixa Tensão / Média Tensão, instalados junto aos transformadores de distribuição de energia elétrica e promove a interconexão do sinal PLC com a rede de transporte do Operador de Telecomunicações, e daí seguindo até alcançar um ponto de acesso à rede internet. Esta interligação é efetuada através de equipamento denominado Concentrador Mestre de Média Tensão.

3.4 Descrição dos Equipamentos

Os principais equipamentos presentes em redes PLC são:

Modem (PNT): Usado para a recepção e transmissão dos dados, o modem é instalado em um host (estação de trabalho, servidor, etc.) que é ligado à tomada de energia. Ele realiza a comunicação com o Demodulador Repetidor (PNR).

Demodulador Repetidor (PNR): Esse equipamento provê acesso direto do usuário do sistema InDoor para o sistema Outdoor. Cada residência tem um, e este se comunica com o Concentrador Mestre (PNU).

Concentrador Mestre (PNU): Controla o sistema Outdoor e interconecta uma Célula de Energia (Power Cell) à rede do backbone. Geralmente esta localizada no transformador. Deste ponto em diante a comunicação pode ser feita pela operadora de telecomunicações

3.5 Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

A principal vantagem é a facilidade de implementação devido a utilização da rede elétrica já implantada, assim cada ponto de energia pode se tornar um ponto de rede. Além disso a tecnologia suporta altas taxas de transmissão, podendo alcançar em determinadas frequências 200Mbps.

Desvantagens:

Ao mesmo tempo que um ponto de energia pode se tornar um ponto de rede ele pode se tornar um ponto de interferência e ruído. Outro fator negativo das redes elétricas é sua oscilação: características como impedância, atenuação e frequência podem variar drasticamente de um momento para o outro, à medida que cargas conectadas à rede são ligadas ou desligadas.

Na transmissão a longa distâncias os transformadores funcionam como filtros impedindo a transferência de dados.

3.6 Regulamentação

13/04/2009 - A Anatel publicou a Resolução 527, que aprova o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica (BPL). O documento estabelece os critérios e parâmetros técnicos que permitem a utilização dessa tecnologia de forma harmônica com as aplicações de radiocomunicação que usam radiofrequência na faixa entre 1.705 kHz e 50MHz.

18/08/2009 - A ANEEL publicou portaria que regulamenta o uso da tecnologia PLC.

A Resolução Normativa nº 375/2009 estabelece as condições de compartilhamento da infra estrutura das distribuidoras.

28/08/2009 - Diretoria Colegiada da ANEEL aprovou as regras para utilização da rede elétrica para transmissão de dados, voz e imagem e acesso à Internet em alta velocidade por meio da tecnologia Power Line Communications (PLC)- Resolução Normativa nº 375/2009

A resolução define que o uso da tecnologia pelas concessionárias só é permitido para as atividades relacionadas à distribuição de energia elétrica, como a incorporação dos serviços de tele medição, corte e religamento à distância, supervisão do fornecimento e da qualidade da energia, controle das perdas técnicas e comerciais e monitoramento remoto das redes elétricas. Outra permissão é destinada à aplicação em projetos sociais, com fins científicos ou experimentais

4 SMART GRID

4.1 Descrição

No cenário atual do setor energético brasileiro temos o aumento da demanda, a elevação no preço da energia, a pressão para o uso de fonte renováveis, o aumento da complexidade dos mecanismos de mercado e a disponibilização de grandes fluxos de capital para o investimento em novas tecnologias de geração de menor impacto ambiental o que tem gerado o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias como o conceito Smart Grid.

Smart Grid ou Redes inteligentes é um conceito tecnológico que propõe para a rede elétrica um sistema inteligente de gerenciamento. Esta arquitetura possibilita, através da integração de equipamento inteligentes à uma rede de dados, a implantação de capacidades avançadas ao sistema de energia, tais como: rede de energia auto-recuperável, comunicação integrada com o consumidor, informações em tempo real sobre o sistema,.

O smart grid é um conceito que dá mais independência ao consumidor, que poderá gerar energia e comercializar os excedentes como faz hoje um grande produtor de eletricidade.

E a instalação deste sistema vai envolver qualidades capazes de permitir a transição da matriz energética para fontes renováveis, incluindo tecnologias que permitam a interatividade do consumidor com o sistema, além de preços de luz que variam de acordo com o horário em que foi consumida e a utilização de carros elétricos em detrimento daqueles que utilizam gasolina. Outras inovações, como o detalhamento da conta de luz, apontando quanto e a que horas foi o consumo de cada aparelho, o que possibilita a redução do uso da energia também fazem parte do conceito.

4.2 Benefícios

- Aumento da confiabilidade do sistema de transmissão e distribuição energética;
- Integração do sistema
- Redução de perdas técnicas de energia
- Redução de custos
- Melhoria na gestão da rede e consumidores
- Melhoria na qualidade da energia
- Permitir a transição da matriz energética para fontes renováveis
- Redução no consumo
- Diminui riscos de apagão
- Controle de consumo

4.3 Análise

O surgimento da eletricidade foi uma das maiores invenções do homem. Com ela, foi possível produzir mais, viver melhor e inventar mais coisas.

É fato que a cada dia mais equipamentos elétricos chegam às residências de milhares de pessoas em todo o mundo, pois há 50 anos as casas, em sua maioria, só abrigavam uma geladeira, um rádio e, em algumas exceções, uma TV ou um chuveiro elétrico. Hoje a situação é muito diferente, visto que além daqueles equipamentos, temos um computador, DVD, micro-ondas, cafeteira elétrica e mais um monte de gadgets.

Diversos especialistas dizem que estamos caminhando para o caos energético, como o que ocorreu em 1999 em nosso país. Além disso, a necessidade de diminuir ou consumir com mais inteligência os recursos do planeta está causando movimentação em diversos países – inclusive nos EUA, um dos maiores consumidores de energia do mundo.

A maneira como a distribuição de energia é feita é arcaica na visão de muitos especialistas, dependemos muito de uma única fonte geradora e, caso ela falhe, toda rede fica sem abastecimento. Além disso, o formato de medição do consumo nem sempre é justo com o consumidor final, já que com medidores

defasados, analógicos, dependendo de pessoas passando de casa em casa para a coleta de dados, o que aumenta a probabilidade de erros.

Por isso, há uma proposta mundial de criação de uma rede de energia inteligente, também conhecida como Smart Grid, uma idéia para melhorar o consumo de energia.

A lógica da Smart Grid está em uma palavra: inteligência. Isso quer dizer que as novas redes serão automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo real, ou seja, a sua casa vai conversar com a concessionária de energia, em um futuro próximo, e até fornecer eletricidade para ela. A inteligência também será aplicada no combate à ineficiência energética, isto é, a perda de energia ao longo da transmissão.

De acordo com a IBM, 14,7% do total da energia produzida no Brasil é dissipada no processo de distribuição. Além disso, o furto de energia (famoso “gato”) deve ser diminuído, mais precisão nas medições de consumo e funções adicionais como identificação de falhas à distância são algumas novidades desta nova rede.

Como dito anteriormente, o modelo de distribuição é defasado, se ocorrer alguma pane e o fornecimento de energia ao consumidor for interrompido, hoje, é preciso ligar para a empresa de energia e pedir que eles venham reparar a falha. Como a Smart Grid é uma rede inteligente, assim que a pane ocorrer, a empresa geradora sabe onde aconteceu a queda de energia e em poucos minutos pode mobilizar funcionários para realizarem o conserto. A comunicação de mão dupla entre consumidor e a operadora, sensores ao longo de toda a rede, controle e automatização do consumo residencial são algumas das mudanças que ocorrerão.

O primeiro passo para se chegar a toda esta evolução no consumo energético precisa ser dado no consumidor. Isso para que toda essa comunicação inteligente aconteça, o medidor de energia precisa ser substituído. Há anos um medidor analógico é usado nas casas, desta forma um modelo digital precisa ser introduzido para que haja maior controle por parte da geradora de energia e do consumidor. Estes novos medidores terão um sistema de comunicação que se ligará a uma rede de dados para transmitir informações.

O problema é que isso vai demorar um pouco para acontecer, pois de acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) há, aproximadamente, 65 milhões de medidores analógicos no país. A regulação dos modelos digitais ainda está em processo, mas a previsão é que em no máximo dez anos todos os medidores sejam substituídos. Além da mudança de leitores, toda a infraestrutura de captação de dados provenientes destes aparelhos precisa ser

criada ou aprimorada, pois sem isso não há como medir o consumo ou detectar problemas.



Em uma consulta pública realizada em 03 de setembro de 2009, a ANEEL propôs uma nova forma de tarifação de energia. Assim como é feito nos serviços de telefonia, faixas de valores diferenciados serão criadas para fomentar o consumo de eletricidade fora dos horários de picos. Com estas faixas, as empresas de energia podem cobrar mais pela eletricidade usada no horário comercial e menos durante a madrugada, por exemplo.

Com esta medida, busca-se a criação do hábito do consumo consciente no consumidor e evitar panes ou blecautes. Entretanto, para este sistema funcionar, os medidores digitais precisam estar em operação para que seja possível fazer a diferenciação de valores e horários.



Há vários lugares onde as Smart Grids estão em testes. Um destes é a cidade de Boulder, no estado do Colorado (EUA), onde o consórcio Xcel Energy vem testando mecanismos para potencializar o uso de energia. Formas tradicionais e emergentes de produção de eletricidade estão sendo avaliadas em algumas residências para verificar a eficiência deste tipo de rede.

Além de inteligência, outra palavra que tem tudo a ver com Smart Grid: sustentabilidade. Isso porque, uma das novidades nesta nova rede de energia é o consumidor-produtor. A descentralização da produção de energia é uma das propostas das redes inteligentes, sendo assim, qualquer um pode produzir energia e armazenar ou vender o excedente. Muito se fala em energia eólica e solar e estas formas sustentáveis de produção podem estar na sua casa, contribuindo para que sua fatura de luz diminua.

Com todas estas possibilidades a tendência é que até os eletrodomésticos se tornem mais inteligentes. Em breve será possível programar a máquina de lavar roupas para funcionar somente nos horários em que a energia é mais barata. Além disso, com a medição inteligente é possível saber quanto cada aparelho consome mensalmente, algo quase impossível hoje em dia. Por meio de um site ou software, você pode acompanhar diariamente o gasto energético do seu video game ou da geladeira nova e saber com precisão, quanto vai custar a fatura de energia no fim do mês. Até os carros podem servir como provedores de energia, pois em momentos em que o custo por KW for mais alto, a energia armazenada nas baterias do veículo pode servir como fonte de eletricidade para sua casa.

A CASA INTELIGENTE

Os benefícios

- Baixo custo de energia
- Energia limpa
- Conservação da energia
- Melhoramento da eficiência energética

Medidor inteligente

- Preço da tarifa em tempo real.
- Acompanhamento do consumo

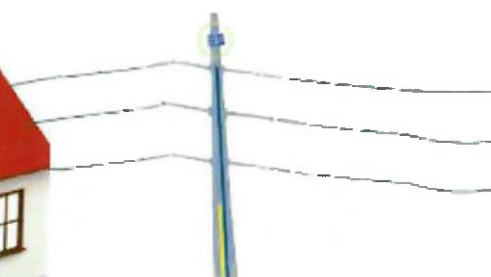


Aparelhos inteligentes

- Aparelhos programados para não funcionar em horários de pico

Sensores

- Sensores em toda a rede medem a qualidade da transmissão



Produção

- Consumidor pode produzir a própria energia

Para que tudo isso aconteça é preciso produzir novos equipamentos, instalar medidores inteligentes, sensores e toda a demanda de infra estrutura. De olho em um mercado que tem previsão de movimentar 20 bilhões de dólares, empresas como IBM, Cisco, Landis+Gyr, Intel, GE e até a Google estão de olho no volume de investimentos que serão feitos no setor de energia. Além das empresas, alguns países, como os EUA, estão bem avançados neste assunto, ainda mais após o pacote de incentivos de US\$ 3,4 bilhões lançado por Barack Obama no dia 27 de outubro de 2009.

As histórias da internet e da transmissão de energia são realmente muito parecidas, tanto que há projetos e testes em andamento para permitir a transmissão de dados pela rede de energia elétrica. Como esta rede alcança quase 95% do território nacional, a possibilidade de que pessoas que vivam em lugares remotos tenham acesso à web aumenta exponencialmente. De acordo com a ANEEL, A PLC (*Power Line Communication*) ou Comunicação por Linha de Energia permite, em tradução livre, a utilização da rede elétrica como meio de transporte para a comunicação analógica e sinais de internet.

O Smart Grid é uma boa tecnologia para todos. E isso é verdade. Apesar de parecer que as empresas de energia irão perder com a possibilidade de produção doméstica pelo próprio consumidor, outros fatores fazem com que as concessionárias também ganhem. O combate às perdas energéticas e redução de furtos são dois temas que permitem às empresas continuar ganhando. O que precisa ser observado é o custo de implantação dos medidores eletrônicos e de toda a rede de dados, pois só os medidores custam, em média, mais de duzentos reais.

Contudo, a possibilidade de se ter mais informações e alternativas de consumo por parte do usuário final é atraente. Ao ter mais informações sobre o gasto energético será possível controlar melhor as despesas e evitar sustos no final do mês.

Mas o principal ponto das Smart Grids é o apelo ambiental, já que muito do desperdício será diminuído. A busca por formas alternativas de produção de energia também é um dos combustíveis das Smart Grids, tendo em vista que diversos tratados ambientais são discutidos todos os anos.

Há ainda alguns entraves na produção doméstica de energia por meio de fontes sustentáveis. Para gerar energia com a luz do Sol, placas precisam ser instaladas em telhados. O problema é que elas custam caro e ocupam um espaço físico considerável, além de demandar equipamentos para armazenamento do que foi produzido.

Faz quase cem anos que Thomas Edison inventou a lâmpada. O sistema de distribuição de energia pouco mudou desde aquele período, mesmo com o fato de que a humanidade nunca crescer tanto nos últimos 25 anos. A população aumentou e as cidades se desenvolveram mais do que as redes de energia. Já passou da hora de se pensar em novas possibilidades e formas de aprimorar a geração, distribuição e consumo de eletricidade. A rede inteligente está chegando e ela desponta como uma solução para os desafios da sociedade moderna.

5 EQUIPAMENTOS

5.1 REASON RQE-III

O registrador de parâmetros de qualidade de energia foi utilizado para o medição de todos os parâmetros de energia necessários para o projeto. Ele simulou um medidor de energia elétrica digital.

O registrador faz a aquisição contínua e simultânea de 8 sinais analógicos (4 tensões e 4 correntes) e de 16 sinais digitais de instalações de energia elétrica para o registro de parâmetros de qualidade de energia elétrica. Sendo estas aquisições feitas através de um conversor AD 16 bits que realiza as medições com 200 pontos por ciclo

Para a comunicação ele oferece uma porta de comunicação por rede ethernet e uma porta serial.

5.1.1 Registros de medição contínua

- harmônicas de tensão e corrente até 50ª ordem segundo IEC 61000-4-7
- distorção harmônica total (DHT) de tensão e corrente
- fasores de tensão e corrente
- valor eficaz (RMS) de tensão e corrente
- desequilíbrio de tensão e corrente segundo IEEE P.1159.1
- frequência
- flutuação de tensão (flicker) segundo IEC 61000-4-15 (modelos de lâmpadas de 50 e 60 Hz)
- potência ativa, reativa e aparente
- fator de potência e fator de deslocamento por fase
- potências harmônicas

◦ potência de distorção harmônica segundo conceito de Budeanu

5.1.2 Exemplo arquivo .CSV fornecido pelo medidor

Exemplo de arquivo de tensão RMS fornecido pelo medidor REASON.

```
# **HEADER**

# DatabaseVersion,$Name: pqfw-r22 $

# UUID,bf704267-d448-4067-8f8e-0bca8b68a228

# ProtocolIdentification,Rms

# MeasureIdentification,Short Time Evaluation

# EquipamentName,Enerq-ct RQE-II

# EquipamentModel,RQEII-R3

# OwnerFullName,

# OwnerShortName,

# EquipmentSerialNumber,17810

# CircuitName,Tensao

# CircuitIndex,0

# CircuitTypeIdentification,Voltage

# CircuitModelIdentification,Three Trafos and Neutral

# Ratio,+001.00,+001.00,+001.00,+001.00

# NominalValue,+220.00,+220.00,+220.00,+220.00

# Circuit Coefficient C0,+005.63,+005.74,+005.59,+005.57

# Circuit Coefficient C1,-000.01,-000.01,-000.02,-000.01

# Circuit Coefficient C2,-000.00,-000.00,-000.00,-000.01

# Timestamp,2010-May-25 00:00:00.000000 -0300 S

# Interval,600

# **RMS**

# record,avgA[V],maxA[V],minA[V],avgB[V],maxB[V],minB[V],avgC[V],maxC[V],minC[V],avgN[V],maxN[V],minN[V]

000000,+129.39,+130.44,+128.60,+129.50,+130.66,+128.63,+128.88,+129.90,+128.08,+000.07,+000.10,+000.05

000001,+129.58,+130.44,+128.68,+129.77,+130.68,+128.75,+129.09,+129.98,+128.09,+000.07,+000.10,+000.05

000002,+129.86,+130.69,+129.00,+130.06,+130.83,+129.21,+129.36,+130.24,+128.50,+000.07,+000.10,+000.05
```

000003,+130.05,+130.87,+129.21,+130.22,+131.02,+129.27,+129.59,+130.47,+128.67,+000.07,+000.09,+000.05
000004,+130.36,+131.21,+129.55,+130.57,+131.35,+129.67,+129.95,+130.68,+129.06,+000.07,+000.10,+000.05
000005,+130.60,+131.49,+129.75,+130.83,+131.62,+129.94,+130.21,+131.05,+129.30,+000.07,+000.10,+000.05
000006,+131.01,+132.03,+130.14,+131.24,+132.25,+130.37,+130.60,+131.64,+129.76,+000.07,+000.10,+000.05
000007,+131.11,+131.92,+130.26,+131.37,+132.21,+130.37,+130.70,+131.53,+129.44,+000.07,+000.10,+000.05
000008,+131.01,+132.02,+129.91,+131.25,+132.18,+130.27,+130.59,+131.57,+129.46,+000.07,+000.10,+000.05

5.2 Master PLCLINK MITSUBISHI ELECTRIC

Esse equipamento habilita o acesso do usuário do sistema InDoor para o sistema Outdoor. Este mesmo equipamento é utilizado para repetição de sinal e como Concentrador Mestre.

Ele também controla o sistema Outdoor e interconecta uma Célula de Energia (Power Cell) à rede do backbone, onde a comunicação pode ser feita pela operadora de telecomunicações

5.3 Modem PLCLINK MITSUBISHI ELECTRIC

Usado para a recepção e transmissão dos dados, o modem é instalado em um host (estação de trabalho, servidor, etc.) que é ligado à tomada de energia. Ele realiza a comunicação com o Demodulador Repetidor.

6 CONCEITOS

6.1 Demanda

Define-se demanda de uma instalação como a carga nos terminais receptores tomada em valor médio em um determinado intervalo de tempo (intervalo de demanda).

Através dos valores de demanda durante um período podemos levantar a curva de carga ou curva de demanda de uma instalação.

6.2 Demanda Máxima e Média

A demanda máxima de uma instalação ou sistema é a maior de todas as demandas que ocorreram num período especificado de tempo.

A demanda média é media aritmética das demandas em um período especificado de tempo.

6.3 Fator de carga

O fator de carga em um intervalo determinado de tempo é a relação entre a demanda média e máxima do sistema.

$$F_{\text{demanda}} = \frac{D_{\text{média}}}{D_{\text{máxima}}}$$

6.4 Indicadores de qualidade

A qualidade da energia elétrica fornecida pelas distribuidoras é fiscalizada pela ANEEL quanto aos aspectos da continuidade e conformidade com os níveis de tensão de energia elétrica. A continuidade do serviço observa a duração e a frequência das interrupções no fornecimento de energia e é medida por indicadores incluídos em conta.



Figura 2.0 Indicadores de qualidade de energia elétrica

6.4.1 DIC e FIC

O DIC, Duração de interrupção individual por unidade consumidora, que representa o intervalo de tempo em que, no período de observação, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão, ocorreu descontinuidade na distribuição de energia elétrica.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t_i$$

Analogamente, o FIC, frequência de interrupção individual por unidade consumidora, que representa o numero de interrupção ocorridas, no período de observação, em cada unidade consumidora.

$$FIC = N$$

6.4.2 DEC e FEC

O DEC, Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, para um conjunto de consumidores, observando durante um intervalo de tempo especificado, é definido pelo tempo médio que o consumidor teve seu fornecimento interrompido durante o período de observação, que por defeitos na rede, quer por manutenção preventiva. Formalmente resulta:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) \cdot xt(i)}{Cc}$$

Analogamente, o FEC, frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora para um conjunto de consumidores, é definido pelo número médio de interrupções sofridas pelo consumidor, durante o período de observação. Formalmente resulta:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cc}$$

6.4.3 DEMIC

Duração máxima de interrupção por unidade consumidora (DEMIC), indica o tempo Máximo de cada interrupção.

6.5 Fator de potência

O fator de potência relaciona a potência ativa com a potência aparente.

$$F.P. = \frac{Pativa}{S}$$

6.6 Conceitos gerais de tarifação

A tarifa de energia elétrica tem por finalidade remunerar a concessionária dos investimentos no sistema e dos custos operacionais. É importante ressaltar que o sistema é dimensionado de modo a atender a demanda máxima, que tem duração diária de aproximadamente duas horas, assim é razoável considerar-se uma estrutura tarifária que leve em conta a tarifação da demanda máxima verificada e da energia absorvida, ou seja “Tarifa binômia”.

7 PROJETO

7.1 Estudo dos manuais de equipamentos a serem utilizados

Durante esta etapa do projeto, utilizando os manuais, foi possível alcançar um conhecimento sólido sobre os equipamentos. Podendo então realizar as configurações necessárias para o prosseguimento do projeto.

Através do estudo dos equipamentos foi possível identificar as limitações dos equipamentos e a melhor forma de aplicação do Medidor Reason e do PLC Mitsubishi.

7.1.1 Medidor Reason RQE-III

Para a utilização do medidor foi necessário o ensaio de calibração das garras de correntes que serão utilizadas no projeto. Este ensaio foi realizado da seguinte forma:

Utilizando um amperímetro de exatidão para a medição da corrente em uma carga padrão. Através da medida feita pelo amperímetro e a adquirida pelo Medidor Reason RQE-III foi feita o calcula da relação entre as medidas.

Com a relação entre as medições o Reason RQE-III foi configurado com o fator multiplicativo de corrente.

Nesta fase do projeto também foram realizados testes de medição para o conhecimento da tecnologia e identificação da melhor forma de instalação deste equipamento.



Figura 3.0 Medidor Reason RQE-III

7.1.2 PLC Mitsubishi

Através do estudo dos manuais e do conhecimento dos técnicos do laboratório de TV Digital do PSI a Master PLC foi configurada para uma rede DHCP, utilizando a rede de dados do laboratório Enerq.

Após a configuração, utilizando uma Máster ligada a uma Fase e Neutro e um Modem foi habilitada parte da rede elétrica do laboratório à rede PLC.

Após a instalação e configuração da Master foi identificado que ela habilita uma rede de no máximo 400 m e que em uma instalação trifásica com neutro precisamos de duas máster para habilitar toda a rede. Neste caso foi resolvido ligando uma Máster na fase 1 e neutro e a outra Máster repetidora na fase 2 e fase 3, assim o sinal PLC foi habilitado para toda a rede elétrica do laboratório.



Figura 4.0 Master PLC



Figura 5.0 Master PLC

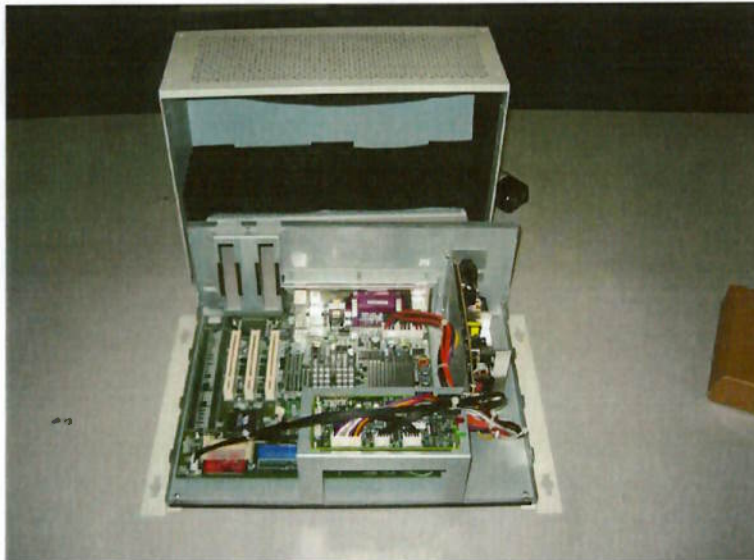


Figura 6.0 Master PLC



Figura 7.0 Modem PLC

7.2 Desenvolvimento de Ambiente

Após o estudo dos equipamentos, com um conhecimento mais sólido, foi desenvolvido em laboratório um ambiente de testes utilizando a infraestrutura do Laboratório do Enerq. Com a toda rede elétrica do laboratório habilitada com sinal PLC, através da ligação da Master PLC na rede trifásica, e com o Reason RQE-III calibrado, o medidor Reason foi ligado à um modem PLC conectando-o a rede elétrica com sinal PLC.

Através de um computador, também ligado a um monde PLC, foi possível acessar as medições remotamente utilizando a rede elétrica como meio de comunicação.

Com o medidor ligado à rede PLC foi dado prosseguimento ao desenvolvimento do ambiente de testes, simulando uma rede primaria com consumidores de baixa tensão, conforme esquema:

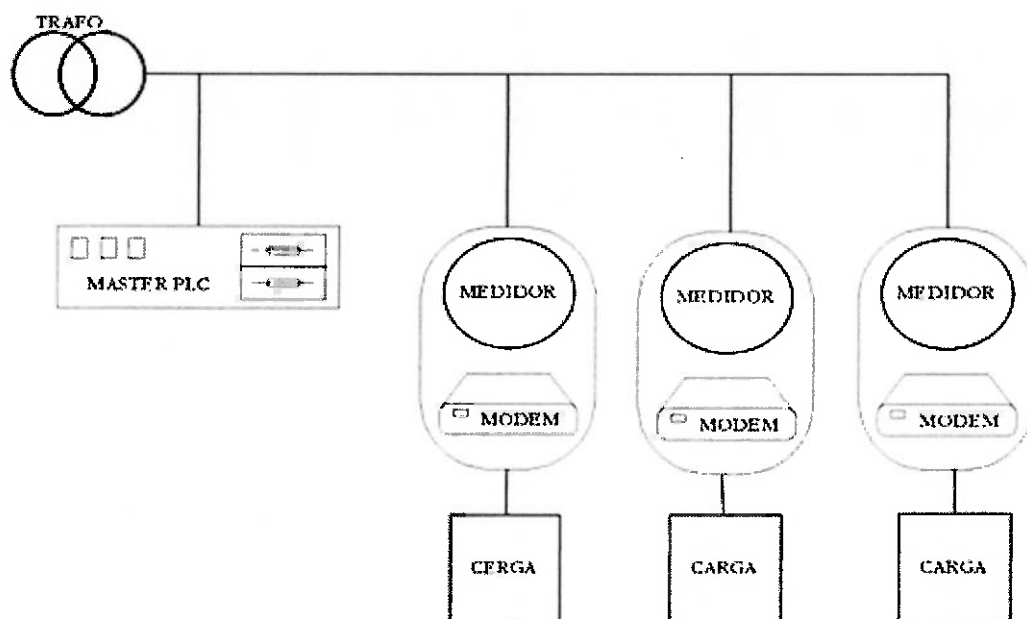


Figura 8.0 Topologia do ambiente reproduzido em laboratório

Para o levantamento de uma curva de carga padrão, para utilização no software desenvolvido, e para a leitura remota o medidor foi instalado na cabine primária do Laboratório do Enerq.

Com o medidor conectado as três fases e ao neutro foi possível através da rede PLC, remotamente acompanhar as medições e leituras dos parâmetros fornecidos pelo Reason RQE-III.

Através do ambiente de testes proposto foi simulada a comunicação entre concessionária, consumidor e banco de dados, conforme o fluxograma:

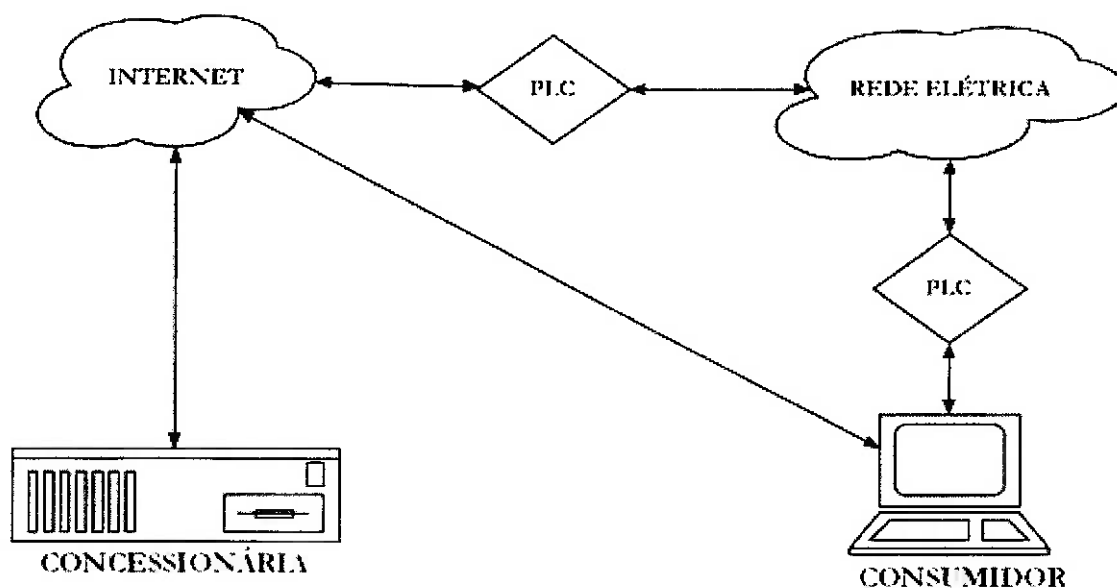


Figura 8.1 Fluxograma de comunicação

Com a Master PLC ligada à rede elétrica do laboratório e à rede de Ethernet foi disponibilizado à todos pontos de energia elétrica (tomada, quadro de distribuição, etc.), através do modem PLC , acesso a rede Ethernet.

Desta forma foi possível simular no laboratório o ambiente de uma rede primária habilitada com sinal PLC.

Através de computadores de uso pessoal conectados à rede, representando consumidores e concessionária, remotamente o Medidor Reason e sua respectiva memória de massa foram acessados.

O desenvolvimento de ambiente em laboratório foi importante para permitir uma análise das funcionalidades da tecnologia PLC aplicada em redes elétrica inteligentes.

7.3 Teste de medição e comunicação

Conforme descrito na etapa anterior, após a instalação das Master PLC e a utilização dos modems PLC a comunicação entre o medidor, cliente e concessionária foi estabelecida através da rede elétrica.

Com este teste pode-se afirmar que a rede elétrica é uma meio capaz, eficiente e seguro para a comunicação entre medidores, instalados em consumidores, e concessionárias.



Figura 9.0 Medidor Reason ligado ao modem PLC



Figura 10.0 Garras de corrente ligadas as 3 fases.



Figura 11.0 Cabine de entrada de energia do laboratório Enerq.



Figura 12.0 Medidor Reason ligado ao modem PLC ligado a entrada de energia do laboratório Enerq.

Os testes de comunicação e o desenvolvimento do ambiente de testes foi baseado no seguinte fluxograma:

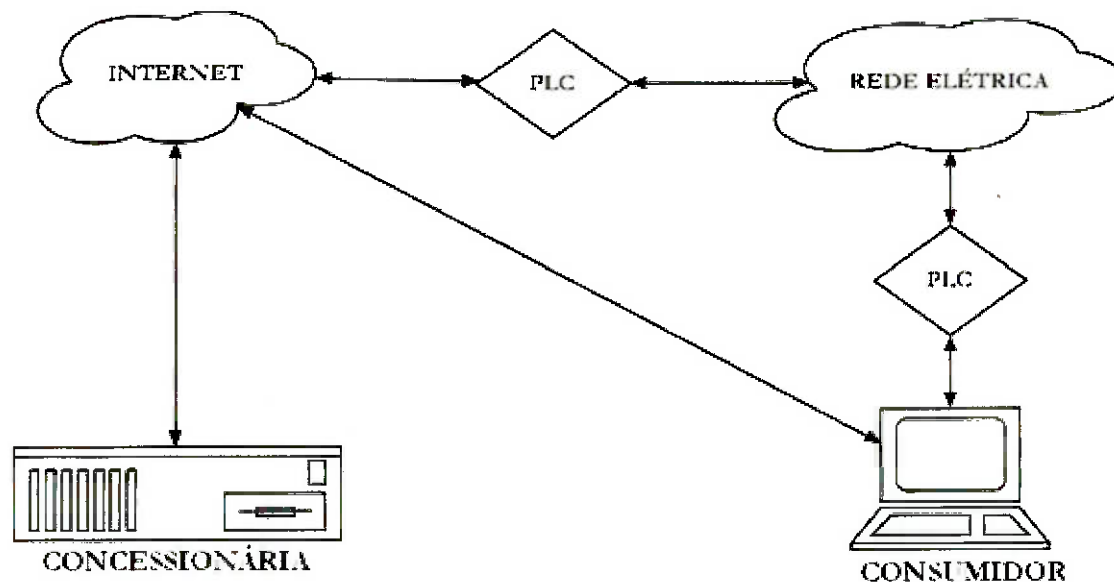


Figura 12.0 Fluxograma de dados em uma rede.

Analisando o fluxograma juntamente com os testes feitos a conclui-se que a rede elétrica de baixa tensão e a rede de dados (internet) como uma rede de

dados única, isso ocorre através da conexão entre rede elétrica e de dados feita através da Máster PLC.

Com a rede elétrica habilitada com o sinal PLC foram simuladas trocas de arquivos entre medidor e concessionária remotamente através da internet ou de qualquer outro tipo de rede de dados que ligada a rede PLC permita o acesso a estes arquivos.

Como toda a rede elétrica externa de baixa tensão foi habilitada à tecnologia PLC, teve-se como consequência o sinal disponível na rede elétrica interna dos consumidores. Devido a não existência de transformadores entre rede elétrica de baixa tensão e consumidores.

Isso disponibiliza ao consumidor, através de um modem PLC, um meio de comunicação com a concessionária e com o seu próprio medidor. Com isso o consumidor pode ter acesso a informações como: demanda, consumo, fatura, indicadores de qualidades, entre outras informações que forem relevantes a concessionária e aos consumidores.

A rede PLC proporciona uma transparência e um contato direto entre medidor, concessionária e consumidor, o que gera inúmeras inteligências a serem desenvolvidas dentro do conceito de redes elétricas inteligentes.

8 DESENVOLVIMENTO DE INTÊLIGENCIAS

8.1 Introdução

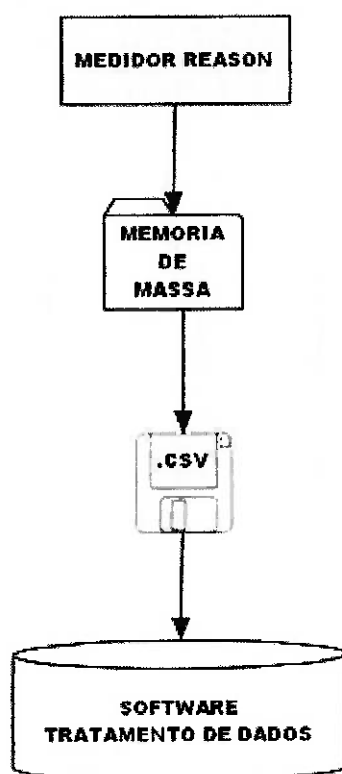
Após o desenvolvimento e testes do ambiente no laboratório foi possível o desenvolvimento do projeto de um software para gerenciamento dos consumidores e da rede pelo lado da concessionária.

Este trabalho não visa o desenvolvimento do Software completo mas, sim uma programa que símile o ambiente e as possíveis funcionalidades a serem implementadas. Sendo assim com os testes e desenvolvimento será possível a identificação das limitações e das aplicações da tecnologia.

8.2 Fluxo de dados

O medidor Reason utilizado no projeto como medidor de energia, possui uma memória de massa que armazena todas as leituras feitas pelo medidor durante o período desejado.

O fluxo dos dados segue o seguinte fluxograma:

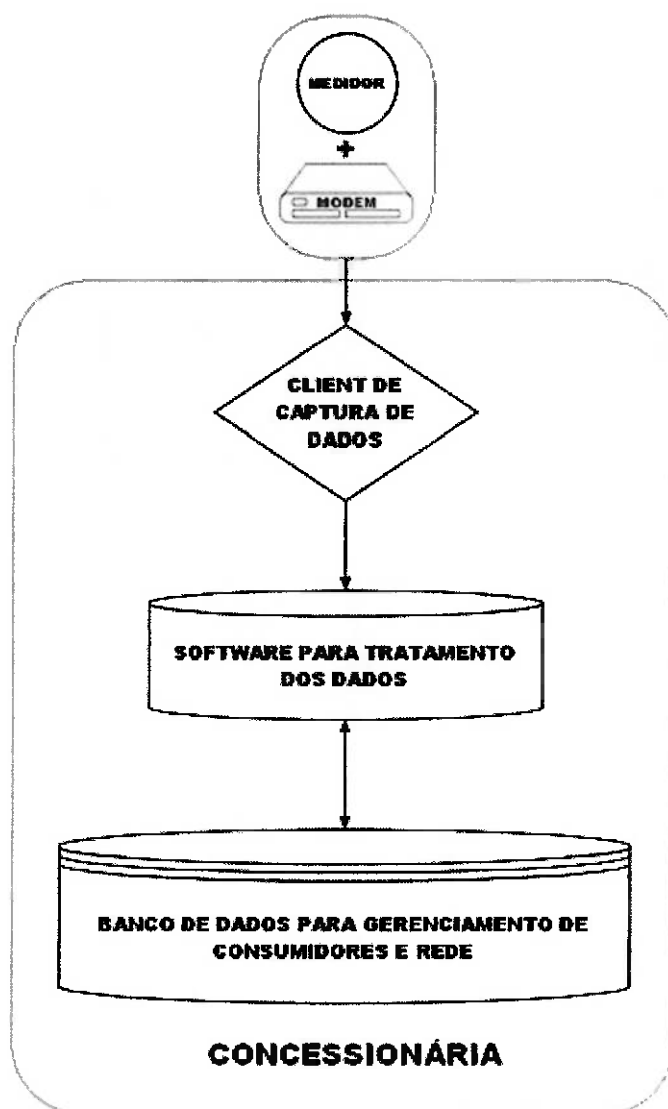


O medidor Reason faz as medições de: harmônicas de tensão e corrente até 50ª ordem; distorção harmônica total (DHT) de tensão e corrente; fasores de tensão e corrente; valor eficaz (RMS) de tensão e corrente; desequilíbrio de tensão e corrente; frequência; flutuação de tensão (flicker); potência ativa, reativa e aparente; fator de potência e fator de deslocamento por fase; potências harmônicas; potência de distorção harmônica, e armazena em uma memória de massa que pode ser acessada via rede através de um servidor de FTP (File transfer protocol).

Os arquivos de medição são disponibilizadas no servidor de FTP no formato .CSV separado em pastas: IRMS, VRMS, FASOR V, FASOR V,

HARMONICO I, HARMONICO V, FREQUENCIA, DISTORÇÃO HARMONICA V, DISTORÇÃO HARMONICA V, POTENCIA E DESEQUILIBRIO V.

A captura dos arquivos de medição é feita conforme o fluxograma a seguir:

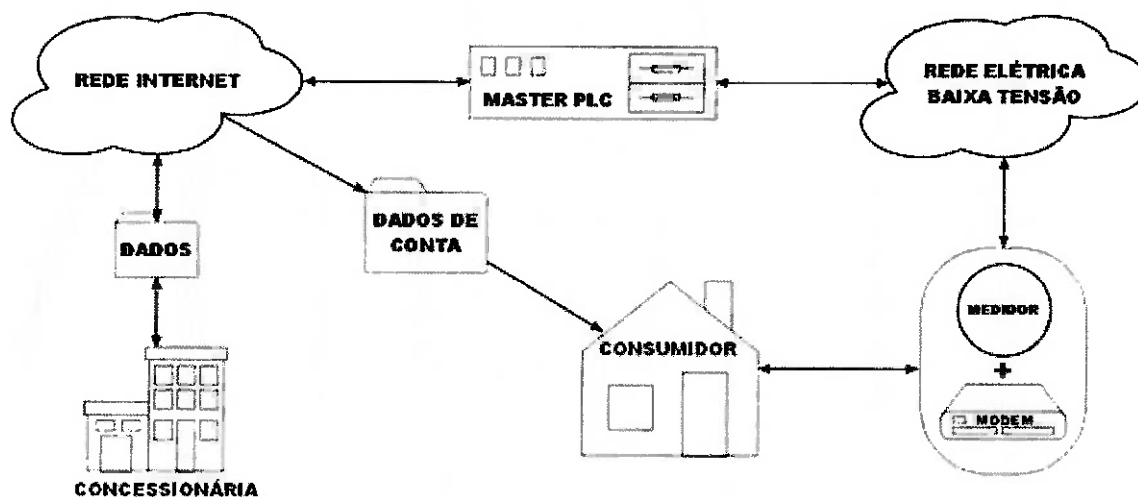


Neste trabalho o medidor Reason e o modem PLC juntos representam um medidor de energia com modem PLC interno para medição remota.

Desta forma o Software de tratamento de dados possui um Clint que acessa periodicamente a memória de massa dos medidores.

Estes arquivos capturados são tratados e enviados para um banco de dados central que armazena as medições dos consumidores.

O fluxograma abaixo representa de forma clara o fluxo de dados na rede PLC:



Através da rede PLC ligada a Internet a concessionária tem acesso a todas as informações dos medidores. Através do Client a captura dos dados é feita para o banco de dados da concessionária.

Com os arquivos disponíveis no banco de dados da concessionária o software de gerenciamento da rede pode tratar estas informações e disponibilizar aos consumidores e administradores de rede.

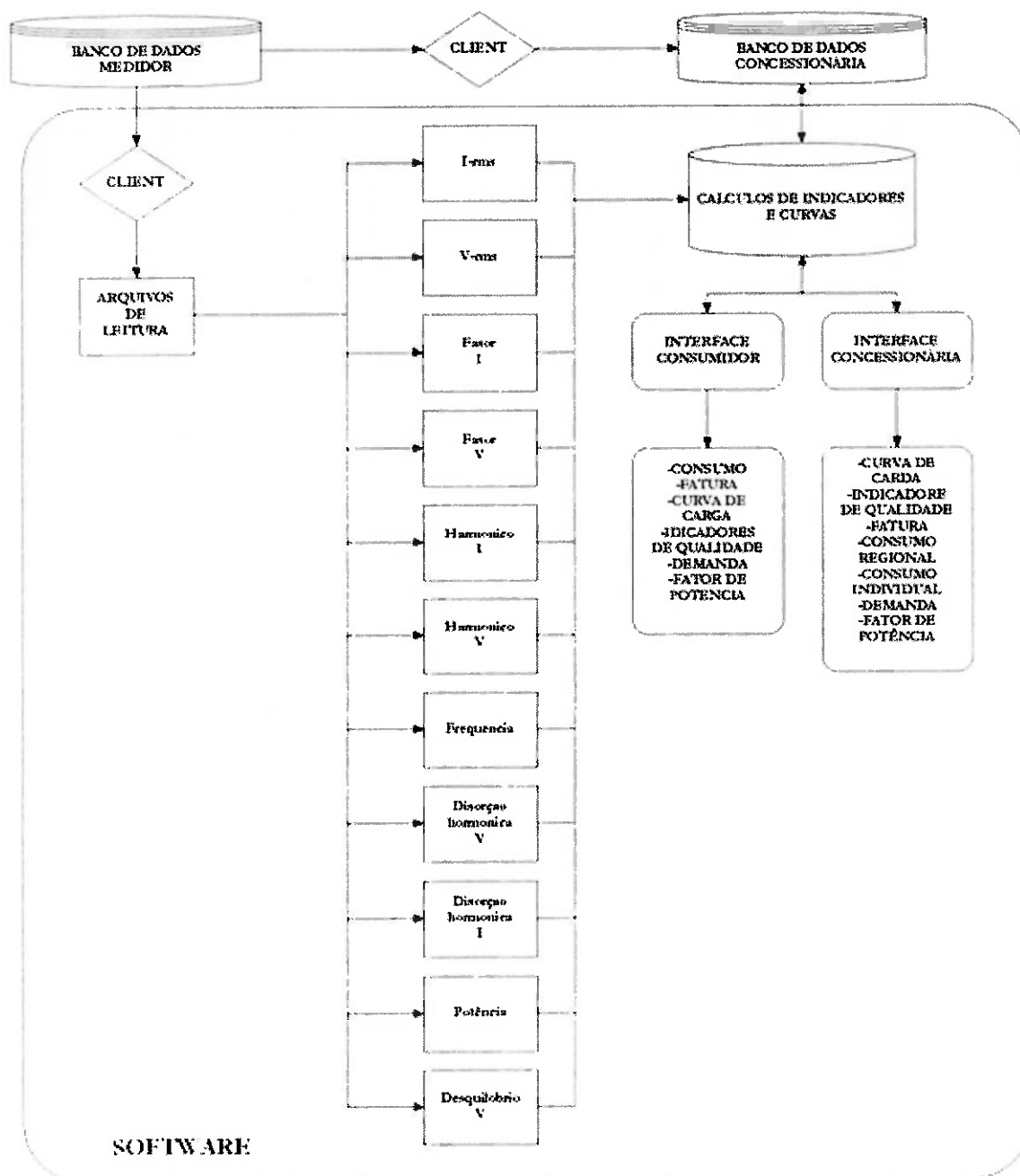
Com os arquivos .CSV disponíveis no banco de dados da concessionária podemos implementar funcionalidades conforme as informações disponíveis.

As informações tratadas pelo Software podem ser utilizadas tanto pela concessionária para gerenciamento da rede, faturamento, controle de indicadores de qualidade, consumo, demanda, faturamento, dentre muitas outras ferramentas.

Esta informações também podem ser utilizadas pelo lado do cliente. A concessionária poderá disponibilizar na mesma rede, via PLC ou internet as informações de consumo, qualidade, custo da energia, consumo em patamares, tarifas, entre outras, permitindo ao consumidor final um controle do seu consumo.

Estas informações disponíveis para o consumidor permitem a implementação de políticas de incentivo ao consumo de energia consciente beneficiando a concessionárias.

O fluxograma abaixo descreve claramente o funcionamento do software como um todo:



O software é alimentado via Client com arquivos .CSV conforme listados no fluxograma.

O software realiza os cálculos e disponibiliza duas interfaces de visualização uma para a concessionária e outra para o consumidor final.

A interface dos consumidores disponibilizam as seguintes informações: Consumo, fatura, curva de carga, indicadores de qualidade, demanda e fator de potencia.

O interface da concessionária disponibiliza além de todos os arquivos de medição ela apresenta: Curva de carga, indicadores de qualidade, fator de potencia, fatura, consumo regional, demanda, consumo individual, fator de potencia.

Estas são apenas algumas das funcionalidades que a aplicação da tecnologia PLC em redes elétricas inteligentes proporcionam.

Este modelo proporciona um infinito leque de funcionalidades que podem se desenvolver a partir das medições fornecidas pelo medidor.

8.3 Funcionalidades

O objetivo do projeto foi simular as possíveis funcionalidades que poderão se aplicadas futuramente através da tecnologia PLC aplicada à medição de energia elétrica.

Foi possível concluir que a tecnologia PLC permite o tráfego de dados entre medidores e concessionária facilmente o que nos permite um leque muito grande de funcionalidades a serem aplicadas.

Neste projeto utilizamos um medidor de qualidade de energia que nos forneceu muitos parâmetros e com isso conseguimos testar várias funcionalidades conforme descrito no item anterior.

8.4 Software

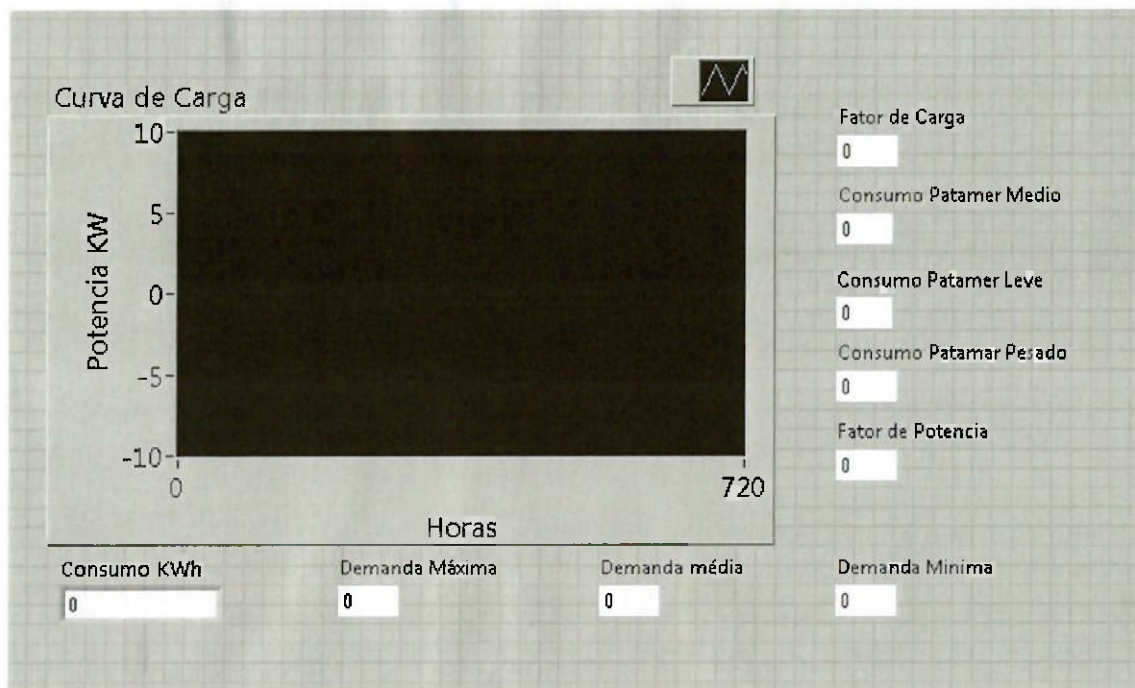
O objetivo deste projeto não foi o desenvolvimento de um software com todas as funcionalidades possíveis de serem aplicadas, mas sim a criação de um ambiente de testes que simule o gerenciamento da medição em consumidores remotamente.

Para o desenvolvimento deste projeto foi desenvolvido um ambiente de testes no laboratório Enerq e desenvolvido um software com algumas funcionalidades para simular a aquisição e tratamento dos dados de medição fornecidos pelo medidor de energia.

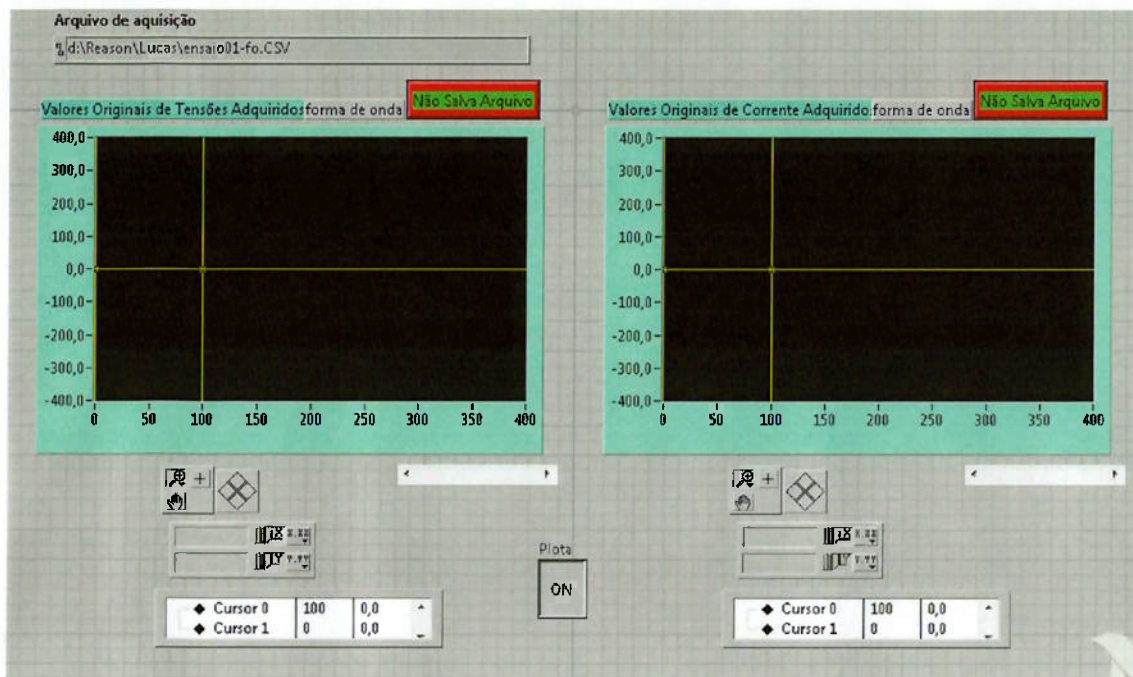
Para estes testes foi utilizado alguns pequenos software que utilizando os arquivos .CSV de medição calcularam alguns parâmetros relevantes para a concessionária.

A aplicação deste softwares no ambiente de testes permitiu uma análise das limitações e possíveis áreas a serem desenvolvidas.

A seguir seguem algumas imagem dos Softwares desenvolvidos para testes.



Software: Calculo de Curva de Carga



Software: Tensão e Corrente

Todos os softwares utilizados estão disponíveis em CD juntamente com o projeto.

9.0 CONCLUSÃO

Através deste projeto foi possível identificar as limitações e benefícios da tecnologia PLC aplicada como meio de comunicação para redes elétricas inteligentes.

O maior limitação da tecnologia PLC que foi identificada é a curta distancia de atuação, aproximadamente 400m, de uma Master PLC. Porém, mesmo com esta curta distancia de atuação a tecnologia é vantajosa pois é de fácil implementação uma vez que não necessitamos de alterações da rede elétrica.

A comunicação entre Medidor e concessionária se deu de maneira rápida e eficiente, provando que a utilização de rede PLC para a medição de consumidores é viável.

Durante o período de medição foram identificadas algumas dificuldades de comunicação entre “Concessionária” e medidor. Isso ocorreu pois alguns ensaios de qualidade de energia estavam sendo realizados no laboratório, o que gerou uma grande interferência no sinal PLC.

Com isso foi concluído que a tecnologia PLC é sensível a ruídos na rede elétrica. Porém esta sensibilidade da rede PLC não inviabiliza a aplicação em redes elétricas inteligentes uma vez que não é necessário uma rede on-line e sim uma rede que permita medições remotas e periódicas.

Após esta etapa foi possível confirmar a viabilidade da utilização da tecnologia PLC em redes elétricas inteligentes.

Através do software de aquisição de dados foi possível concluir que a rede PLC fornece um meio simples e rápido para a transferência de arquivos entre medidores e concessionária.

A transmissão dos arquivos ocorreu de maneira segura e rápida , não havendo corrompimento de arquivos devido a interferências externas a rede.

A transmissão dos arquivos remotamente permitiu um acesso rápido das informações, pelo lado da concessionária, o que permitiu a aplicação de funcionalidades e um melhor gerenciamento dos consumidores devido a proximidades das informações.

A aplicação desta tecnologia permite uma ampliação das funcionalidades o que gera um gerenciamento da rede e dos consumidores de forma mais eficiente.

Além dos benefícios no gerenciamento dos consumidores, esta tecnologia permite a redução de custos e perdas técnicas pela concessionária, confirmando as informações descritas no trabalho.

Com este trabalho foi possível concluir que a o conceito de Smart Grid associado com a tecnologia PLC amplia gera inúmeros benefícios aos consumidores e concessionária.

Vejo a associação ente este conceito e esta tecnologia de transmissão de dados como uma das possíveis inovações tecnológicas para o futuro. Com o desenvolvimento das tecnologias e desenvolvimento de funcionalidades cada vez mais veremos a sua aplicação.

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] KAGAN, N. ; ROBBA, e J ; OLIVEIRA, C C B .
Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. 1.
Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. V. 1.

- [2] Resolução 375/2009 ANEEL

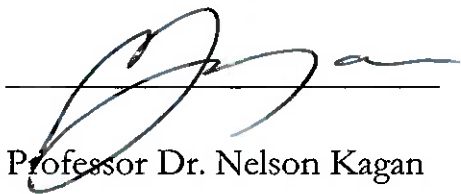
- [3] KAGAN, N. ; ROBBA, E J ; SCHMIDT, Hernán Prieto
. Estimación de Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica. 1.
Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. V. 1. 230 p.

- [4] Manual do fabricante, medidor de qualidade de energia
REASON RQE-III

- [5] Manual do fabricante, modem PLCLINK MITSUBISHI
ELECTRIC, CPE-AM10-20250

- [6] JOHNSON, GARY. LabVIEW Power programming
McGraw-Hill, 1998 V.1

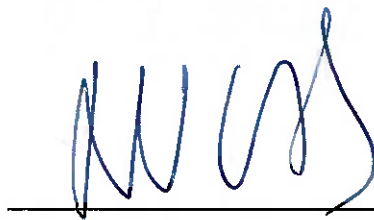
De Acordo



Handwritten signature of Professor Dr. Nelson Kagan in blue ink, written over a horizontal line.

Professor Dr. Nelson Kagan

(Orientador)



Handwritten signature of Lucas Torres Witzler in blue ink, written over a horizontal line.

Lucas Torres Witzler

(Aluno)