



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Sistema de Leitura Automática de Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica para o Meio Rural

Michael Santos Duarte	Osmênio dos Santos Bráz	Manoel B. da Cunha Moraes
IFCE	IFCE	IFCE
mikmetal@hotmail.com	osmenio@hotmail.com	manoelmores@ifce.edu.br

Pedro Klécio F. Cardoso	Juliana Duarte Ferreira	Monique Cruz de F. da Paz
IFCE	CEMAR	CEMAR
pedro.klecius@ifce.edu.br	juliana.ferreira@cemar-ma.com.br	monique.freitas@cemar-ma.com.br

Palavras-chave

Integração de tecnologias de comunicação

Leitura automática de medidores

Medidores eletrônicos

Meio rural

Telemedicação

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor um sistema utilizando vários meios físicos de comunicação para a realização da medição remota e tarifação diferenciada de energia elétrica para consumidores em meio rural alimentados em baixa e média tensão - Grupos B e C respectivamente. Isso é feito através de um controle da comunicação e obtenção de dados dos medidores de energia elétrica. A arquitetura do sistema é dividida em três elementos principais: os terminais, instalados junto ao medidor do consumidor, o concentrador, instalado em um ponto estratégico, é responsável pela comunicação com os terminais e envio das informações a um servidor localizado na central da concessionária, que é o terceiro elemento da arquitetura. No trabalho foram abordados aspectos como a viabilidade técnica, vantagens e desvantagens da arquitetura. Este trabalho proporcionou também um estudo de novos algoritmos para roteamento das informações e para comunicação remota com medidores.

1. INTRODUÇÃO

Levar energia elétrica para a população do meio rural promove o desenvolvimento social e econômico destas comunidades contribuindo para a redução da pobreza e da fome. Na rede da concessionária CEMAR (Companhia Energética do Maranhão) [1] mais de 400.000 clientes estão em meios rurais. O programa “Luz para todos” aumentará mais esse número, pois até o final de 2010 mais clientes rurais serão atendidos. A tabela 1 apresenta alguns números referentes às obras de energização em alguns municípios do estado do Maranhão beneficiados pelo programa “Luz para todos” [2].

Tabela 1. Panorama dos consumidores energizados pela CEMAR.

MUNICÍPIO	CONSUMIDORES ENERGIZADOS
Açailândia	1935
Bacabal	1593
Barra do Corda	2297
Codó	4454
Grajaú	2563
Santa Luzia	3156

Entretanto isso não é uma tarefa muito simples. Não somente pela dificuldade em chegar com a energia ao local, devido à distância, mas pela dificuldade e demora em realizar as leituras de consumo que possibilitam efetuar as devidas cobranças pela utilização dessa energia. Torna-se, pois muito complexa a operação normal de coleta dos dados de consumo geradores das faturas de energia.

A partir desse problema tão comum entre as concessionárias de energia, foi desenvolvido um sistema que pretende tornar mais fácil e ágil o processo de leitura de medidores, através do acesso à distância aos dados de consumo dos clientes da concessionária (AMR – *Automatic Meter Reading*) [3][4] localizados em zona rural. O sistema obtém os dados de consumo comunicando-se, através de um *hardware* próprio, com o medidor já instalado nos clientes e transmitindo esses dados a um servidor instalado na concessionária. Para que isso seja possível, são utilizadas soluções de telecomunicações integrando as tecnologias PLC (*Power Line Communication*), RF (Rádio Freqüência), Ethernet e GPRS (*General Packet Radio Service*).

Este trabalho apresenta o sistema desenvolvido que permite a comunicação com medidores de energia elétrica, da planta de uma concessionária de energia, localizados em regiões rurais. O sistema permite que a partir de um ponto centralizado da concessionária, seja possível obter remotamente os dados de consumo dos medidores de energia. O sistema foi objeto de um projeto P&D da CEMAR e desenvolvido pelo IFCE (Instituto Tecnológico Federal do Ceará)

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na parte 1 é feita uma introdução; na parte 2 são descritas as tecnologias aplicáveis ao sistema de medição remota; na parte 3 é descrito o desenvolvimento da solução e arquitetura do sistema; na parte 4 são apresentados os detalhes da implementação do sistema; na parte 5 são mostrados a implantação do projeto piloto e os resultados alcançados; por último são discutidas as conclusões do trabalho.

2. TECNOLOGIAS

Existem no mercado diversas tecnologias que permitem a comunicação à distância entre equipamentos, entre as quais a tecnologia PLC (*Power Line Communication*), RF (Rádio Freqüência), GPRS e Ethernet. Essas tecnologias são descritas a seguir.

2.1 GPRS

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM (*Global System for Mobile Communications*) existentes. Esta permite o transporte de dados por pacotes (comutação por pacotes). Sendo assim, o GPRS oferece uma taxa de transferência de dados muito mais elevada que as taxas de transferência das tecnologias anteriores, que usavam comutação por circuito. A tecnologia GPRS é freqüentemente chamada de tecnologia 2.5G porque representa a primeira etapa que uma operadora GSM empreende quando inicia a transição à terceira geração (3G) dos sistemas de comunicação móveis [5].

O GPRS possui como vantagem principal a grande infra-estrutura da operadora da rede de telefonia, mas possui desvantagens como custo e cobertura pequena e inconstante no meio rural.

2.2 PLC

PLC é um sistema de telecomunicações que utiliza como meio de transporte a rede elétrica de distribuição de energia. A tecnologia PLC (*Power Line Communication*) permite a comunicação de dados sobre a rede elétrica – de baixa, média e alta tensão – e tem como vantagem a utilização dos meios físicos já existentes.

A idéia de se transmitir sinais por linhas de potência remete ao início do século XX, onde as redes elétricas eram utilizadas pelas empresas de energia elétrica para suportar serviços de telecomunicações de uso interno. Exemplo desta utilização é a transmissão de voz em linhas de alta tensão, permitindo a comunicação entre pessoas situadas nas usinas geradoras e nas diversas subestações [6].

Para a comunicação utilizando PLC, cada usuário deve ter um modem PLC. Os transformadores de energia bloqueiam alguns sinais PLC necessitando de uma ponte para atravessar-lo. Algumas aplicações PLC utilizam frequências abaixo de 60 Hz, permitindo que os sinais passem pelos transformadores. No entanto, esses sinais transmitem dados a baixas velocidades, uma das complicações técnicas que tornam esta opção desvantajosa.

Os fatores responsáveis pela baixa capacidade de transmissão de dados são as variações de impedância, os altos níveis de ruído provocados pelo chaveamento e os sinais indutores. Esta degradação na taxa de transmissão causada por ruídos elevados, muitas vezes restringe a aplicabilidade da tecnologia. Outras questões ainda exigem melhores soluções como compatibilidade eletromagnética, falta de padronização e melhores políticas regulatórias [7].

2.3 RF

A tecnologia RF (Rádio Frequência) baseia-se no envio de dados através de ondas de rádio. As frequências utilizadas no mundo são controladas pela UIT (União Internacional de Telecomunicações) e no Brasil pela ANATEL [8]. O espectro de frequência é dividido em faixas onde cada faixa possui características bem definidas. Uma faixa particularmente importante é a faixa livre ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), por exemplo, as faixas de 2,4GHz e 915MHz.

O alcance de uma comunicação por RF pode variar dependendo da intensidade do sinal do módulo transmissor e possui um custo baixo se comparado com outras tecnologias. Entretanto, a questão da homologação e certificação dos rádios junto à agência reguladora é problemática.

2.4 ETHERNET

A Ethernet é uma das tecnologias mais utilizadas atualmente, sendo sua popularidade mais relacionada ao custo de fabricação da porta do que com quaisquer vantagens práticas. Existem tecnologias mais rápidas e mais seguras capazes de se comunicar a distâncias maiores, mas nenhuma é mais barata que a Ethernet [9].

Muitas empresas, incluindo as áreas de distribuição e industriais, objetivam modernizar os sistemas de proteção e automação de suas instalações elétricas, em vista das muitas vantagens oferecidas pelos sistemas digitalizados modernos. Por esta razão, pretendem dotar suas instalações de um conjunto de funções de automação e controle que facilitem as tarefas de operação e manutenção [10]. Tal afirmação demonstra que é uma tendência das concessionárias de distribuição de energia elétrica dotar suas subestações de um acesso a rede interna da concessionária (Intranet).

3. SOLUÇÃO TECNOLÓGICA

A solução proposta para automatizar a medição de energia elétrica na zona rural baseia-se em um sistema capaz de integrar as várias tecnologias de comunicação à distância.

O sistema é composto por três elementos: um terminal para aquisição dos dados dos medidores de energia elétrica; um concentrador responsável pelo envio das informações recebidas dos terminais para

o centro de operação da concessionária; um servidor que armazena as informações em um banco de dados e as disponibiliza através de um aplicativo de interface com o usuário.

Duas tecnologias de comunicação à distância são utilizadas entre os terminais: a comunicação via PLC e comunicação via RF. A tecnologia via PLC utiliza a rede elétrica como meio de transporte das informações sendo ideal para clientes de baixa tensão (Grupo B) devido o baixo custo e a alta velocidade na transmissão dos dados. Entretanto, a utilização dessa tecnologia esbarra na dificuldade de comunicação em redes de média e alta tensão, já que os equipamentos para utilização nessas redes possuem um custo altamente proibitivo, além da necessidade de instalação de equipamentos acopladores nos transformadores de linha da concessionária.

A tecnologia RF utiliza transmissores de rádio frequência com camadas de protocolo *point-to-multipoint* (Topologia *Mesh*) de forma a permitir que se faça a difusão de mensagens entre os diversos transmissores. Os transmissores formam então uma rede capaz de transmitir a informação da fonte ao destino utilizando os transmissores intermediários como retransmissores. Com isso será possível atingir uma grande área de cobertura dando ênfase à baixa potência de operação.

Os terminais de aquisição de dados dos medidores de energia de baixa tensão formam pequenas redes e se comunicam entre si utilizando tecnologia PLC. Os terminais de aquisição dos medidores de média tensão formam uma rede que utiliza a tecnologia RF para se comunicarem entre si. Ambas as redes se comunicam com o concentrador através de uma conexão de rádio frequência. Para as redes PLC isso é conseguido através de um terminal RF localizado nos extremos da rede.

O concentrador de dados das redes se comunica com o centro de operação da concessionária através da Internet ou Intranet utilizando uma interface Ethernet ou GPRS. O concentrador disponibiliza os dados ao servidor e também “hospeda” uma interface de acesso ao usuário permitindo o acesso online aos dados de consumo dos medidores de energia elétrica. A comunicação entre os terminais e o concentrador é feita exclusivamente via rádio. O servidor da concessionária acessa o concentrador de forma a adquirir informações periodicamente dos medidores.

A arquitetura da solução é apresentada na Figura 1 e os tipos de terminais utilizados nesta arquitetura são descritos a seguir.

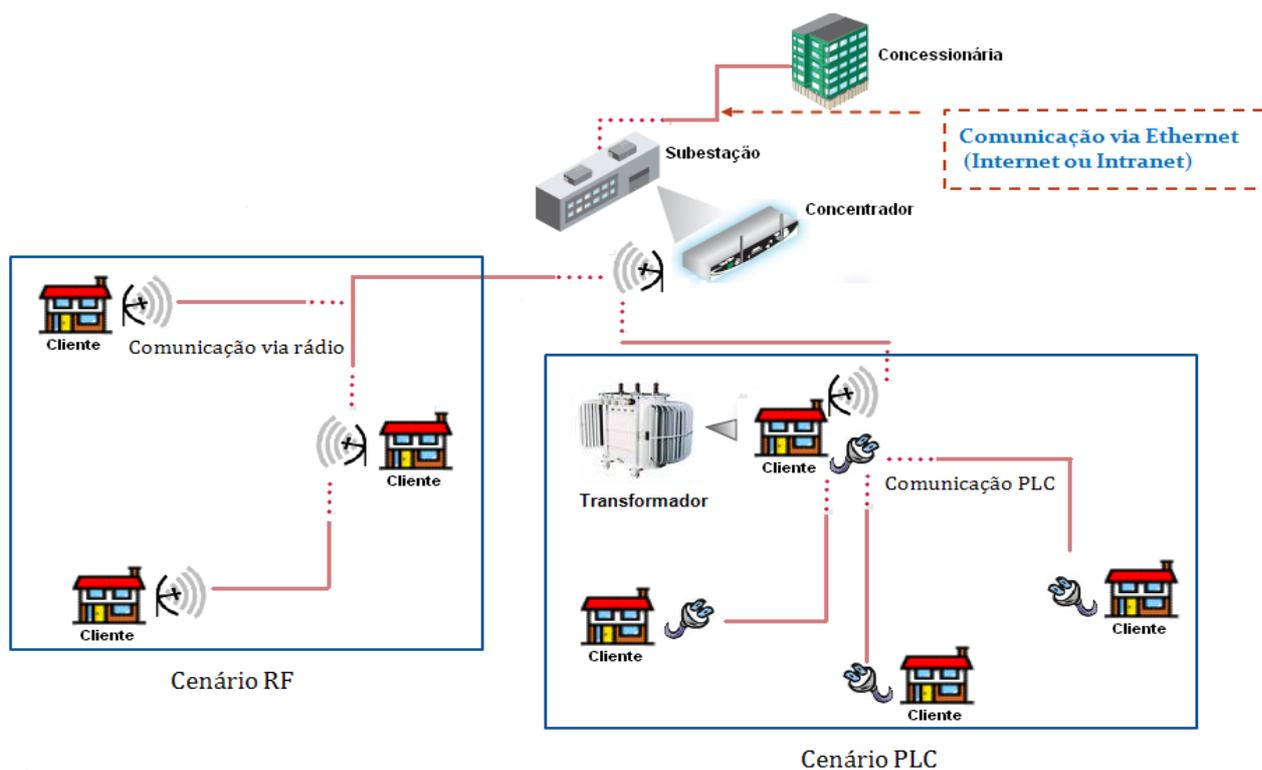


Figura 1. Arquitetura do sistema

3.1 TERMINAL RF

Este terminal utiliza a tecnologia RF atrelada a um conjunto de especificações para a comunicação sem-fio entre dispositivos eletrônicos com ênfase no baixo custo de implantação e baixa potência de operação. Este terminal é ideal para clientes mais isolados no meio rural e que não estejam acima do alcance do rádio (potência e sensibilidade) de outro cliente (ponto de repetição) ou do concentrador. A Figura 2 apresenta o cenário de utilização deste tipo de terminal.

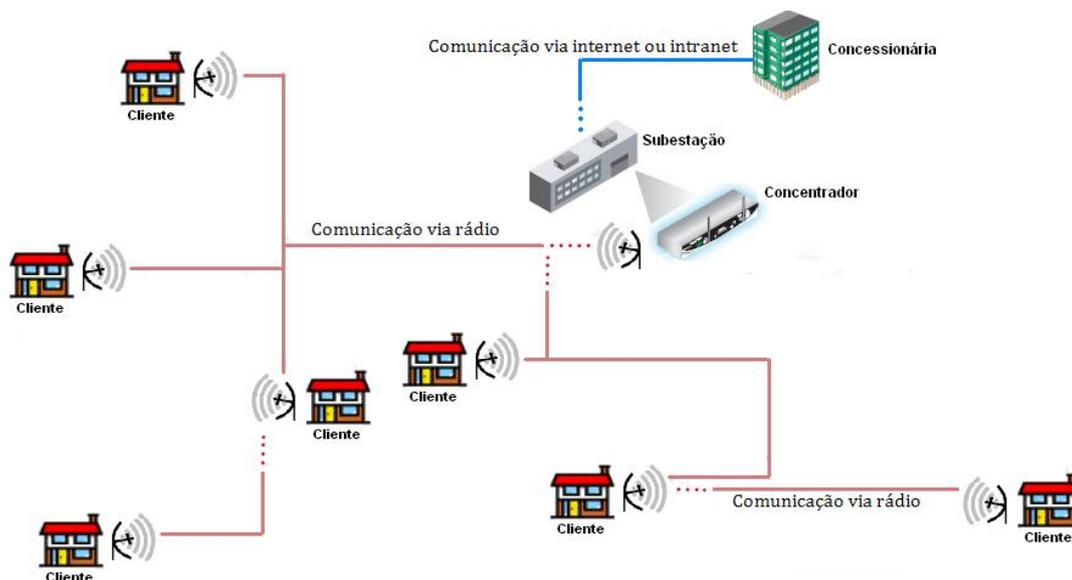


Figura 2. Comunicação ponto-multiponto entre os terminais via rádio.

3.2 TERMINAL PLC

Este terminal utiliza a tecnologia PLC (*Power Line Communications*) sendo ideal para medição de clientes de baixa tensão (Grupo B) devido ao baixo custo de implementação com alta taxa de transmissão de dados. Os terminais que utilizam esta tecnologia têm como limitador os transformadores de linha da concessionária, sendo assim é utilizado um terminal misto (Terminal MIX) para concentrar os dados e mandá-los a concessionária, funcionando como um mini-concentrador, conforme pode ser visto na Figura 3.

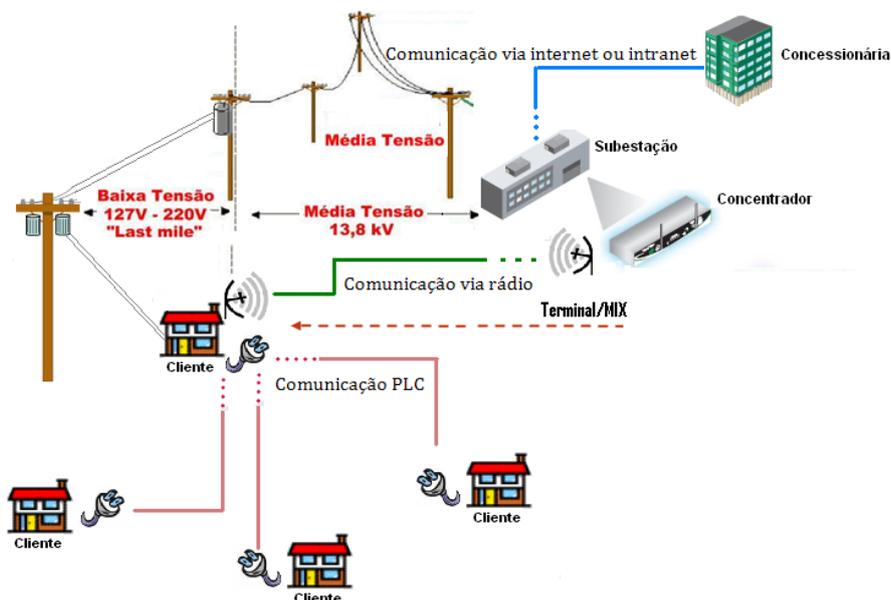


Figura 3. Comunicação utilizando PLC.

3.3 TERMINAL MIX

O Terminal/MIX utiliza as duas tecnologias, rádio e PLC e pode ser visto no centro da Figura 3. Este terminal funciona como nó de repetição da rede formada pelos terminais PLC e além de repetir os dados desta rede também pode repetir o dado que proveniente de outro rádio.

4. IMPLEMENTAÇÃO

4.1 TERMINAL

O terminal é responsável pela comunicação com o medidor de energia elétrica para a leitura e programação de dados. Ele se comunica através da porta óptica dos medidores eletrônicos de acordo com a norma NBR 14522 [11]. A norma define o padrão de intercâmbio de sistemas de medições de energia elétrica, de forma a alcançar a compatibilidade entre sistemas e equipamentos de medição de energia elétrica de diferentes procedências. Dentre as diversas funcionalidades executadas pelo terminal, tem-se:

- Leitura a qualquer instante dos contadores internos do medidor, de forma instantânea ou periódica;
- Execução de agendamentos, local ou remotamente (Telemedição);
- Comunicação via RF ou PLC com outros equipamentos do sistema;
- Sistema de controle de mensagens via *software* para garantir integridade das mensagens.

O diagrama mostrado na Figura 4 representa o fluxo da programação do terminal referente às suas ações quando recebe uma solicitação. Ao receber um pacote contendo uma solicitação o terminal verifica se ele é o destino do pacote (destino local), caso seja segue-se o fluxo de tratamento.

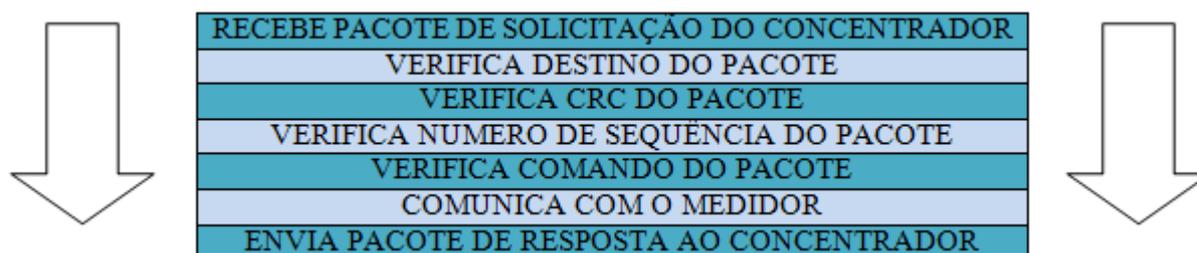


Figura 4. Fluxo de dados do terminal.

No caso em que o destino do pacote não é local o terminal verifica se deve retransmitir este pacote. A retransmissão tem como função maximizar o alcance da rede e também, como no caso do Terminal MIX, mudar o meio físico de transmissão do pacote permitindo que o pacote chegue ao seu destino final.

A retransmissão é realizada através de uma tabela de roteamento onde cada terminal possui uma tabela que contém a origem do pacote, o destino e o meio de transmissão (Figura 5). Ao verificar que um pacote recebido possui sua origem e destino na tabela o terminal altera o endereço de origem no pacote que passa a ser o seu endereço e retransmite o pacote utilizando PLC ou RF, isso continua a se repetir na rede até o pacote chegar ao seu destino final.

ORIGEM	DESTINO	MEIO DE TRANSMISSÃO	NÚMERO DE SEQUÊNCIADO ULTIMO PACOTE RETRANSMITIDO
ENDEREÇOS		TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO (RF OU PLC)	NÚMERO DA ULTIMA MENSAGEM RETRANSMITIDA

Figura 5. Estrutura da tabela de roteamento.

Para realizar o controle de fluxo dos dados de forma a evitar congestionamentos e ecos todo pacote possui um número de seqüência, de forma a identificar a mensagem. Por exemplo, se um terminal

recebe um número de seqüência repetido da mesma origem para o mesmo destino ele descarta este pacote.

4.2 CONCENTRADOR

O concentrador se comunica com todos os terminais via rádio e utiliza a Intranet ou Internet para se comunicar com a concessionária. Para se conectar a rede da concessionária o concentrador pode utilizar a tecnologia Ethernet a qual já possui uma infra-estrutura instalada em boa parte da concessionária dada à utilização de sistemas como o SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) em subestações, ou utilizar a tecnologia GPRS que utiliza a infra-estrutura das empresas de telefonia celular e permite conexão a Internet.

O concentrador possui funcionalidades tais como:

- Solicitação de leitura a qualquer instante dos contadores de qualquer terminal na rede;
- Configuração de qualquer terminal;
- Sistema de arquivos para armazenamento de dados;
- Sistema de controle de mensagens via *software* para garantir integridade das mensagens.

O diagrama mostrado na Figura 6 representa um fluxo da programação do concentrador referente às suas ações quando recebe uma solicitação do usuário. Ao concentrador cabe montar o pacote conforme o protocolo de comunicação entre os equipamentos do sistema de telemedição, gerenciando o trafega e enviando as respostas ao usuário. O concentrador é o responsável por gerar o número de seqüência dos pacotes transmitidos e a tabela de roteamento de cada terminal.

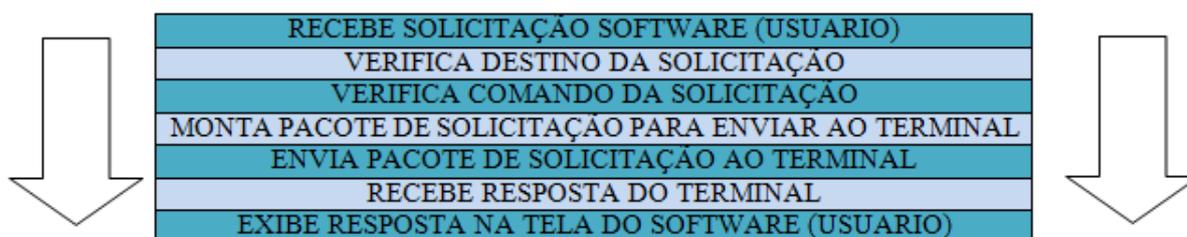


Figura 6. Fluxo de dados do concentrador.

4.3 SERVIDOR

A Figura 7 apresenta o servidor do sistema.



Figura 7. Características do *software*.

O servidor possui um *software* que utilizando o protocolo HTTP para comunicação com os concentradores com a finalidade de receber e armazenar os dados em um banco de dados. Funciona como um servidor WEB, gerenciando um “*site*” dinâmico que fornece informações para *browsers* comuns por meio de páginas feitas em HTML.

As informações fornecidas são enviadas por concentradores de dados, que capturam as informações dos medidores através dos terminais e as enviam ao servidor. Os dados recebidos pelo servidor são armazenados em um banco de dados desenvolvido em Oracle, e ficam disponíveis à concessionária, atendendo aos padrões existentes da ABNT/CODI. Sendo assim o objetivo principal do servidor será monitorar, gerenciar e armazenar os dados dos medidores para atender as necessidades dos clientes e da concessionária, aperfeiçoando ao máximo o processo de leitura dos medidores e atribuindo ao sistema diversas funcionalidades

5. PROJETO PILOTO

Este tópico apresenta o projeto piloto, descrevendo o ambiente de testes e os resultados obtidos. O ambiente de teste em campo foi escolhido e montado com a colaboração da Companhia de Energia Elétrica do Maranhão, empresa mantenedora do projeto de P&D e responsável pelas instalações dos medidores eletrônicos de energia.

5.1 TERMINAIS

No ambiente de teste, foram instalados terminais de aquisição de dados nos medidores de energia eletrônicos da CEMAR conectados por meio da porta óptica. Esses terminais utilizam a tecnologia PLC e tecnologia RF, conforme mostrado no cenário da Figura 3.

Na Figura 8 é apresentado um dos terminais que utiliza a tecnologia PLC para se comunicar e instalado em um medidor eletrônico do modelo SAGA 1000.



Figura 8. Terminal PLC instalado em medidor eletrônico.

5.2 CONCENTRADOR

Foi instalado na subestação do ambiente de teste o concentrador conectado a um roteador com acesso a Intranet (Figura 9), utilizando a própria infra-estrutura já existente.



Figura 9. Concentrador instalado na subestação da concessionária.

5.3 SOFTWARE

O *software* foi instalado em um servidor da concessionária com conexão a Intranet permitindo ao usuário acessar o concentrador e coletar dados dos medidores através de solicitações de leituras dos medidores aos terminais. A Figura 10 mostra três telas do *software*: a tela principal de inicialização do usuário (Tela 1), a tela que permite a seleção do medidor que deseja realizar a leitura instantânea dos contadores (Tela 2) e a tela onde são exibidos os resultado retornados (o número de série do medidor, data e hora da leitura do medidor e o valor dos contadores internos do medidor de energia em watts).

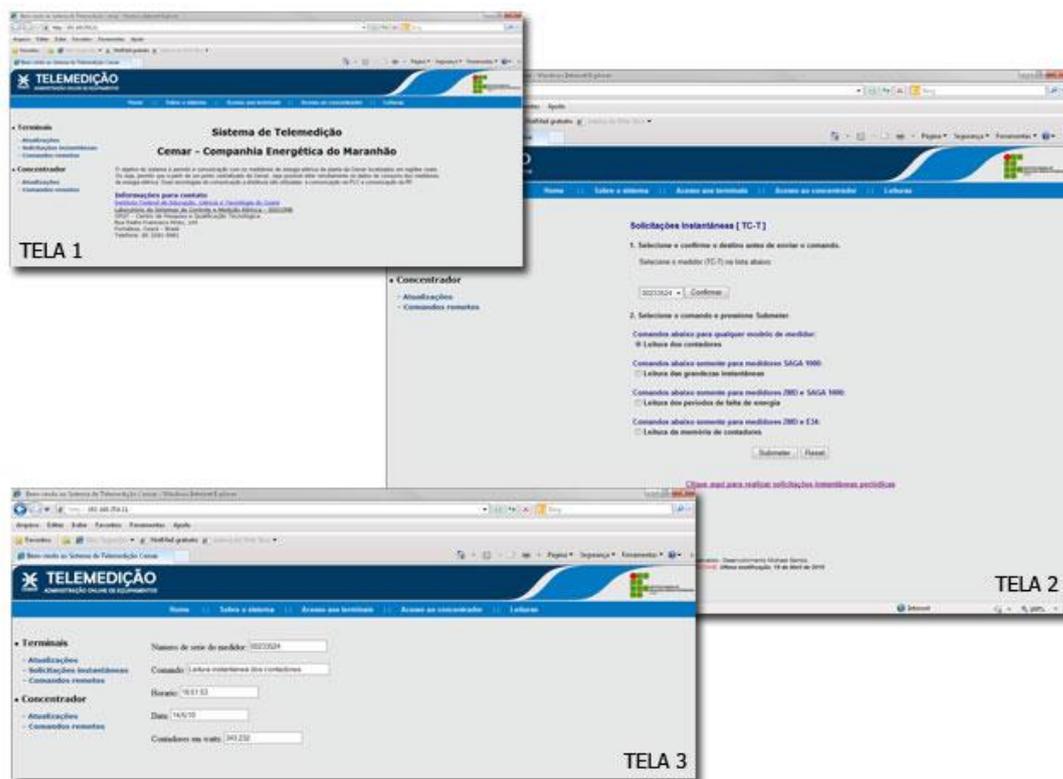


Figura 10. *Software* de acesso do usuário aos equipamentos do sistema.

A tabela 2 apresenta uma estatística do funcionamento de um terminal conectado a um SAGA 1000 e um terminal conectado a um medidor ZMD. A tabela relaciona número de solicitações enviadas, o tempo de resposta e taxa de sucesso das leituras, sendo estas taxas estimadas segundo a disponibilidade de leitura do equipamento.

Tabela 2. Estatística das leituras remotas dos medidores.

MODELO DO MEDIDOR	TIPO DE TERMINAL	QUANTIDADE DE SOLICITAÇÕES ENVIADAS	TEMPO MÉDIO DE RESPOSTA (SEGUNDOS)	TAXA DE SUCESSO NAS RESPOSTAS
SAGA 1000	TC-T / PLC	100	6	100%
ZMD	TC-T / MIX	100	5	98%

A menor taxa de sucesso ocorreu em medidores de modelo ZMD onde a resposta aos comandos compostos utilizados para obter o valor do contador é mais lenta devido ao volume de informações obtidas na resposta. O protocolo do medidor [11] não prevê um tempo estimado de retorno para as mensagens de comando composto, causando um problema na comunicação quando o retorno dessas mensagens toma um tempo muito elevado. No entanto, implementou-se controles adicionais para evitar perda de informação devido à forma como o medidor envia esses dados.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou um sistema desenvolvido para realizar a leitura dos medidores de energia elétrica instalados nas regiões rurais onde a distância e o difícil acesso dificultam a operação de coleta dos dados de consumos de energia.

Mostrou-se a viabilidade técnica do projeto que apresentou resultados em campo satisfatórios. Apenas alguns ajustes nos equipamentos e no software foram necessários, principalmente para adequação nos níveis de sinal entre os terminais e o concentrador.

As respostas dos comandos enviados aos medidores foram obtidas no tempo esperado e com número reduzido de re-envios por motivo de perda de pacotes ou por erros de checagem de bits.

Com os testes realizados foi observado que a combinação das tecnologias apresenta-se como uma excelente solução permitindo que a medição remota seja realizada nas mais adversas situações. A tecnologia PLC apresenta certa limitação com relação ao alcance sendo aplicável somente em pequenos grupos de clientes que são alimentados pelo mesmo transformador. A tecnologia de RF também foi limitada por seu alcance, mas a presença de repetidores na rede minimizou este problema e permitiu a comunicação de forma eficiente entre os terminais e o concentrador.

Foi observado que a velocidade das leituras foi acima do esperado sendo que uma leitura dos contadores do medidor realizada através do aplicativo do usuário na concessionária teve tempo de resposta de apenas seis segundos em média.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEMAR. Companhia Energética do Maranhão. Acesso em: 25 abr. 2010, disponível em: <<http://www.cemar-ma.com.br>>
- [2] MME. Ministério de Minas e Energia: Programa Luz para Todos. Acesso em: 29 abr. 2010, disponível em: <<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>>
- [3] JARVENTAUSTA, Pertti; et. al. *Using Advanced AMR System in Low Voltage Distribution Network Management*. 19th International Conference on Electricity Distribution. Vienna, 2007.
- [4] MAURI, Giuseppe; MIRANDOLA, Piergiorgio. *Suitability of AMR Systems to Provide Demand Control Services for LV and MV Electricity Customers*. 19th International Conference on Electricity Distribution. Turin, 2005.
- [5] TELECO. Inteligência em Telecomunicações. Acesso em: 16 out. 2009, disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgprsaloc/pagina_3.asp>
- [6] HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. *Broadband powerline communications networks: network design*. Londres: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] NAVARRO, Maristela Domeni. *Telemedição de medidores eletrônicos de energia na rede de TV a cabo*. Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- [8] ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Acesso em: 16 out. 2009, disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>
- [9] TITTEL, Ed. *Redes de Computadores*. São Paulo: Bookman, 2003.
- [10] PEREIRA, Allan Cascaes; et. al. *Sistemas de proteção e automação de subestações de distribuição e industriais usando a norma IEC 61850*. XIII ERIAC. Puerto Iguazú, 2009
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14522: Intercâmbio de Informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização. Rio de Janeiro, 2008.