

Sistema para o Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica em Conjunto de Consumidores em Baixa Tensão

U. H. Bezerra, J. N. Garcez, J. A. S. Sena, M. N. Moscoso, J. H. Maciel, K. T. Souza, E. M. Amazonas Fh, A. A. Tupiassú, J. E. Mesquita Jr.

Resumo-- Este trabalho apresenta um sistema de monitoramento da qualidade de energia em rede de distribuição urbana. O sistema consta de um conjunto de unidades monitoradoras, instaladas nas entradas dos consumidores classe B, que avaliam os índices de continuidade individuais DIC, FIC, DMIC; conforme Resolução 024/2000 da ANEEL. Descreve-se também o software responsável pela comunicação entre as unidades monitoradoras, concentradores e Centro de Supervisão da Concessionária, permitindo avaliar os índices de continuidade do conjunto de consumidores, DEC e FEC. O sistema foi testado em projeto piloto da REDE-CELPA com desempenho que satisfaz as exigências da Concessionária e dos órgãos reguladores.

Palavras-chave-- Qualidade de energia – Continuidade de Fornecimento – Comunicação de Dados – Distribuição de Energia – Monitoramento.

I. INTRODUÇÃO

O contrato de concessão de distribuição assinado entre a CELPA – Centrais Elétricas do Pará e a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, durante o processo de privatização desta Concessionária, atribuiu-lhe entre suas cláusulas, responsabilidades com a manutenção ou melhoria do nível de qualidade de fornecimento, quanto aos índices de continuidade e conformidade da tensão, propostos pelos Órgãos Reguladores do país, investindo em pesquisa e desenvolvimento tecnológico visando melhorar a eficácia no uso e na oferta da energia elétrica.

Objetivando promover a automação dos procedimentos de coleta e análise das informações necessárias à determinação dos índices de qualidade de fornecimento, a CELPA assinou um contrato de financiamento de pesquisa com o NESC – Núcleo de Engenharia em Supervisão e Controle de Sistemas de Energia, do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPA, para desenvolvimento de um protótipo de instrumento de monitoramento da qualidade de energia na entrada dos consumidores individuais de classe B, mono, bi e trifásicos, na rede de distribuição secundária, acoplado ao

sistema de medição às claras da concessionária. Consiste de dois subsistemas:

- “Físico”: *hardware* do instrumento de monitoramento de qualidade de energia elétrica, computador, circuitos e enlaces de comunicação;
- “Lógico”: *software* Analisador Q.E., escrito em *assembly* do microcontrolador 68HC11 que controla a operação do instrumento e o **SOFTCOM**, programa desenvolvido em *Visual Basic 5.0*, responsável pela aquisição, tratamento e transmissão remota das informações.

O instrumento desenvolvido no NESC, descrito em [1], tem a finalidade de coletar as informações necessárias para o cálculo dos índices estabelecidos no contrato de concessão de distribuição nº 182/98, entre ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e a REDE-CELPA, e a Resolução 024/2000-ANEEL [2], que visam medir a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. Para medir a qualidade de energia de um conjunto de consumidores, os diversos instrumentos podem ser conectados, formando uma rede que deverá estar interligada a um concentrador secundário. Este, por sua vez, está ligado a um outro concentrador denominado de primário que possui um modem conectado à linha telefônica. A função deste último dispositivo no sistema de monitoramento atual é realizada por um computador. Um segundo computador localizado em um ponto remoto pode estabelecer a comunicação com o concentrador primário utilizando a linha telefônica e obter os dados coletados por todos os instrumentos, efetuando o cálculo dos índices de continuidade de conjunto. Na Fig. 1 é mostrado o diagrama do sistema “físico” de monitoramento de qualidade de energia proposto.

As informações recebidas constituirão ferramentas poderosas para o planejamento, operação e projeto da rede de distribuição.

Este trabalho foi financiado pela concessionária REDE – CELPA através do Programa de P&D do Setor Elétrico.

Os autores U. H. Bezerra, J. N. Garcez, J. A. S. Sena, M. N. Moscoso, J. H. Maciel, K. T. Souza, A. R. Castro, E. M. Amazonas Fh são do NESC – Núcleo de Engenharia em Supervisão e Controle de Sistemas, Belém-PA, Brasil (e-mail: nesc@ufpa.br).

Os autores A. A. Tupiassú, J. E. Mesquita Jr são da CELPA-Centrais Elétricas do Pará, Belém-PA, Brasil (e-mail: procel@redecelpa.com.br).

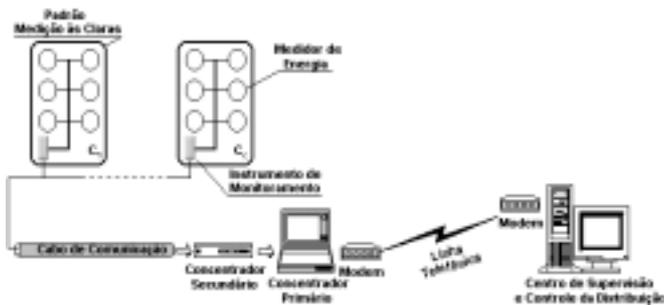


Fig.1. Diagrama físico do sistema de monitoramento de qualidade de energia

O computador do Centro de Supervisão executando o programa *SOFTCOM* poderá, usando um código de identificação único, endereçar mensagens aos diversos instrumentos, os quais deverão enviar mensagens se reconhecerem o seu código de identificação na mensagem enviada pelo programa *SOFTCOM*. Dessa forma, o programa determina quando cada um dos pontos da rede deve transmitir, obtendo as informações sobre os fenômenos relativos a qualidade de energia de cada instrumento separadamente para serem armazenados no computador.

Para efetuar o armazenamento dos dados no disco rígido do computador, o programa *SOFTCOM* utiliza-se da estrutura de banco de dados do *Microsoft Jet*, organizando as informações coletadas pelos instrumentos de acordo com as unidades consumidoras onde estejam instalados.

Pretende-se neste artigo apresentar as principais características do Sistema de Monitoramento de Qualidade de Energia, enfocando aspectos associados sistema de comunicação e ater-se em mais detalhes ao *software* de aquisição e comunicação

II. INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA

O nível da qualidade de energia está essencialmente relacionado à manutenção da tensão de fornecimento próximo às suas condições ideais, implicando que a qualidade de energia elétrica pode ser entendida como qualidade de tensão de fornecimento ao consumidor[3].

Neste sentido, através das portarias e resoluções publicadas por órgãos reguladores, são criados vários indicadores que servirão de representação quantitativa do desempenho de um sistema elétrico agregado a uma concessionária de energia elétrica.

Dentre estes indicadores, 5 (cinco) são redefinidos através da Resolução nº24/2000 da ANEEL, que veio rever, atualizar e consolidar as disposições referentes à continuidade definidas na portaria DNAEE nº046/78, de 17 de abril de 1978. São eles:

- DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)
- DIC (Duração da Interrupção Individual por Unidade Consumidora):
- DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora)
- FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)
- FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora)

III. SOFTWARE DE COMUNICAÇÃO

Nesta seção serão abordados os aspectos funcionais do programa *SoftCom*, desenvolvido através do *software Visual Basic* versão 5.0 (VB5) [4,5]. Na Fig. 2 é mostrada a tela de abertura do programa.



Fig. 2. Tela de Abertura do Programa SoftCom

O objetivo do Programa *SoftCom* é proporcionar a comunicação de dados via linha telefônica entre dois computadores, podendo também executar várias outras funções dentro do sistema de monitoramento da qualidade de energia [6]. A utilização do VB5 no desenvolvimento do programa *SoftCom* é devido às ferramentas de comunicação serial disponíveis na linguagem, facilidades na implementação de programas com aparência gráfica (interface) agradável ao usuário e possibilidade de manipulação de arquivos de banco de dados.

O programa *SoftCom* segue o padrão do Sistema Operacional Windows da Microsoft, disponibilizando o acesso aos comandos do programa na janela principal através de menu ou da barra de ferramenta principal. O mesmo possui duas variações:

- *SoftCom 2.0*: responsável pelo gerenciamento dos instrumentos de monitoramento de qualidade de energia elétrica;
- *SoftCom Central 2.0*: instalada no computador localizado no ponto remoto. Esta variação tem uma quantidade menor de funções, visto que, várias tarefas de gerenciamento não serão necessárias no ponto remoto.

As principais funções do programa são:

- Gerenciamento da rede de instrumentos de monitoramento;
- Tratamento dos dados recebidos dos instrumentos;
- Armazenar os dados coletados dos instrumentos para posterior análise;
- Calcular índices de qualidade de energia;
- Imprimir relatórios;
- Fornecer ao usuário, através dos recursos gráficos do Windows, uma interface “amigável” onde possam ser apresentados os indicadores calculados e os dados armazenados em Banco de Dados;
- Transmissão dos dados armazenados no computador concentrador para o computador localizado no ponto remoto através de linha telefônica.

A topologia adotada no projeto do sistema de monitoramento da qualidade de energia é composta por vários instrumentos, cada um deles ligado a uma única unidade consumidora. Objetivando o compartilhamento do meio de comunicação, os instrumentos são conectados a um dispositivo concentrador através da interface RS-485 a “quatro fios”. Este dispositivo, por sua vez, está ligado ao computador onde está instalado o programa *SoftCom 2.0*, utilizando a mesma interface de comunicação [7].

O programa *SoftCom* é responsável por determinar quando cada um dos nós da rede RS-485 deve iniciar o

monitoramento ou transmitir seus registros. Para se comunicar com um determinado instrumento, o *SoftCom* envia o código do instrumento a todos os nós da rede. Apenas aquele que tiver o mesmo código gravado na memória irá responder.

Usando o menu de comandos ou o botão da barra de ferramentas, o processo de ativação dos instrumentos pode ser executado. Este processo está programado para ser efetuado automaticamente quando o programa *SoftCom* for iniciado.

Depois de inicializados, os instrumentos passam a responder ao envio de seu código com os registros de ocorrências que possuem na memória. O *SoftCom* executa a cada 3 (três) minutos uma busca por novas ocorrências em cada um dos instrumentos. Esta tarefa também pode ser executada através do botão de comando localizado no formulário de ocorrências.

O formato da mensagem enviada pelo instrumento de monitoramento é mostrado na fig.3

Cód. do Instrumento	Dados	Caracteres de final de mensagem
---------------------	-------	---------------------------------

Fig. 3. Formato da mensagem recebida pelo SoftCom

Após receber a mensagem completa, o programa *SoftCom* irá desmembrá-la. O código do instrumento é verificado para garantir que mensagem recebida não tenha sido enviada por um instrumento diferente daquele que foi solicitado. No bloco de Dados encontram-se todas as ocorrências registradas por um determinado instrumento. O *SoftCom* analisa os dois primeiros bytes do bloco de dados para identificar o tipo de ocorrência. Depois, conhecendo o formato da mensagem correspondente, o programa retira a ocorrência do bloco de dados e processa um por um dos seus campos para verificar se estão livres de erros e guardar as informações no banco de dados. Este processo prossegue até que o caractere de final de arquivo seja identificado. Os campos que compõem as mensagens de ocorrências são:

- Duração da ocorrência: contador que informa um valor hexadecimal correspondente à duração da ocorrência em segundos. No programa *SoftCom*, o valor é corrigido e convertido para horas, minutos e segundos;
- Tempo final da ocorrência: contador que informa um valor hexadecimal correspondente ao tempo, em segundos, decorrido entre a inicialização do e o final da ocorrência;
- Indicador de fase: indica qual fase foi afetada pela ocorrência;
- Valor max/min.de tensão RMS: valor, em hexadecimal, utilizado pelo *SoftCom* para o cálculo do valor RMS verdadeiro;
- Número de amostras: número de amostras utilizadas pelo instrumento, para o cálculo do valor RMS verdadeiro;

O *SoftCom* utiliza a estrutura de banco de dados do *Microsoft Jet*, para organizar as informações relacionadas às unidades consumidoras, instrumentos de monitoramento e ocorrências.

Existem dois formulários responsáveis por manipular as tabelas de Unidades Consumidoras e Instrumentos de Medida. Estes formulários executam através de botões de comando as tarefas de inclusão, exclusão e alteração nas informações armazenadas em ambas tabelas. Enquanto as

demais tabelas têm seus registros controlados pelo usuário, a tabela de ocorrências é preenchida pelas informações que chegam dos instrumentos, não sendo permitido ao usuário modificar seus registros.

É necessário observar que o sistema *SoftCom* somente poderá operar de forma correta, se as tabelas de unidades consumidoras e de instrumentos de monitoramento estiverem preenchidas antes do início do monitoramento e deverão ser idênticas as tabelas utilizadas no programa *SoftCom Central*. Com os dados já armazenados, pode-se então obter o valor dos indicadores de qualidade de energia. Visando economizar espaço de armazenamento em disco, estes índices não serão guardados após cálculo, precisando ser recalculados todas as vezes que a tabela de ocorrências for atualizada

O protocolo de transferência de arquivo utilizado para comunicação com o ponto remoto é o *Xmodem*, cujo algoritmo de recebimento e transmissão é ilustrado na fig.4.

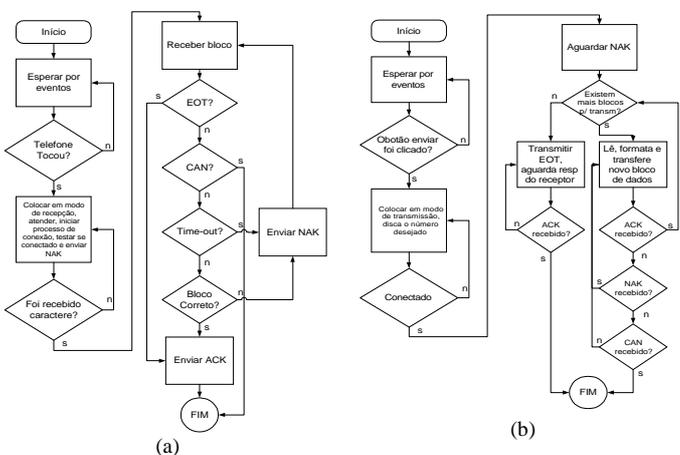


Fig. 4. (a) Algoritmo de recebimento Xmodem do Softcom (b) Algoritmo de transmissão Xmodem do SoftCom

O programa *SoftCom Central* pode a qualquer momento solicitar a tabela de ocorrências via linha telefônica, atualizando os seus registros e zerando os registros do computador concentrador. A comunicação é iniciada pelo computador localizado no ponto remoto, sendo atendida automaticamente no computador centralizador. Este último dará início ao envio da tabela de ocorrências imediatamente após a conexão ter sido estabelecida. Uma vez terminada a transmissão à conexão é encerrada automaticamente.

Os parâmetros de configuração da comunicação através da interface 485 ou através do modem podem ser configurados no menu opções de comunicação.

IV. TESTES E VALIDAÇÕES

A validação do funcionamento do programa *SoftCom*, mediante testes de todas as suas funções básicas foi realizada em laboratório, aproveitando a estrutura de teste do instrumento monitorador.

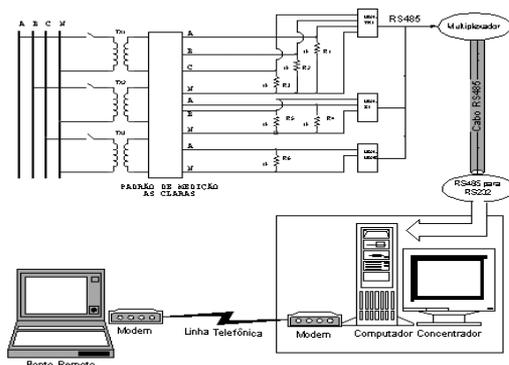


Fig. 5 - Layout completo de teste do sistema

Na Fig. 5 visualiza-se o diagrama completo da montagem de teste do sistema. Os instrumentos foram ligados a um circuito desenvolvido no NESCom, responsável pelo compartilhamento do canal de comunicação com o microcomputador. O canal de comunicação é na verdade um cabo 485 de 100 metros de comprimento, com especificação AFD2Px24AWG. Na outra extremidade do canal de comunicação é utilizado um circuito responsável pela isolamento e conversão da interface RS485 para RS232, também desenvolvido no NESCom, que está ligada ao microcomputador. Este, por sua vez, era dotado de modem ligado a uma linha telefônica.

No microcomputador foi instalado o programa *SoftCom 2.0*, preparado para operar na condição de gerente da rede de dispositivos monitorador. Um outro programa *SoftCom Central 2.0*, que opera como centralizador das informações no ponto remoto, foi instalado no *Notebook* utilizado no teste. O *Notebook* também dispunha de um modem e uma linha telefônica.

O *FLUKE 43* (monofásico), foi instalado em uma das fases do consumidor trifásico para efetuar a monitoramento em paralelo com o monitorador. Os valores obtidos com o *FLUKE 43* são transferidos para o *Notebook* onde gráficos com valores RMS de tensão são mostrados e comparados com os valores enviados ao *SoftCom* pelo instrumento monitorador.

O sistema de monitoramento foi avaliado em projeto piloto com 24 consumidores residenciais, industriais e comerciais; com as unidades monitoradoras expostas ao tempo, conforme mostram as fig. 6(a) e 6(b), com resultados satisfatório até a presente data.

Na Fig. 7 é mostrada a tabela de ocorrências registrando várias violações e interrupções de tensão.



Fig.6. Sistema de monitoramento em projeto piloto

Id	Data	Hora	Tipo	Duração	Fase	Valor
1	13/10/2000	17:38:31	Sobretensão	00:02:01	A	148,95%
2	13/10/2000	17:38:39	Sobretensão	00:02:23	A	148,95%
3	13/10/2000	17:40:14	Sobretensão	00:02:20	A	171,42%
4	13/10/2000	17:53:09	Interrupção	00:02:10	A	0
5	13/10/2000	18:18:31	Sobretensão	00:03:03	A	135,45%
6	13/10/2000	18:19:56	Sobretensão	00:02:30	A	92,40%
7	13/10/2000	18:27:34	Interrupção	00:02:24	A	0
8	13/10/2000	18:28:55	Sobretensão	00:02:04	A	148,95%
9	13/10/2000	18:58:10	Sobretensão	00:04:41	A	148,14%
10	13/10/2000	19:12:36	Sobretensão	00:04:14	A	142,41%

Fig. 7. Registros de ocorrências de tensão.

Indicador	Data	Hora	Tipo	Duração	Fase	Valor
1	13/10/2000	17:38:31	Sobretensão	00:02:01	A	148,95%
2	13/10/2000	17:38:39	Sobretensão	00:02:23	A	148,95%
3	13/10/2000	17:40:14	Sobretensão	00:02:20	A	171,42%
4	13/10/2000	17:53:09	Interrupção	00:02:10	A	0
5	13/10/2000	18:18:31	Sobretensão	00:03:03	A	135,45%
6	13/10/2000	18:19:56	Sobretensão	00:02:30	A	92,40%
7	13/10/2000	18:27:34	Interrupção	00:02:24	A	0
8	13/10/2000	18:28:55	Sobretensão	00:02:04	A	148,95%
9	13/10/2000	18:58:10	Sobretensão	00:04:41	A	148,14%
10	13/10/2000	19:12:36	Sobretensão	00:04:14	A	142,41%

Fig. 8 - Indicadores de qualidade de energia

Com várias ocorrências já cadastradas, os indicadores de qualidade podem ser calculados através das fórmulas descritas. No menu arquivo, o comando de “calcular Índices...” abre o formulário de índices que se encarregou em calcular os índices para as diversas ocorrências cadastradas na tabela de ocorrências. Na Fig. 8 visualiza-se o formulário de cálculo de índices de qualidade.

V. CONCLUSÕES

O *SoftCom* incorporou diversas funções que vão desde o cálculo dos indicadores de qualidade até o gerenciamento de uma rede de unidades monitoradoras, instaladas em diversas unidades consumidoras.

O desempenho destas tarefas foi testado através de simulações experimentais em laboratório, mostrando-se satisfatório.

Apesar de não existirem até o momento regulamentações por parte da ANEEL quanto à conformidade de tensão, o software desenvolvido permite a avaliação das variações sustentadas de tensão bem como a determinação dos níveis de distorção harmônica no nível de tensão da concessionária.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOSCOSO, M. N. A.; et al. Instrumento para Monitoramento da Qualidade da Energia em Redes de Distribuição – Anais do IV SBQEE. Porto Alegre, agosto 2001.
- [2] AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, resolução nº 24, de 27 de Janeiro de 2000
- [3] DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. Electrical Power Systems Quality. Ed. McGraw-Hill. 1996. 260 p.
- [4] Visual Basic 5.0 Programmer's Guide. S. L Microsoft Corporation, 1998.
- [5] BIONDI, R.; ESPINOSA, I. Comunicação de dados para microcomputadores. Rio de Janeiro: Brasport, 1996. 280 p.
- [6] RS-422 and RS-485 Application Note. B&B Electronics: Ottawa. 1997. Disponível na internet. <http://www.bb-elec.com>
- [7] WATRIN, V. R. Desenvolvimento de um software para o gerenciamento e aquisição de dados via microcomputadores. Belém, 1997, 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Curso de Engenharia Elétrica..