

**Sistema Digital de Baixo Custo Para a Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica**

**José Batista \*\***  
jbatista@ipb.pt

**Júlio S. Martins \***  
jmartins@dei.uminho.pt

**João L. Afonso \***  
jla@dei.uminho.pt

\*\* Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus de Sf. Apolónia,  
Apartado 1345301-857 Bragança – Portugal  
(Aluno de Mestrado do DEI-UM)

\* Departamento de Electrónica Industrial  
Universidade do Minho Campus de Azurém  
4800-058 Guimarães – Portugal

**Resumo**

Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para a monitorização da qualidade da energia eléctrica. Utiliza sensores de efeito Hall de tensão e corrente, uma placa de aquisição de dados e um sistema de processamento baseado no *LabVIEW™*, que é executado em um PC. O sistema funciona em aquisição contínua, registando em ficheiro os eventos que resultam da detecção de anomalias nos vários parâmetros relacionados com a qualidade da energia eléctrica. A informação adquirida pode ser visualizada em tabelas e/ou em gráficos e gerar relatórios no formato *HTML (HyperText Markup Language)*. Neste formato, os relatórios, além de poderem ser enviados directamente para a impressora ou ser inseridos noutras aplicações do *Windows*, podem também ser acedidos através da *Web* utilizando um *browser*. Pretende-se ainda evidenciar as potencialidades do sistema desenvolvido, nomeadamente as vantagens da utilização de instrumentação virtual, comparativamente a outras tecnologias, principalmente em relação à flexibilidade, custo e performances no âmbito da monitorização da qualidade da energia eléctrica. Outra vertente diz respeito à possível integração deste monitorizador num sistema de gestão de energia, aproveitando as potencialidades que a plataforma de *software* utilizada possui para criar aplicações associadas à tecnologia *Internet* [1], como por exemplo, implementar acesso remoto a sistemas de aquisição de dados. Assim, este sistema pode fazer aquisição, processamento e análise de dados, emitir alarmes em situações críticas, via *Web*, ou mesmo usar tecnologia sem fio.

**Palavras – Chave:** Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica, Instrumentação Virtual, *LabVIEW™*, Geração Automática de Relatórios *HTML*.

**1. Introdução**

A qualidade da energia eléctrica é, actualmente, um assunto de grande interesse, que envolve tanto as empresas produtoras de energia, quanto os consumidores e fa-

bricantes de equipamentos. Normas internacionais relativas ao consumo de energia eléctrica, tais como IEEE 519, IEC 61000 e EN 50160, limitam o nível de distorção harmónica nas tensões com os quais os sistemas eléctricos podem operar, e impõem que os novos equipamentos não introduzam na rede harmónicos de corrente de amplitude superior a determinados valores. Mas os problemas de qualidade de energia não se restringem aos harmónicos: segundo a norma IEEE 1159 os fenómenos electromagnéticos nos sistemas eléctricos classificam-se da seguinte forma [2]:

Categorias		Duração típica	Amplitude típica	
Transitórios	Impulsos	ns até aos ms		
	Oscilações	3 µs-5 ms	0 a 8 pu	
Variações de curta duração	Instantâneas	Sag	0,5 a 30 cicl.	0,1 a 0,9 pu
		Swell	0,5 a 30 cicl.	1,1 a 1,8 pu
	Momentâneas	Interrupção	0,5 ciclos a 3s	< 0,1 pu
		Sag	30 ciclos a 3s	0,1 a 0,9 pu
		Swell	30 ciclos a 3s	1,1 a 1,4 pu
	Temporárias	Interrupção	3 s a 1 min.	< 0,1 pu
		Sag	3 s a 1 min.	0,1 a 0,9 pu
		Swell	3 s a 1 min.	1,1 a 1,4 pu
	Variações de longa duração	Interrupção	> 1 min.	-
Subtensão		> 1 min.	0,8 a 0,9 pu	
Sobretensão		> 1 min.	1,1 a 1,2 pu	
Desequilíbrio de tensão		permanente	0,5 a 2 %	
Distorção da forma de onda	Offset DC	permanente	0 a 0,1 %	
	Harmónicos	permanente	0 a 20 %	
	Interharmónicos	permanente	0 a 2 %	
	Notching	permanente	-	
	Ruído	permanente	0 a 1 %	
Flutuações de tensão		intermitente	0,1 a 7 %	
Variações de frequência		< 10 s	-	

**Tabela 1-**Categorias e características típicas dos fenómenos electromagnéticos nos sistemas eléctricos, segundo a norma IEEE 1159-1995.

Numa perspectiva económica, estas questões são muito importantes. Segundo um relatório do *EPRI (Electric Power Research Institute)* os problemas relacionados com a qualidade da energia e quebras no fornecimento custam à economia dos Estados Unidos mais de 119 mil milhões de dó-

lares por ano [3]. Existem diversos processos industriais onde estes problemas têm de ser minimizados ou mesmo eliminados, pois só assim os níveis de produtividade podem ser elevados.

Outra vertente diz respeito à reformulação do mercado da energia eléctrica. Se um consumidor livre puder escolher o seu fornecedor da energia eléctrica, então a qualidade da energia neste novo cenário pode ser encarada através de duas visões diferentes [4]: competitiva e de regulação. Por um lado, as empresas fornecedoras, como estão num mercado competitivo, precisam de investir na satisfação do cliente através da melhoria da qualidade, o que pode por vezes implicar na necessidade de equipamentos de alta tecnologia. Por outro lado, a qualidade da energia eléctrica em termos de regulação do mercado pode envolver muitas e penalidades impostas aos fornecedores se os padrões estabelecidos não forem respeitados.

De um modo geral os sistemas de monitorização da qualidade da energia eléctrica são utilizados com os seguintes objectivos ou tem as seguintes aplicações:

- Quando ocorre um distúrbio, para tomar as medidas adequadas de forma a evitá-lo no futuro, é necessário saber onde e como ocorreu essa anomalia, ou seja, é necessário recolher dados.
- Em muitas situações, e principalmente ao adicionar-se novas cargas, os harmónicos devem ser monitorizados de forma a evitar a degradação dos condutores, transformadores e outros equipamentos.
- O registo de dados da qualidade da energia e conteúdos harmónicos constituem uma base fundamental para, através de uma análise posterior, determinar quais os níveis de investimento que o sistema de potência necessita de maneira a rentabilizá-lo ao máximo.
- A monitorização contínua da potência consumida e dos valores eficazes das tensões e correntes é muito importante para se poder planificar futuras expansões do sistema e verificar se os alimentadores são adequados.
- Recorrendo a *software* de monitorização podem ser gerados alarmes quando um problema é detectado. Estas mensagens podem ser enviadas para PCs, *paggers* ou telemóveis.
- O resultado de uma monitorização contínua e programada pode ser útil para a escolha do tipo de contrato em relação aos níveis de qualidade fornecidos aos consumidores.

Neste contexto, torna-se claro que o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para a monitorização da qualidade da energia eléctrica é um projecto aliciante. Acresce ainda o facto do sistema de instrumentação virtual desenvolvido utilizar uma linguagem de programação gráfica, o *LabVIEW*, que permite uma interface agradável com o utilizador, sendo um sistema modular em que podem ser

adicionadas novas funcionalidades rapidamente. Além disso, esta plataforma permite, de forma rápida e simples, implementar um servidor de *Web*, construir aplicações distribuídas e partilhar dados. O *hardware* necessário consiste de uma carta de aquisição de dados, um módulo de atenuação e condicionamento dos sinais da rede eléctrica, e um PC.

O sistema aqui apresentado, monitorizador de qualidade de energia modular, flexível, de elevado desempenho e de baixo custo, tem vindo a ser desenvolvido no Laboratório de Electrónica de Potência, do Departamento de Electrónica Industrial, da Universidade do Minho.

## 2. Base de trabalho

A base de trabalho do sistema desenvolvido assenta na utilização de um PC (*Pentium II* a 450 MHz, com SO *Windows XP*), de uma carta de aquisição de dados e do *software LabVIEW* (ver Fig. 1). Para a interface entre a rede eléctrica e a carta de aquisição de dados foram utilizados sensores de efeito Hall (*LEM LV 25P* para as tensões, e *LEM LTA 50P* para as correntes). O sistema de aquisição de dados é constituído por uma carta *MIO-PCI-6024E*, um acessório *SCH68* (caixa com conector apropriado) e um cabo *SH68*, da empresa *National Instruments*. As características principais da carta de aquisição são: 16 canais analógicos (8 em modo diferencial), resolução de 12 bits, taxa de amostragem de 200 *ksamples/s*, 8 linhas digitais de *I/O*, *DMA*, *Interrupts* ou *I/O*, tamanho da *FIFO* de 512 amostras, 2 *counters/timers* com resolução de 24 bits e 2 *triggers* digitais. As aplicações foram desenvolvidas na plataforma *LabVIEW* 6.1.

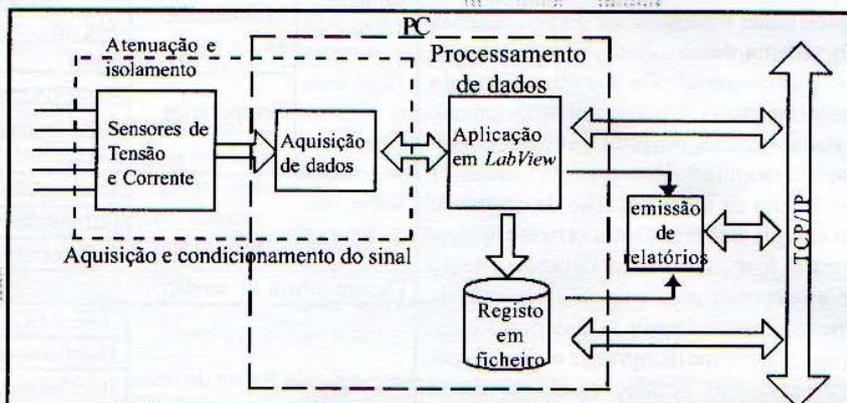


Fig.1 – Diagrama de blocos do sistema genérico.

## 3. Aplicações desenvolvidas em LabVIEW

Um programa em *LabVIEW* designa-se por *VI* (*Virtual Instrument*), por causa da sua aparência e modo de funcionamento “imitar” instrumentos reais, tais como os osciloscópios ou multímetros. Os *VI*'s utilizam funções que manipulam a informação proveniente da interface com o utilizador e apresentam-na (depois de processada) ou transferem-na para ficheiros ou para outros computadores.

Depois de definidas as características e especificações gerais do sistema, seguiu-se uma metodologia *top-down* e

modular no desenvolvimento do *software*. As várias aplicações desenvolvidas são constituídas por diferentes módulos de *software*. Dentro de cada aplicação existe um primeiro nível hierárquico que contém o *VI* principal.

Descendo na hierarquia, dentro de cada sub-nível outras operações podem ser acedidas, sendo manipuladas pelo utilizador através de menus e submenus. Estas hierarquias e associações são facilmente perceptíveis observando as aplicações em funcionamento.

### 3.1. Aplicação "Scope e THD"

Esta aplicação é um exemplo típico de instrumentação virtual, pois "imita" um osciloscópio digital com as principais funções básicas (ver Fig. 2): base de tempo, escala vertical, *trigger* (*slope*, *level* e *source*) e *readouts* (frequência dos sinais, valores *True RMS*, valor *DC*, valor de pico a pico, etc). Tem a possibilidade de visualizar até 8 sinais simultaneamente, com uma taxa de amostragem de 25 kHz por canal. A este instrumento foi adicionada a função de cálculo e visualização da *THD* (*Total Harmonic Distortion*), capacidade de gerar relatórios no formato *HTML* e registar dados (amostras dos sinais) em ficheiros que podem ser manipulados directamente por outras ferramentas em *Windows*, como por exemplo o *Matlab* e o *Excel*. De uma forma rápida podem ser adicionadas novas funções a este instrumento aproveitando as potencialidades da programação gráfica e utilização dos *SubVIs*.

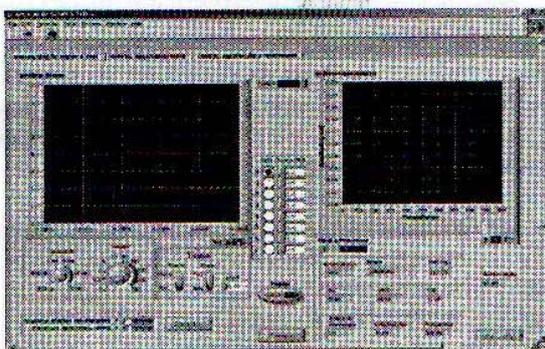


Fig.2 - Painel da aplicação Scope e THD

### 3.2. Aplicação "Strip Chart"

O *Strip Chart* consiste no gráfico da variação dos valores *RMS* ao longo do tempo, geralmente para intervalos longos (uma hora ou mais). Nesta aplicação são visualizados e registados os valores *RMS* de 4 tensões (3 fases e tensão neutro-terra), e de 5 correntes (3 fases, corrente de neutro e de terra). O utilizador pode programar o tempo para o qual deseja construir o *Strip Chart*, visualizar os dados registados em disco, e gerar relatórios *HTML*. O tempo de funcionamento pode variar de 1 minuto a 9 dias (mais precisamente 08:23:59 - dias:horas:minutos). Todos os sinais são visualizados *on-line* e a aplicação pode ser interrompida a qualquer momento, registando em todos os casos a informação em disco. O programa executa iterações de 1 em 1 segundo e a cadência de registo dos dados em ficheiro é variável e programável pelo utilizador, evitando assim ter excesso de dados.

### 3.3. Aplicação "Wave Shape"

Esta aplicação detecta distorções na forma de onda das tensões das 3 fases e regista esta(s) anomalia(s) em ficheiro. Em aquisição contínua, são comparadas amostra a amostra, os valores do ciclo *n* com as do ciclo *n-1*. Se esta comparação exceder um limite pré-estabelecido (dado por valores de tolerâncias) então considera-se a ocorrência de uma anomalia e o evento é registado em ficheiro. Como em processamento estão sempre dois ciclos do sinal, quando é detectada uma anomalia registam-se dois ciclos antes e dois ciclos após a ocorrência, guardando-se assim 6 ciclos do sinal em análise. Este algoritmo é aplicado aos sinais das 3 tensões de fase em simultâneo, e em ficheiro registam-se sempre os dados referentes a esses 3 sinais. O aspecto mais crítico nesta aplicação é não perder amostras na execução deste algoritmo, que é executado em aquisição contínua, o que é garantido.

### 3.4. Aplicação "Sags e Swells"

Esta aplicação detecta e regista em ficheiro os eventos *Sags* (afundamentos) e *Swells* (elevações) de tensão, de curta e longa duração, relativamente aos valores nominais das tensões entre cada fase e o neutro (*Van*, *Vbn*, *Vcn*) e entre o neutro e a terra (*Vng*), simultaneamente. As tolerâncias para o funcionamento do algoritmo são introduzidas pelo utilizador, podendo assim aplicar diferentes normas em relação às amplitudes típicas destes tipos de eventos. O utilizador pode optar pela análise ciclo a ciclo ou de meio em meio ciclo.

### 3.5. Aplicação "Grandezas Clássicas"

Nesta aplicação são monitorizados os fasores das tensões e correntes, os valores *True RMS*, desfasamentos, impedâncias (por fase), desequilíbrios de tensão e corrente, factores de potência (total e de deslocamento). Os fasores e impedâncias são apresentados para várias frequências (para os vários harmónicos), e além de serem apresentados numericamente, são monitorizados graficamente, *on-line*. Na mesma aplicação é registada a energia activa (kWh) e a "energia reactiva" (kVARh) consumidas. Esta aplicação tem dois modos distintos de funcionamento: modo Simulação e modo Aquisição. No modo Simulação todas as grandezas em jogo são calculadas e visualizadas tendo como base sinais gerados em *LabVIEW*. No modo Aquisição o tratamento é o mesmo, mas com sinais adquiridos pela carta de aquisição de dados, portanto sinais reais. Os parâmetros dos sinais gerados (frequência, amplitude e fase) são configurados pelo utilizador, podendo ser introduzidas as componentes harmónicas pretendidas para cada sinal.

### 3.6. Aplicação "Teoria p-q"

Esta aplicação calcula os valores da teoria p-q, que são extremamente úteis na análise de sistemas de potência trifásicos com problemas de qualidade de energia (nomeadamente harmónicos, reactivos e desequilíbrios de cargas). São ainda calculados os valores que seriam obtidos pela aplicação de um filtro activo paralelo ao sistema [5]. O

*software* implementa em termos de simulação todos os cálculos envolvidos para o controlo do filtro e pode visualizar simultaneamente todos os sinais em causa. Os sinais processados e visualizados são de três tipos: tensões, correntes e potências, e podem ser vistos na fonte, na carga e no filtro activo, nas coordenadas *a-b-c* ou *á-â-ó*. Estes sinais podem ser visualizados num instrumento semelhante ao indicado na Fig. 2.

Esta aplicação possui três modos distintos de funcionamento:

- Modo Aquisição: todas as grandezas em jogo são processadas e visualizadas com sinais reais adquiridos pela carta de aquisição de dados.
- Modo Simulação *LabVIEW*: possui as mesmas funcionalidades do modo aquisição, mas utiliza sinais gerados (simulados) com *Vis* do *LabVIEW*. Nestes sinais podem ser incluídas as componentes harmónicas desejadas.
- Modo Simulação *Matlab/Simulink*: neste modo a simulação e visualização dos sinais é efectuada em ambiente *Matlab* sem fechar a aplicação em *LabVIEW*. A simulação é executada através de um ficheiro desenvolvido em *Simulink* do tipo *mdl*. Os menus para esta interface gráfica foram desenvolvidos recorrendo à ferramenta *GUIDE* (*Graphical User Interface Development Environment*) do *Matlab*. para a visualização gráfica são seleccionados através dos respectivos controlos.

### Conclusões

Com o desenvolvimento deste sistema, os autores identificaram as potencialidades da aquisição de dados associada à instrumentação virtual, utilizando a plataforma *LabVIEW*, no âmbito da monitorização da qualidade da energia eléctrica. Desde logo se constatou que uma plataforma deste tipo permite definir a interface com o utilizador, adaptar e configurar o sistema de modo personalizado, e sobretudo, tratando-se de um sistema com grande flexibilidade, pode ser facilmente readaptado e implementadas novas funções.

No mercado existe um leque bastante variado de equipamentos para monitorizar a qualidade da energia eléctrica e/ou monitorizar o fluxo das potências em trânsito. Normalmente esses equipamentos apresentam-se com diversos modelos e módulos opcionais. Existem modelos portáteis e/ou fixos, sendo necessário em alguns casos utilizar um PC para fazer *download* e efectuar pós-processamento. Contudo, estes equipamentos são normalmente caros, e ao seleccionar-se um equipamento com altas performances e múltiplas funções, o seu preço cresce consideravelmente.

Conclui-se com o desenvolvimento deste projecto que usando uma plataforma de custo reduzido é possível implementar um monitorizador de qualidade da energia eléctrica com as funcionalidades adequadas e muito útil para usar em ambientes industriais, comerciais e domésticos. Para o efeito utilizou-se um PC, alguns sensores de efeito *Hall*, uma carta genérica de aquisição de dados e a linguagem de programação gráfica *LabVIEW*. A taxa de

amostragem da carta de aquisição de dados utilizada é determinante para o tipo de eventos que se pretendem monitorizar. As características gerais da carta utilizada neste projecto (referidas no ítem 2), são suficientes para a monitorização da maior parte dos fenómenos electromagnéticos dos sistemas eléctricos. Para transitórios de curta duração, e tendo em atenção o número de sinais monitorizados simultaneamente, seria necessário adoptar outra opção. Existem cartas no mercado com altas performances, designadamente com taxas de amostragem na ordem dos *Msamples/s*. Neste contexto, terá de ser assumido um compromisso entre o custo do sistema e o desempenho pretendido.

### Referências

- [1] Jeffrey Travis, "Internet Applications in LabVIEW", Prentice Hall, 2000.
- [2] Roger C. Dugan, Mark F. MacGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", MacGraw-Hill, 1996.
- [3] Gerg Mazurkiewicz, [http://www.achrnews.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP\\_Features\\_Item0,1338,62014,00.html](http://www.achrnews.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP_Features_Item0,1338,62014,00.html), 2001.
- [4] Ricardo Ross, Tatiana Assis, Luciano Brasil, "Investigação da Qualidade de Energia Eléctrica em Clientes Industrias da RGE", IV SBQEE, Porto Alegre, Brasil, 2001.
- [5] João Afonso, Carlos Couto, Júlio Martins, "Active Filters with Control Based on the p-q Theory", IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, vol. 47, nº 3, Set. 2000, pp. 5-10.