

Projecto SINUS - Tecnologias para Melhoria da Eficiência e da Qualidade de Energia em Sistemas Eléctricos

João L. Afonso, Júlio S. Martins, M. J. Sepúlveda Freitas, Renato Morgado
J. Gabriel Pinto, Ricardo Pregitzer, José Cunha, José Batista, Eduardo Pinto
sinus@dei.uminho.pt

Departamento de Electrónica Industrial, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

Resumo

O Projecto SINUS – Tecnologia para Compensação Dinâmica de Harmónicos, Factor de Potência e Desequilíbrios, trata do desenvolvimento de protótipos de equipamentos para a melhoria da eficiência e da qualidade de energia em sistemas eléctricos de baixa tensão. Os equipamentos terão a função de monitorizar os consumos e a Qualidade da Energia Eléctrica, de compensar dinamicamente harmónicos e desequilíbrios de corrente, bem como de corrigir o factor de potência. Estes equipamentos poderão ainda, e simultaneamente, funcionar como interface de fontes de energia renovável com a rede eléctrica.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Eléctrica, Filtro Activo Paralelo, Interface com Energias Renováveis, Monitorização de Energia, Eficiência Energética.

1. Introdução

A qualidade da energia eléctrica é, actualmente, um assunto de grande importância, que envolve as empresas produtoras e distribuidoras de energia, os consumidores e os fabricantes de equipamentos [1]. Os prejuízos económicos resultantes de problemas de qualidade de energia eléctrica são cada vez mais elevados, e por isso esta questão é hoje, mais do que nunca, objecto de grande preocupação. É de salientar que a Energia Eléctrica, enquanto um produto, tem características particulares, uma vez que a forma como os consumidores a utilizam, influencia a qualidade da energia eléctrica fornecida pelas empresas produtoras e distribuidoras, ou seja, uma carga “poluidora” produz efeitos não só a jusante mas também a montante do local da sua instalação. Esta característica faz com que os problemas de qualidade de energia eléctrica sejam difíceis de isolar, e por consequência se propaguem a todo o sistema eléctrico.

Estudos realizados na Europa e Estados Unidos (nomeadamente pelo *European COPPER Institute* e pelo EPRI - *Electric Power Research Institute*) comprovam que a maioria das empresas não têm as suas instalações eléctricas preparadas para lidar com os problemas de qualidade de energia eléctrica, tendo em conta a realidade dos equipamentos utilizados nos processos produtivos, com significativo impacto na eficiência dos sistemas de produção e distribuição de Energia Eléctrica. Além disso, verificou-se que, na maior parte dos casos os responsáveis pelas instalações eléctricas nas empresas não associam os problemas que ocorrem ao facto das instalações não estarem adequadas aos problemas de qualidade de energia a que estão sujeitos. Uma empresa que não esteja preparada para lidar com este tipo de problemas, para além de pagar mais energia eléctrica do que aquela que efectivamente necessita (devido ao acréscimo de perdas nas instalações), pode ter ainda que suportar custos acrescidos substanciais devido a interrupções, à deterioração de processos produtivos, ou à avaria dos equipamentos utilizados, o que pode ter como resultado produtos ou serviços de qualidade inferior e com custos superiores aos das empresas concorrentes.

O número de conversores electrónicos de potência utilizados, sobretudo na indústria, mas também pelos consumidores em geral, não pára de aumentar. Em resultado disso é

possível observar uma crescente deterioração das formas de onda de corrente e tensão dos sistemas eléctricos, com significativo impacto nas redes de distribuição. Cabe salientar que a eficiência dos sistemas de produção, transporte e distribuição está directamente relacionado com a qualidade no consumo da energia eléctrica. De acordo com um estudo efectuado pelo *European COPPER Institute* o custo total dos problemas de qualidade de energia na Europa é estimado num valor entre 13 e 20 mil milhões de euros por ano [2].

A importância da utilização de fontes não poluentes de energia renovável é actualmente maior do que nunca, devido aos problemas de aquecimento global, e ao custo crescente dos combustíveis fósseis, que comprometem as economias dos países importadores. Para Portugal, as fontes de energia renovável assumem um papel de suma importância, uma vez que Portugal está comprometido pelo Protocolo de Kyoto em produzir energia a partir de fontes não poluentes, e também porque Portugal apresenta uma enorme dependência energética do exterior, importando quase 90% do total da energia que consome. Por outro lado, Portugal é um importante mercado para equipamentos de energia renovável baseados no sol e no vento, uma vez que possui estes recursos em quantidade apreciável. Além disso, Portugal tem fortes laços com muitos países ainda em desenvolvimento, que pertencem aos PALOP, que precisam desenvolver fontes de energia eléctrica a baixo custo. Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias relacionadas com a produção de energia a partir de fontes renováveis, assume uma enorme importância para o País.

Cabe enfatizar que o Projecto SINUS se insere na “Política Energética Nacional”, uma vez que 6 dos objectivos declarados nessa política são directamente abrangidos por este projecto: redução da intensidade energética no produto; redução da factura energética; melhoria na qualidade de serviço; diversificação das fontes e aproveitamento dos recursos endógenos; minimização do impacto ambiental; contribuição para o reforço da competitividade e da economia nacional.

2. Objectivos

Baseado em trabalhos de investigação e desenvolvimento tecnológico realizados no Departamento de Electrónica Industrial da Universidade do Minho [3-8], o Projecto SINUS tem como objectivo a validação de tecnologia para a compensação dinâmica de harmónicos, factor de potência e desequilíbrios, de forma a demonstrar ao público especializado, e em situação real, as suas vantagens técnicas e económicas. Assim pretende-se implementar equipamentos-piloto que venham a comprovar em instalações industriais e de serviços os resultados relativos ao desenvolvimento de: Filtros Activos de Potência para a Rede Eléctrica; Sistemas de Monitorização de Qualidade de Energia e Sistemas de Interface de Fontes Alternativas de Energia com a Rede Eléctrica. Com este projecto almeja-se ainda contribuir para sensibilizar o sector especializado da Engenharia Electrotécnica em Portugal para as questões da Qualidade de Energia Eléctrica e para os problemas práticos enfrentados pelo sector eléctrico nacional.

3. O Sistema de Monitorização

A utilização de monitorizadores nos sistemas eléctricos permite detectar e diagnosticar problemas de qualidade de energia e traçar perfis de consumo. Contudo, usualmente os equipamentos comerciais são muito dispendiosos, inviabilizando a sua utilização pela grande maioria dos consumidores. Um dos objectivos do projecto SINUS é o desenvolvimento de um sistema de monitorização de baixo custo que possa ser facilmente adquirido ou alugado em regime de aluguer pelas empresas. Foram já desenvolvidos alguns protótipos desses sistemas de monitorização (Fig. 1), que utilizam

elementos de efeito Hall para a medição de tensões e correntes (ou ainda sensores baseados no princípio de Rogowski para a medição das correntes), uma carta de aquisição de dados, um PC (computador pessoal), e a linguagem de programação gráfica *LabVIEW™* da *National Instruments* [6, 7].

O sistema de monitorização adquire dados continuamente, armazenando em ficheiros a informação que resulta da detecção de anomalias referentes à qualidade da energia eléctrica. A informação pode ser visualizada directamente em gráficos e tabelas, sendo também possível, produzir relatórios no formato *HTML* e *Word*. Estes relatórios podem ser enviados directamente para uma impressora, ou armazenados em disco, onde ficam acessíveis remotamente através de um *web browser* comum. Por motivos de simplicidade de utilização o *software* desenvolvido foi dividido em várias aplicações complementares que permitem a monitorização e análise de diversos parâmetros relacionados com qualidade e consumos de energia eléctrica: “Osciloscópio e THD”, “Eventos PQ (*Power Quality*)”, “Valores Clássicos” e “Teoria p-q”.

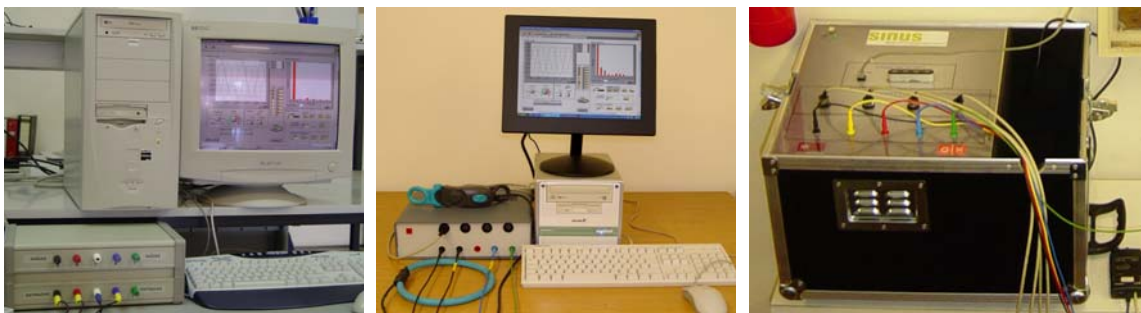


Fig. 1 – Protótipos do Sistema de Monitorização desenvolvidos.

4. O Filtro Activo Paralelo

A utilização de um Filtro Activo Paralelo permite compensar de forma dinâmica os problemas de harmónicos e desequilíbrios das correntes e corrigir o factor de potência, contribuindo desta forma para a melhoria da qualidade de energia nos sistemas eléctricos. A Fig. 2 representa o princípio de funcionamento de um Filtro Activo Paralelo. Nessa figura é possível visualizar as formas de onda de tensão e corrente num sistema eléctrico, antes e depois da instalação do filtro activo. É possível reparar que antes da ligação do filtro activo (Fig. 2(a)) a corrente com grande conteúdo harmónico da carga não linear provoca a distorção da tensão, fazendo com que a carga linear seja afectada por essa distorção. Com a instalação do Filtro Activo Paralelo (Fig. 2(b)) os harmónicos provocados pela carga não linear são compensados, e desta forma a tensão aplicada à carga torna-se sinusoidal.

O Filtro Activo Paralelo em desenvolvimento no âmbito do Projecto SINUS, é constituído por vários módulos: Sensores de Tensão e Sensores de Corrente (sensores de efeito Hal); DSP (*Digital Signal Processor*), que é responsável por adquirir os sinais das tensões e das correntes disponibilizados pelos sensores e por realizar os cálculos necessários para determinar a cada instante o valor das correntes de compensação; Inversor de Electrónica de Potência, utilizado para injectar na rede eléctrica as correntes de compensação determinadas pelo DSP; Circuitos Electrónicos de Condicionamento de Sinal, necessários para adaptar os níveis dos sinais provenientes dos sensores de tensão e corrente para os valores adequados aos ADCs (*Analog to Digital Converters*) do DSP, e para amplificar os sinais de saída do DSP para o disparo correcto dos semicondutores do Inversor. Na Fig. 3 são apresentadas fotos dos diversos módulos que constituem o protótipo do Filtro Activo Paralelo em desenvolvimento.

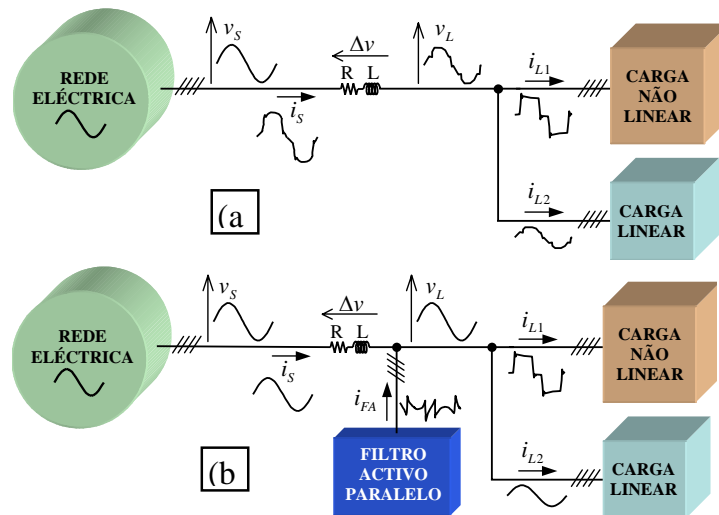


Fig. 2 – Exemplo de sistema eléctrico: (a) Sem compensação; (b) Com compensação por Filtro Activo Paralelo.

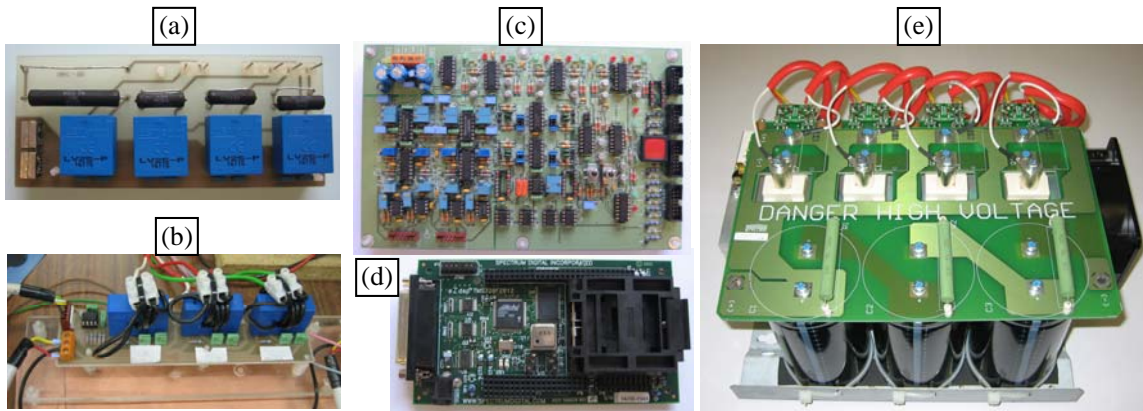


Fig. 3 – Módulos do Filtro Activo Paralelo: (a) Sensores de Tensão; (b) Sensores de Corrente; (c) Circuitos de Condicionamento de Sinal; (d) DSP; (e) Inversor.

Na Fig. 4 é possível visualizar o desempenho do Filtro Activo Paralelo na compensação da distorção harmónica e dos desequilíbrios de corrente, e na correcção do factor de potência, através de resultados de simulação do seu sistema de controlo baseado na Teoria p-q [3]. Observa-se que, embora as correntes na carga sejam distorcidas, as correntes na fonte, após compensação, tornam-se sinusoidais, equilibradas e em fase com as tensões, e que a corrente no neutro passa a ser nula. É também importante ressaltar que, graças à actuação do filtro activo, os valores eficazes das correntes nas fases diminuem (a corrente de neutro é mesmo anulada), e dessa forma, as perdas nos condutores do sistema eléctrico (que dependem do quadrado dos valores eficazes das correntes) são bastante reduzidas.

Valores eficazes das correntes na carga:

$$I_a = 73,74 \text{ A}, I_b = 55,53 \text{ A}, I_c = 36,50 \text{ A}, I_n = 69,68 \text{ A}$$

Valores eficazes das correntes na fonte:

$$I_{sa} = I_{sb} = I_{sc} = 45,23 \text{ A}, I_{sn} = 0$$

Também é possível observar na Fig. 4 que, por acção do filtro activo, o valor instantâneo da potência na fonte torna-se constante, significando que o sistema eléctrico passa a entregar apenas potência activa ao conjunto constituído pelo filtro activo e pela carga.

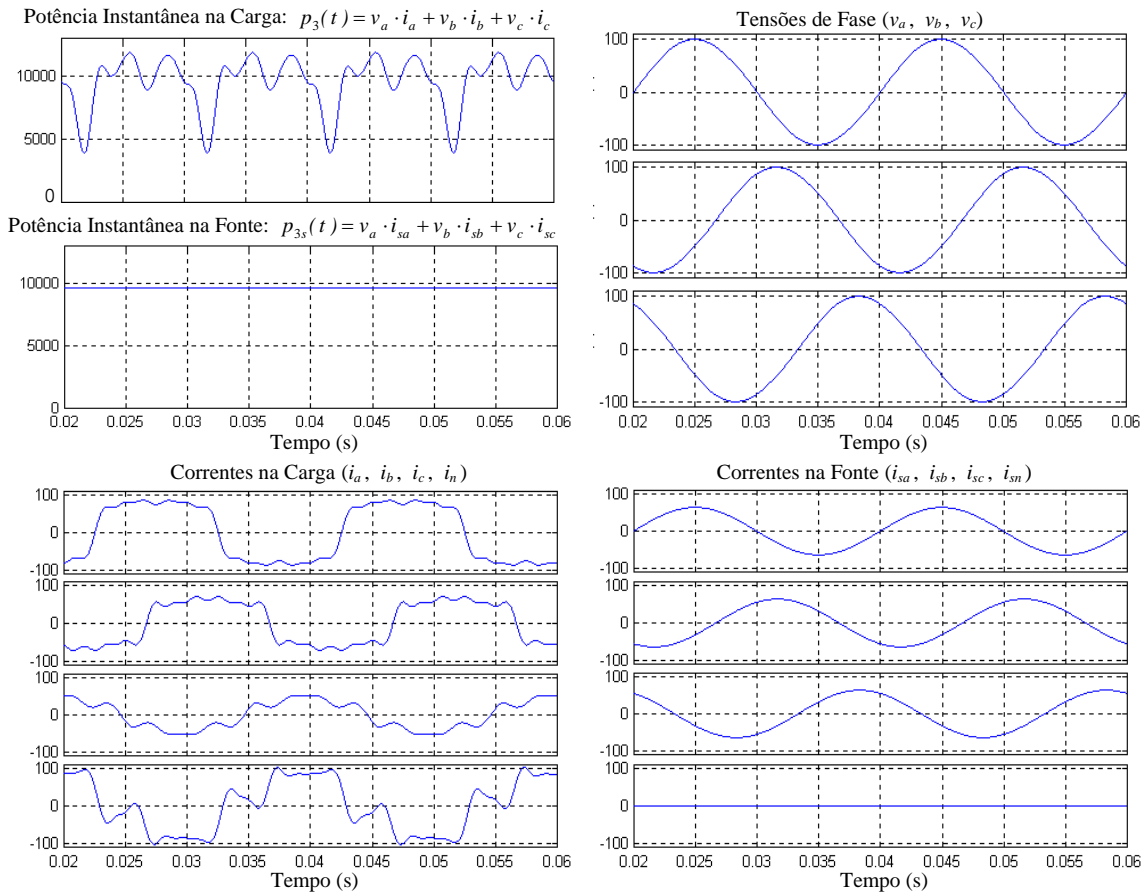


Fig. 4 – Formas de onda das potências, tensões e correntes na carga e na fonte para operação com Filtro Activo Paralelo.

5. Conclusões

Este artigo descreve os equipamentos que estão a ser desenvolvidos no âmbito do Projecto SINUS, cujo esquema representativo do sistema integrado é mostrado na Fig. 5. O monitorizador aqui apresentado embora ainda alvo de algumas optimizações de *software* já foi utilizado com sucesso na monitorização de qualidade de energia eléctrica em indústrias e empresas de serviços, revelando-se um equipamento de grande versatilidade, e em alguns aspectos superior à maioria dos equipamentos comerciais. O Filtro Activo Paralelo encontra-se em fase de protótipo laboratorial e tem apresentado bons resultados em diversos tipos de testes e ensaios, tanto para a compensação de harmónicos de corrente, de desequilíbrios e de factor de potência, quanto para a injeção de energia na rede eléctrica. Um protótipo a ser instalado e testado em indústrias e empresas de serviços está em fase de desenvolvimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PRIME (Programa de Incentivos à Modernização da Economia) pelo financiamento do Projecto SINUS - DEMTEC/020/1/03, e à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia), pelo financiamento dos Projectos POCTI/ESE/41170/2001 e POCTI/ESE/48242/2002.

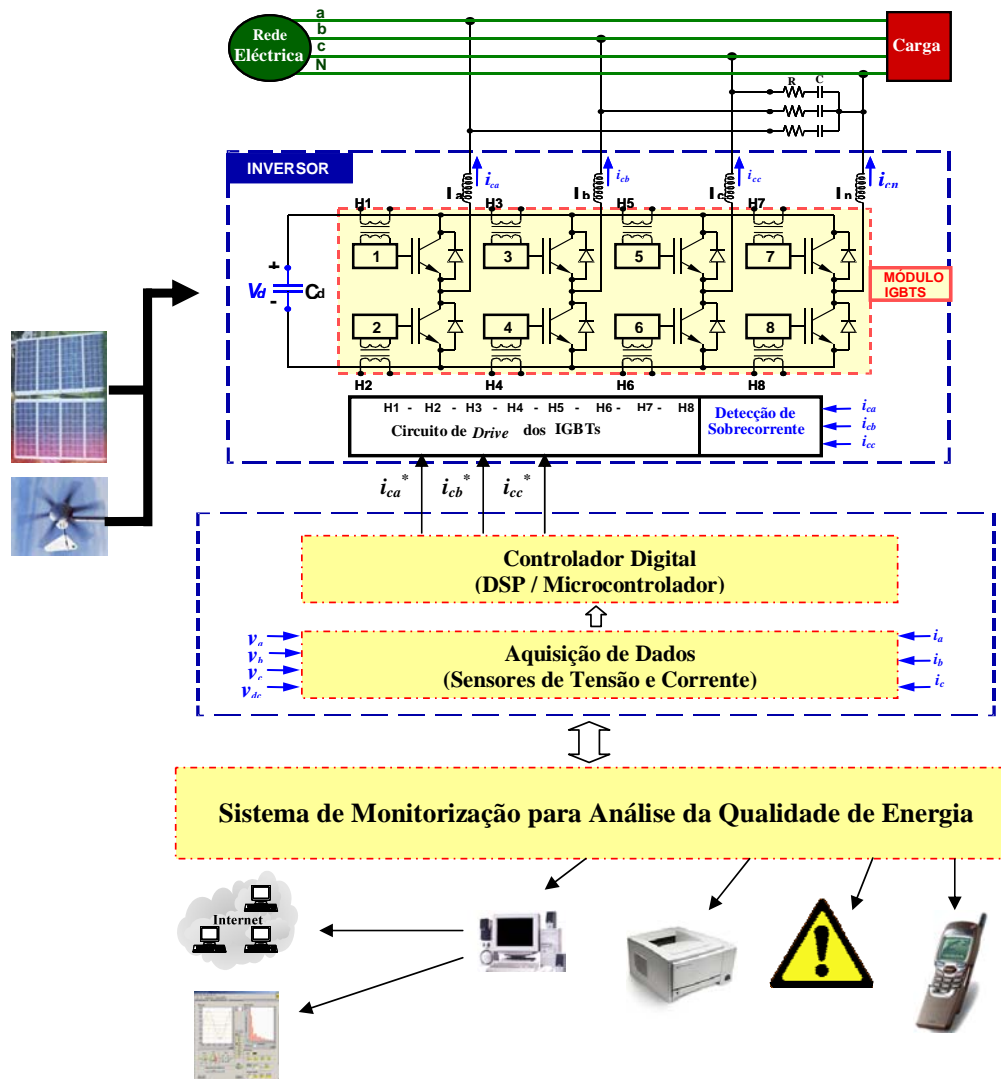


Fig.5 – Esquema representativo do sistema integrado dos equipamentos do Projecto SINUS.

Referências

- [1] R. Redl, P. Tenti, J. Van Wyk, *Power Electronics Polluting Effects*, IEEE Spectrum, Maio 1997, pp. 33-39.
- [2] David Chapman, “The Cost of Poor Power Quality”, Power Quality Application Guide, Copper Development Association, November 2001
- [3] 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.
- [4] João Afonso, Maurício Aredes, Edson Watanabe, Júlio Martins, “Shunt Active Filter for Power Quality Improvement”, International Conference UIE 2000 - Electricity for a Sustainable Urban Development, Lisboa, Portugal, 1-4 Novembro 2000, pp. 683-691.
- [5] João L. Afonso, M. J. Sepúlveda Freitas, and Júlio S. Martins, “p-q Theory Power Components Calculations” – ISIE’2003 - IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Rio de Janeiro, Brasil, 9-11 Junho de 2003, ISBN: 0-7803-7912-8.
- [6] José Batista, Júlio S. Martins, João L. Afonso, “Low-Cost Power Quality Monitor Based on a PC”, ISIE’2003, Rio de Janeiro, Brasil, 9-11 Junho de 2003, ISBN: 0-7803-7912-8.
- [7] José Batista, Júlio S. Martins, João L. Afonso, “Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica Baseado em PC”, 8º Congresso Luso-Espanhol de Engenharia Electrotécnica, pp. 4.53-4.58, Vilamoura, Algarve, Portugal, 3-5 Julho de 2003.
- [8] Ricardo L. Pregitzer, Tiago N. Sousa, Júlio S. Martins, João L. Afonso, “Interface entre Fontes de Energia Renovável e a Rede Eléctrica”, ENER’05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente, Figueira da Foz, Portugal, 5-7 de Maio de 2005, pp. 1.143-1.148.