

Sistema Distribuído de Monitorização de Consumos e de Qualidade de Energia Elétrica

Manuel Pereira, João L. Afonso, José A. Afonso
Centre Algoritmi/Dept. of Industrial Electronics
University of Minho
Guimarães, Portugal
jla@dei.uminho.pt, jose.afonso@dei.uminho.pt

Resumo — Este artigo descreve a implementação e teste de um sistema distribuído de medição de grandezas elétricas, concebido para utilização com cargas tipicamente existentes nas residências, que possibilita a monitorização remota do consumo e também possui capacidade de deteção de eventos de qualidade de energia elétrica. O sistema é operado pelo utilizador a partir de um computador, através de um programa monitorizador dotado de interface gráfica, que recebe os dados recolhidos por um conjunto de nós sensores ligados às cargas que se deseja monitorizar. A comunicação de dados assenta sobre uma rede de sensores sem fios desenvolvida com base nos protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee. Os nós da rede são baseados no circuito integrado CC2530, da *Texas Instruments*, que integra um microcontrolador e um *transceiver* RF num mesmo *chip*. A implementação do sistema envolveu a concepção e desenvolvimento do *hardware* dos nós sensores, que efetuam a medição das grandezas elétricas, do *software* embebido nos nós da rede de sensores sem fios, que gere a aquisição e envio dos dados dos nós sensores até ao computador, e do *software* monitorizador no computador. Os resultados obtidos nos testes realizados excederam as expectativas iniciais, tendo os erros de medição ficado abaixo do patamar de 1%.

Keywords - *Smart Meter; Power Quality; Smart Grid; ZigBee; IEEE 802.15.4; Wireless Sensor Network.*

I. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, devido a fatores económicos e político-ambientais, bem como a exigentes regulamentos para a certificação energética das habitações e da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) da rede, verifica-se uma crescente alteração nos hábitos do consumo de energia elétrica por parte dos consumidores residenciais. Esta tendência é explícita na demanda cada vez maior de aparelhos elétricos com menor gasto energético, menor custo económico e menor impacto para o meio ambiente.

A Agencia Internacional para a Energia (*International Energy Agency* - IEA) refere que o setor que engloba as residências e os serviços é o setor que mais consome energia elétrica, cerca de 30% numa escala global. Segundo a mesma agência, a tendência de crescimento de consumo de energia elétrica será em média de 3,2% ao ano até 2015, diminuindo para 2% ao ano até 2030 [1]. Problemas a nível da QEE da rede elétrica também são apontados como responsáveis por um grande desperdício energético. A QEE é tanto melhor quanto menos cargas não lineares ligadas à rede existirem, como, por exemplo, acionamentos eletrónicos de motores, computadores,

televisores e carregadores de telemóveis. Como não é possível deixar de utilizar esses equipamentos, pois fazem parte das necessidades do quotidiano do ser humano nas sociedades modernas, devem ser usados equipamentos capazes de compensar esses problemas, e que possam ainda contribuir para a melhoria da eficiência energética.

Respondendo ao desafio de travar o consumo desenfreado de energia e tornar o sistema elétrico mais eficiente, nasce um novo nicho económico: desenvolvimento de soluções inteligentes e eficazes no que respeita a ajudar os consumidores a reduzir o consumo energético, de utilização fiável e com preço competitivo no mercado atual. O Euro Grupo dos 27 informa num estudo que é possível melhorar em 13% a eficiência energética nos consumidores residenciais [2], dando assim motivação ao mercado de produtos que ajudam os consumidores a utilizar a energia elétrica de forma mais racional.

O ponto de partida para a redução do consumo energético é ter consciência de quanto e de que forma esse consumo é realizado. O exemplo de uma solução viável é o desenvolvimento de monitorizadores capazes de detetarem e relatarem todo o histórico do comportamento de uma carga elétrica ligada à rede [3][4]. A oferta atual do mercado de monitorizadores energéticos incide principalmente em produtos que disponibilizam visualmente os dados do consumo energético atual, na última semana e no último mês, alertando os utilizadores em tempo real para o custo económico que advém. Uma característica interessante é a antevisão do consumo mensal e anual. É nesta linha que as empresas estão a apostar, desde produtos simples que apresentam localmente num display o consumo de energia elétrica de um aparelho que esteja ligado à tomada elétrica [5], a sistemas distribuídos que medem o consumo energético em vários pontos da residência e enviam os dados para um dispositivo central que faz a gestão dos consumos [6][7].

O sistema descrito neste artigo visa contribuir para o desenvolvimento de produtos residenciais de baixo custo e capazes de ajudar os consumidores a reduzir os consumos energéticos de forma natural, tendo o menor impacto possível no conforto dos utilizadores. Para isso foram integradas varias tecnologias que o mercado oferece num só sistema. O sistema desenvolvido assenta sobre uma rede de sensores sem fios [8], implementada com base nos padrões IEEE 802.15.4 [9] e ZigBee [10]. O IEEE 802.15.4 define a camada física (PHY) e a camada de controlo de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*) da rede, enquanto o ZigBee define as camadas

superiores da pilha protocolar, nomeadamente a camada de rede (NWK) e a camada de aplicação (APL). Uma rede ZigBee possui como características dispositivos de baixo custo, baixo consumo de energia e baixa taxa de transmissão (250 kbps na banda de frequências de 2,4 GHz), bem como suporte a comunicações *multihop*. Devido a essas características, o ZigBee normalmente é utilizado em aplicações de monitorização e controlo. A rede de sensores sem fios implementada neste trabalho é formada por dispositivos medidores junto às cargas (nós sensores), um dispositivo coordenador (estação base) e, opcionalmente, *routers* dedicados para encaminhamento da informação através da rede

Este sistema é capaz de adquirir, através do nó sensor, dados relativos às grandezas elétricas (corrente, tensão e frequência) associadas a uma carga, enviar pela rede sem fios esses dados para a estação base, ligada a um computador, e disponibilizá-los no computador através de uma interface gráfica amigável (monitorizador). O nó sensor, para além de adquirir as grandezas elétricas referidas com erro de medição abaixo de 1%, também adquire dados relativos à potência ativa e aparente para cálculo do fator de potência (FP). O nó sensor está dotado ainda da capacidade de atuar remotamente sobre a carga elétrica, designadamente, cortar ou fornecer alimentação, mediante um comando enviado pelo computador. O monitorizador inclui funções simples, de fácil utilização e interpretação, disponibilizando ao utilizador informação da data e hora da aquisição das grandezas elétricas e respetivos valores de FP, potência ativa, eventos de QEE, consumo energético em kWh, bem como o respetivo custo monetário mensal e anual em Euros.

O restante conteúdo deste artigo está organizado da seguinte forma: A secção II descreve as opções tomadas na implementação das diferentes partes do sistema proposto. Na secção III são apresentados os resultados aos testes efetuados ao sistema e na secção IV são apresentadas as conclusões e propostas de trabalho futuro.

II. IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do sistema está estruturada em três partes: *hardware* do nó sensor para medição das grandezas elétricas, *software* embebido para aquisição e envio dos dados através da rede de sensores sem fios até um computador, e *software* de computador (monitorizador) para processamento e visualização dos dados adquiridos.

Um exemplo representativo da arquitetura do sistema desenvolvido é apresentado na Fig. 1. Uma rede ZigBee define três tipos de dispositivo: coordenador (C), *router* (R) e *end device* (ED), sendo que só pode haver um único coordenador na rede. No sistema desenvolvido neste trabalho, o papel de estação base (EB) é desempenhado por um dispositivo coordenador, enquanto o papel de nó sensor (S) tanto pode ser desempenhado por um *router* como por um *end device*. No exemplo dado, o nó sensor S1 transmite os dados diretamente para a estação base. Uma vantagem do ZigBee em relação a outras tecnologias de redes sem fios, como o WiFi e o Bluetooth, é o suporte a comunicações *multihop*, que possibilita que dois nós troquem pacotes entre si mesmo que não estejam ao alcance um do outro, com auxílio de outros nós no caminho que encaminham os pacotes.

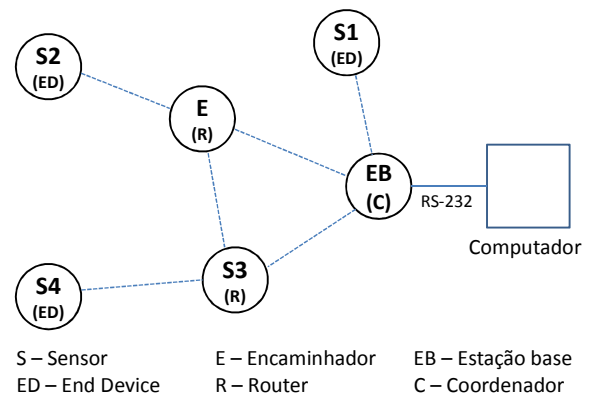


Fig. 1 Arquitetura do sistema.

No exemplo dado, o nó sensor S2, que não consegue comunicar diretamente com a estação base, envia os pacotes para um nó encaminhador (E), configurado como *router* ZigBee, que encaminha os pacotes para a estação base. De igual modo, o nó S3 encaminha para a estação base os pacotes enviados por S4. A diferença é que S3, sendo um nó sensor, também envia os seus próprios pacotes de dados para a estação base. Sendo assim, a vantagem de configurar um nó sensor como *router* é que desta forma o nó pode não só enviar os seus próprios pacotes como encaminhar pacotes de outros nós da rede. Por outro lado, se o nó sensor for configurado como *end device* (S1, S2 e S4 no exemplo), só poderá comunicar com o seu pai (um *router* ou o coordenador), não podendo assim encaminhar pacotes de outros nós. A vantagem neste caso é que, ao contrário de um *router*, um *end device* pode dormir de modo a reduzir o seu consumo de energia.

O sistema desenvolvido utiliza a topologia malha do ZigBee, que tem a vantagem de apresentar redundância no encaminhamento. Por exemplo, se S3 deixasse de conseguir comunicar diretamente com a estação base (por exemplo, pela colocação de um obstáculo no caminho de propagação do sinal), mesmo assim poderia continuar a enviar pacotes para a estação base através do caminho alternativo proporcionado pelo nó encaminhador (E).

Para o desenvolvimento e teste da rede de sensores sem fios foi utilizado o kit de desenvolvimento CC2530DK [11] da Texas Instruments (Fig. 2).

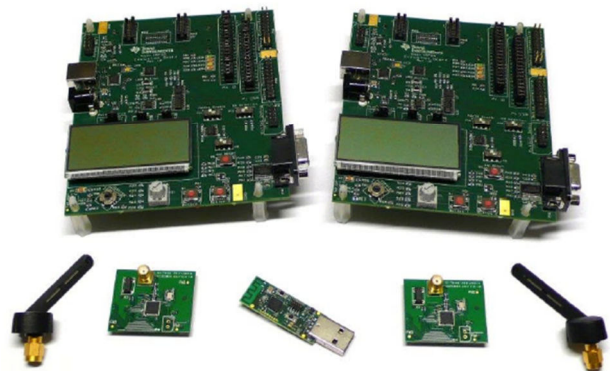


Fig. 2. Kit de desenvolvimento CC2530DK [11].

A estação base foi implementada com recurso a uma placa SmartRF05EB (*Evaluation Board*) e um módulo CC2530EM (*Evaluation Module*). A implementação do hardware do nó sensor é descrita mais abaixo. Para desenvolvimento das aplicações embebidas utilizou-se a pilha protocolar Z-Stack e o compilador *IAR Embedded Workbench for 8051*.

A. Hardware do Nó Sensor

O nó sensor implementado está adaptado às características da rede elétrica das residências em Portugal: tensão de entrada AC 230V/50 Hz e corrente máxima de 16 A. O nó sensor contém um circuito integrado ADE7753 [12], da Analog Devices, que processa os dados recebidos dos sensores de corrente e tensão, um relé, uma fonte de alimentação e um módulo CC2530EM, da Texas Instruments, que lê os dados processados pelo ADE7753 e os envia pela rede de sensores sem fios. Na Fig. 3 pode-se observar um diagrama de blocos contendo todas as partes constituintes do nó sensor. O bloco de alimentação é responsável por fornecer energia ao circuito integrado ADE7753 e ao módulo CC2530EM. Como a rede elétrica está ligada à carga monitorizada pelo nó sensor, está também é utilizada para fornecer energia ao nó sensor. No protótipo desenvolvido, o ADE7753 é alimentado com 5 V contínuos provenientes diretamente de uma fonte de alimentação, enquanto o módulo CC2530EM é alimentado com 3,3 V através de um circuito regulador de tensão implementado com um LM1117 [13].

O ADE7753 é um dispositivo medidor de energia monofásico de baixo custo e baixo consumo, que tipicamente dissipa uma potência de 25 mW. Contém dois canais de entrada distintos (1 e 2), com um amplificador de ganho programável em cada um, que adquirem os sinais de corrente e tensão, respetivamente. Cada canal possui um conversor analógico digital Σ - Δ de segunda-ordem de 24-bits de alta precisão. O ADE7753 contém um processador digital de sinais que executa cálculos para apurar o valor digital da energia ativa, reativa e aparente, o período do sinal da rede elétrica adquirido pelo canal 2 através do sensor de tensão, e o valor eficaz da tensão e da corrente. A informação recolhida é armazenada em registos apropriados, que podem ser lidos por um microcontrolador que utilize a interface de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*). A escrita nos registos é feita essencialmente quando é necessário programar o modo de funcionamento do ADE7753 ou quando é fundamental calibrar algum parâmetro como ganhos ou *offset* de correção.

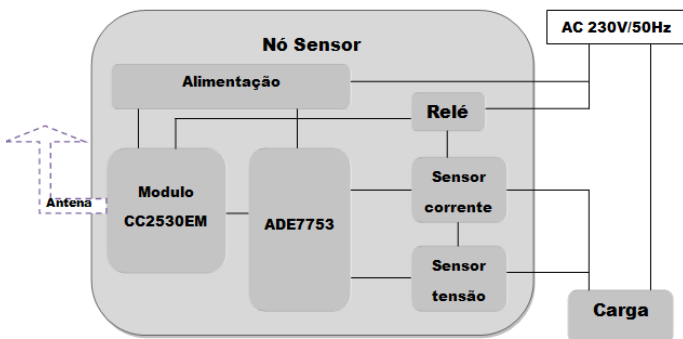


Fig. 3. Diagrama de blocos do nó sensor.

O sensor de corrente utilizado no nó sensor é um transformador de corrente AC1015 da *ACME ELECTRIC* [14]. A corrente nominal no lado primário do transformador é de 15 A, sendo que a corrente máxima é de 60 A e a razão de transformação é de 1000:1. No secundário do transformador é colocada uma resistência de carga R_L , que origina uma tensão, proporcional à corrente, que é lida pelo ADE7753. O valor da resistência R_L é de 22 Ω para esta aplicação.

O sensor de tensão é implementado com um divisor resistivo. Os valores das resistências do divisor resistivo para que o valor da tensão aos terminais da carga seja apresentado de forma correta, respeitando os limites de tensão exigidos para os terminais do canal 2, são de 650 k Ω e 1 k Ω .

A carga é alimentada a partir da rede elétrica através do relé. O relé é um dispositivo atuador que permite ao utilizador interromper ou fornecer corrente à carga em monitorização. O relé utilizado no protótipo foi o 36.11.9.005.4301 do fabricante *Finder* [15].

O circuito integrado CC2530 [16] integra um *transceiver* RF, compatível com o padrão IEEE 802.15.4 na banda de frequências de 2,4 GHz, um microcontrolador baseado no 8051 e uma memória RAM programável de 8 kB. A versão do CC2530 utilizada é a F256, que contém 256 kB de memória *flash*. O CC2530 está integrado no módulo CC2530EM, que contém ainda uma antena externa, dois conectores que permitem o acesso aos pinos do CC2530 e componentes auxiliares. A comunicação entre o CC2530 e o ADE7753 é feita através da interface SPI. O CC2530 permite o desenvolvimento de aplicações baseadas na tecnologia ZigBee através da instalação da pilha protocolar Z-Stack, da *Texas Instruments*.

A vista superior da placa de circuito impresso do protótipo final do nó sensor, com a identificação dos blocos indicados na Fig. 3, é apresentada na Fig. 4. O circuito integrado ADE7753 foi montado na parte inferior da placa.

O custo dos componentes e o custo total do protótipo do nó sensor é apresentado na Tabela I. Os preços dos componentes indicados são os de venda ao público e em pequenas quantidades. Numa logica de desenvolvimento comercial em larga escala a tendência é que o custo total seja mais baixo.

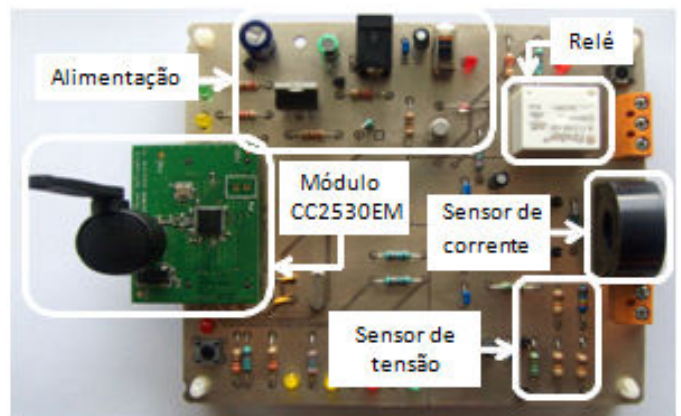


Fig. 4. Vista superior do nó sensor.

TABELA I. CUSTO DOS COMPONENTES DO NÓ SENSOR.

Nome	Referência	Fabricante	Preço
Transf. de Corrente	AC1015	ACME ELECTRIC	1,34 €
Módulo CC2530EM	CC2530EM	Texas Instruments	57,60 €
IC ADE7753	ADE7753	Analog Devices	6,29 €
Relé	36.11.9.005.4001	Finder	1,51 €
Regulador tensão	LM1117	National Semicond.	0,33 €
Componentes diversos			~ 5 €
Custo total aproximado do protótipo			72,07 €

O ADE7753 adquire 14 bytes de dados referentes às medidas da corrente, tensão, período do sinal, energia ativa e aparente. A estes 14 bytes são adicionados mais 5 bytes para identificar o tipo de conteúdo de cada amostra adquirida pelo ADE7753 no monitorizador, resultando em 19 bytes de dados, que somados aos bytes introduzidos pelas camadas dos protocolos ZigBee e IEEE 802.15.4 resultam num pacote de dados regular com tamanho de 50 bytes. Dado que os pacotes são enviados a cada 1 minuto., o débito bruto gerado por cada dispositivo corresponde a 6,6 bps. Como este débito é muito inferior à capacidade da rede (250 kbps), conclui-se que a rede é capaz de suportar um número muito elevado de nós sensores.

B. Software Embebido

O software embebido do sistema é composto por duas aplicações principais: uma para o nó coordenador e outra para o nó sensor. Estas aplicações, desenvolvidas utilizando a Z-Stack são responsáveis pela gestão do CC2530 a alto nível, pelo controlo das mensagens recebidas e enviadas na rede sem fios, pela configuração e recolha de dados do ADE7753 no nó sensor, e pela comunicação de dados entre o coordenador e o computador utilizando a porta série RS-232.

O nó sensor envia dois tipos de pacotes de dados pela rede de sensores sem fios. O pacote de dados regular, enviado periodicamente, contém os valores da tensão, da corrente, do período do sinal, da energia ativa e da energia aparente para cálculo do FP. A periodicidade de envio destes pacotes de dados pela rede sem fios é de 1 minuto. O segundo pacote, enviado em resposta à ocorrência de um evento de QEE, transporta informação referente ao evento. Na Fig. 5 está representado o fluxograma da aplicação desenvolvida para o CC2530 do nó sensor. Após os procedimentos de inicialização, o algoritmo é repartido em três tarefas concorrentes. A primeira tarefa, que consiste em processar as interrupções que sinalizam a ocorrência de um evento de QEE, começa pela verificação do tipo de evento, prossegue com a leitura dos dados relevantes e termina com a construção e envio do pacote de QEE. A segunda tarefa, executada sempre que o respetivo temporizador expira (a cada 1 minuto), consiste na aquisição e envio periódico do pacote de dados regular, bem como a reinicialização do temporizador para o próximo envio. A terceira tarefa, acionada quando o nó sensor recebe um pacote proveniente da rede sem fios, consiste em executar o comando contido no pacote. Na versão atual do sistema o único comando implementado consiste na mudança do estado do relé, para ligar ou desligar a carga. Ao desligar a

carga, a tarefa de envio periódico do pacote de dados regular também é desabilitada.

C. Monitorizador

O monitorizador foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C#, sendo composto por uma janela constituída por três abas e um menu. A aba principal (Fig. 6) permite ao utilizador visualizar em tempo real os valores instantâneos das grandezas elétricas adquiridas da carga, na parte esquerda, bem como os eventos de QEE detetados (picos de tensão e corrente, falhas momentâneas e *sags* - cavas de tensão). Nesta aba é possível ainda observar, na parte direita, a energia ativa consumida e o respetivo custo em Euros (€), em função do tarifário escolhido, bem como a pegada ecológica resultante do consumo energético da carga monitorizada. Esta aba também identifica o ID do nó sensor e o estado do relé, e possibilita a criação de um ficheiro para armazenar os dados adquiridos. Para além destas funcionalidades, a aba principal possui um botão que disponibiliza um conjunto de sugestões, conselhos e boas práticas no uso diário da energia.

A segunda aba (*Settings*) destina-se às configurações dos parâmetros da porta série do computador e do tarifário para cálculo do preço da energia a pagar. A terceira aba (*Recorded data*) permite a visualização dos dados adquiridos em forma de relatório, possibilitando aos utilizadores a consulta do histórico do comportamento da carga. A opção *Definitions* do menu da aplicação fornece informação destinada aos utilizadores com menos conhecimento sobre os dados técnicos apresentados, e apresenta ajuda para utilização das funcionalidades do monitorizador.

III. RESULTADOS

Os testes ao nó sensor foram efetuados utilizando como carga resistiva um reóstato tendo como características resistência de 250 Ω e corrente admitida entre 0,9 A e 5,5 A. O transformador de corrente do nó sensor foi envolvido com cinco voltas do fio que alimenta a carga.

Após a aquisição dos dados relativos às grandezas elétricas por parte do ADE7753, é necessário efetuar a leitura dos mesmos através dos respetivos registos, usando o CC2530. Na Tabela II apresentam-se os pormenores envolvidos na leitura dos registos das grandezas elétricas: tensão (VRMS), corrente (IRMS), energia ativa (ANERGY) e aparente (VAENERGY), bem como o período do sinal de tensão (PERIOD). A tabela indica os nomes dos registos, os endereços dos registos, o tamanho de cada registo e os dados envolvidos na operação de leitura sobre o ADE7753, nomeadamente os endereços enviados e os valores recebidos. No que concerne a estes últimos, os valores indicados na tabela são valores reais, mas estão expostos meramente a título de exemplo.

TABELA II. LEITURA DE DADOS VIA INTERFACE SPI.

Nome do registo	VRMS	IRMS	PERIOD	AENERGY	VAENERGY	
Endereço	0x17	0x16	0x27	0x02	0x05	
Nº de bits	24	24	16	24	24	
Enviado para o ADE7753	0x17	0x16	0x27	0x02	0x05	
Recebido pelo CC2530	Hex	0x18D00B	0x474CC	0x22FF	0x495F1	0x478D4
	Dec	1626123	292044	8959	300529	293076

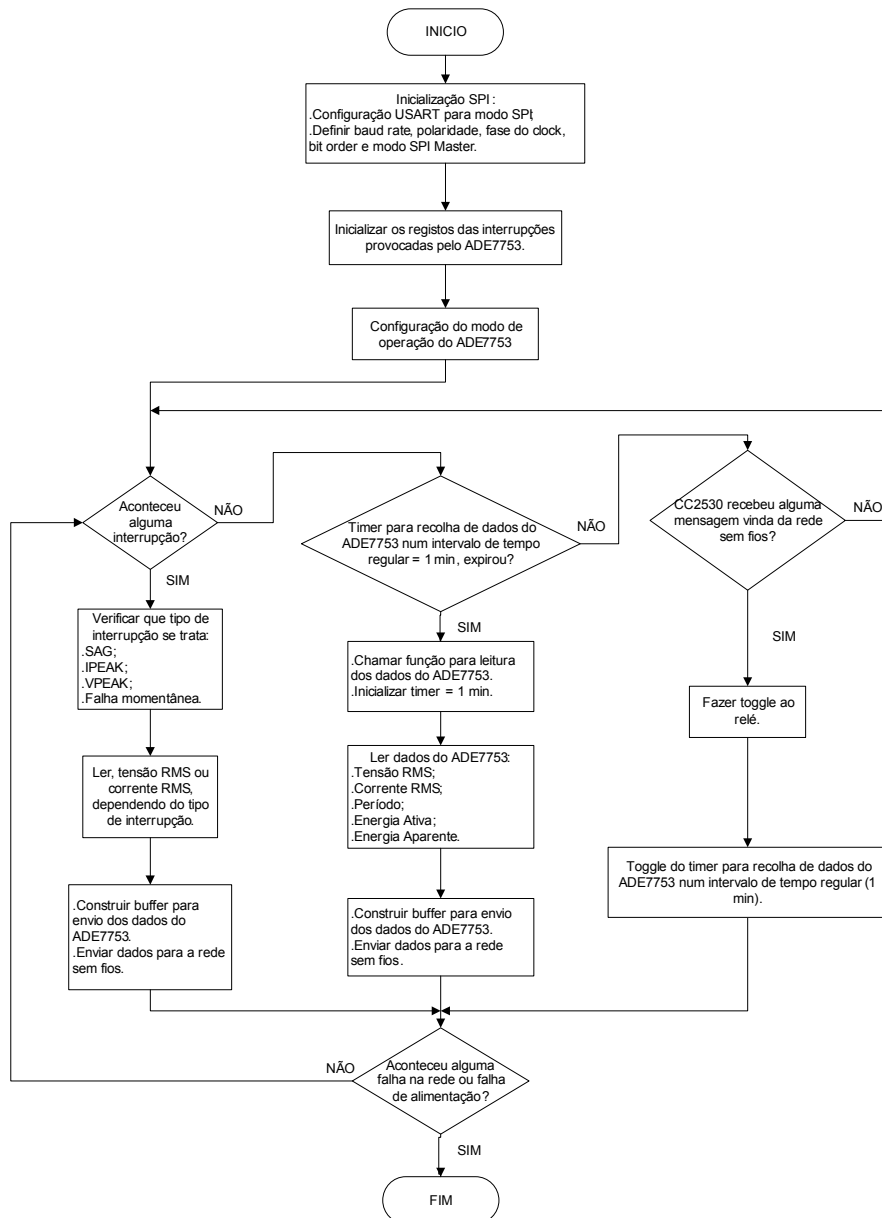


Fig. 5. Fluxograma da aplicação desenvolvida para o CC2530 do nó sensor.

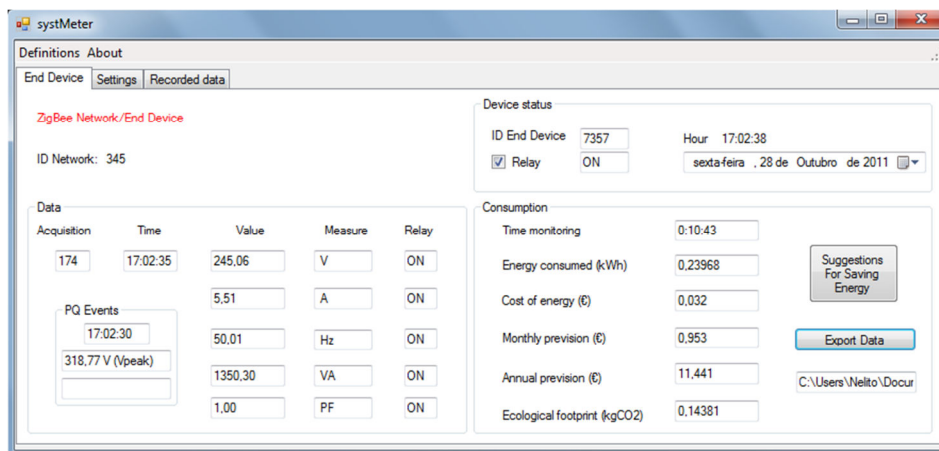


Fig. 6. Aba principal do monitorizador.

A aquisição das grandezas elétricas por parte do ADE7753 deve estar dentro da gama de exatidão aceitável, ou seja, o erro relativo das medições, expresso pela equação (1) deve estar dentro da tolerância desejada, $\pm 2\%$. As medições da exatidão da corrente e da tensão têm como referência os valores obtidos nas medições efetuadas às correntes com o multímetro digital *Mastertech* MS2138R e às tensões com o multímetro digital *Meterman* 38XR.

$$\text{erro (\%)} = \frac{\text{valor medido} - \text{valor referência}}{\text{valor referência}} * 100 \quad (1)$$

Para verificar a exatidão das medições efetuadas, retirou-se um conjunto de amostras dentro da gama de valores esperada, tanto para a corrente como para a tensão. Nos testes elaborados para a corrente, a gama de valores esperados varia desde 0 a 16,35 A. Na Tabela III indica-se o valor de corrente esperado (valor de referência), o valor digital lido, o valor digital convertido para amperes (valor medido) e o erro relativo. Nos testes efetuados o nó sensor apresentou erro nas medições da corrente igual ou inferior a 0,76%.

TABELA III. AMOSTRAS PARA MEDIÇÃO DA CORRENTE COM O ADE7753.

I esperado (A)	Valor digital lido (decimal)	I medido (A)	Erro (%)
2,50	292371	2,49	- 0,59
5,00	585120	4,97	- 0,53
10,0	1167590	9,92	- 0,76
15,0	1772390	15,07	0,44
16,35	1925796	16,35	0,12

Para verificar a exatidão na medição das amostras da tensão, a gama de valores esperados varia desde 0 a 230 V. O valor de tensão esperado, o valor digital lido, o valor digital convertido para volts e o erro relativo para cada amostra podem ser visualizados na Tabela IV. Nos testes efetuados o erro nas medições da tensão situou-se abaixo de 0,85%.

TABELA IV. AMOSTRAS PARA MEDIÇÃO DA TENSÃO COM O ADE7753.

V esperado (V)	Valor digital lido (decimal)	V medido (V)	Erro (%)
55,0	388408	55,5	0,85
107,0	755423	107,9	0,82
165,0	1156060	165,1	0,05
222,0	1554252	221,9	- 0,14

IV. CONCLUSÕES

A implementação do sistema distribuído de monitorização de consumos e de qualidade de energia elétrica descrito neste artigo vai de encontro às necessidades crescentes dos consumidores residenciais e dos avanços tecnológicos em relação ao modo de aquisição dos dados e tipo de dados adquiridos, não deixando para segundo plano a exatidão dos dados adquiridos e o aspeto intuitivo com que os dados devem ser apresentados aos consumidores.

No âmbito deste trabalho, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso que inclui todos os componentes do nó sensor. Os dados são adquiridos pelo nó sensor com erro menor do que 1% com referência aos multímetros utilizados.

No que se refere ao monitorizador, este disponibiliza em tempo real os valores de tensão, corrente, frequência, potência aparente e energia, bem como os eventos de QEE. Disponibiliza também diversas funcionalidades auxiliares para o utilizador: relatório referente aos dados adquiridos (tanto através da interface gráfica como num ficheiro), valor monetário a desembolsar pela energia consumida consoante o valor da tarifa inserida, pegada ecológica resultante do consumo da energia, bem como sugestões de boas práticas para redução do consumo de energia. Em termos de trabalho futuro, pretende-se tornar o nó sensor mais compacto, para que possa ser integrado na tomada das habitações, e incluir uma bateria recarregável, para garantir o funcionamento em caso de falhas de energia na rede elétrica. Quanto ao monitorizador, este pode ser dotado de inteligência para reconhecer o padrão de consumo do utilizador e sugerir novos tarifários ou práticas de uso dos aparelhos elétricos, tendo em vista a redução do consumo. Outra possibilidade consiste na integração de informação recolhida pelo monitorizador em bases de dados *online* e redes sociais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/EEA-EEL/104569/2008.

REFERÊNCIAS

- [1] OCDE/IEA, “World Energy Outlook 2008,” International Energy Agency, vol. 23, no. 4, 2008.
- [2] ADEME (Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie), “Energy Efficiency Trends and Policies in the EU 27: Results of the ODYSSEE-MURE project,” visão geral sobre políticas de eficiência energética na UE-27, 2009.
- [3] Renato Alves, Pedro Neves, D. Gonçalves, J. G. Pinto, José Batista, João L. Afonso, “Electric Power Quality Monitoring Results in Different Facilities”, IECON 2009, 3 5 Nov. 2009, Porto, Portugal, pp. 3649-3653.
- [4] J. C. C. Costa, R. L. Pregitzer, T. N. Sousa, José Batista, João L. Afonso, “A Case of Power Quality Assessment Using a Developed Power Quality Monitor”, IEEE CEE’05, Coimbra, Portugal, 10-12 Oct. 2005.
- [5] Basic-Tool-EKM-30, “Aparelho de medição dos custos da energia” brochura comercial, 2010.
- [6] ISA, “iMeter,” brochura comercial. [Online]. Available: http://teste.isa.pt/download.php?download_file=iMeter_new_EN.pdf [Accessed: Jan-2012].
- [7] Cleode, “BeePack.” [Online]. Available: <http://www.cleode.fr/en/produits.php?page=beepack> [Accessed: Jan-2012].
- [8] C. Buratti, A. Conti, D. Dardari and R. Verdone, “An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution”, Sensors, 9, August 2009.
- [9] IEEE 802.15.4 Standard. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS); IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2006.
- [10] D. Gislason, “Zigbee Wireless Networking”, Newnes, 2008.
- [11] Texas Instruments, “CC2530 Development Kit User’s Guide,” SWRU208B, 2010.
- [12] Analog Devices, “Single-Phase Multifunction Metering IC with di / dt Sensor Interface,” datasheet ADE7753, Rev. C, 2010.
- [13] National Semiconductor Corporation, “800mA Low-Dropout Linear Regulator,” datasheet LM1117. 2006.
- [14] ACME ELECTRIC, “Low Cost 50/60Hz Current Transformer,” datasheet AC1015, 2011.
- [15] Finder, “Miniature PCB relays 10 A - sugar cube size 36.11-4301” datasheet, 2011.
- [16] Texas Instruments, “A True System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications”, CC2530 datasheet, Feb. 2011.