

Arquitetura de Sistema de Informação de Suporte à Monitorização de Sistemas Fotovoltaicos

Architecture of Information System for Monitoring of Photovoltaic Plants

António Nunes Pereira¹, Paulo Tomé¹, Paulo Moisés Costa^{1,2}, José Pascoal³

¹Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Campus Politécnico, 3504-510 Viseu, Portugal

²INESC TEC – INESC Technology and Science (formerly INESC Porto), Rua Dr. Roberto Frias, Porto, Portugal

³Martifer Solar, Technical Department – Automation and Control Systems, Oliveira de Frades, Portugal
a.pedrovc@gmail.com, ptome@estv.ipv.pt, paulomoises@estv.ipv.pt, jose.pascoal@martifer.com

Resumo — Os sistemas de monitorização e supervisão (SMS) são um recurso crucial à exploração de centrais fotovoltaicas (FV), permitindo a recolha de dados sobre o seu funcionamento. Estes dados, após processamento adequado, permitem determinar indicadores de desempenho, efetuar comparações, identificar tendências de comportamento, detetar e localizar anomalias em equipamentos/sistemas e definir planos de manutenção otimizados. A consequência mais evidente da utilização dos SMS é a melhoria do desempenho técnico-económico das centrais FV. O presente artigo apresenta uma arquitetura de um sistema capaz de disponibilizar informação relativa ao funcionamento de uma central FV, independentemente da sua dimensão, num dispositivo móvel. A arquitetura proposta contempla aspetos importantes na conceção de Sistemas de Informação, como sejam a flexibilidade e a segurança de sistemas.

Palavras-chave - Centrais fotovoltaicas; monitorização; supervisão; arquitetura; Arquitecturas de Sistemas de Informação; dispositivos móveis

Abstract — The monitoring and supervision systems are crucial to the operation of photovoltaic plants (PV), allowing the gathering of data about its operation. This data, after proper processing, allow to obtain performance indicators, the establishment of comparisons, the identification of behavior trends, the detection and location of malfunctions in equipment / systems and the definition of optimized maintenance plans. The most obvious consequence of the use of monitoring and supervision systems is the improvement of the technical and economical performance of PV plants. This article presents an architecture of a system able to provide information about the operation of a PV plant, regardless of its size, in a mobile device. The proposed architecture includes important aspects concerning the design of information systems, namely concerning the system flexibility and security.

Keywords- Photovoltaic plants; monitoring; supervision; architecture; Architectures of Information Systems; Mobile devices.

I. INTRODUÇÃO

O impacto ambiental que a produção de energia gera, a crescente escassez de recursos fósseis [1-3], o aumento continuado dos seus custos e a necessidade de redução da dependência energética de alguns países tem tornado inevitável a crescente utilização de fontes de energia renováveis. Neste contexto, a União Europeia (UE) definiu a estratégia “20, 20, 20”, a qual estabelece que, em 2020: i) 20% da energia consumida seja proveniente de fontes renováveis; ii) se verifique um aumento de 20% na eficiência energética, iii) se verifique uma redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa [4]. A aposta em energias renováveis na UE é, portanto, uma realidade incontornável. Entre estas, os recursos hídricos, eólico e solar são aqueles que mais se têm vindo a afirmar.

No caso concreto da energia FV, esta afirmação ocorreu, fundamentalmente, ao longo da última década devido à interligação com a rede elétrica de unidades de produção com potências desde alguns kW até dezenas de MW. O significativo crescimento da energia FV deveu-se aos incentivos levados à prática por diversos governos e ao consequente decréscimo dos custos da tecnologia, o que aumentou a atratividade do investimento neste tipo de unidades de produção renovável de eletricidade. Em Portugal, foram produzidos, no ano de 2012, 409 GWh de eletricidade com origem FV [7].

A energia FV é captada com recurso a módulos solares capazes de converter a radiação solar em eletricidade através do efeito fotoelétrico [5]. O rendimento desta conversão é relativamente baixo, apesar da significativa melhoria ocorrida nos últimos anos. Com efeito, apesar dos relatos sobre rendimentos na ordem dos 28% [6], o facto é que o rendimento dos módulos comerciais dificilmente ultrapassa os 20%, quando em condições reais de exploração. O baixo rendimento da conversão fotoelétrica, a relativa baixa densidade energética da fonte primária quando chega à superfície terrestre [31] e o facto do desempenho dos módulos FV ser significativamente influenciado por condições climáticas são as principais desvantagens desta tecnologia [9]. Estas desvantagens têm, ao longo dos anos, determinado o desenvolvimento de técnicas de

dimensionamento, supervisão, monitorização e controlo dos sistemas FV de forma a otimizar o respetivo rendimento.

Existem ainda outros aspetos que podem condicionar o desempenho energético de um sistema FV, nomeadamente: i) a acumulação de sujidade sobre os módulos FV; ii) a avaria de células nos módulos (que passam a atuar como consumidores de energia); iii) a avaria de outros componentes da central FV (inversores, cabos elétricos, sistemas de medição, etc.); iv) a atuação de dispositivos de proteção elétrica na sequência de defeitos, ou mesmo de forma intempestiva. Todos estes problemas tendem a comprometer a produção de eletricidade de uma unidade FV e, consequentemente, o respetivo desempenho económico e eventuais contratos de produtividade.

Compreende-se, pelo exposto, a necessidade de se equipar as centrais FV (em particular as de maior potência instalada) com sistemas que permitam a monitorização e o armazenamento de parâmetros relacionados com o seu funcionamento [9]. Os dados armazenados permitirão, após tratamento próprio, a obtenção de informação relativa ao desempenho da central, quer em tempo real, quer no que concerne a históricos. Entre outros, poderão ser definidos indicadores de mérito (com diversas periodicidades) que permitam avaliar o desempenho do sistema fotovoltaico (rendimento, fator de carga médio, máximo e mínimo, horas à plena carga, razão entre a produção efetiva e a produção esperada, etc.). Ademais, a informação resultante dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização pode ser apresentada ao longo do tempo, permitindo perceber, por exemplo, o grau de envelhecimento do sistema ou detetar potenciais anomalias no funcionamento dos equipamentos que integram a central fotovoltaica (módulos FV, inversores, canalizações elétricas, proteções, etc.). O sistema de monitorização pode também ser a base para um processo de definição de estratégias de manutenção que permitam garantir elevados níveis de performance [9, 14]. Adicionalmente, este sistema permitirá uma mais rápida deteção e reparação de avarias que venham a ocorrer ao longo da exploração da central FV, com evidentes ganhos em termos do desempenho económico desta [14, 15].

O presente artigo apresenta uma proposta de uma arquitetura para um sistema capaz de disponibilizar informação relativa ao funcionamento de uma central fotovoltaica, independentemente da sua dimensão. A ferramenta possibilita também a identificação e apresentação de vários parâmetros de depuramento de erros em equipamentos e nos sistemas de comunicação do parque fotovoltaico. Para além da referida arquitetura, o artigo apresenta ainda uma aplicação desenvolvida para sistemas Android destinada a permitir o acesso à informação sobre a central FV utilizando dispositivos móveis. A aplicação destina-se a supervisionar parques FV de potências instaladas superiores a 1 MW.

O artigo está organizado da seguinte forma: na secção II apresentam-se os principais conceitos relativos aos sistemas FV. A secção III apresenta as principais aplicações móveis atualmente utilizadas no âmbito da supervisão dos sistemas FV. A secção IV é dedicada à descrição da arquitetura do sistema proposto e à apresentação das principais funções da

aplicação informática desenvolvida. As conclusões, presentes na secção V, encerram o artigo.

II. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos, na generalidade, são constituídos por vários componentes, como mostra a Figura 1.

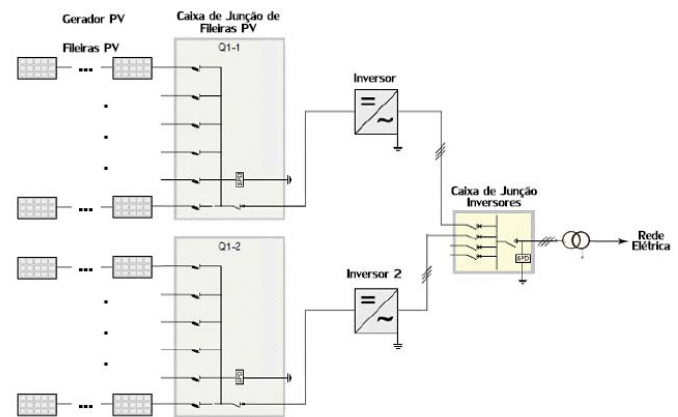


Figura 1. Sistema FV típico.

Os módulos solares, constituídos por células baseadas em semicondutores [5], são o componente mais importante. A eletricidade é produzida na forma de corrente contínua (CC) e, geralmente, tem de ser convertida para corrente alternada (CA) com características adequadas à posterior injeção na rede elétrica. A conversão CC/CA é assegurada por dispositivos designados por inversores, que permitem a conversão da eletricidade produzida por um conjunto de várias séries de módulos (fileiras) ligadas em paralelo (Figura 1). Entre os módulos solares e os inversores podem ser instalados (dependendo da arquitetura) quadros elétricos que permitem a ligação de diversas fileiras em paralelo, bem como a instalação de equipamentos de proteção e, por vezes, de medição/controlo. As saídas dos inversores são ligadas a transformadores, que permitem a injeção da eletricidade gerada na rede elétrica. Dependendo da arquitetura da central FV, um transformador pode servir um ou mais inversores. Nesta última situação existirão quadros AC que permitem o estabelecimento do paralelo entre vários inversores. Neste quadro AC (ou junto ao transformador) podem ser instalados dispositivos de proteção, de comando e de medição.

III. SUPERVISÃO

Os investidores em sistemas FV, os gestores de projetos deste tipo, os fabricantes de equipamentos e as próprias empresas elétricas necessitam de conhecer o desempenho das centrais FV e dos respetivos equipamentos [9, 14, 18]. Este conhecimento apenas é possível se a central FV for dotada de um sistema de aquisição e armazenamento de dados sobre todos os parâmetros críticos neste contexto [9, 10, 14-16, 18, 19]. A Tabela 1 evidencia os dados fundamentais a uma competente monitorização, bem como o tipo de equipamentos que permitem a sua aquisição e respetiva localização.

TABELA 1 - PARÂMETROS A MONITORIZAR NUM PARQUE FV

<i>Variável</i>	<i>Equipamento</i>
<ul style="list-style-type: none"> o Radiação direta/difusa o Temperatura ambiente o Velocidade/direção do vento o Pressão atmosférica 	<ul style="list-style-type: none"> o Estação meteorológica
<ul style="list-style-type: none"> o Tensão e corrente DC por fileira ou por agrupamento de fileiras o Temperatura dos módulos FV 	<ul style="list-style-type: none"> o Analisadores de energia localizados nas caixas de junção o Sistemas de medição de temperatura
<ul style="list-style-type: none"> o Corrente, tensão e potência DC à entrada do inversor o Corrente, tensão e potência AC à saída do inversor o Fator de potência no lado AC o Rendimento do inversor o Tensão e frequência da rede recetora 	<ul style="list-style-type: none"> o Sistema de medição integrado nos próprios inversores ou, na falta destes, analisadores de energia adequados.
<ul style="list-style-type: none"> o Corrente, tensão, potência e fator de potência no ponto de entrega à rede (antes ou depois do transformador de interligação, caso exista) 	<ul style="list-style-type: none"> o Analisador / contador de energia localizado, por exemplo, na caixa de junção de inversores

No processo de aquisição e armazenamento destes dados podem coexistir vários protocolos de comunicação [14], dependendo dos equipamentos integrados no sistema de monitorização. Significa isto que o processo de aquisição de dados envolve o desenvolvimento de plataformas capazes de comunicar com os equipamentos existentes na central, a recolha dos dados e o seu armazenamento em base de dados adequadas. Existem normas contendo recomendações sobre a forma como os sistemas de monitorização devem funcionar. Por exemplo, a Norma IEC 61724 [28] define diretrizes para a medição (erros máximos admissíveis, por exemplo) e para a troca e análise de dados.

Os dados recolhidos e armazenados pelo sistema de monitorização permitirão a efetivação de análises estatísticas capazes de fornecer indicadores sobre o desempenho atual e histórico da central, bem como sobre a tendência de evolução. A definição de indicadores de desempenho envolve a utilização de metodologias próprias para o efeito, como as que são apresentadas em [10, 15-19]. Os dados recolhidos pelo sistema de monitorização têm, posteriormente, de ser tratados para que se obtenha informação relevante para os diversos decisores envolvidos na exploração de uma central FV. É ainda relevante que a informação obtida seja apresentada de forma amigável e, dada a sua crescente utilização e vantagens, de preferência em dispositivos móveis.

A. Aplicações de monitorização existentes

Existem, atualmente, diversas aplicações desenvolvidas para diferentes plataformas que permitem a monitorização de sistemas FV. Entre estas constam as aplicações PV Output, Solar Analyzer, e outras, normalmente associadas ao seu próprio equipamento de aquisição, Solar Status, Sunny Portal, Solar-Log, WebdynSun, Rbee solar, SolarMax, Power-one, etc. [20-27]. Estas aplicações foram desenvolvidas, essencialmente, para monitorização de instalações FV com potência instalada de alguns kW. Em algumas situações, como é o caso da aplicação PV Output, é necessário fazer o registo periódico e

manual de parâmetros, impossibilitando uma monitorização adequada a uma central FV de média/grande dimensão.

Na Tabela 2 estão assinaladas algumas das características relevantes de diversas aplicações existentes. A maioria das aplicações acede aos dados do gerador FV através de módulos de comunicação acoplados ao inversor, permitindo desta forma a obtenção direta de todos os parâmetros do gerador FV.

TABELA 2 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS APLICAÇÕES

<i>Nome</i>	<i>Aplicação Web</i>	<i>Aplicação Móvel</i>	<i>Dados Tempo Real</i>	<i>Potência a Monitorizar</i>	<i>Acesso aos dados</i>
PV Output	X	X		-	Indireto
Solar Analyzer		X	X	-	Direto
Solar Status		X	X	Residencial ^a	Direto
Sunny Portal	X	X	X	Residencial ^a	Indirecto
Solar-Log	X	X	X	-(MW) ^b	Indirecto
WebdynSun	X		X	-	Direto
Rbee solar	X			-	Indireto ^b
SolarMax	X	X	X	< 100 kW	Direto
Power-one	X		X	-(MW)	Direto

a. Alguns kW

b. Os dados passam pelo servidor da empresa

IV. ARQUITECTURA DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO E APLICAÇÃO DE SUPORTE

Conforme foi descrito na secção II, as centrais FV de média/grande dimensão dispõem de mecanismos que permitem a recolha e armazenamento de dados relativos às ocorrências no sistema. Assumindo-se este pressuposto, interessa agora definir uma arquitetura de sistema de informação que permita a diferentes sistemas e tecnologias tirar partido dos dados de forma flexível e segura. Existem, atualmente, várias soluções no que respeita ao tipo de aplicações informáticas. Nomeadamente, existem aplicações informáticas, no sentido mais estrito (como por exemplo as aplicações windows), aplicações web e aplicações para dispositivos móveis. A utilização de cada um dos tipos anteriores tem vantagens e desvantagens, pelo que, vulgarmente a opção pela sua adoção tem de ser tomada em função do contexto próprio. Outro aspeto inerente à utilização de dados e informação é a segurança dos mesmos, o que implica que o acesso apenas seja permitido a pessoas devidamente autorizadas. Adicionalmente, é conveniente minimizar os riscos do acesso indevido a fontes de dados, pois tal pode causar danos importantes.

A arquitetura proposta neste trabalho é, como ilustra a Figura 2, baseada num modelo de três camadas: camada de dados, camada processual e camada de apresentação. Importa destacar a concordância deste modelo com as especificações emanadas da Norma ANSI/IEEE 1471-2000 [29]. A comunicação apenas se realiza entre camadas adjacentes, não

existindo a possibilidade de se efetuar alterações por elementos externos à comunicação.

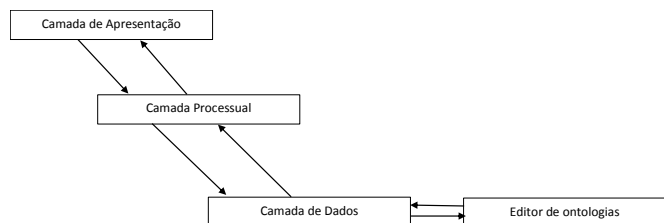


Figura 2. Camadas da arquitetura proposta

A camada de dados regista, numa base de dados local e com recurso a uma aplicação desenvolvida para o efeito, todas as ocorrências e parâmetros relevantes do sistema fotovoltaico. São registados designadamente os dados, previamente tratados, referidos na Tabela 1, assim como os erros, eventos e alarmes relativos aos equipamentos instalados.

Na camada processual são tratados os pedidos efetuados pela camada de apresentação e que visam a obtenção de informação com base nos dados disponíveis na base de dados. Esta camada tem também o objetivo de aumentar a segurança no que se refere ao acesso aos dados, uma vez que assegura a separação entre as camadas de dados e de apresentação. Este mecanismo permite, portanto, evitar acessos diretos à base de dados.

A camada de apresentação visa expor, de forma amigável, informação relevante para a exploração, manutenção e correção de avarias do parque FV. Nesta camada pode ser considerada a utilização de diversos tipos de aplicações, como por exemplo: aplicação web, aplicações para ambiente Windows ou outro, ou uma aplicação para dispositivos móveis.

O editor de ontologias dota a arquitetura de alguma flexibilidade adicional. Conforme será expectável, na camada de dados poderão estar diferentes sistemas de base de dados bem como diferentes modelos de bases de dados. Relativamente a este último aspeto é pertinente referir-se que diversos fabricantes de tecnologias para parques FV concebem bases de dados diferentes.

As ontologias são uma boa ferramenta para partilha e gestão de conhecimento [31, 32]. O Editor proposto baseia-se numa estrutura de ontologias, conforme defendido em [33], a dois níveis: uma ontologia global e várias ontologias específicas. A ontologia global define os conceitos comuns às diferentes estruturas de bases de dados. Por outro lado, as ontologias específicas definem a forma de obtenção da informação nas diferentes estruturas de bases de dados.

Atualmente, a prova de conceito, ilustrado na Figura 3, encontra-se a funcionar de acordo com os seguintes elementos:

- Camada de dados: Base de dados no SGBD SQLServer;
- Camada processual: Webservice desenvolvido em ASPX;
- Camada de apresentação: Aplicação Android;

- Comunicação entre camada de dados e processual: pedidos feitos em tecnologia ASP.Net e informação fornecida em XML;
- Comunicação entre camada de apresentação e processual: pedidos realizados através de tecnologia SOAP;
- As ontologias estão a ser armazenadas no SGBD SQL em procedimentos armazenados que retornam XML para o Webservice que os invoca.

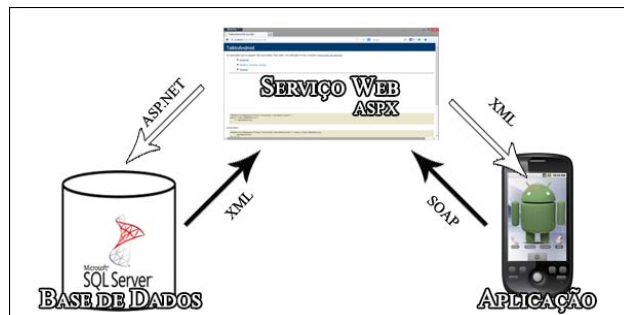


Figura 3. Instância da arquitetura proposta

A camada de apresentação, ainda em fase de desenvolvimento, destina-se a ser utilizada em dispositivos móveis dotados do sistema operativo Android. A aplicação será dotada de vários ecrãs funcionais, com diferentes níveis de acesso. No ecrã principal constará o menu de seleção, onde será possível escolher os diversos ecrãs, nomeadamente: Debug; erros, alarmes e estados; painel geral; dados de produção.

No ecrã de debug, com permissão de administrador, são apresentados todos os erros referentes aos equipamentos tanto de geração como de comunicação, incluindo a respectiva descrição do erro.

No ecrã de erros, alarmes e estados apresentar-se-á uma lista completa de todos os equipamentos de geração de modo a verificar periodicamente os problemas e estado dos mesmos. Este ecrã só estará disponível para utilizadores com permissões de operador e permitirá obter tempos de resposta mais rápidos para os operadores da planta, face à situação da sua inexistência.

O ecrã painel geral, com permissão de operador, permitirá o acesso a informação relativa às grandezas elétricas e outras de cada equipamento (tensões, correntes, potências, radiação solar, temperaturas de módulos, etc.).

Por fim, o ecrã de produção, sem necessidade de permissões, apresentará tabelas e gráficos com os resumos de produção diária, mensal e anual da planta FV. Este ecrã permitirá, por exemplo, analisar desvios de produção dos diversos equipamentos.

Importa destacar que a ligação direta com a base de dados local da instalação FV, permite que a aplicação possa fornecer dados em tempo real, ao contrário das aplicações referenciadas

na secção III. Consequentemente, será possível monitorizar a central FV de qualquer parte do mundo, obtendo informação em tempo real relativa a qualquer parâmetro que possa afetar a produção.

A aplicação Android em desenvolvimento já permite apresentar, graficamente, informação referente ao sistema e à produção, nomeadamente no que concerne ao desempenho e ao estado dos componentes. Esta informação provém de um webservice implementado, que seleciona na base de dados a informação pretendida e a disponibiliza à aplicação Android em formato XML. As Figuras 4 a 6 ilustram informação, em tempo real, relativa ao estado dos componentes da central FV. Em concreto, no ecrã da figura 4 é apresentado o valor da potência total em cada caixa de junção de uma central FV. Esta informação pode servir de suporte à deteção de potenciais avarias em fileiras do gerador, por comparação entre as produções das diversas fileiras. A Figura 5, por sua vez, apresenta informação sobre o estado (ativo ou inativo) de componentes do sistema, neste caso de caixas de junção e de inversores. Quando o alarme está ativo é mostrado um ícone vermelho, quando inativo, um ícone verde. A Figura 6 mostra o aspeto do ecrã que permite avaliar a existência de erros em equipamentos (na figura apenas são mostradas algumas das mensagens de erro possíveis). Estes erros são subdivididos em três categorias: i) Alarmes (“Alarm”), assinaladas com um ícone vermelho; ii) Avisos (“Warning”), assinaladas com o ícone amarelo; iii) e Estado (“Status”), assinalado com o ícone verde. Importa referir que existe a possibilidade de filtrar a pesquisa por tipo de equipamento, tal como se evidencia no fundo da Figura 6. Note-se que, como referido anteriormente, o acesso a este ecrã implica a utilização de permissões de administrador. Na Figura 7, é apresentada a energia horária produzida por uma planta fotovoltaica de 2MW, dotada de seguidores solares e localizada em Portugal, no dia 1 de setembro de 2013.

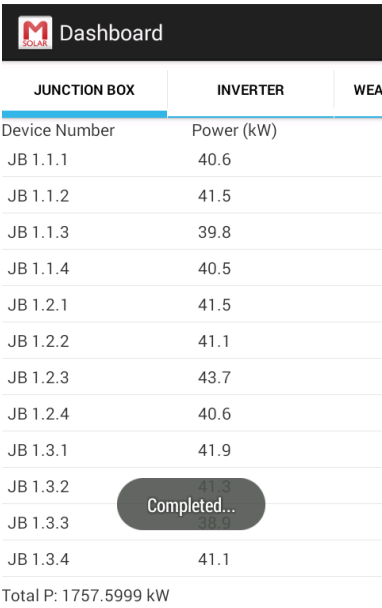


Figura 4. Visualização da potência em cada caixa de junção



Figura 5. Informação sobre estado de equipamentos (ativo ou inativo)

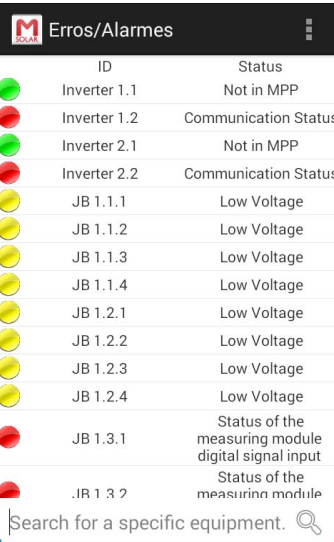


Figura 6. Informação de erros relativos a equipamentos

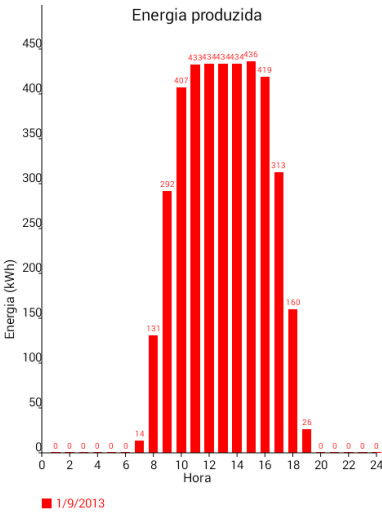


Figura 7. Gráfico de energia produzida num dia específico

V. CONCLUSÕES

A recolha de dados sobre o funcionamento de uma central FV e o posterior tratamento de forma a obter informação relevante é um aspeto crucial no que concerne a uma exploração otimizada de centrais FV. Com efeito, a informação obtida permite determinar indicadores de desempenho, efetuar comparações, identificar tendências de comportamento, detetar e localizar anomalias em equipamentos/sistemas e definir planos de manutenção otimizados. A consequência mais evidente da disponibilidade desta informação é a melhoria do desempenho técnico-económico das centrais FV.

Neste artigo apresenta-se uma arquitetura de um sistema de informação de suporte ao funcionamento de sistema FV. A arquitetura proposta baseia-se em dois pilares fundamentais no desenvolvimento de sistemas: flexibilidade e segurança. A prova de conceito foi implementada através do desenvolvimento de três instanciações de cada um dos elementos contemplados na arquitetura. O sistema desenvolvido é capaz de disponibilizar informação relativa ao funcionamento de uma central FV, independentemente da sua dimensão, num dispositivo móvel.

REFERENCES

- [1] R. L. Evans, *Fueling Our Future: An Introduction to Sustainable Energy*. Cambridge University Press, 2007.
- [2] R. Faria, P. Marques, P. Moura, F. Freire, J. Delgado, and A. T. de Almeida, "Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 271–287, Aug. 2013.
- [3] T. Bradford, *Solar Revolution*. MIT Press.
- [4] E. R. E. Council, *Renewable Energy in Europe: Markets, Trends and Technologies*. Routledge, 2010.
- [5] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic Solar Energy Generation*. Springer, 2005, pp. 11–18.
- [6] "Roeder-Johnson Archives: New Science Demonstrated as Alta Devices Makes Rapid Solar Efficiency Advances." [Online]. Available: <http://www.roeder-johnson.com/RJDocs/Extraction-of-Light-Generated-Inside-Solar-Devices-Proves.html>. [Accessed: 10-Feb-2014].
- [7] APISOLAR, "Associação Portuguesa da Indústria Solar." [Online]. Available: www.apisolar.pt. [Accessed: 11-Feb-2013].
- [8] E. Lorenzo, *Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic Systems*. PROGENSA, 1994.
- [9] L. Cristaldi, M. Faifer, A. Ferrero, and A. Nechifor, "On-line monitoring of the efficiency of photo-voltaic panels for optimizing maintenance scheduling," in 2010 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010, pp. 954–959.
- [10] A. Chouder and S. Silvestre, "Automatic supervision and fault detection of FV systems based on power losses analysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 10, pp. 1929–1937, Oct. 2010.
- [11] N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, and M. Manfren, "A simplified model for the estimation of energy production of FV systems," *Energy*, vol. 59, pp. 503–512, Sep. 2013.
- [12] "Android SDK | Android Developers." [Online]. Available: <http://developer.android.com/sdk/index.html>. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [13] "Getting Started with Android Studio | Android Developers." [Online]. Available: <http://developer.android.com/sdk/installing/studio.html>. [Accessed: 12-Feb-2014].
- [14] F. J. Sanchez-Pacheco, P. J. Sotorrio-Ruiz, J. R. Heredia-Larrubia, F. Perez-Hidalgo, and M. Sidrach-de-Cardona, "Low cost DC lines PLC based photovoltaic plants parameters smart monitoring communications and control module," in 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 2011, pp. 1–6.
- [15] J. Solórzano and M. A. Egido, "Automatic fault diagnosis in FV systems with distributed MPPT," *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 925–934, Dec. 2013.
- [16] L. Cristaldi, M. Faifer, M. Rossi, and F. Ponci, "Monitoring of a FV system: The role of the panel model," in 2011 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 2011, pp. 90–95.
- [17] N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, and M. Manfren, "A simplified model for the estimation of energy production of FV systems," *Energy*, vol. 59, pp. 503–512, Sep. 2013.
- [18] L. Fanni, M. Giussani, M. Marzoli, and M. Nikolaeva-Dimitrova, "How accurate is a commercial monitoring system for photovoltaic plant?," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, p. n/a–n/a, 2012.
- [19] N. Gokmen, E. Karatepe, S. Silvestre, B. Celik, and P. Ortega, "An efficient fault diagnosis method for FV systems based on operating voltage-window," *Energy Conversion and Management*, vol. 73, pp. 350–360, Sep. 2013.
- [20] "PV Output - Aplicações Android no Google Play." [Online]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=au.id.mcdonalds.FVoutput&hl=pt_PT. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [21] "Solar Status - Aplicações Android no Google Play." [Online]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.corocks.android.solarstatus&hl=pt_PT. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [22] "Solar-Log™ APP - Aplicações Android no Google Play." [Online]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.solarlog.app&hl=pt_PT. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [23] "Sunny Portal - Aplicações Android no Google Play." [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sunnyportal.ui>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [24] "WebdynSun." [Online]. Available: <http://www.webdynsun.com/>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [25] "Rbee Solar, our photovoltaic monitoring solution." [Online]. Available: <http://www.rbeesolar.com/en-GB/>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [26] "SolarMax." [Online]. Available: <http://www.solarmax.com/en/>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [27] "Renewable Energy Solutions | Power-One." [Online]. Available: <http://www.power-one.com/renewable-energy>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [28] IEC 61724. 1998. Photovoltaic system performance monitoring – guidelines for measurement, data exchange and analysis.
- [29] IEEE. 2000. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. IEEE.
- [30] J. Duran, "Solar Fotovoltaica." Available: <http://www.clubderoma.org.ar/pt/arquivo/documentos/195-documentos-energias-renovaveis.html>. [Accessed: 17-Feb-2014].
- [31] Abecker, Andreas and Ludger van Elst. 2004. "Ontologies for Knowledge Management" in Staab and Studer, 2004. pp. 435–454.
- [32] Mika, Peter, Victor Iosif, York Sure, Hans Akkermans. 2004. "Ontology-based Content Management in a Virtual Organization" in Staab and Studer, 2004. pp. 455–476.
- [33] Guarino, N. 1997. Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration. In M. T. Pazienza (ed.) *Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology*. Springer Verlag: 139–170.