

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO, CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS PARA FONTES RENOVÁVEIS DESCENTRALIZADAS

**José Sigefredo Pinheiro Neto** – sigefredo\_nt@yahoo.com.br

**Paulo C. M. Carvalho** – carvalho@dee.ufc.br

**Renato S. Holanda de Oliveira** – renatosampaio@endesabr.com.br  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

**Manuel Rangel Borges Neto** – manuel.rangel@ifsertao-pe.edu.br

**Luiz Carlos Nascimento Lopes** – proficnl@yahoo.com.br  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano

**André Pimentel Moreira** – apmoreira@ifce.edu.br  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará

**Resumo.** O presente artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema para supervisão, controle e aquisição de dados (SCADA) para o Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA - UFC), proporcionando uma maior interação entre as plantas de dessalinização por osmose reversa, bombeamento de água, geração fotovoltaica e biogás instaladas no laboratório. Através de uma instrumentação diversificada, armazenamento de dados e controle flexível, a automação do LEA ampliou as possibilidades de múltiplas configurações, uso de diversos algoritmos de testes, controle e interface gráfica com os usuários, disponibilizando toda a versatilidade do laboratório.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis, Geração Descentralizada, SCADA

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente de energia elétrica no mundo, a necessidade cada vez mais evidente da preservação do meio ambiente e as previsões de escassez de recursos energéticos não renováveis têm motivado a diversificação da matriz energética com fontes renováveis que gerem menores impactos no meio ambiente. Fontes renováveis não poluentes como solar, eólica e a biomassa, com o aproveitamento de dejetos em biodigestores, são objeto de estudo como alternativas promissoras e ecologicamente corretas. Tendo em vista a importância da ampliação do estudo dessas fontes, foi desenvolvido um sistema para supervisão, controle e aquisição de dados para o Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará.

## 2. LABORATÓRIO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS - LEA

No LEA são desenvolvidas atividades de pesquisas, ensino e extensão no estudo de energias renováveis e suas aplicações. LEA está situado no Campus do PICI da UFC, em Fortaleza-CE, Brasil, conforme Fig. 1.



Figura 1 - Localização do LEA no Campus do PICI da UFC, Fortaleza-Ce, Brasil.

O LEA conta com plantas de dessalinização via osmose reversa, geração fotovoltaica (FV), controlador de carga com armazenamento em baterias chumbo-ácido, bombeamento, biodigestor e gerador a biogás. Todos esses componentes operam de forma independente, podendo ou não ser interconectados para interagirem entre si, proporcionando diversas análises destas plantas e das variáveis envolvidas como, por exemplo, a análise do sistema de osmose reversa com alimentação FV utilizando baterias e sem baterias. Um diagrama simplificado das plantas instaladas no LEA com suas interações pode ser visto na Fig. 2.

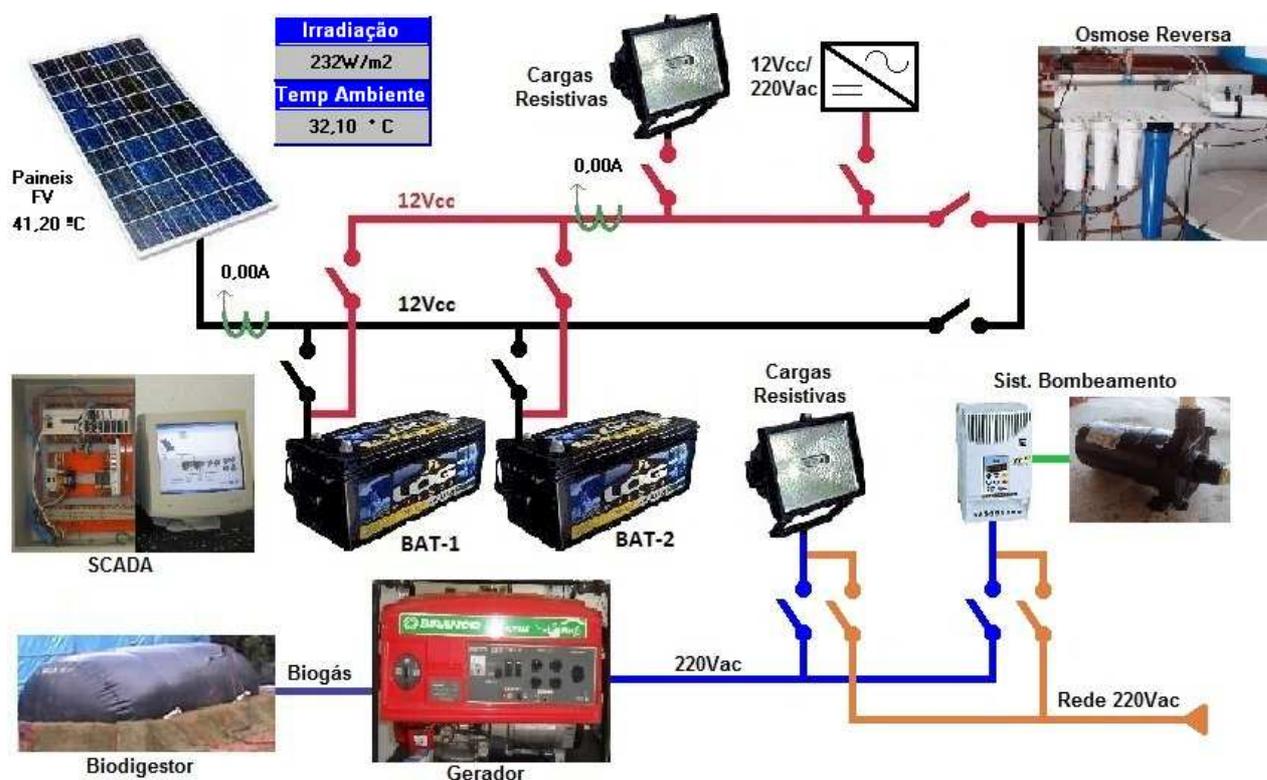


Figura 2 – Diagrama simplificado dos componentes instalados no LEA.

Todos os componentes são monitorados e controlados através de um painel central de automação, composto por um controlador lógico programável (CLP) dotado de vinte e quatro entradas e dezesseis saídas digitais; quarenta e oito entradas e duas saídas analógicas configuráveis de 0 a 10 Vdc / 4 a 20 mA; três portas de comunicação, sendo duas portas seriais 485 (RS-485) e uma *ethernet*, trabalhando na função mestre/escravo em duas redes seriais diferentes ou ainda em uma terceira rede como cliente/servidor na porta *ethernet*. Este painel proporciona a modificação do *hardware* e *software* de forma simples, alterando conforme a necessidade o controle, monitoramento e interação entre as plantas.

A interface com o usuário e o armazenamento de dados é feito via um Computador Pessoal (PC) utilizando o *software* ELIPSE SCADA que tem a função de mestre na rede de comunicação industrial com protocolo MODBUS-*remote terminal unit* (RTU), formada entre o PC e o CLP através de um conversor USB/RS-485 conectado ao PC e a primeira porta serial do CLP que desempenha a função de escravo nesta primeira rede. Uma segunda rede de comunicação industrial RS-485 com protocolo MODBUS-RTU, é composta entre a segunda porta serial do CLP, que nesta rede desempenha a função de mestre e uma RTU com quatro entradas analógicas de 0 a 10 Vdc / 4 a 20 mA configuráveis, desempenhando o papel de escravo. Podem ser aceitos até 32 dispositivos na rede RS-485 com uma distância máxima de 1.200 metros.

## 2.1 Conceito de Sistema SCADA

De acordo com Albuquerque e Alexandria (2007), o sistema SCADA é responsável pela coleta e transferência de informações sobre o estado das plantas monitoradas, pela exibição desses dados na sala de controle e pelo comando remoto de dispositivos (automaticamente ou por iniciativa do operador).

As atribuições de um sistema SCADA são basicamente: controle (ação de gerar sinais de forma que a variável controlada se comporte de acordo com o pré-estabelecido), monitoração (aquisição de dados para verificar as condições de funcionamento do processo) e supervisão (aquisição de dados para permitir a elaboração de uma estratégia de operação para maximizar o retorno financeiro, maior produção, qualidade e eficiência).

O termo controle supervisão (usado para designar um aplicativo de supervisão baseado em uma plataforma SCADA) denota o processo de monitorar à distância uma atividade, transmitindo diretrizes de operação aos controladores localizados à distância e recebendo de volta a indicação da realização das ações de controle.

### 2.1.1 Software ELIPSE SCADA

A versão do software SCADA utilizado no laboratório é o ELIPSE PRO, devido a sua agilidade e versatilidade no desenvolvimento das aplicações, além da comprovada confiabilidade e disponibilidade de suporte técnico. Segundo manual do usuário Elipse (2010), trata-se da mais avançada ferramenta do Elipse SCADA com banco de dados proprietário, relatórios formatados, históricos, receitas, alarmes e Controle Estatístico de Processos (CEP), permite trocar dados em tempo real com outras estações, transferir e atualizar bancos de dados, realizar comandos e programar setpoints através de rede local ou linha discada. É um *software* de supervisão completo.

### 2.2 Conceito de Redes Industriais

Segundo Albuquerque e Alexandria (2007) as redes industriais também conhecidas como *fieldbus* (barramento de campo), surgiram da necessidade de interligar equipamentos usados nos sistemas de automação, que se expandiam operando independentemente. A interligação desses equipamentos em rede permite o compartilhamento de recursos e base de dados, as quais passam a ser única e não mais replicadas, o que confere mais segurança aos usuários da informação.

As redes utilizadas para aplicações industriais possuem características peculiares a esse tipo de aplicação. Modularidade, confiabilidade, interoperabilidade e grande desempenho são características essenciais. A confiabilidade em sistemas de controle é óbvia, pois falhas podem ter consequências gravíssimas tanto para a planta como para vida humana.

De acordo com Stemmer (2001), as principais vantagens e benefícios da utilização do *fieldbus* em relação às conexões convencionais podem ser resumidos em vantagens econômicas, técnico-operacionais, sistêmicas e mercadológicas.

a) Vantagens econômicas:

- drástica redução do cabeamento pela utilização de um meio físico compartilhado;
- redução do número de canais de comunicação com o processo;
- redução do tempo e complexidade do projeto de *layout*;

b) Vantagens técnico-operacionais:

- facilidade de instalação e manutenção, pela manipulação de um menor número de cabos e conexões;
- facilidade de detecção, localização e identificação de falhas, através de funções de monitoração automáticas;
- maior modularidade no projeto e instalação, aumentando a flexibilidade de expansão de funções e módulos;

c) Vantagens sistêmicas:

- aumento da consistência e da confiabilidade da informação advinda dos instrumentos de campo, através da digitalização e pré-processamento;
- possibilidade de sincronização dos instantes de amostragem dos sinais;
- melhoria do desempenho global da aplicação pela descentralização do processamento;
- maior facilidade de interconexão entre níveis hierárquicos diferentes de automação;

d) Vantagens mercadológicas:

- redução dos custos de sistemas através da aquisição seletiva de dispositivos compatíveis de diferentes fornecedores, eliminando a dependência de um fornecedor específico;

### 2.3 Monitoramento da Planta de Dessalinização Via Osmose Reversa

De acordo com Oliveira (2011), a planta de osmose reversa tem um cunho inovador de interação entre bombeamento, tecnologia de dessalinização e energia solar FV para fins de viabilização de água potável a partir de água salobra de poços em climas semi-áridos, analisando a eficiência do sistema como um todo com ou sem a utilização de banco de baterias e operando a diferentes salinidades.

A planta é dotada de vários sensores industriais onde as principais variáveis do processo são monitoradas e têm valores armazenados no sistema SCADA, que possibilita a exportação dos dados para uma planilha de dados em Excel facilitando o tratamento e análise. Na medição de corrente dos motores CC aplicados na planta foram utilizados resistores *shunt* 30 A / 60 mV, em série com a alimentação de cada motor; o sinal de tensão oriundo dos *shunts* foi amplificado por uma placa de circuito impresso (PCI), projetada para acoplar os sinais de tensão. Conforme visto na Fig. 3, o circuito possui dois amplificadores operacionais na configuração não inversor, amplificando os sinais dos *shunts* e dois divisores de tensão para reduzir o nível dos sinais de alimentação aplicada aos motores, que extrapolam a capacidade das entradas analógicas do CLP, de 0 a 10 Vdc. O esquema simplificado dos circuitos amplificador e divisor de tensão pode ser visto na Fig. 4.

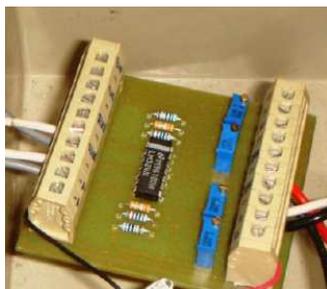


Figura 3 – Placa de Acoplamento de Sinais.

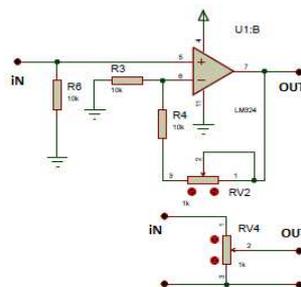


Figura 4 – Esquema Simplificado da PCI.

As medições de vazão instantâneas de entrada e saída da planta são feitas através de dois transdutores de fluxo volumétrico, SM6000 e SU7000, ligados diretamente às entradas analógicas do CLP através dos *loops* de tensão 0 a 10 Vdc. De acordo com manual do fabricante IFM (2010), os sensores de fluxo utilizados podem monitorar a vazão instantânea e o acúmulo de fluxo em um intervalo de tempo, em uma faixa de 0 a 50 L/min (SU7000) e de 0 a 25 L/min (SM6000), com uma resolução de 0,1 L/min (SU7000) e 0,05 L/min (SM6000). Os transdutores enviam pulsos para uma entrada digital do CLP possibilitando contabilizar a vazão acumulada de entrada e saída da planta.

As medições de pressão de entrada e saída da planta são feitas através de dois transdutores de pressão PN2024. Conforme manual do fabricante IFM (2009), a faixa de trabalho do transdutor é de -1 a 10 bar, resolução de 0,02 bar, com saída programável de 4 a 20 mA ou 0 a 10 Vdc, alimentação de 20 a 30 Vdc.

#### 2.4 Monitoramento da Geração FV e Controle de Carga com Armazenamento em Baterias Chumbo-Ácido

O sistema de geração FV é composto por cinco módulos policristalinos, fixado sobre o teto do LEA (Fig. 5), apontados para o norte com uma inclinação de aproximadamente 15 graus, facilitando o escoamento de água da chuva e evitando o acúmulo excessivo de sujeira.

As conexões elétricas dos painéis FV estão disponíveis em um painel elétrico auxiliar no interior do laboratório, possibilitando a fácil mudança nas associações entre os painéis através de conexões em série ou em paralelo; os painéis podem trabalhar em conjunto ou de forma individual, dependendo do estudo em questão.



Figura 5 – Painéis FV instalados no LEA.

O sistema de monitoramento dos painéis possui um sensor de temperatura LM35 instalado na parte posterior do painel central (Fig. 6) coletando a temperatura das células e outro sensor monitorando a temperatura ambiente. Estes dados podem ser utilizados para determinar a eficiência dos painéis em função da temperatura.



Figura 6 – Sensor de Temperatura LM35 instalado em Painel.

Um piranômetro instalado no centro do arranjo FV (Fig. 7) mede a radiação global que incide sobre os painéis.



Figura 7 – Piranômetro instalado entre painéis FV.

A interface de controle de carga (Fig. 8) conecta o arranjo de painéis FV aos bancos de baterias e às cargas de 12 Vdc, 300 W ou em 220 Vac através de um conversor de 12 Vdc/220 Vac, 150 W. O sistema contém PCIs (Fig. 9), desenvolvidas com circuitos integrados de efeito hall ACS756-SCA50B para monitoramento da corrente de carga e descarga das baterias, com faixa de corrente de -50 a 50 A com sinal de saída de 0 a 5 Vdc e sensibilidade de 40 mV/A. O controle do sistema é feito pelo CLP do painel central de automação, tornando o algoritmo flexível de acordo com o estudo a ser realizado, monitorando e armazenando os dados de tensão e corrente de carga e descarga das baterias.



Figura 8 – Interface de Controle de Carga.



Figura 9 – Sensor de Corrente Por Efeito Hall.

O sistema de armazenamento de energia é composto por 12 baterias estacionárias de chumbo-ácido, reguladas a válvulas. Esses dispositivos são específicos para utilização em sistemas de energias renováveis, operando a ciclos constantes e lentos de carga e descarga.

A configuração do banco pode ser facilmente alterada de acordo com a necessidade da planta, sendo normalmente usados dois bancos individuais de seis baterias em paralelo que se alternam em ciclos de carga e descarga de acordo com o algoritmo de controle vigente no CLP. A tela de supervisão do sistema FV e controle de carga das baterias pode ser vista na Fig. 10.

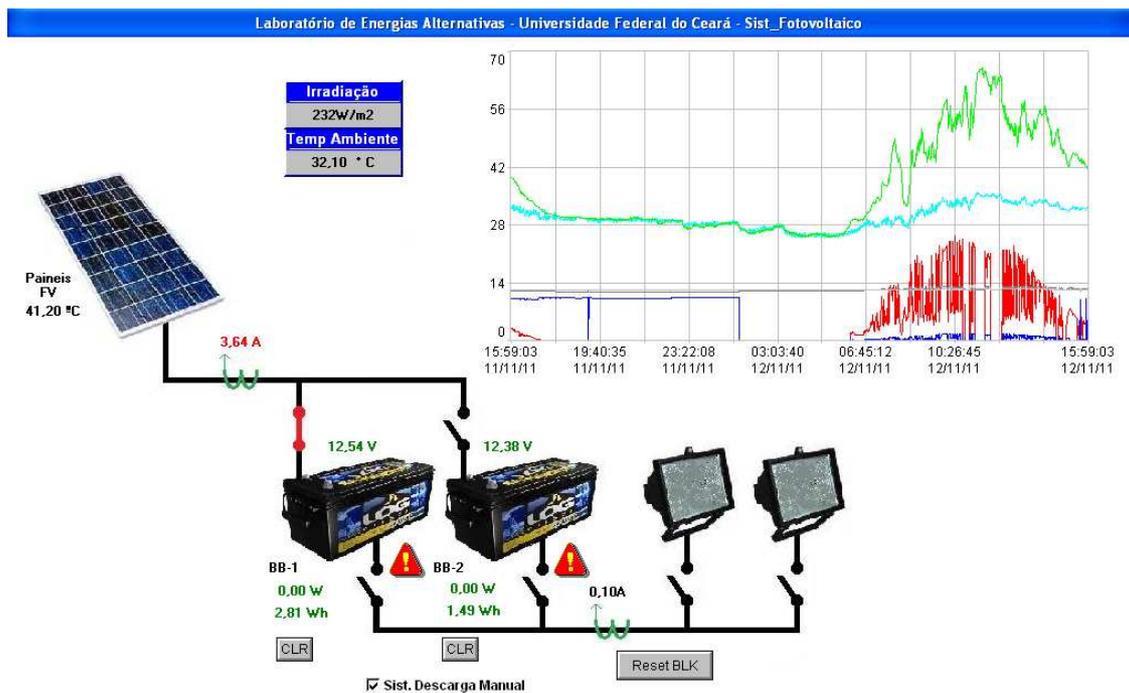


Figura 10 – Tela de Monitoramento do Sistema FV e Gerenciamento de Carga das Baterias.

## 2.6 Monitoramento e Controle do Sistema de Bombeamento Hidráulico

O sistema de bombeamento hidráulico é composto por uma bomba centrífuga trifásica de 0,5 CV, 220/380 Vac, 3450 rpm, 60 Hz, acionada por um inversor de frequência que controla a velocidade da bomba. O sistema possui transdutores de pressão de 0 a 1 Bar com saída de 4 a 20 mA, modelo PA-3027 e vazão tipo turbina modelo Signet 2537 com saída em *loop* de 4 a 20 mA, interligados ao CLP para efetuar o monitoramento da planta e um analisador de energia conectado à saída do conversor de frequência para análise das variáveis elétricas.

O sistema de bombeamento hidráulico pode funcionar com alimentação proveniente da rede elétrica ou do gerador, desempenhando o papel de carga para o sistema acionado a biogás.

O conversor de frequência pode ser acionado de forma manual ou através do painel de controle central, com liberação de funcionamento por sinal digital e *loop* de tensão de 0 a 10 Vdc, controlando a velocidade da bomba. Esse sistema permite realizar estudos de controle em malha fechada com realimentação de pressão ou vazão, efetuando testes com diversos algoritmos de controle. A tela de monitoramento do sistema pode ser vista na Fig. 11.

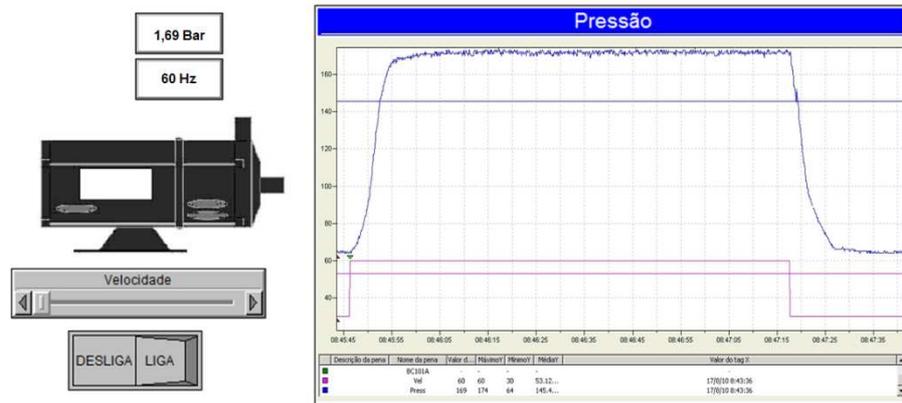


Figura 11 – Tela de Monitoramento do Sistema de Bombeamento Hidráulico.

## 2.7 Monitoramento e Controle do Sistema a biogás

O Sistema a biogás é composto basicamente por um gerador elétrico modelo B4T-5000LE de 4 KVA (Fig. 12), 3600 rpm, tensão de saída 110/220 Vac, acionado por um motor de combustão para trabalhar com biogás; o fornecimento de biogás é proveniente do biodigestor tubular modelo 4500 pré-fabricado em geomembrana de PVC. Alimentado com dejetos orgânicos de origem animal, o biodigestor converte a matéria crua em biofertilizante, tendo como subproduto o biogás que pode ser queimado, utilizado para finalidades de aquecimento ou aproveitado na geração de energia elétrica.

O biodigestor utilizado está equipado com sensores de temperatura LM35 devidamente encapsulados em resina epóxi, protegendo os sensores das intempéries do meio, coletando as temperaturas interna do biodigestor, do solo e ambiente externo. No ramal de alimentação de biogás do gerador (Fig. 13) estão instalados os sensores de pressão, temperatura e vazão monitorando as variáveis do fornecimento de combustível ao gerador. Um sensor indutivo supervisiona a velocidade do gerador e uma válvula proporcional controlada pelo painel central de automação efetua o controle no fornecimento de biogás, atuando de acordo com as informações coletadas pelos sensores e o algoritmo implementado no CLP.



Figura 12 – Gerador de 4 KVA.



Figura 13 – Instrumentação do Ramal de Biogás.

## 2.8 Análises Desenvolvidas Com Sistema SCADA

Dois exemplos de análises elaboradas com o sistema implantado podem ser observados a seguir.

### 2.8.1 – Dimensionamento do Conjunto Fotovoltaico para Osmose Reversa

De acordo com Oliveira (2011), a quantidade ideal de painéis fotovoltaicos a ser adotada no sistema de osmose reversa depende das estatísticas locais da radiação solar, bem como da necessidade de abastecimento de água potável para a comunidade local. O gráfico da (Fig. 14), traçado com os dados capturados pelo piranômetro e coletados pelo sistema supervisorio, apresenta a curva de radiação solar global média em Fortaleza, em um dia ensolarado (3/11/2010) e um dia nublado (17/11/2010). Os dados coletados no decorrer do mês de novembro receberam tratamento estatístico possibilitando uma análise mais detalhada nas possíveis configurações de painéis a ser utilizada.

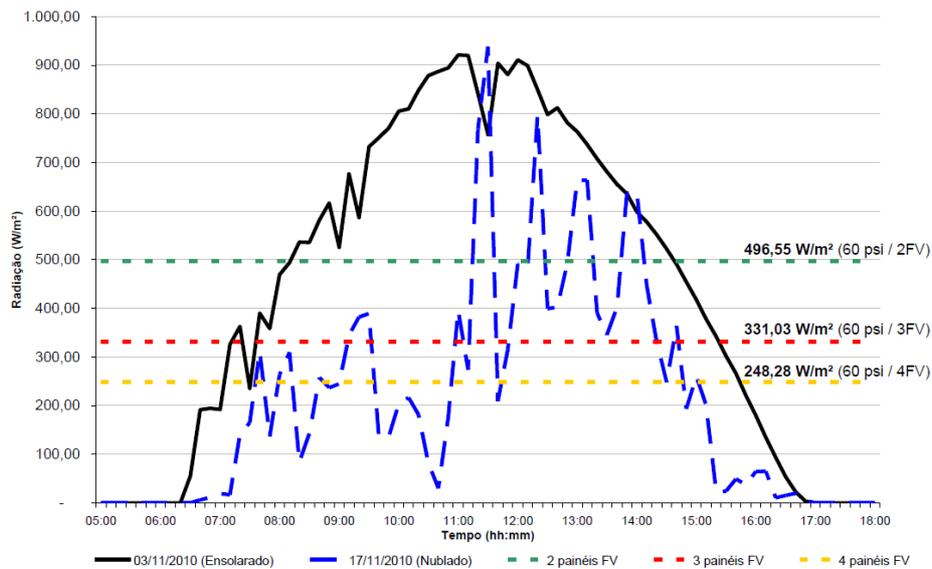


Figura 14 – Curva de Radiação Solar Média nos Dias 03 e 17/11/2010 em Fortaleza, Oliveira (2011).

### 2.8.2 – Análise do Sistema Fotovoltaico

Um ensaio realizado no sistema fotovoltaico com monitoramento e controle de carga das baterias pode ser visto na (Fig. 15), foram coletados dados no período de vinte e quatro horas entre os dias 02 e 03/01/2012 com uma taxa de amostragem de um minuto. Utilizou-se no ensaio uma configuração de cinco painéis fotovoltaicos modelo KC85T conectados em paralelo, totalizando uma potência máxima de 435 W de pico; o banco de baterias foi montado com seis acumuladores chumbo-ácido modelo 12MC150, totalizando uma capacidade de 900 Ah; foram monitoradas as variáveis de temperatura ambiente, temperatura dos painéis, tensão das baterias, radiação solar, corrente de carga e descarga.

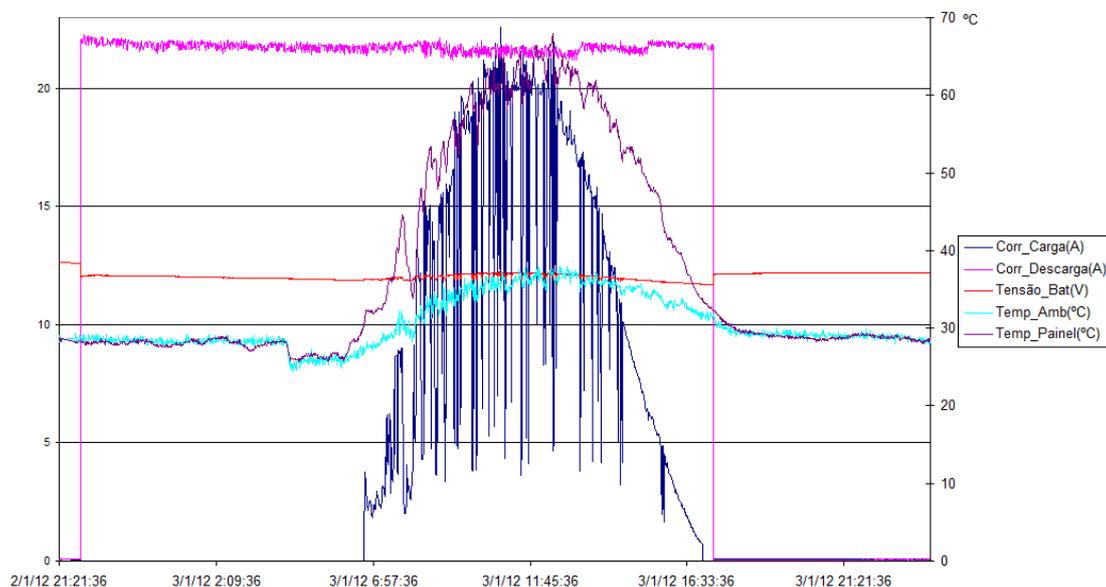


Figura 15 – Ensaio do Sistema Fotovoltaico.

Durante o ensaio aplicou-se ao sistema uma carga de 21,75 A em 12 Vcc, até o conjunto de baterias atingir o limiar de tensão mínima programado no supervisor de 11,7 V garantindo um nível de descarregamento seguro para o conjunto de baterias, após o período de 19,3 horas o limiar mínimo de tensão foi atingido e a carga desconectada automaticamente pelo CLP, a corrente média de recarga atingiu o valor de 11,19 A em um período de 10,3 horas, o limiar de tensão máxima de 14,4 V para a desconexão de recarga do banco não foi atingido durante o teste.

Observou-se que com as configurações escolhidas para o sistema com uma radiação média de 499,9 W/m<sup>2</sup> nesse período, não foi capaz de recuperar a capacidade de carga do banco de baterias. O sistema mostrou-se uma ferramenta versátil e eficaz para análise das variáveis envolvidas.

## CONCLUSÕES

O sistema de automação, controle e aquisição de dados do LEA foi implantado de forma satisfatória, ajudando no controle, interface e aquisição de dados de vários sistemas do laboratório. A diversidade dos sistemas implantados propicia uma vasta linha de pesquisa, ensino e extensão na área das fontes renováveis de energia. A flexibilidade e capacidade de expansão do sistema proporcionam a continuidade de desenvolvimento do projeto com futuros estudos.

O sistema efetua controle e monitoramento sobre as plantas de geração fotovoltaica, biogás, osmose reversa e bombeamento hidráulico.

A aplicação de um sistema tão completo é viável para integração de plantas de médio/grande porte ou em laboratórios, facilitando o gerenciamento, manutenção, análise e estudo dos sistemas, porém seu custo final e necessidade de mão-de-obra especializada para manutenção, dificultam sua aplicação em pequenas plantas de geração.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, P. U. B., Alexandria, A. R., 2007. Redes Industriais: Aplicações em Sistemas Digitais e Controle Distribuído, Livro Técnico, Fortaleza.
- Elipse, Manual do Usuário – Elipse SCADA: HMI/SCADA Software, Versão 2.29, 2010
- IFM Electronic, Instruction Manual - Flow Sensors, 2010.
- IFM Electronic, Instruction Manual - Pressure Sensors, 2009.
- Oliveira, R. S. H., 2011. Planta Laboratorial de Dessalinização via Osmose Reversa Alimentada por Energia Solar Fotovoltaica com ou sem Baterias, Dissertação de Mestrado, DEE, UFC, Fortaleza.
- Stemmer, M. R., 2001. Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores Para Controle e Automação Industrial, publicação interna, DAS,UFSC, Santa Catarina.

## SYSTEM OF AUTOMATION, CONTROL AND DATA ACQUISITION TO DECENTRALISED RENEWABLE SOURCES

**Abstract:** *This paper presents the development of a system for supervision, control and data acquisition (SCADA) to the Alternative Energy Laboratory at Federal University of Ceará (LEA -UFC), providing a greater interaction between the plants as: desalination by reverse osmosis, water pumping, photovoltaic system and biogas installed in the laboratory. Through a diverse instrumentation, data storage and flexible control, the LEA automation increased the possibilities of multiple configurations, using various algorithms for testing, control and graphical user interface, providing all the versatility of the laboratory.*

**Key words:** Renewable Energy, Decentralized Generation, SCADA