



PROTÓTIPO DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE NÍVEL PARA DEMONSTRAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nayara Souza Montes – nayara.montes@engenharia.ufjf.br
José Américo Valentim – joseamerico.valentim@ufjf.edu.br
André Augusto Ferreira – andre.ferreira@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário, Bairro São Pedro
CEP: 36036-900 - Juiz de Fora - MG

Resumo: O protótipo de controle automático de nível é um exemplo de aplicação da energia solar fotovoltaica em comunidades isoladas da rede de distribuição de energia elétrica. Analisando-se o panorama socioeconômico atual, o protótipo representa uma técnica de baixo custo que possibilita o bombeamento de água e controle dos níveis de reservatórios em sistemas isolados através de tanques acoplados, atuadores, sensores de nível e software interativo. A partir desses dispositivos empregados, o trabalho também pode ser utilizado em projetos de extensão para divulgação da energia solar fotovoltaica, bem como no auxílio na assimilação de conteúdos em Engenharia Elétrica.

Palavras-chave: Educação, Energia Solar, Engenharia, Tecnologia.

1. INTRODUÇÃO

O cenário energético mundial apresenta um acelerado crescimento do uso das energias renováveis e, em particular, da energia solar fotovoltaica. Em âmbito nacional, o sistema solar fotovoltaico denominado *off-grid* (sistema isolado da rede elétrica convencional), é o mais presente no Brasil devido às distâncias consideráveis entre determinadas regiões e a rede de energia elétrica (neosolarenergia).

Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica isolados geralmente estão localizados nas regiões Norte e Nordeste, com emprego típico em sistemas de bombeamento de água, irrigação, eletrificação de escolas, dentre outros (Portal Brasil, 2011). A título de exemplo, há um projeto de um sistema flutuante de bombeamento de água para irrigação no município de Capim Grosso, Bahia, fruto da parceria dentre diversas entidades (ANEEL, 2003).

Neste contexto, que envolve a disponibilidade de água para diversas atividades em comunidades isoladas, como o bombeamento de água de um poço para um reservatório de uma residência sem disponibilidade de rede energia elétrica convencional, foi desenvolvido



um protótipo para controle automático de nível de líquido. Cabe destacar que o acesso à água, aprimora a qualidade de vida da população, principalmente termos de higiene, agricultura, agropecuária e comércio.

Além de ilustrar o benefício da eletrificação de comunidades isoladas da rede elétrica, o protótipo proporciona um estímulo a estudantes do ensino fundamental e médio escolherem a carreira de Engenharia. Ele foi desenvolvido por uma estudante recém ingressa no curso de Engenharia Elétrica – Robótica e Automação Industrial e possibilita aos estudantes dos cursos de graduação, em especial de Engenharia, vislumbrar a aplicação de conceitos estudados em sala de aula ou em laboratórios.

A título de exemplo, o protótipo engloba desde conceitos básicos experimentados na disciplina de Laboratório de Ciências no uso de uma placa DAQ-USB utilizando o LabVIEW, até conceitos de Automação Industrial para o efetivo controle do nível no reservatório. O experimento possibilita trabalhar conceitos teóricos abordados em disciplinas como Eletrônica Analógica, Eletrônica Digital, Programação e Eletrônica de Potência.

O presente trabalho está organizado em três seções. A primeira descreve a motivação e contextualização para o desenvolvimento do presente protótipo. A segunda descreve os elementos que constituem o protótipo. A terceira e última traz uma análise conclusiva do projeto.

2. DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO PARA CONTROLE AUTOMÁTICO DE NÍVEL

O nível, ou seja, a altura do conteúdo (sólido ou líquido) de um reservatório, é uma variável importante na indústria tanto para a operação do próprio processo, quanto para fins de cálculo de custo da operação. É a quarta grandeza mais usada nos transmissores em processo industriais segundo a pesquisa financiada pela revista *ControlEngineering* (Control Engineering Staff, 2005).

O controle da variável de nível em um processo industrial pode ser realizado a partir do monitoramento direto, indireto ou descontínuo (Araújo). O protótipo construído utiliza a medição de nível descontínua por condutividade, a qual possibilita fazer a medição em líquidos que conduzem eletricidade. São inseridos eletrodos metálicos, de comprimentos diferentes, nos recipientes em que estão os líquidos. Quando houver condução de eletricidade entre os eletrodos, significa que o nível de líquido alcançou a altura do eletrodo.

O controle automático de nível desenvolvido nesse projeto utilizou uma placa de aquisição de dados via USB, DAQ 6009, fabricada pela *National Instruments*, que realiza a comunicação entre um computador e os sensores e atuadores, conforme pode ser observado na figura a seguir juntamente com outros elementos do sistema supervisorio. Deve-se notar que as seguintes indicações são: 1 - Válvula Solenoide; 2- Motobomba; SA - Sensor de Nível Alto; SB - Sensor de Nível Baixo; RF - Referência.

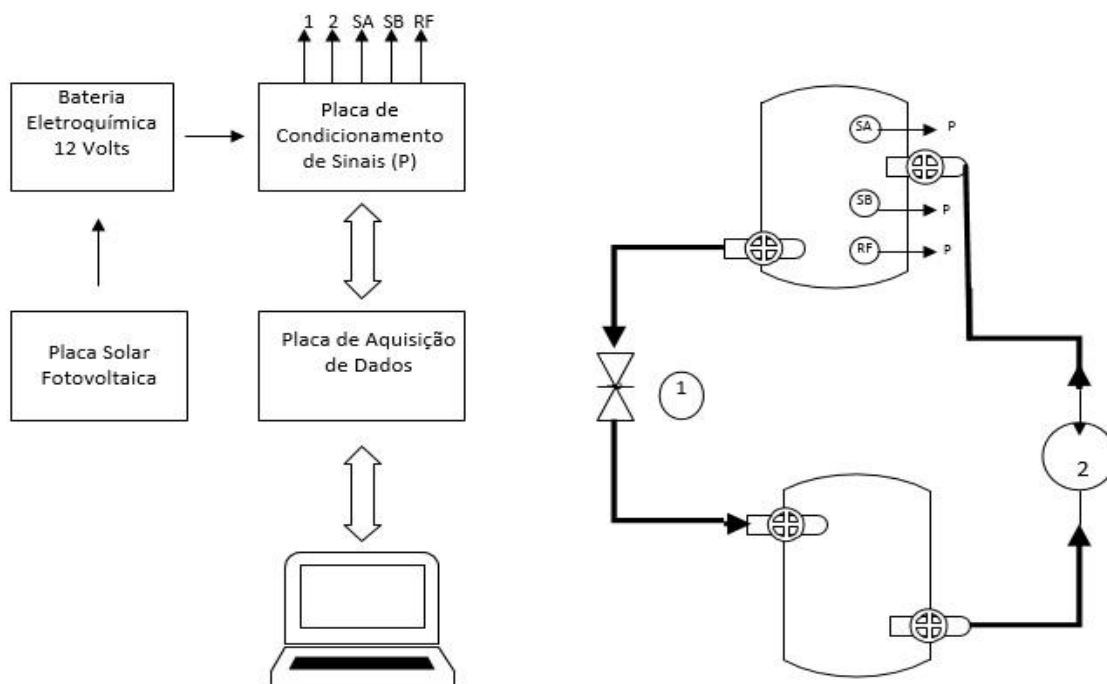


Figura 1 - Esboço esquemático do sistema de controle automático de nível.

Na Tabela 1 estão descritos os materiais empregados na construção do protótipo, em que o custo total é de aproximadamente R\$ 270,00.

Tabela 1 - Materiais utilizados na construção do protótipo e suas funcionalidades.

Materiais utilizados na construção do protótipo	
Componente	Valor
Dois resistores de 100k Ω - 1/8 watts	R\$ 0,30
Dois resistores de 1M Ω - 1/8 watts	R\$ 0,30
Um resistor de 4,7k Ω - 1/8 watts	R\$ 0,15
Um resistor de 680 Ω - 1/8 watts	R\$ 0,15
Um capacitor cerâmico de 100nF	R\$ 0,15
Um capacitor eletrolítico de 10 μ F	R\$ 0,15
Um diodo retificador	R\$ 0,10
Um transistor NPN	R\$ 3,00
Dois optoacopladores	R\$ 2,40
Dois reguladores de tensão	R\$ 2,00
Dois relés	R\$ 5,00
Dois reservatórios (3 e 2 litros de capacidade cada), contatos metálicos e mangueiras	R\$ 208,00

tubulares.	
Motobomba de 12 volts	R\$ 20,00
Válvula solenoide de duas vias	R\$ 28,00
Valor Total (Média)	R\$ 269,70

2.1. Placa de interface para controle automático de nível d'água

A placa de interface para controle automático de nível d'água é um dos principais elementos para o correto funcionamento dos sensores de nível e, conseqüentemente, do protótipo. Na Figura 2 é mostrada a placa para controle automático de nível em sua versão final.

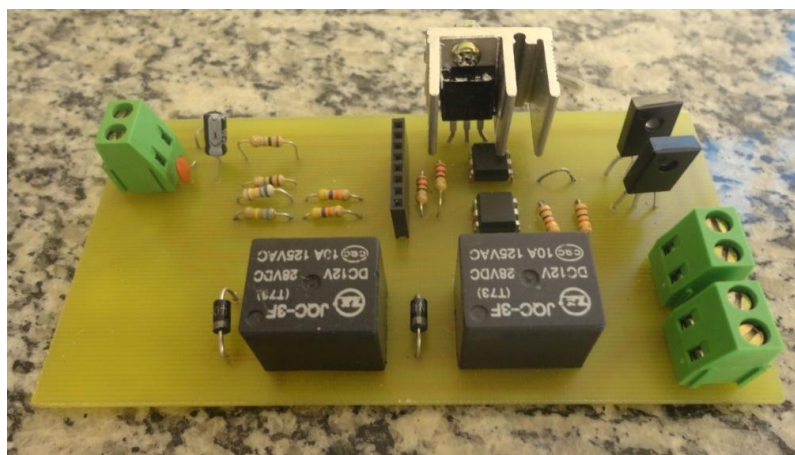


Figura 2- Foto da placa de interface para controle de nível.

Na figura 3 é possível observar o desenho esquemático da placa de interface. As chaves SA e SB representam os sensores de nível. Quando não há contato com o líquido, o nível lógico para a placa DAQ é ALTO. Caso o sensor esteja imerso pelo líquido, haverá condução de corrente entre os eletrodos metálicos e é enviado um nível lógico BAIXO para a placa DAQ (Toni, 2011). Observar que quando a chave SA está fechada, é conectado o terminal terra à porta AI0 do conector de entrada do DAQ.

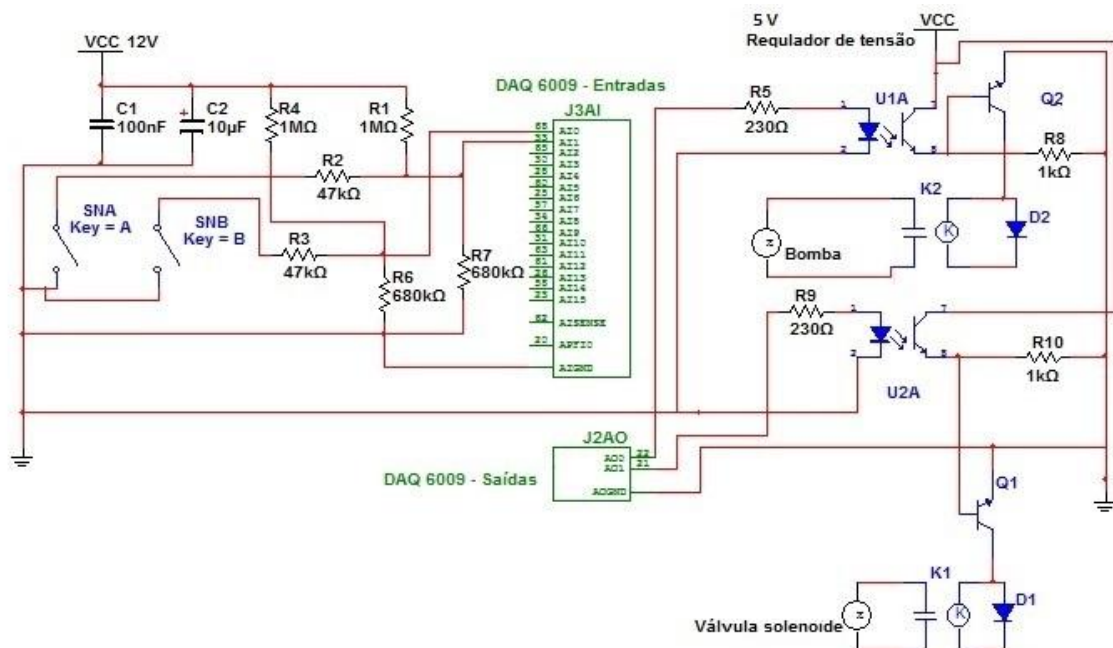


Figura 3- Representação esquemática do circuito utilizado na placa para controle automático de nível.

Para acionamento da válvula solenoide ou da motobomba, é implementado um circuito de acionamento opticamente isolado, a fim de proteger a placa de interface da DAQ. Essa proteção é realizada com base na inserção de dois optoacopladores nas duas saídas da DAQ que são interligadas aos atuadores do sistema.

Outro dispositivo utilizado para o acionamento seguro dos atuadores é o relé, o qual opera em uma tensão de 12 volts e no modo "normalmente aberto", NA. Isso significa que o acionamento elétrico advindo da DAQ 6009 passa pelo optoacoplador, o qual envia esse sinal para energizar a bobina do relé, ou seja, fechar os contatos NA e, após, algum dos atuadores (válvula solenoide ou motobomba) entra em operação possibilitando a passagem de água de um reservatório para o outro.

As funcionalidades desses dispositivos demonstra a operação coordenada em que o protótipo é baseado, não apenas em relação à placa de interface para o controle automático de nível d'água, mas também em relação ao projeto integralmente.

2.2. Bateria eletroquímica

Em sistemas isolados da rede elétrica é essencial o emprego de acumuladores de energia. Elas também podem ser usadas em sistemas conectados à rede elétrica para fornecer a energia às cargas prioritárias. No presente estudo, ela tem a função de bombear a água em períodos de baixa radiação solar e de evitar o desabastecimento de água, quando o sistema fica por diversos dias nublados. Uma alternativa a este procedimento seria utilizar um tanque de maior capacidade para bombear quantidade superior de água, mas é necessário cuidado para evitar a descarga completa do reservatório principal.

2.3. Sensores de nível

Os sensores de nível são compostos por três contatos metálicos que foram fixados em diferentes posições em uma das laterais do tanque superior (Toni, 2011). Externamente, os contatos são interligados à *bornes* para que cabos possam ser conectados e enviem o sinal de tensão referente à cada nível (baixo e alto) para o circuito para controle de nível. Os contatos metálicos utilizados como sensores de nível são apresentados no esquema da Figura 4.

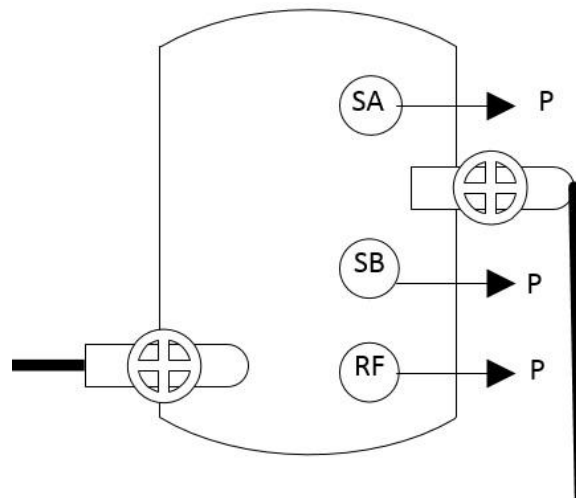


Figura 4- Esquema dos contatos metálicos representando os sensores de nível.

2.4. Atuadores

Foram utilizadas motobombas de limpeza de para-brisas em automóveis como um dos atuadores do processo. Outro atuador presente no processo é a válvula solenoide de duas vias, que pode ser controlada por sinais elétricos simples.

A motobomba é responsável pelo bombeamento de água do reservatório inferior para o superior, já a válvula solenoide pode permitir a passagem d'água do reservatório superior para o inferior.

2.5. Placa de aquisição de dados DAQ

A placa de aquisição de dados utilizada foi a DAQ NI USB-6009, desenvolvida pela *National Instruments*. Esse dispositivo tem a função de adquirir as tensões advindas dos sensores de nível e enviá-las para a análise em software para que o controle automático de nível do fluido seja efetuado (National Instruments).

A placa de aquisição de dados DAQ 6009 pode ser analisada na Figura 5. Obviamente, o custo de aquisição de uma placa deste tipo resultaria em elevados custos à um produto. No entanto, como protótipo, possibilitou a rápida instrumentação no circuito implementado para demonstrar a viabilidade do processo.



Figura 5 - Placa de aquisição de dados DAQ NI USB - 6009.

2.6. Sistema Supervisório

Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas informações de um processo produtivo ou instalação física, bem como atuar no ajuste dos controles para o sistema apresentar o comportamento desejado. As informações são coletadas por equipamentos de aquisição de dados e, em seguida processadas, analisadas e armazenadas.

No caso do sistema utilizado no laboratório, as informações coletadas corresponderam ao nível em que o fluido (no caso, a água) se encontrava. Essa grandeza é adquirida através de sensores de nível que, no presente caso, são eletrodos imersos no recipiente no qual se desejava aferir o nível do fluido contido. Após a coleta dos dados de nível através dos sensores, essas informações são dirigidas para o computador através da placa de aquisição de dados, DAQ 6009, e, posteriormente processadas no software supervisório LabVIEW.

O LabVIEW (abreviatura para *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) é uma plataforma e ambiente desenvolvido para uma linguagem de programação gráfica denominada “G”, da *National Instruments*.

A programação em LabVIEW emprega blocos gráficos (ícones) ao invés de texto para criar aplicações. Está baseada no fluxo de dados, onde os dados determinam a execução do programa (National Instruments, 2011). Além disso, possibilita criar uma interface de usuário (conhecida como *Front panel*), utilizando um conjunto de ferramentas e objetos. O código é adicionado no *Block diagram* através de representações gráficas de funções para controlar os objetos do *Front panel*.

Na Figura 6 se pode observar o *Block diagram* com a programação do sistema supervisório do processo de controle automático de nível e o *Front panel* com a interface de usuário desse sistema.

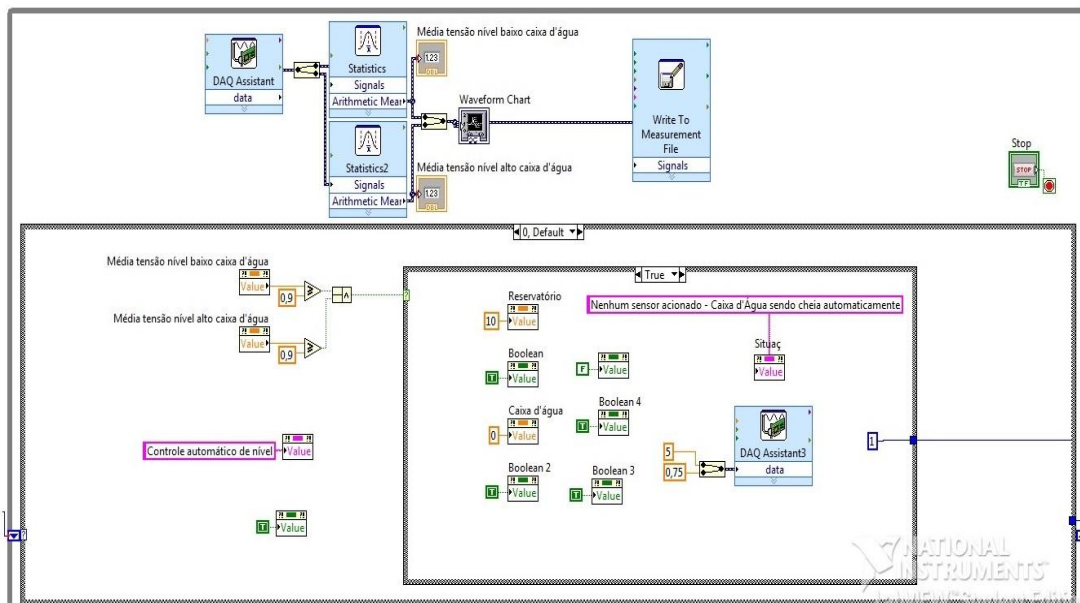
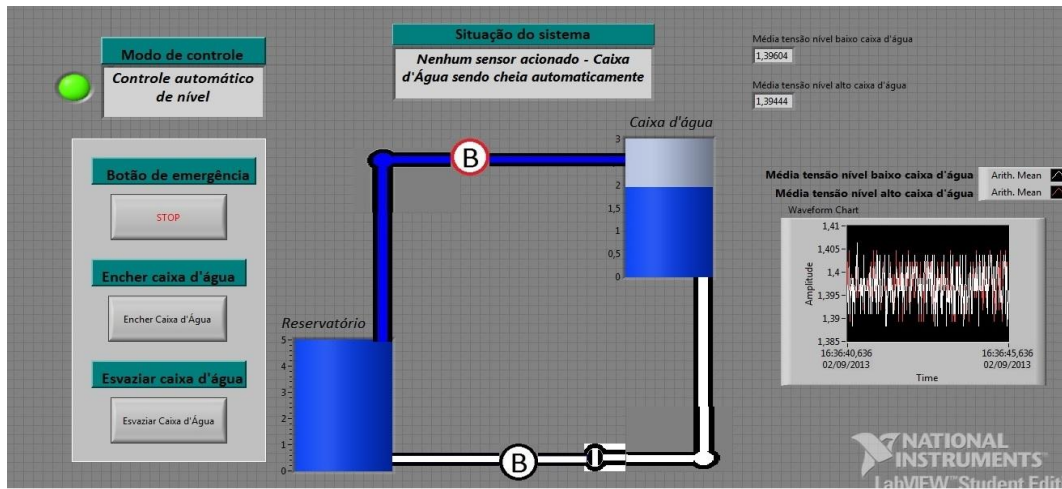


Figura 6 - Software supervisorio.

3. RESULTADOS

O protótipo desenvolvido apresenta uma extensa ilustração de aplicações de conceitos estudados no ambiente acadêmico da UFJF. Como projeto de extensão, o trabalho é utilizado na exemplificação do uso da energia solar fotovoltaica em comunidades isoladas.

O trabalho também possibilita a demonstração de diversos conceitos estudados em disciplinas como, por exemplo, Eletrônica e Automação Industrial.

O protótipo, incluindo todos os dispositivos do sistema supervisorio que atuam conjuntamente e o software supervisorio, pode ser observado na Figura 7.

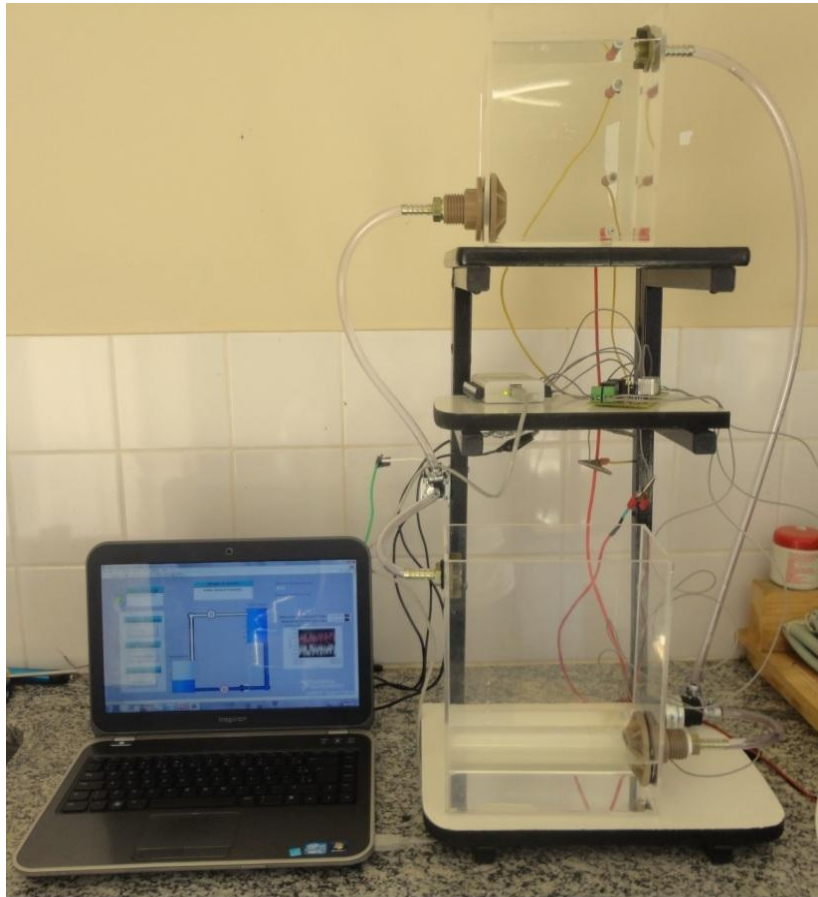


Figura 7 - Vista geral do protótipo desenvolvido.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um sistema supervisor para controle automático de nível de reservatórios d'água permite a demonstração de uma solução para uma situação cotidiana de muitas pessoas: o bombeamento d'água e supervisão dos níveis de reservatórios. O protótipo construído exemplifica uma aplicação da energia solar fotovoltaica para o carregamento da bateria utilizada no sistema.

O aperfeiçoamento da técnica para a medição de nível utilizando contatos metálicos como sensores apresenta um funcionamento adequado e, assim, torna-se uma opção econômica para aplicações em que o custo seja importante. Cabe destacar que, neste aspecto, a placa de aquisição de dados seria substituída por um CLP ou um circuito de controle digital.

A linguagem gráfica utilizada no software supervisor contém simplicidade em seu manuseio ao se comparar a mesma com linguagem de texto. Isso é devido à substituição de inúmeras linhas de texto por um único bloco gráfico, em síntese. A interface do programa fornece uma representação mais detalhada das instalações físicas, o que facilita a leitura e interpretação das informações assimiladas.



O protótipo possibilita explorar diversos conteúdos distribuídos em diferentes disciplinas de um curso de Engenharia Elétrica, bem como divulgar a aplicação da energia solar fotovoltaica em sistemas isolados.

Agradecimentos

Ao programa Jovens Talentos para a Ciência, financiado pela CAPES, ao Programa de Extensão da UFJF pelo suporte financeiro aos bolsistas da Usina Solar Fotovoltaica da UFJF pelo auxílio em diversas atividades desenvolvidas no presente trabalho.

5. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

ANEEL. **Energia Solar**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em: Maio de 2014.

ARAÚJO, M. V. **Sistemas de Medidas e Instrumentação**. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/Material%20de%20sala%20de%20aula/Sistemas%20de%20Medidas%20e%20Instrumenta%E7%E3o%20-%20parte%203.pdf>> Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

Control Engineering Staff. **Process Variable Transmitters Product Research**. Disponível em: <<http://www.controleng.com/single-article/process-variable-transmitters-product-research-october-2005/29ebc0d5d8fcbdd9527d6b08a90ad8a2.html>> Acesso em: Setembro de 2013.

National Instruments. **Introdução ao LabVIEW**. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/12689/pt/>> Acesso em: Agosto de 2013.

National Instruments. **Userguide and specificationsni usb-6008/6009**. Disponível em: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>> Acesso em: 02 de agosto de 2013.

Neosolarenergia. **Sistemas Isolados - Off-grid**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-isolados-off-grid>> Acesso em: Maio de 2014.

Portal Brasil. **Sistema Interligado Nacional: Sistemas Isolados**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/sistemas-isolados>> Acesso em: Maio de 2014.

TONI. **Circuito de controle automático de bomba d'água e nível de caixa d'água**. Disponível em: <<http://www.te1.com.br/2011/07/circuito-controle-automatico-bomba-agua/#axzz32kr4VkaV>> Acesso em: Outubro de 2012.



SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY APPLICATION IN AN AUTOMATIC LEVEL CONTROL PROTOTYPE

Abstract: *The automatic level control prototype presents an application of photovoltaic energy in isolated communities and exemplifies a method of teaching applied to the improvement of Electrical Engineering's undergraduates. Analyzing the current socio-economic outlook, the prototype represents a low-cost technique that enables water pumping and control levels in reservoirs isolated by coupled tanks, actuators, alternative level sensors and interactive software systems. From these devices used, the work can also be used in outreach projects as well as assisting in solidification of undergraduates' disciplines in electrical engineering.*

Key-words: *Education, Engineering, Solar Energy, Technology.*