



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

*Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético*

**12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016**

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

[www.camaer.com.br](http://www.camaer.com.br)



ARTIGO COM APRESENTAÇÃO BANNER - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### **SISTEMA INTELIGENTE DE SENSORIAMENTO ENERGÉTICO: PROTÓTIPO BASEADO NA PLATAFORMA ARDUINO.**

*LUIZ FELIPE SANTIAGO DA SILVA, ITALO DE SOUSA, BRENO RAMOS PANTOJA, JOSÉ ANTONIO DE CASTRO SILVA*

Existem atualmente diversos desafios no setor energético, tendo como percussores as mudanças climáticas, a crescente população e fatores econômicos, o que influenciaram no aumento significativo do consumo elétrico nos últimos anos. Esse aumento na demanda e oferta de energia sendo capaz de gerar uma crise energética global, como forma de amenizar esse fator tem-se desenvolvimento de dispositivos que podem propiciar uma maior eficiência energética. Este trabalho propõe um desenvolvimento de um sistema de gerenciamento inteligente baseado na plataforma Arduino, de forma a ter o controle quanto a distribuição e consumo de energia elétrica em unidade doméstica. O protótipo foi desenvolvido utilizando um Microcontrolador Arduino, sensores de corrente e tensão, Ethernet Shield e um Display LCD Gráfico. O sistema foi avaliado durante o período de 2 horas, onde se observou a efetividade do sistema. Além disso, as aplicações da plataforma Arduino para o desenvolvimento de dispositivos nas quais auxiliem o gerenciamento energético.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética Microcontrolador Arduino, sensores de corrente e tensão, Gerenciamento.

## **1 INTRODUÇÃO**



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

[www.camaer.com.br](http://www.camaer.com.br)



Hoje, o mundo enfrenta grandes desafios no setor energético, tendo como precursores as mudanças climáticas, a crescente população e fatores econômicos, o que influenciaram no aumento significativo do consumo elétrico nos últimos 20 anos (BP, 2015). De acordo com

Data (2013), o consumo *per capita* de energia elétrica no Brasil e no mundo no período entre 2000 e 2010 aumentou aproximadamente 25% e 24%, respectivamente.

Com o aumento da demanda e oferta de energia, uma crise energética global foi notada, resultando em grandes impactos não só no crescimento econômico do mundo e implicações políticas, mas também em termos sociais, principalmente relacionado ao meio ambiente (HIRL, 2012).

Devido a esse cenário, existe a necessidade de sistema elétrico mais inteligente que permita reduzir o consumo de energia elétrica, encorajando os consumidores a utilizarem estratégias eficientes para a redução do consumo de energia (FILHO, 2014).

Dentre as tecnologias existentes para o desenvolvimento de dispositivos que podem propiciar uma maior eficiência energética, tem-se a plataforma Arduino. O Arduino é uma plataforma eletrônica de prototipação com ambiente de desenvolvimento e suporte para processar entradas e saídas de dados entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele (VASILJEVIC, 2013).

Essa plataforma já foi amplamente utilizada em diversos estudos, tendo como o intuito da criação de novas tecnologias. Teixeira (2009) utilizou a plataforma para a criação de um medidor de energia eletrônico; Siqueira (2014) criou um microcontrolador arduino como uma central de monitoramento; Ribeiro & Soares (2015) desenvolveram um protótipo de monitoramento de temperatura e umidade também utilizado essa plataforma. Todos os estudos citados obtiveram resultados satisfatórios o que comprova a eficácia da aplicação da plataforma arduino para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Em termos regionais, as universidades no Estado do Pará tem desenvolvidos atividades e projetos que visam um melhor aproveitamento energético bem como a sua aplicação. Dentre essas atividades pode-se citar o grupo GEDAE UFPA que visa o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para atendimento de energia elétrica a pequenas e médias cargas, o desenvolvimento de pesquisa sobre eficiência energética e uso racional, conservação e



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



qualidade de energia além da avaliação e etiquetagem do nível de eficiência energética em edificações.

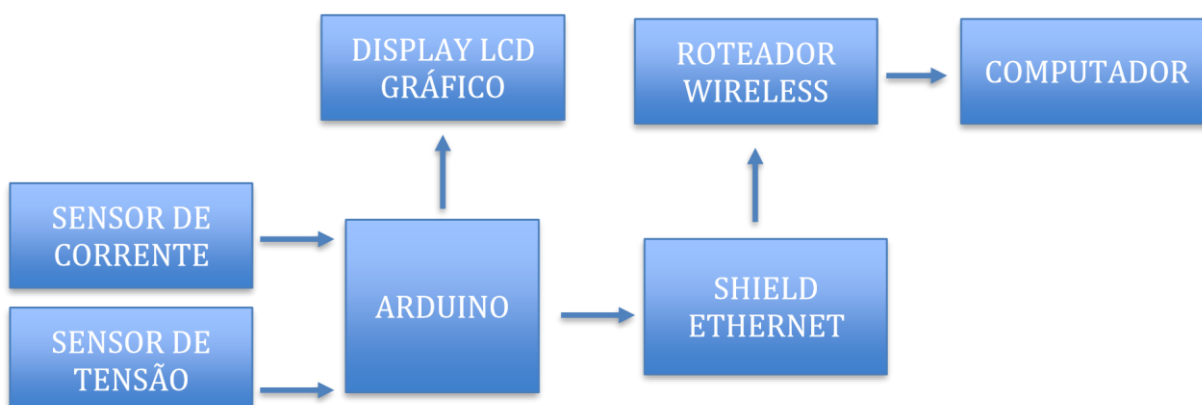
Dessa forma este artigo tem como objetivo desenvolver um sistema de gerenciamento inteligente baseado na plataforma Arduino, de forma a ter o controle quanto a distribuição e consumo de energia elétrica em unidade doméstica, visando contribuir com a eficiência energética do Estado do Pará.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A tecnologia de sensoriamento energética proposta é de fácil instalação e será desenvolvida para oferecer o máximo de rendimento energético possível. O mesmo deve ser acoplado junto ao quadro de energia elétrica, integrando o sistema de geração energético (painéis solares, geradores eólicos, biodigestores, dentre outros) em residência ao sistema inteligente.

O protótipo simplifica a visualização e interação sobre o controle do consumo obtido pela coleta e análise de dados, sendo esses dados a produção de energia, o consumo interno do imóvel e o sistema de baterias se disponível. A Figura 1 ilustra o diagrama de blocos do sistema proposto.

Figura 1 - Diagrama do sistema inteligente de sensoriamento energético.





## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Fonte: Autores, 2016.

Ao fim das conexões, o circuito foi energizado e iniciou-se a fase de desenvolvimento e teste de software. A Tabela 1, descreve os valores de potência e corrente referente aos equipamentos utilizados:

Tabela 1 – Características do equipamento utilizado em teste

Equipamentos	Corrente ( A )	Potencia ( Wh )	Tensão Elétrica ( V )
Televisor LCD	0,51	65	127
Sistema de Som	0,31	40	127
Receptor de Tv por Assinatura	0,15	20	127
Bateria de Notebook	0,55	70	127

Fonte: Autores, 2016.

Assumiu-se que a rede elétrica era estável e estava em regime permanente de 127 volts. O conjunto de sensores acoplados à placa de aquisição (Arduino) foi capaz de obter informações por coleta dados em determinada rotina criada no algoritmo.

### 2.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO PROTÓTIPO

O sistema de sensoriamento energético, foi pensado para trazer para o mercado uma nova maneira de acompanhar os dados de consumo e geração de energia, sendo esses dados ilustrados por meio de um display de cristal líquido. Para a construção deste protótipo foram utilizados: Sensores de Corrente, Sensores de Tensão, Microcontrolador Arduino, Módulos Rele e o Shield Ethernet.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

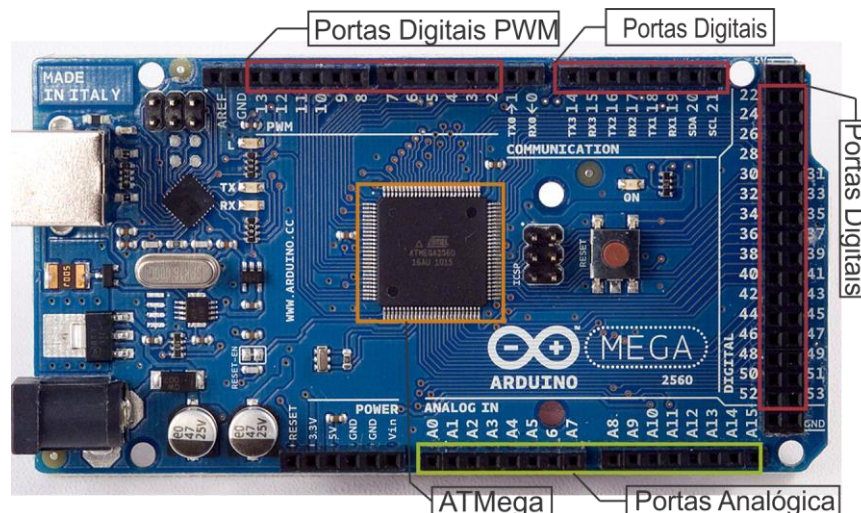
www.camaer.com.br



### 2.1.1 Microcontrolador Arduino

O protótipo do sistema foi desenvolvido através de uma placa Arduino Mega 2560 (Figura 2), embarcado por um microcontrolador baseado no ATmega2560. O mesmo possui 16 entradas analógicas, 54 entradas / saída digital (sendo que 14 entradas podem ser usadas como saída PWM - Pulse Width Modulation), sua tensão de funcionamento é 5V, memória flash de 256 KB sendo 8 KB utilizada pelo bootloader (método seguro/rápido para carregar o arquivo gerado pelo compilador na memória do ATmega, não necessita de gravadora específica para carregar o arquivo gerado), com velocidade de clock 16MHz, uma conexão USB e uma entrada de alimentação.

Figura 2 - Placa Arduino Mega



Fonte: [https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/A000062\\_featured](https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/A000062_featured)

A placa de prototipagem Arduino, possui vasta funcionalidade por ter agregado em seu hardware portas analógicas e digitais, sendo possível conectar sensor de temperatura,



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



umidade, distância, luminosidade, display, LED, placas extensivas como Ethernet Shield, como o protocolo de comunicação tal como Bluetooth dentre outros dispositivos.

### 2.1.2 Sensor de Corrente e Tensão

Os sensores de corrente e tensão são responsáveis por analisar e fornecer níveis de tensão para as entradas analógicas do microcontrolador, sendo este o Arduino Mega operando na faixa de 0v a 5v.

Para a coleta das amostras de corrente do protótipo, foram estudados sensores de corrente de efeito Hall nas quais foram notados: De acordo com os dispositivos semicondutores que geram um sinal de corrente quando são inseridos em um campo magnético e uma tensão é aplicada sobre o mesmo. É possível medir a corrente alternada/corrente contínua que circula por um condutor, pois esta produz um campo magnético (UFMG, 2010).

Após uma análise, optou-se pelo sensor CI da Allegro ACS712 (Figura 3), portanto o mesmo possibilita aferir dados de corrente contínua e corrente alternada. Assumido que, a rede elétrica é estável. Para estabelecer valores quanto ao nível de carga do sistema de baterias foi utilizado sensor de tensão 0 – 25 Vdc Arduino/Pic (Figura 4).

Figura 4 - Sensor de Corrente ACS712

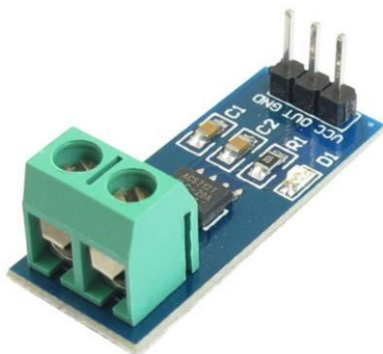


Figura 4 - Sensor de Tensão DC



Fonte: <http://ecx.imagesamazon.com>  
<http://ecx.imagesamazon.com>

Fonte:



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

*Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético*

**12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016**

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

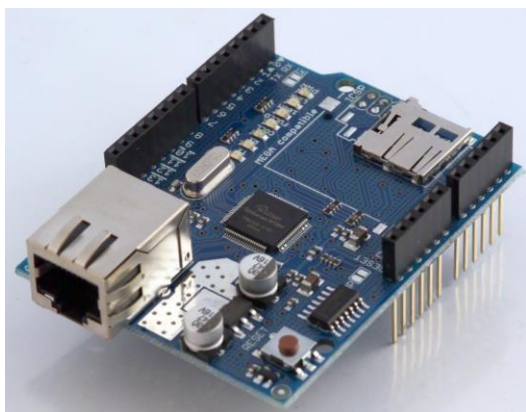
[www.camaer.com.br](http://www.camaer.com.br)



### 2.1.3 Ethernet Shield

O Ethernet Shield (Figura 5) possibilita que uma placa Arduino se conecte a outros dispositivos via cabo RJ45 em rede, sendo interna ou externa. O Shield é baseado no chip Wiznet W5100 ethernet, fornecendo suporte a rede com os protocolos TCP e UDP. Agrega em seu hardware um soquete para cartão micro-SD, sendo este usado para armazenamento de arquivos de suporte a rede e consulta de dados.

Figura 5 - Ethernet Shield



Fonte: <https://www.arduino.cc/em/uploads/Guide/ArduinoWithEthernetShield>

### 2.1.4 Display LCD Gráfico

Foi escolhido para a construção do sistema o modelo Display LCD gráfico 128x64 (128 colunas por 64 linhas) com backlight azul e escrita branca, com um total de 8192 pixels de exposição que oferecem maior flexibilidade em sua escrita, assim como mostrado na Figura 6. O mesmo



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

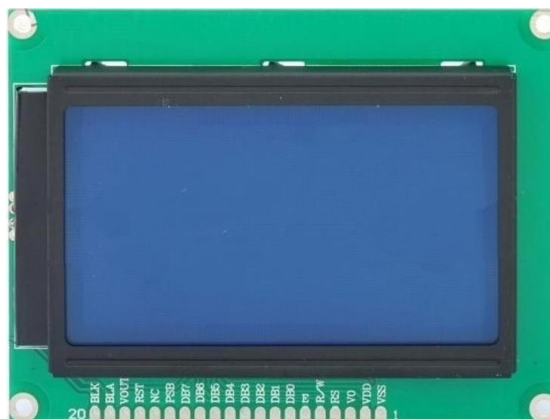
ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



possui um controlador ST7920, operando com Clock de 2Mhz, interface com o microcontrolador configurável de 8 bits que são responsáveis por enviar os dados do arduino.

Figura 6 - Display LCD Gráfico



Fonte: <http://www.filipeflop.com/pd-6b7ea-display-lcd-grafico-128x64>

### 2.2 MONTAGEM DA PLATAFORMA DE HARDWARE

De posse de todos os materiais necessários, foi utilizado o Software Fritzing (Versão 0.9.2b.64) com a finalidade de auxiliar e dimensionar o sistema, tendo como resultado uma melhor ilustração do mesmo assim como mostrado na Figura 7.

Após isso, iniciou-se a montagem do hardware usando os manuais disponíveis pelos fabricantes dos dispositivos, interligando os componentes na placa Arduino com auxílio de duas Protoboards e de cabos Jumpers. A Protoboard juntamente com os Cabos Jumpers permitiu a interligação dos dispositivos sem a necessidade de soldá-los, possibilitando adequações necessárias.

Figura 7 - Ilustração do sistema utilizando o software Fritzing.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

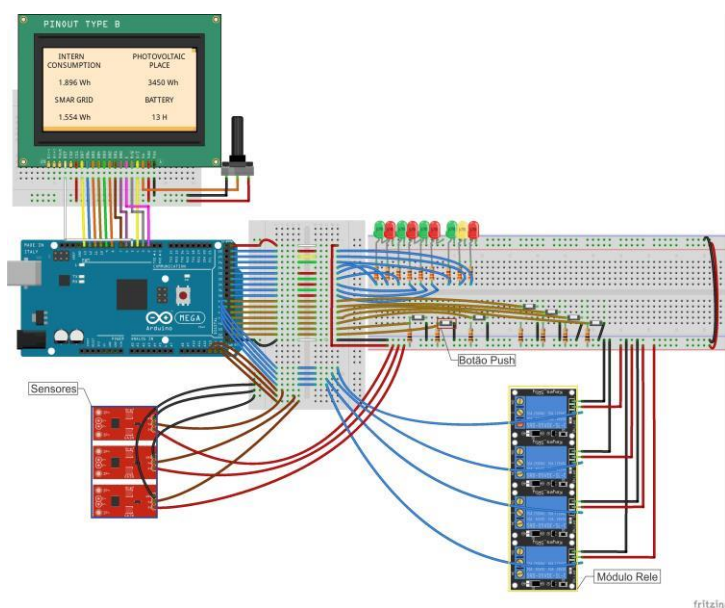
Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br

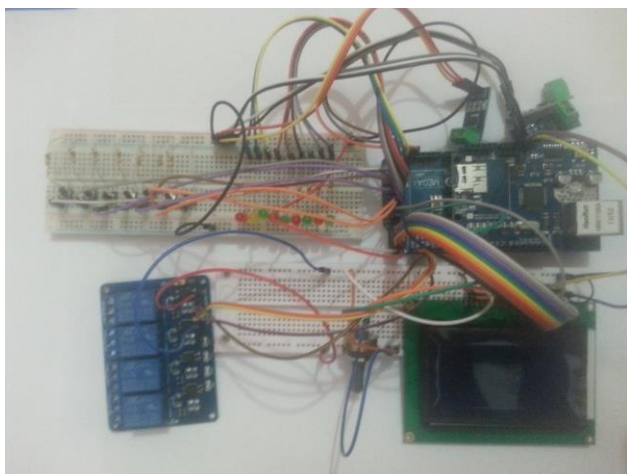


Fonte: Autores, 2016.

Para a montagem do hardware foram interligados os sensores ao protoboard para posteriormente serem conectados a placa. Em seguida, conectou-se os periféricos que são as LED's, botões tipo push, módulo rele e resistores.

Seguiu-se a montagem através da interligação do display lcd e da Ethernet Shield na placa Arduino Mega, tendo como produto o protótipo de sensoriamento energético, assim como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Protótipo de sensoriamento energético.





## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br

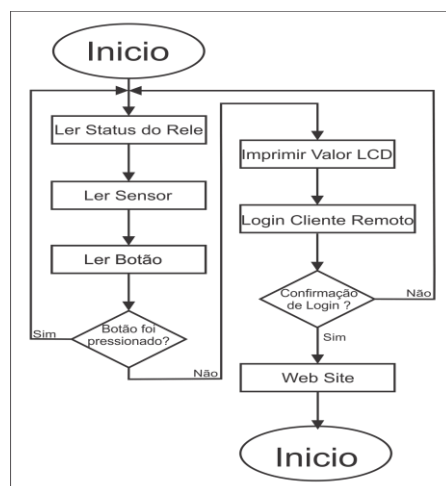


Fonte: Autores, 2016.

### 2.3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE SOFTWARE

O software foi desenvolvido em linguagem C/C++, no ambiente IDE Arduino com o compilador baseado em Java, disponibilizado pela empresa Arduino.cc. A construção das linhas de comando, foram feitas de modo a oferecer uma interface complacente ao usuário. O fluxograma abaixo, descreve a ordem de ações realizados pelo microcontrolador Arduino.

Figura 9 - Fluxograma do Sistema de Software



Fonte: Autores, 2016.

### 2.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Para se analisar a efetividade do sistema inteligente de monitoramento energético, realizou-se a coleta de dados com auxílio do filtro de linha modelo SMS Bivolt, energizado por meio da rede elétrica, efetivando multiplicas conexões. Foi possível analisar o consumo dos seguintes equipamentos: televisor lcd, sistema de som, receptor de tv por assinatura e bateria de notebook, por um período de 2 horas.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



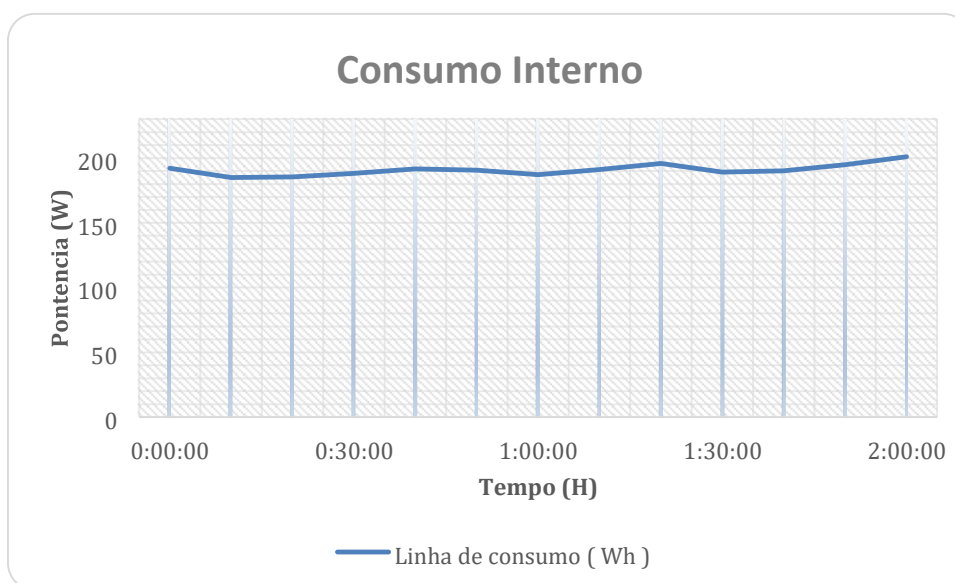
O protótipo foi testado utilizando um sistema conectado a rede elétrica, simulando então as condições de um sistema fechado (Placa fotovoltaica). O sistema conectado a rede elétrica foi escolhido para testar o equipamento devido a viabilidade econômica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa da elaboração do sistema de sensoriamento energético, foram coletadas amostras de tensão DC (Corrente Contínua) e corrente AC (Corrente Alternada) no período de 1 hora para estabelecer e ajustar a sensibilidade dos sensores. Sendo estes responsáveis por enviar sinais de tensão na faixa de 0 a 5v para a porta analógica do microcontrolador Arduino, que por sua vez se encarrega de interpretar os valores de corrente e tensão do circuito.

A Figura 10 tem-se o consumo interno dos equipamentos utilizados para o teste do protótipo, observou-se que durante o período proposto houve baixa oscilação.

Figure 10 - Consumo interno dos equipamentos



Fonte: Autores, 2016.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



A partir do consumo dos equipamentos, obteve-se os seguintes resultados no LCD do dispositivo de sensoriamento energético (Figura 11). Observou-se que durante o período proposto para o teste do equipamento, houve um consumo interno (Intern Consumption) de 201.88 Wh. Outra informação notada durante o mesmo período a rede fornecedora de energia (Photovoltaic Place) de 201.88 Wh, esse fato mostra que o dispositivo funcionou corretamente, mostrando os valores de entrada e o que é consumido quando o dispositivo é acionado.

Figure 11 - Resultados expressos no LCD do dispositivo.



Fonte: Autores, 2016.

Em vista da plataforma encontrar-se em construção, para os valores informados no LCD em watt por hora do Photovoltaic Place (Painel Fotovoltaico), o sensor foi condicionado para coletar dados sobre a entrada de energia da rede elétrica e não de um sistema isolado, tal como o painel fotovoltaico, dessa forma ocorreu a simulação das condições de entrada de energia.

O sistema foi programado para que ocorra a medição do total de energia produzida, total de energia consumida e também o sobreexcedente de energia produzida. Ao final da construção desta plataforma, quando ligada a sistemas fotovoltaicos interligados a rede, o dispositivo inclui a medição do sobreexcedente de produção energética para rede elétrica de abastecimento, armazenando as informações referente ao crédito de energia fornecido. Transformado a maneira como as concessionárias gerem seus ativos de rede e relacionamento com o usuário, em termos praticos conhecido como Smart Grid.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

[www.camaer.com.br](http://www.camaer.com.br)



### CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido se mostrou satisfatório, através do desenvolvimento do sistema embarcado para sensoriamento energético foi possível apresentar uma alternativa aos métodos tradicionais aplicados por concessionárias de energia. Através da plataforma proposta foi possível realizar o gerenciamento, monitoramento em tempo real e remotamente do consumo. Os resultados mostraram-se bem próximos do real, com a realização dos devidos ajustes nos sensores.

Como trabalhos futuros sugere-se a aplicação dessa metodologia juntamente com a adesão de placas fotovoltaicas como fonte de energia isolada, frisando assim a geração, gerenciamento, armazenamento e distribuição de energia em unidade doméstica, afim de atender as necessidades da sociedade e do sistema elétrico de abastecimento com aplicação da Smart Grid.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BP: Statistical Review of World Energy, Workbook (xlsx), London, 2015.

DATA, P. (2013). World development indicators. Disponível em: [http://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9\\_](http://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_). Acesso em: 12 maio, 2016.

FILHO, Geraldo Pereira Rocha. *Um sistema de alerta para o monitoramento remoto do consumo de energia usando redes de sensores sem fio*. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP. São Carlos, 2014.

GEDAE. Grupo de estudos e desenvolvimento de alternativas energéticas. Apresentação. Disponível em: <http://www.gedae.ufpa.br>. Acesso em: 15 jun, 2016.



## II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

**12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016**

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

[www.camaer.com.br](http://www.camaer.com.br)



Hirl, Energy Efficiency Status Report. 2012. (PDF)

RIBEIRO, Igor Conceição; SOARES, Jamerson Silva. Sistema inteligente de monitoramento da temperatura e umidade no processo de compostagem: *protótipo baseado na plataforma Arduino*. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Pará. Marabá, 2015.

SIQUEIRA, Wallace Vilas Boas. *O microcontrolador Arduino como uma central de monitoramento de consumo de energia elétrica*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Governador Valadares, 2014.

TEIXEIRA, Leandro Lettieri. *Medidor De Energia Eletrônico Utilizando Microprocessador*. Trabalho De Conclusao De Curso. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.