

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-CAMPUS ARARANGUÁ

TIAGO QUARTIERO PEREIRA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

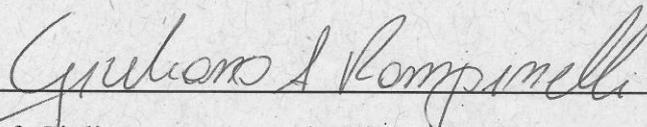
ARARANGUÁ, 2016

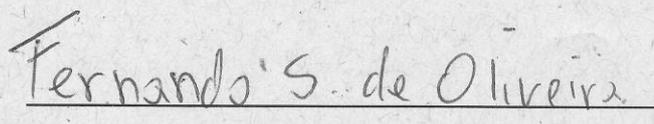
TIAGO QUARTIERO PEREIRA

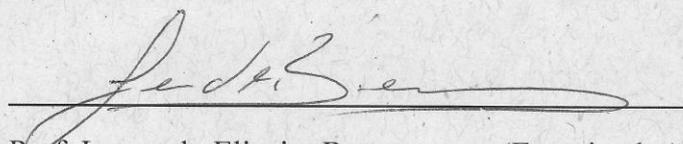
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

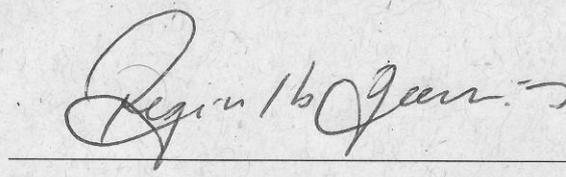
Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá

Aprovado em: 06/07/2016


Prof. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)


Prof. Fernando Schuck de Oliveira (Examinador)


Prof. Leonardo Elizeire Bremermann (Examinador)


Prof. Reginaldo Geremias (Supervisor)

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO MICROCONTROLADO PARA ANÁLISE DA PERFORMANCE DE BANCOS DE BATERIAS

Tiago Quartiero Pereira*

RESUMO

As baterias de Chumbo-Ácido são dispositivos eletroquímicos amplamente utilizados para armazenagem de energia, muitas vezes podendo estar distantes de administradores, como por exemplo, geração de energia em sistemas fotovoltaicos autônomos. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema remoto microcontrolado de baixo custo e eletricamente isolado para análise da performance de bancos de baterias, medindo dados de carga, temperatura e umidade, utiliza tecnologia GSM (*Global System for Mobile Communications*) para solicitação e envio destes dados. Para execução do projeto foi utilizada a plataforma Arduino e efetuado o dimensionamento do circuito de interface para leitura das grandezas e envio de dados através de sistema GSM. Os resultados obtidos com o protótipo demonstraram que o sistema possui boa precisão de leitura e comunicação. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que é possível utilizar sistemas microcontrolados versáteis e de baixo custo para avaliar o desempenho de bancos de baterias a distância, possibilitando novas linhas de pesquisa nesta área.

Palavras-chave: Baterias. Arduino. Optoacopladores. GSM.

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia através de fontes renováveis é altamente dependente da disponibilidade do recurso, sendo que para sistemas autônomos torna-se necessário utilizar algum meio que armazene esta energia quando o recurso estiver ausente. Pode-se considerar como exemplo uma placa fotovoltaica que gera energia elétrica

* Graduando do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900-000. E-mail: tiago.qp@hotmail.com

enquanto é iluminada pela radiação solar. Caso não haja nenhum sistema de armazenagem de energia, a disponibilidade de eletricidade estará comprometida durante a noite. Atualmente a solução mais aplicada neste tipo de configuração (sistemas autônomos) é a utilização de baterias eletrolíticas, que convertem energia química em energia elétrica.

Outro exemplo de dispositivo que utiliza circuito inversor e banco de baterias é o *No-break*. Basicamente é um supridor de energia estratégico cujo objetivo é manter as cargas ativas na ausência da rede elétrica, retirando energia de uma ou mais baterias. É utilizado para alimentar equipamentos eletrônicos sensíveis a oscilações de tensão elétrica como, por exemplo, computadores e circuitos digitais.

Tendo em vista a importância das baterias para os sistemas de geração e conversão de energia, o presente trabalho demonstra o desenvolvimento de um protótipo microcontrolado capaz de monitorar e autodiagnosticar bancos de baterias utilizando uma interface eletricamente isolada com optoacopladores. Os dados medidos no banco de baterias são apresentados através de um display de cristal líquido e também através de comunicação GSM.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento do projeto proposto foi necessário analisar a teoria de funcionamento dos dispositivos que o compõe. No presente capítulo será apresentada a teoria básica das baterias de chumbo-ácido, a plataforma microcontrolada Arduino e os optoacopladores.

2.1 Teoria básica das baterias de chumbo ácido

A bateria de chumbo ácido, descrita na Figura 1, é composta por um conjunto de placas de chumbo e placas de dióxido de chumbo, mergulhadas em uma solução de ácido sulfúrico e água. Dentro da bateria ocorre uma reação controlada, onde o ácido sulfúrico lentamente corrói as placas de chumbo, gerando sulfato de chumbo, água e elétrons livres como subproduto. Sendo assim, surge a eletricidade fornecida pela bateria (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2016).

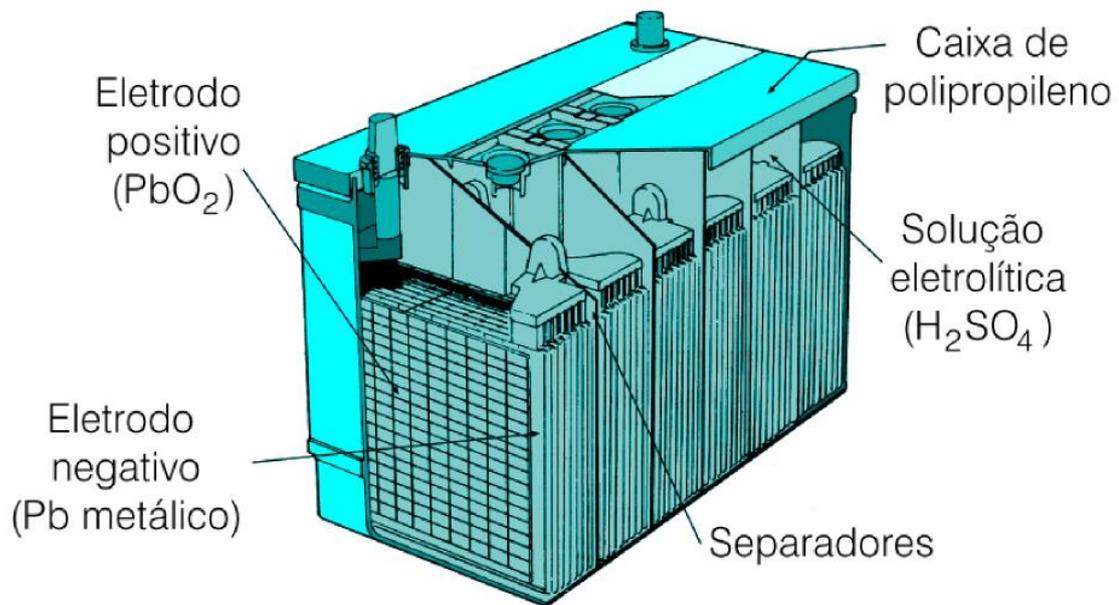


Figura 1 – Estrutura interna de uma bateria (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2016).

Quando a bateria é carregada, os elétrons são devolvidos, fazendo com que o sulfato de chumbo e a água transformem-se novamente em chumbo e ácido sulfúrico, retornando a bateria a seu estado original. Geralmente as baterias são internamente compostas por um arranjo em série de várias células de aproximadamente 2 Volts. O valor da tensão obtida depende da finalidade comercial, porém o mais comum é 12 V (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2016).

Outra característica muito importante é a capacidade em Ah, que seria basicamente o que define sua autonomia, ou seja, quanto tempo ela poderá fornecer energia elétrica. A capacidade relaciona a carga elétrica total que possui as células internas (COELHO, 2001).

As baterias chumbo-ácidas seladas reguladas por válvula, em geral perdem a sua capacidade nominal e vida útil quando descarregadas abaixo do valor recomendado da tensão de corte que geralmente é em torno de 1,75 V. Se a bateria for descarregada até 0V/elemento e permanecer por um período longo de tempo sem carga, a bateria sofrerá “sulfatação” e terá um aumento na sua resistência interna. Em alguns casos, a bateria poderá não mais aceitar carga. (UNIPOWER, 2016)

2.1.1 Modelagem matemática

De acordo com Vera (2009) uma das principais características que influenciam no desempenho das baterias é sua resistência interna. Para analisar este fator, pode-se efetuar uma modelagem matemática simples, associando uma fonte ideal (V_i) a uma resistência interna (R_i), ilustrada na Figura 2.

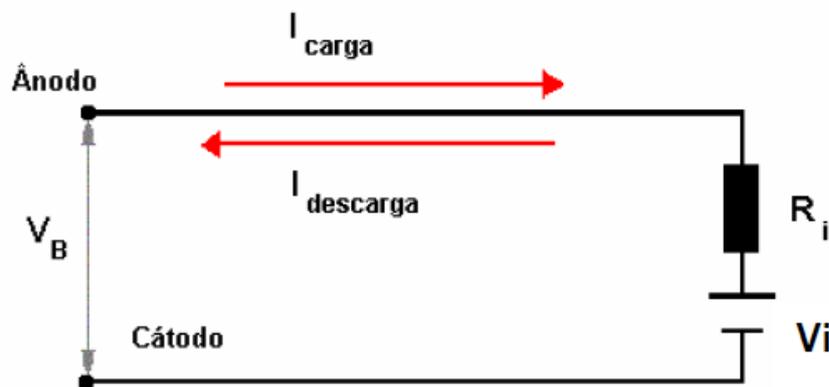


Figura 2 – Modelagem simples de uma bateria (VERA, 2009).

Durante os processos de carga e descarga a corrente elétrica do circuito citado provoca uma queda de tensão na resistência interna (R_i). Sendo a tensão V_b igual ao somatório da tensão V_i com a queda de tensão em R_i , o aumento da resistência interna provoca perdas no fornecimento de potência para as cargas conectadas à mesma (VERA, 2009).

2.1.2 Associação de baterias

Dependendo da aplicação pode-se associar baterias de diferentes formas: em série, paralelo ou combinando série e paralelo. Em uma associação em paralelo o valor da tensão final não se altera, porém, a corrente máxima fornecida será o somatório individual da corrente, em Ah, de cada bateria. Já em série a corrente elétrica não se altera, mas a tensão final é o somatório da tensão de todas as baterias associadas (NILSSON, 2003). Essa análise é ilustrada na Figura 3.

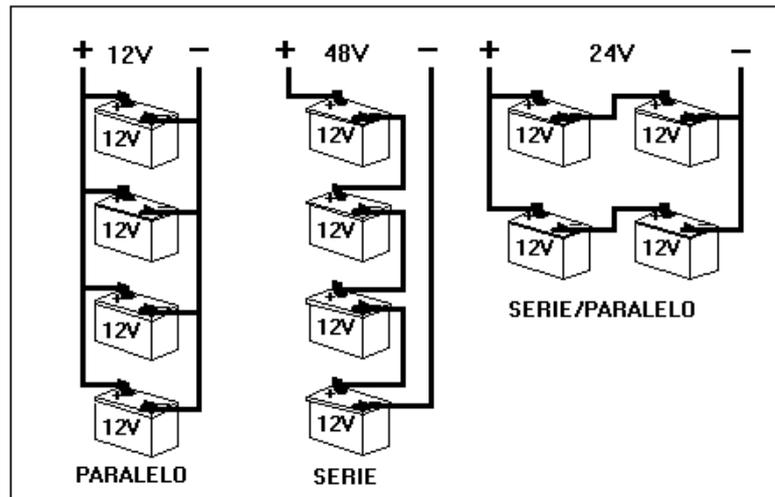


Figura 3 – Associação de bateria em série e paralelo (ALTOGAGREEN,2016).

2.1.3 A implicação das baterias em série

A maioria dos inversores possuem no barramento CC baterias conectadas em série devido ao fato de que quanto maior for o nível de tensão do banco, menor será a corrente e conseqüentemente as perdas por queda de tensão nos elementos. (JOHNSON, 1994)

Partindo desta premissa, em um banco de baterias em série (circuito em série) a corrente elétrica deve ser a mesma em todos os elementos, logo se houver um único dispositivo avariado todo o sistema fica comprometido. Quando o banco estiver instalado em tal configuração, cada bateria deverá ser testada individualmente e é este procedimento que será automatizado no presente projeto.

2.1.4 Fatores que afetam o funcionamento dos bancos de baterias

Segundo Karansinski e Dias (2003) existem vários fatores que influenciam na eficiência de um banco de baterias, sendo que alguns deles podem ser monitorados e controlado afim de se obter uma maior vida útil do conjunto. Estes fatores estão listados abaixo:

- Profundidade de descarga;
- Ciclos de descarga;
- Temperatura ambiente;

- Equalização da Tensão de carregamento;
- Sobre-corrente de descarga.

A profundidade de descarga expressa a quantidade de carga que pode ser extraído de uma bateria plenamente carregada e é dada em valores percentuais. As baterias estacionárias atuais permitem até 80% de profundidade de descarga quando cada célula chega a uma tensão de 1,75V. Os que os ciclos de descarga são basicamente a quantidade de vezes que a bateria foi descarregada a uma determinada profundidade. Estes fatores são impactantes na longevidade do banco de baterias e podem ser ajustados de acordo com a necessidade do projeto afim de se encontrar um ponto de otimização. A Figura 4 mostra que existe uma relação inversa e exponencial entre profundidade de descarga e ciclo de vida. (KARANSINSKI; DIAS, 2003)

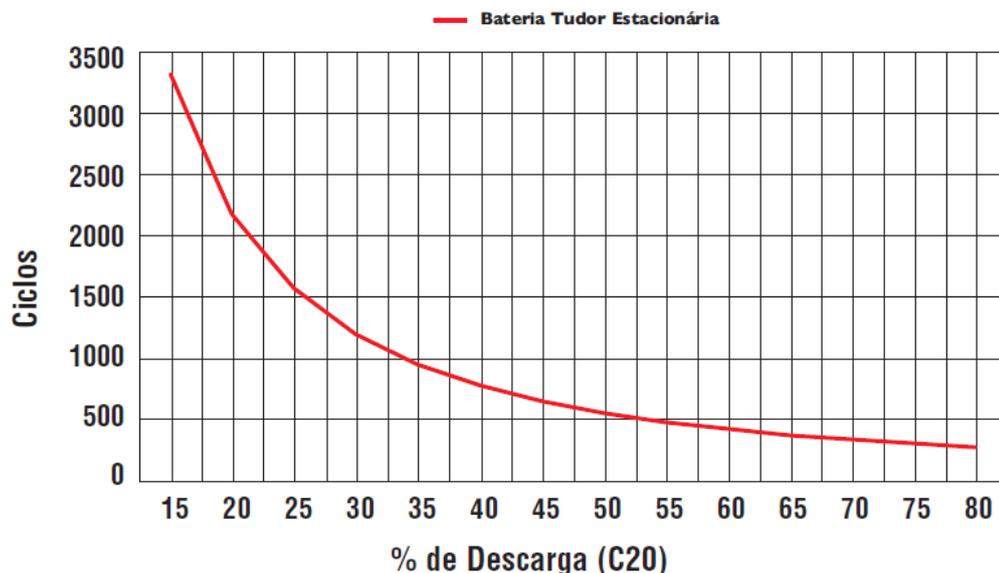


Figura 4 – Ciclos de vida em função da profundidade de descarga (TUDOR, 2016.)

A temperatura de trabalho das baterias é outra condição que influencia na sua vida útil, pois está relacionada com a variação da impedância interna e aumento da taxa de autodescarga. A Figura 5 apresenta o decaimento exponencial da vida útil, em termos relativos, com a temperatura de operação.

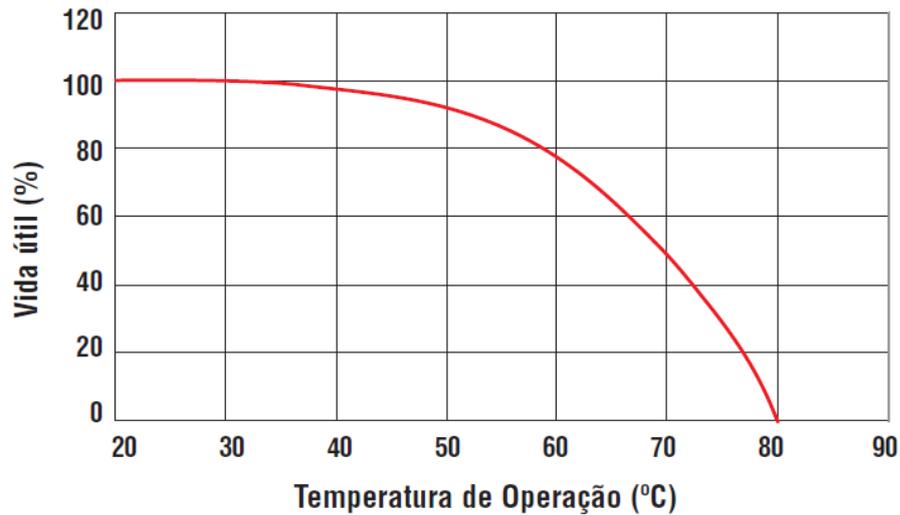


Figura 5 – Decaimento da vida útil em função da temperatura (TUDOR, 2016).

Em um sistema que utilize um banco com baterias associadas em série pode haver uma não equalização da tensão durante a recarga em função da variação da resistência interna e perda de propriedades químicas das células de carga. Caso haja uma sobretensão de carga da bateria este fator também influenciará na diminuição da vida útil desta unidade, podendo comprometer o funcionamento de todo banco. A Figura 6 apresenta um exemplo de um banco de baterias com desigualização de carga.

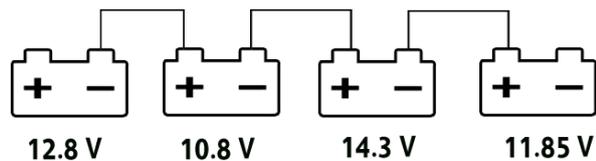


Figura 6 – Desequalização da tensão de carga (KAFAAGROUP, 2016).

No exemplo da Figura 6 o carregador aplica uma tensão de aproximadamente 50V e há uma diferença na tensão de carga em cada um dos elementos, provocando diferenças de carga.

O excesso de umidade do ambiente também é um evento que pode ocasionar o mau funcionamento de sistemas elétricos, pois tende a provocar oxidações em terminais ou placas eletrônicas como ao carregador e inversor. A oxidação deteriora elementos metálicos e diminui a condutividade elétrica.

Geralmente qualquer sistema elétrico composto por inversores utiliza baterias estacionárias devido a sua característica de conseguir manter uma corrente constante por longos períodos. Em caso de sobrecorrente provocada por curto circuito em uma destas placas, pode-se ter, como consequência, a deteriorização e o superaquecimento da bateria causando danos irreversíveis na mesma. (VERA, 2009)

2.2 Teste simples de desempenho de uma bateria

Na pesquisa de Karasinski e Dias (2003) é demonstrado que uma bateria de chumbo ácido está apta à utilização se houver uma relação de corrente versus tensão satisfatória. Uma forma rápida de avaliar esta condição é medir tensão elétrica em paralelo com uma resistência de baixo valor, como demonstrado na Figura 7.

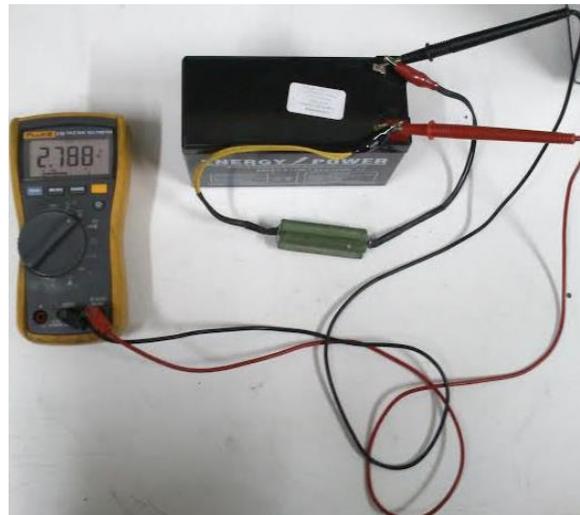


Figura 7 – Medição de tensão em paralelo com carga resistiva de baixo valor (Fonte: do autor).

2.3 Plataforma microcontrolada Arduino

Arduino é uma plataforma física de baixo custo para prototipagem eletrônica. É composta por uma placa com um microcontrolador, no qual é possível desenvolver programas que implementam funções de automatização de processos. Também é possível adicionar *Shields* que são placas ou dispositivos que quando conectados ao Arduino são

capazes de incrementar sua funcionalidade. (ARDUINO, 2016). A Figura 8 apresenta a plataforma Arduino Mega 2560, que é a indicada para este projeto.

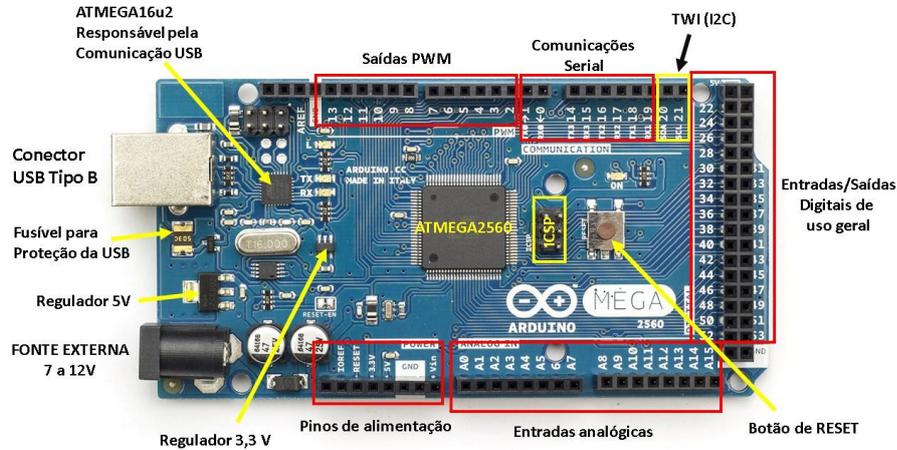


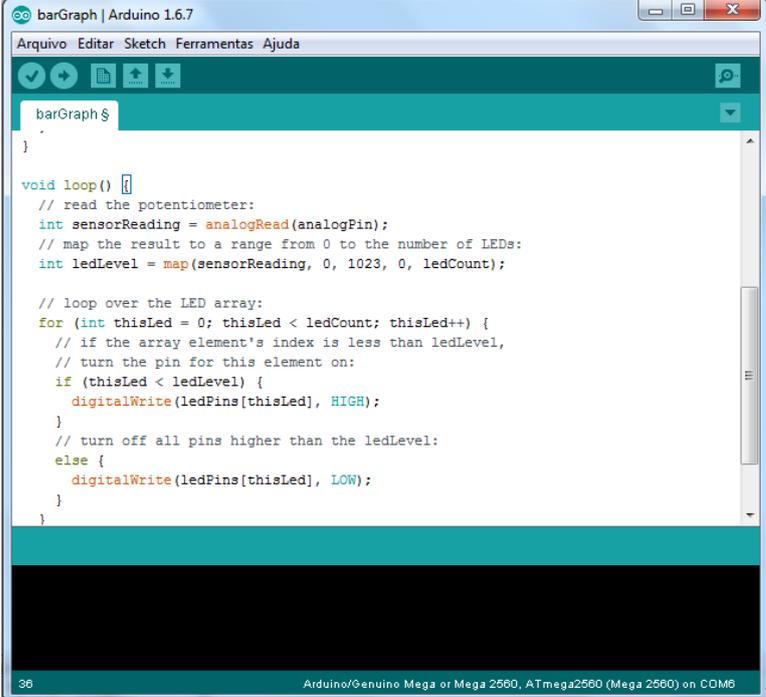
Figura 8 – Arduino Mega (EMBARCADOS, 2016).

Juntamente a plataforma microcontrolada deverá ser utilizado um *shield* GSM (Figura 9), que adiciona a função de envio de mensagens e ligação telefônica.



Figura 9 – *Shield* GSM (TINYSINE, 2016).

Como mostra a Figura 10, os programas gravados nesta plataforma são desenvolvidos em ambiente que compila a linguagem C para linguagem de baixo nível *Assembler* (ARDUINO, 2016).



```

barGraph | Arduino 1.6.7
Arquivo  Editar  Sketch  Ferramentas  Ajuda

barGraph$
}

void loop()
// read the potentiometer:
int sensorReading = analogRead(analogPin);
// map the result to a range from 0 to the number of LEDs:
int ledLevel = map(sensorReading, 0, 1023, 0, ledCount);

// loop over the LED array:
for (int thisLed = 0; thisLed < ledCount; thisLed++) {
  // if the array element's index is less than ledLevel,
  // turn the pin for this element on:
  if (thisLed < ledLevel) {
    digitalWrite(ledPins[thisLed], HIGH);
  }
  // turn off all pins higher than the ledLevel:
  else {
    digitalWrite(ledPins[thisLed], LOW);
  }
}
}

36 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM6

```

Figura 10 – IDE Arduino (Fonte: do autor).

2.3.1 Portas de comunicação

O Arduino possui portas analógica e digitais. Enquanto a comunicação digital só pode assumir dois estados, *HIGH* e *LOW* (0 V ou 5 V) as portas analógicas conseguem registrar qualquer valor de tensão de 0 a 5V (ARDUINO, 2016).

Mesmo registrando valores analógicos, o microcontrolador da Arduino trabalha internamente com dados digitais, por este motivo ele possui um conversor analógico/digital interno com 10 bits de resolução. Considerando a referência de tensão interna de 5 V, a resolução, em termos de tensão, será dada pela Eq. (1) (ARDUINO, 2016):

$$Resolução = \frac{V_{ref}}{2^{10}-1} = \frac{5}{1023} = 4,89 \text{ mV} \quad (1)$$

Ou seja, a cada aumento de 4,89mA na entrada da porta obtêm-se um incremento de uma unidade de um valor que varia de 0 a 1023.

2.4 Optoacopladores

É um dispositivo não linear composto internamente por um LED e um transistor sensível à luz (Figura 11). Basicamente ele consegue transmitir um sinal elétrico através de luz conseguindo realizar um isolamento elétrico. (Vishay Application Note).

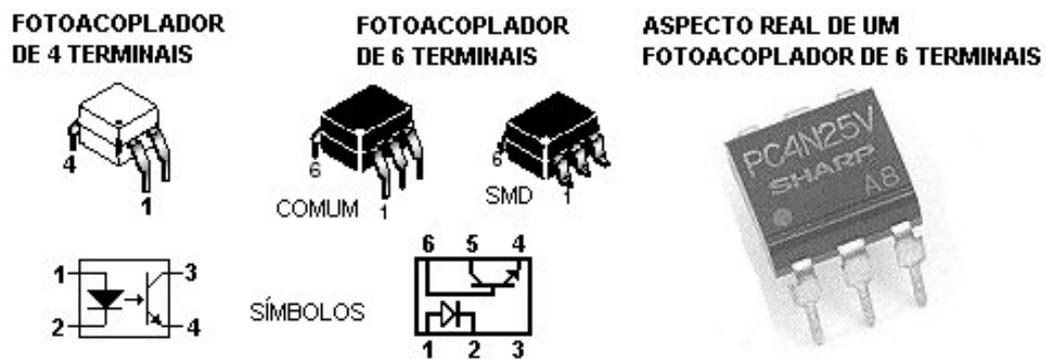


Figura 11 – Fotoacopladores (ELETRONICABR, 2016).

Os principais parâmetros elétricos dos optoacopladores são:

- I_F (*I Forward*, corrente direta): Corrente que circula pelo LED interno, também chamada de I_{LED} ;
- I_C (*I Collector*, corrente de coletor): Corrente que circula pelo coletor do fototransistor interno;
- I_E (*I Emissor*, corrente de emissor): Corrente que circula pelo emissor do fototransistor interno;
- V_{CE} : Tensão entre o coletor e o emissor do fototransistor interno.
- CTR (current transfer ratio): Razão de transferência de corrente I_C/I_F .

A Figura 12 apresenta a configuração que será aplicada ao projeto. A referência de tensão captada pelo optoacoplador é transferida para o Arduino através da queda de tensão no resistor R_E . O ideal é obter uma função de transferência com maior linearidade possível entre a entrada e a saída do optoacoplador.

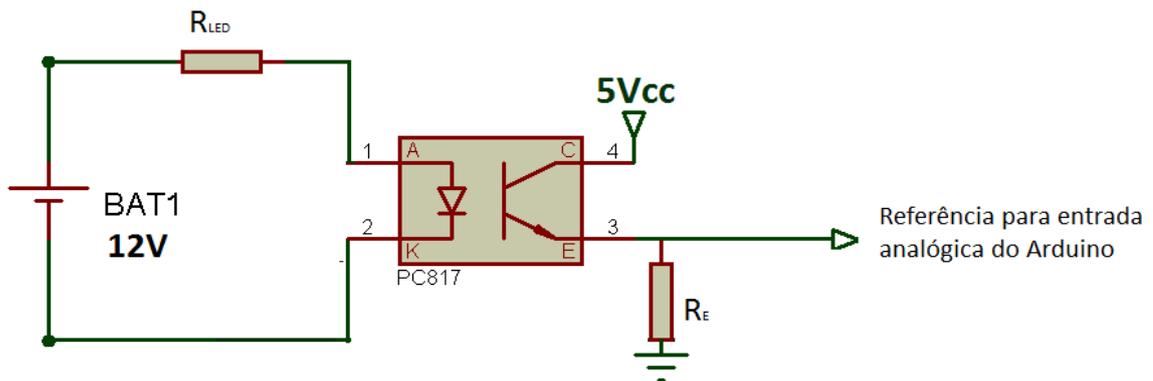


Figura 12 – Circuito de medição da tensão da bateria (Fonte: do autor).

De acordo com a análise de Sisken e Tran (2016), a linearidade do optoacoplador tende a aumentar com o valor da corrente I_c , ou seja, um valor de R_E menor tende a proporcionar uma maior linearidade, como mostra a Figura 13.

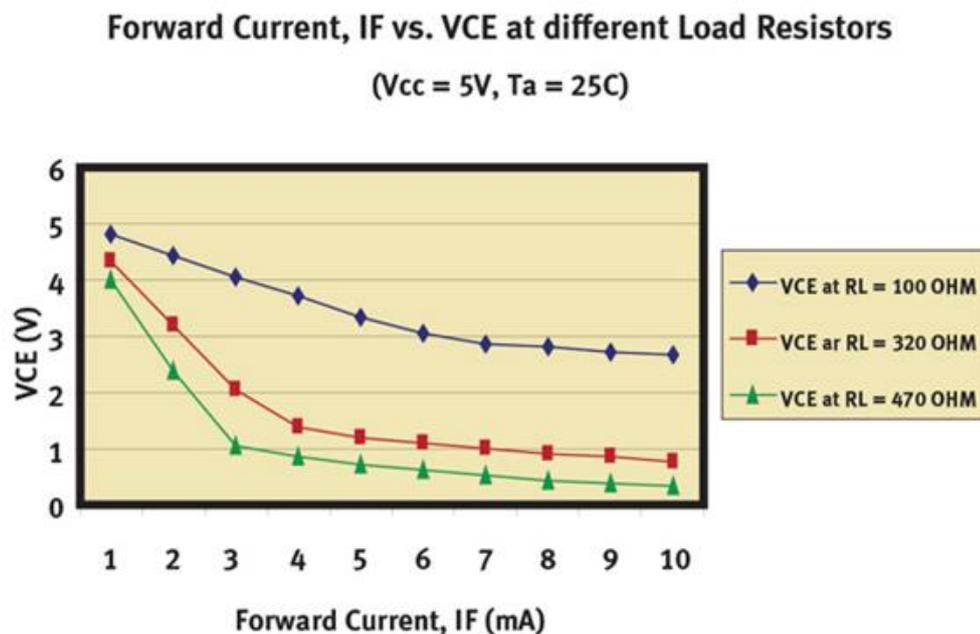


Figura 13 – Variação da tensão Vce x corrente do Led (Sisken; Van Tran, 2016).

3 METODOLOGIA

A montagem experimental do projeto foi executada em laboratório apropriado contendo os instrumentos e as ferramentas necessárias. As etapas de execução do projeto serão descritas no presente capítulo.

3.1 Análise da literatura

A análise da literatura contemplou a seleção da plataforma microcontrolada, componentes eletrônicos, e sensores para medição de tensão. As principais fontes de pesquisa foram os sites dos fabricantes de componentes eletrônicos e as bibliotecas utilizadas na programação. Também foi pesquisado sobre as características construtivas de baterias estacionárias, fatores que influenciam na diminuição do seu desempenho e as áreas que poderiam ser aplicadas o sistema a ser projetado.

3.2 Equipamentos utilizados

Para a montagem e a calibração do circuito eletrônico foi utilizado um laboratório de eletrônica contendo os instrumentos necessários. Os equipamentos e softwares foram utilizados nas seguintes etapas:

- Voltímetro Fluke Digital True Rms E115: Utilizado para aferir as tensões de calibração da fonte C.C. ajustável e comparar com a leitura do Arduino. Também foi utilizado para medir as tensões de alimentação dos circuitos integrados, os estágios de acionamento dos relés e transferência do sinal dos optoacopladores.
- Ohmímetro analógico FT-360TR: Utilizados para testar os LED's internos dos optoacopladores e potenciômetros de ajuste.
- Fonte Digital Regulável AFR PS3005: Utilizada na simulação da variação da tensão elétrica do banco de baterias e conseqüentemente a calibração do medidor de tensão do Arduino. É um instrumento que consegue variar a tensão de 0 a 32 Vdc.

- Osciloscópio duplo traço 50 Mhz Rigol: Utilizado para medir os pulsos do sensor de temperatura e umidade DHT22, medir o clock do microcontrolador e ruídos na placa.
- Termômetro/Higrômetro digital Minipa MT 241I: Utilizado para comparar a leitura de temperatura e umidade medida pelo sensor DHT22.
- *Software* Proteus Professional 8.1: Utilizado para elaborar e simular o circuito elétrico, criar o layout da placa e a visão espacial tridimensional da placa interface.
- *Software* Excel 2013: Utilizado para plotagem dos pontos de medição e calibração do sensor de tensão das baterias. Com os pontos foi possível criar uma função matemática através de uma aproximação polinomial de sexto grau, para cada sensor de tensão contínua das baterias.

3.3 Apresentação dos circuitos do projeto e dimensionamento

A Figura 14 apresenta um diagrama com todos os circuitos que atuam na medição e monitoramento das baterias.

Circuito 1: Sensor individual de tensão das baterias. Mede a queda de tensão em cada bateria e transfere para o Arduino;

Circuito 2: Aplica as cargas resistivas em paralelo com as baterias;

Circuito 3: Desconecta as baterias, antes das cargas resistivas serem aplicadas em paralelo;

Circuito 4: Ventilação das cargas resistivas;

Circuito 5: Envia um retorno para o Microcontrolador confirmando que as baterias foram desconectadas;

Circuito 6: Mede a temperatura e umidade relativa do ambiente;

Circuito 7: Sinalização das ações iniciadas pelo programa.

A Placa microcontrolada Arduino: Recebe todas as informações dos sensores, executa o monitoramento e envia os dados para o shield GSM.

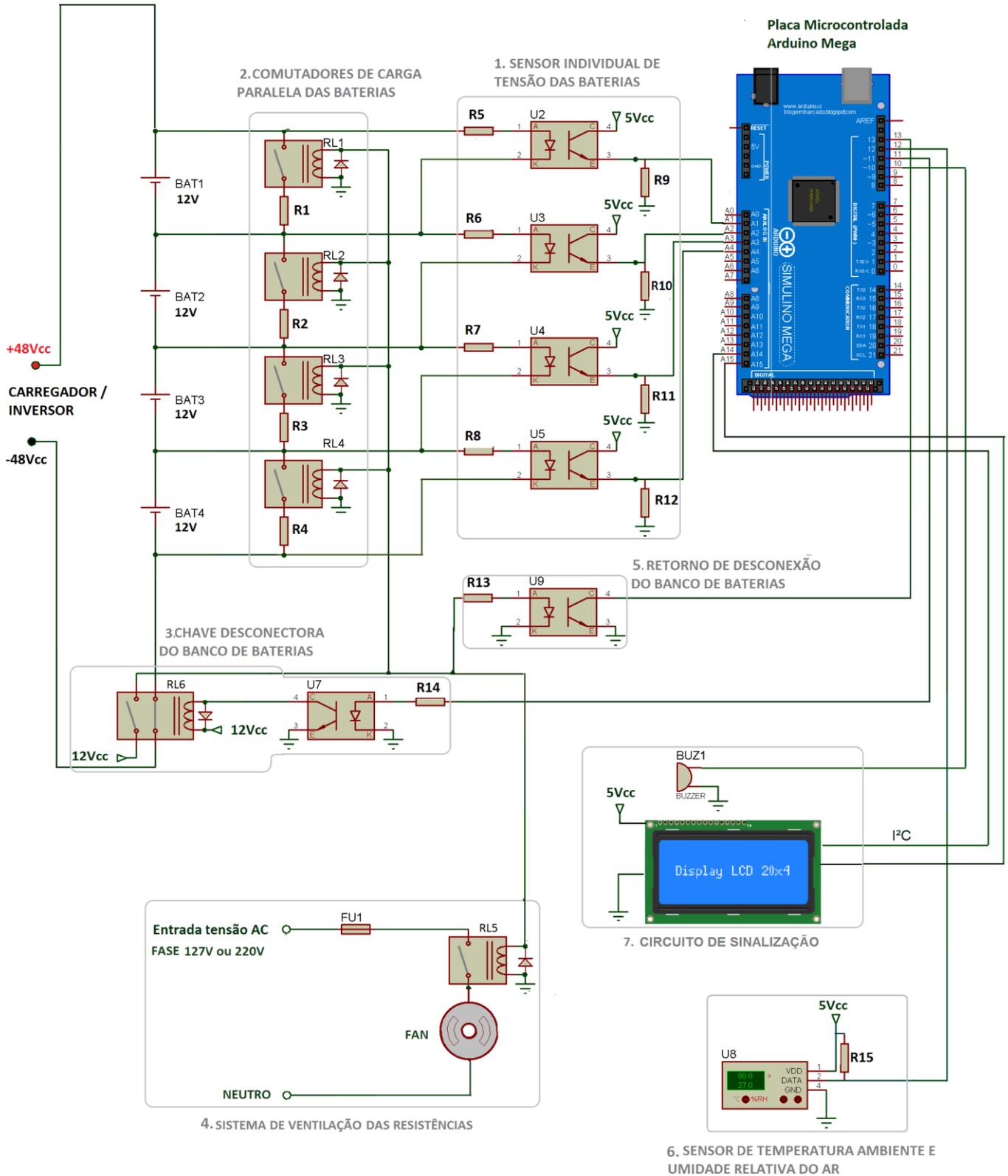


Figura 14 – Esquema elétrico da interface (Fonte: do autor).

3.3.1 Dimensionamento do circuito 1: Sensor de tensão das baterias

Para medir a tensão contínua de cada bateria foi elaborado um circuito composto por um optoacoplador e dois resistores. O resistor conectado ao pino 1 do optoacoplador, R_{led} , tem a função de limitar a corrente do led interno já o resistor conectado ao pino 3, R_e , tem a função de provocar uma queda de tensão no emissor do fototransistor que está conectado à porta analógica. Conforme a Figura 15, foram utilizados 4 conjuntos para medir a tensão das 4 baterias.

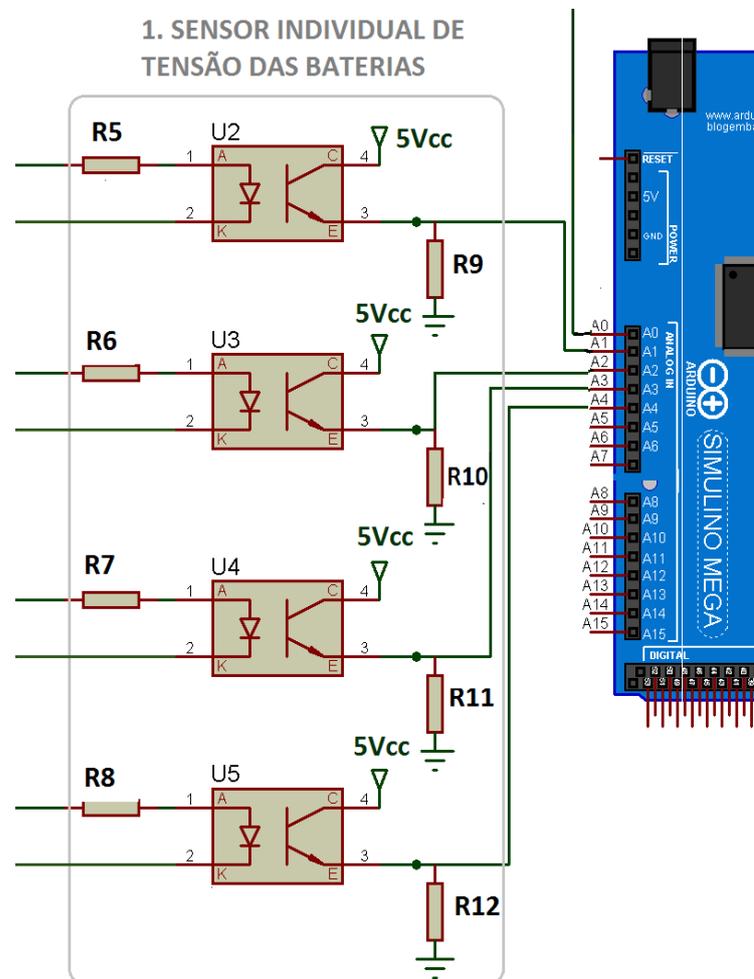


Figura 15 – Circuito sensor de tensão das baterias (Fonte: do autor).

3.3.1.1 Dimensionamento dos resistores R_E e $R_{L_{led}}$ do Optoacoplador

Através da Figura 13 apresentada por Sisken e Tran (2016) foi verificado que um resistor de valor de 330Ω proporciona uma larga faixa de variação de valores de tensão V_{CE} , e conseqüentemente uma variação de 0,5 a 4,5V na porta analógica do Arduino. Por possuir uma larga faixa linear este foi o valor selecionado para o resistor R_E .

Inicialmente foi estipulado que o sensor de tensão fosse capaz de medir uma tensão de bateria de 0 a 40 V, pois trata-se de um circuito em série e caso haja variação da resistência interna da bateria, isso poderá ser percebido através do aumento da queda de tensão sobre a mesma. Tendo isso em vista, deseja-se que, quando a tensão a ser medida for de 40 V a tensão na porta analógica do Arduino seja em torno de 4 V e a tensão V_{CE} seja de 1 V. Arbitrando o resistor R_E de 330Ω e propondo a queda de tensão de 4 V foi calculado a corrente I_C conforme indicam as Eq. (2) e (3):

$$I_C = 4/330 \quad (2)$$

$$I_C = 12,1mA \quad (3)$$

De acordo com a curva de saturação fornecida pelo fabricante (CEL, 2016), verifica-se que para o modelo utilizado PS2501-1, com $I_C=12,1 \text{ mA}$ e $V_{CE}=1 \text{ V}$ obtém-se uma corrente I_{led} de aproximadamente 8 mA, como mostra a Figura 16.

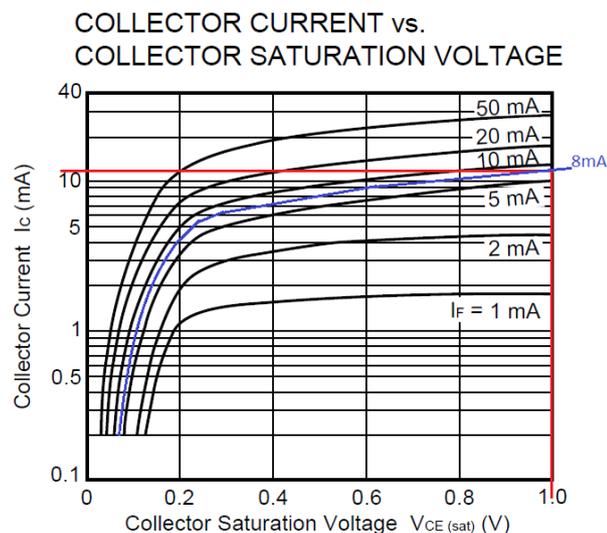


Figura 16 – Curvas $I_C \times I_F$ (CEL, 2016 - Editada).

Com uma corrente de 8 mA e consultando a Figura 17 na temperatura de 25 °C, tem-se que a tensão aproximada no Led é de 1,15 V.

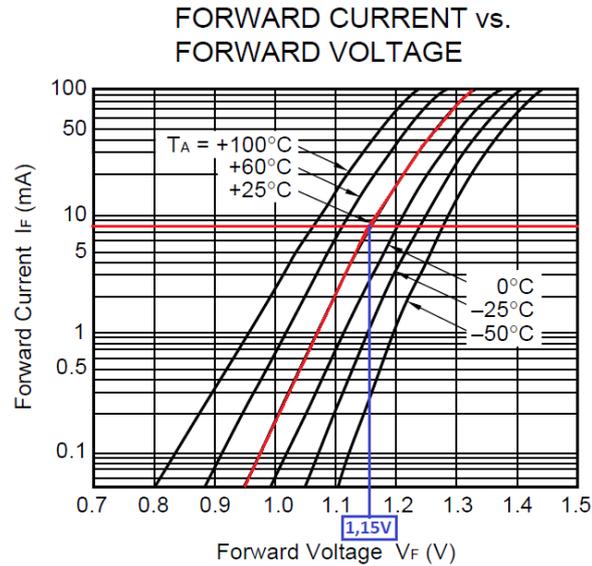


Figura 17 – Corrente do Led x variação de tensão no Led (CEL, 2016 – Editada).

Com V_{led} igual à 1,15V, I_{led} de 8 mA e considerando a tensão máxima medida de 40 V foi calculado o valor do resistor R_{led} conforme indicam a Eq. (4):

$$R_{led} = (V_{Bat} - V_{led}) / I_{led} \quad (4)$$

$$R_{led} = (40 - 1,15) / 0,008 \quad (5)$$

$$R_{led} = 4856,25 \Omega \quad (6)$$

Resistor comercial adotado: 4,7k Ω .

A Figura 18 apresenta o circuito com os valores calculados:

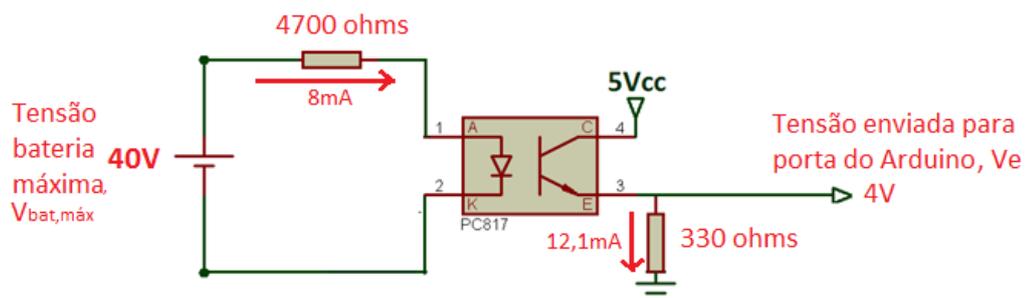


Figura 18 – Modelagem inicial do circuito de medição de tensão (Fonte: do Autor).

3.3.1.2 Calibração do sensor de tensão

Após o dimensionamentos dos resistores foi efetuado a montagem do circuito e a simulação da variação (V_E) com a variação da tensão aplicada $V_{bat,max}$. Para avaliar tal comportamento foi utilizado uma fonte de tensão ajustável.

O circuito montado foi conectado ao Arduino e foi elaborado um algoritmo para fazer a leitura da entrada analógica, mostrando a relação de variação de tensão com a variação de um número decimal, de 0 a 1023. Para isso foi utilizado a função *Serial.print*, que possibilitou escrever o valor da entrada analógica na forma de texto.

Foram efetuados 40 registros de tensão e valores lidos com a função *Serial.print*, e na mesma planilha foram embutidos os cálculos de V_{RE} , V_{CE} , I_c , I_F , e CTR. Os resultados dos dados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores obtidos da calibração do sensor de tensão

Tensão aplicada	Valor em A(0)	a(0) / 100	V_{RE} [V]	V_{CE} [V]	I_c [A]	I_F [A]	CTR
1	0	0	0,00	5,00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
2	1	0,01	0,00	5,00	1,48E-05	2,02E-04	7,3
3	11	0,11	0,05	4,95	1,63E-04	4,15E-04	39,3
4	27	0,27	0,13	4,87	4,00E-04	6,28E-04	63,7
5	44	0,44	0,22	4,78	6,52E-04	8,40E-04	77,5
6	66	0,66	0,32	4,68	9,78E-04	1,05E-03	92,8
7	85	0,85	0,42	4,58	1,26E-03	1,27E-03	99,4
8	108	1,08	0,53	4,47	1,60E-03	1,48E-03	108,2
9	130	1,3	0,64	4,36	1,93E-03	1,69E-03	113,8
10	154	1,54	0,75	4,25	2,28E-03	1,90E-03	119,8
11	178	1,78	0,87	4,13	2,64E-03	2,12E-03	124,5
12	203	2,03	0,99	4,01	3,01E-03	2,33E-03	129,1
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
39	729	7,29	3,56	1,44	1,08E-02	8,07E-03	133,7
40	731	7,31	3,57	1,43	1,08E-02	8,29E-03	130,6

Fonte: do autor.

Para avaliar o comportamento da linearidade da leitura da tensão com os valores entregues à porta analógica do Arduino foi efetuado a plotagem das amostras no gráfico de dispersão apresentado na Figura 19.

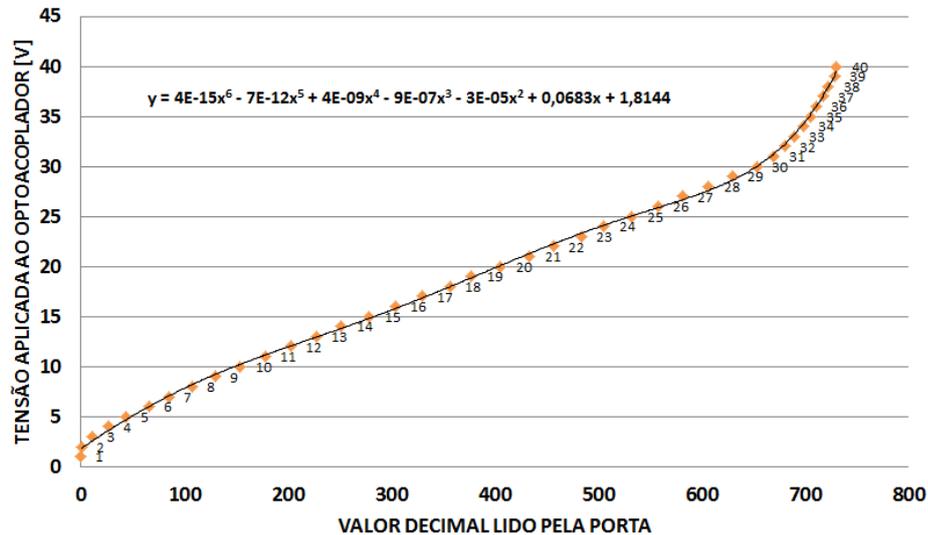


Figura 19 – Função interpolada com tensões de 0 a 40 V (Fonte: do autor)

Analisando a curva e a função interpolada foi possível verificar duas situações importantes:

- A maior linearidade da função foi obtida entre a leitura de 2 a 30 V.
- A função apresenta alguns valores de coeficientes muito baixos (4×10^{-15}).

Para melhorar a resolução dos dados e a precisão da medição foi optado em truncar a tabela entre os valores de leitura de 2 V à 30 V, e criar uma nova função com os valores maiores de 30 V até 40 V. O programa irá tratar de selecionar qual função será executada de acordo com o valor lido pela porta analógica.

Para ajustar a magnitude dos coeficientes foi efetuado a divisão da leitura da porta analógica A (0) por 100. O resultado destas mudanças é apresentado na Figura 20 e na Figura 21.

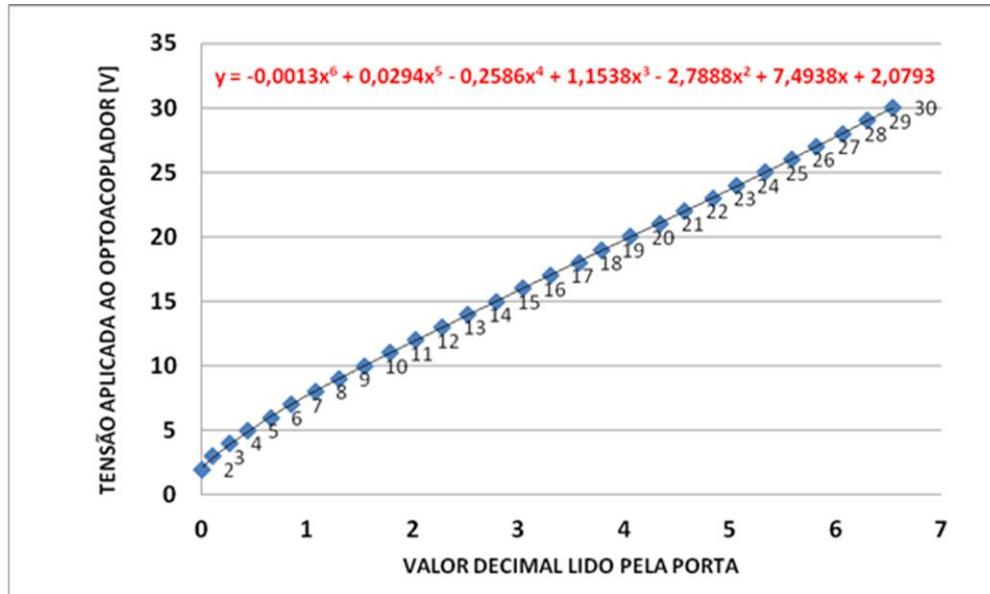


Figura 20 – Interpolação da faixa de tensão 0 a 30 V (Fonte: do autor).

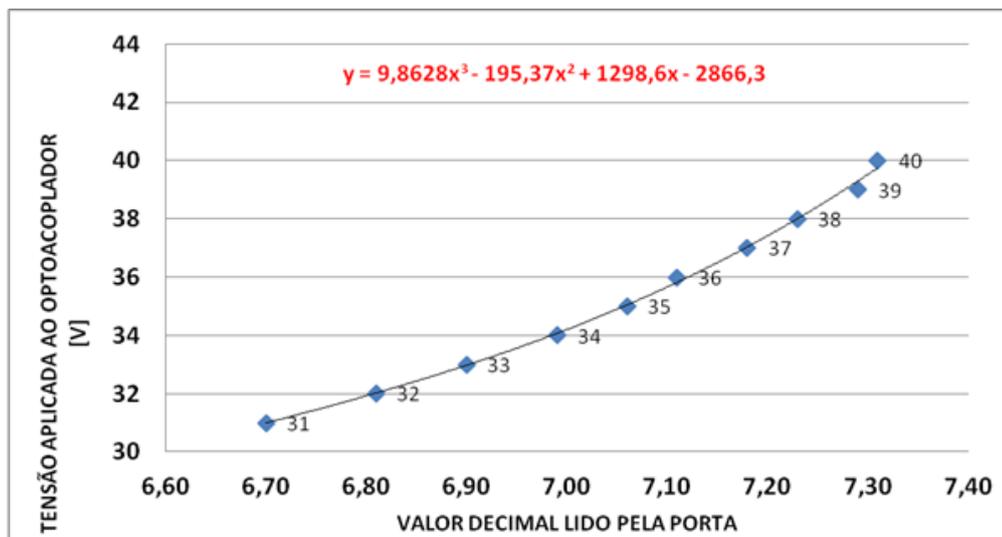


Figura 21 – Interpolação da faixa de tensão de 31 a 40V (Fonte: do autor).

3.3.2 Dimensionamento do circuito 2: Comutador de carga paralela

O sistema que aplica as cargas resistivas em paralelo às baterias é exibido na Figura 22:

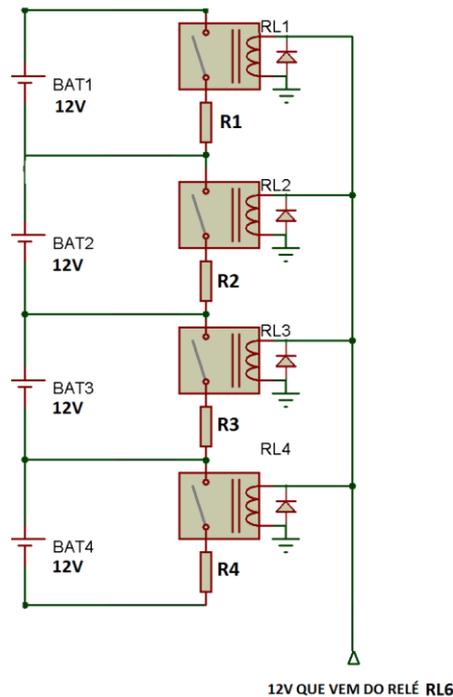


Figura 22 – Circuito de paralelismo de carga (Fonte: do autor)

Quando os relés RL1, RL2, RL3 e RL4 recebem alimentação de 12V proveniente do Relé RL6 há a energização de suas bobinas internas provocando o chaveamento de resistências paralelas às baterias. Ao ser aplicado a resistência em paralelo com a bateria espera-se que durante 10 segundos a bateria seja capaz de fornecer corrente e manter o nível de tensão mínimo de 10,5 V, que representa 1,75 V por elemento.

A carga resistiva simula a exigência de corrente do inversor. Foi considerado um inversor com as seguintes características:

- 500 W de potência real;
- Eficiência de 90%;
- Alimentação de 48 Vcc. (4 baterias em série).

No instante que o inversor for acionado para entregar os 500W estará consumindo aproximadamente $500/0,9 = 555 \text{ W}$ do banco de baterias. Sendo assim, cada bateria fornecerá em torno de 140 W.

Com tensão de 12 V e potência fornecida de 140 W pode-se encontrar qual valor de resistência que aplicada em paralelo com a bateria causaria este consumo, conforme Eq. (7):

$$R = V^2/P = 12^2/140 = 1,02 \Omega \quad (7)$$

Por questões comerciais o valor da resistência adotado será de 1,2 Ω . Ao aplicar esta carga resistiva em paralelo com a bateria o sistema estará simulando um inversor com consumo de 480 W, conforme equação (8) e equação (9):

$$P = V^2/R = 12^2/1,2 = 120 \text{ W} \quad (\text{para 1 bateria}) \quad (8)$$

$$P = 120 \times 4 = 480 \text{ W} \quad (\text{para 4 baterias}) \quad (9)$$

Um consumo de 480 W representa 87,3% do consumo do inversor. Um valor aceitável para simulação.

Sobre o valor de potência dissipada optou-se em utilizar resistores de menor dissipação de potência e ventilação forçada para remoção de calor. Foram utilizados 4 resistores de 50 W posicionados perpendicularmente ao fluxo de ar do ventilador.

As características dos resistores são:

- Marca: Sure
- Modelo: SSR;
- Resistência nominal: 1,2 Ω ;
- Potência de dissipação natural: 50 W;
- Formato: cilíndrico
- Comprimento: 10 cm;
- Diâmetro: 2,2 cm;
- Temperatura superficial na potência nominal: 180 °C.

As características do ventilador são:

- Marca: Qualitas;

- Tensão: 127/220 V;
- Modelo: Q180A3;
- Potência: 76/88 W
- Corrente nominal: 530/250 mA;
- Diâmetro do rotor: 155,9 mm;
- Vazão volumétrica de Ar: 189 L/s (na pressão atmosférica).

Para o dimensionamento dos relés foram considerados os seguintes critérios:

- Tensão de acionamento de 12 V;
- Corrente da carga resistiva de $12V/1,2 \Omega = 10 A$;
- Inserção de diodo de roda livre 1N4148.

O modelo utilizado foi o AXP1RC2 da marca METALTEX. Ele possui as seguintes características:

- Tensão de acionamento: 12 V;
- Corrente de energização da bobina: 30 mA
- Corrente dos contatos: 20 A;

3.3.3 Dimensionamento do circuito 3: Desconector do banco de baterias

O circuito de desconexão do banco de baterias é composto pelo relé RL6 que possui dois contatos, um normalmente fechado (NF) e outro normalmente aberto (NA). Também possui um optoacoplador, um resistor e um diodo de roda livre. A análise das correntes do circuito é apresentada nas próximas seções.

3.3.3.1 Corrente que circula no contato NF

O relé RL6 deve suportar uma corrente mínima de aproximadamente 12 A no contato NF. Este valor pode ser atingido em momentos de carga ou descarga do banco de baterias.

3.3.3.2 Corrente que circula no contato NA

Quando o relé RL6 é acionado o contato NA fecha e a corrente que circulará neste contato será:

- O Somatório das correntes que energizam as bobinas do circuito 2: 150 mA.
- Corrente que energiza a bobina do relé AXP1RC2 do circuito 4: 70 mA.
- Corrente que excita o LED do optoacoplador U9 do circuito 5: 8 mA

Somando-se as correntes que circulam pelo contato NF obtém-se o valor de 228 mA.

3.3.3.3 Características e escolha do modelo do relé RL6

De acordo com as informações calculadas o relé escolhido foi TNA2R C2 da METALTEX. Suas características elétricas são:

- Tensão de acionamento de bobina: 12 V;
- Corrente de energização de bobina: 75 mA;
- 2 contatos isolados NA e NF;
- Corrente máxima de contatos 15 A;

3.3.3.4 Dimensionamento do optoacoplador U7 e R14 (R_{LED})

Para poder gerar a corrente de 75 mA para acionar a bobina do RL6 foi necessário utilizar um optoacoplador do tipo Darlington, que possui um ganho maior de corrente na saída. O modelo escolhido foi o LTV – 815 e as curvas que respondem por seu funcionamento são apresentadas na Figura 24.

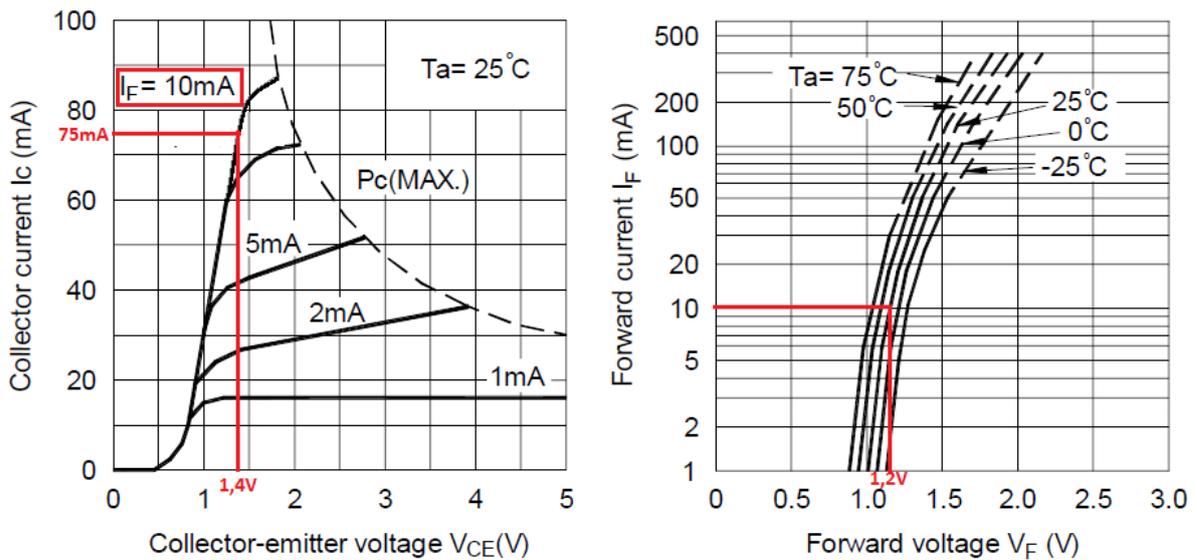


Figura 24 – Curvas do Optoacoplador LTV-815 (LITE-ON,2016)

Analisando as curvas na Figura 26, verifica-se que para uma corrente de I_{LED} de 10 mA obtêm-se uma corrente I_C de 75 mA, uma tensão Coletor-Emissor de 1,4V e uma tensão V_{LED} de 1,2 V. Através da lei de Ohm, o resistor R_{14} adotado foi de 390 Ω .

3.3.4 Dimensionamento do circuito 5: Retorno de desconexão

O circuito 5 da Figura 14 é responsável por enviar um sinal de retorno para o microcontrolador, garantindo que o banco de baterias está desconectado do sistema. Caso o microcontrolador não receba esta referência imediatamente cancelará o procedimento de teste das baterias e enviará uma mensagem GSM para o administrador do sistema.

Deseja-se que a tensão de 5 V do pino digital 13 do Arduino caia a zero Volts quando R_{13} receber a tensão de 12 V oriunda do chaveamento do contanto NA do relé RL6.

De acordo com as curvas do optoacoplador apresentado na Figura 25 o valor R_{13} adotado foi de 1 k Ω .

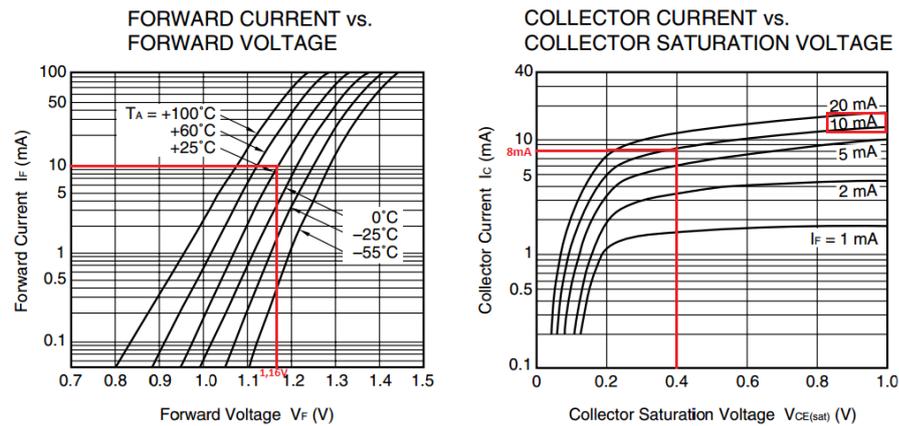


Figura 25 – Curvas do optocoplador PS2501-1 (CEL, 2016).

3.3.5 Dimensionamento do circuito 6: Sensor de temperatura e umidade

O dispositivo selecionado para fazer a medição de temperatura e umidade é o DHT 22. Suas características são:

- Alimentação de 3,3 a 5,5 V;
- Mede de -40 a 80 °C com precisão de $\pm 0,5$ °C;
- Umidade de 0 a 100% com precisão de ± 2 %;
- Baixo custo;
- Não necessita de calibração;
- Já existe uma biblioteca pronta para utilização no Arduino.

O DHT22 (U8) faz a medida dos dados do ambiente e envia o sinal para o pino digital 12 do Arduino através de pulsos digitais. De acordo com informações do fabricante ele deve possuir um resistor de *pull-up* de 1 k Ω conectado entre os pinos 1 e 2, conforme demonstrado na Figura 26.

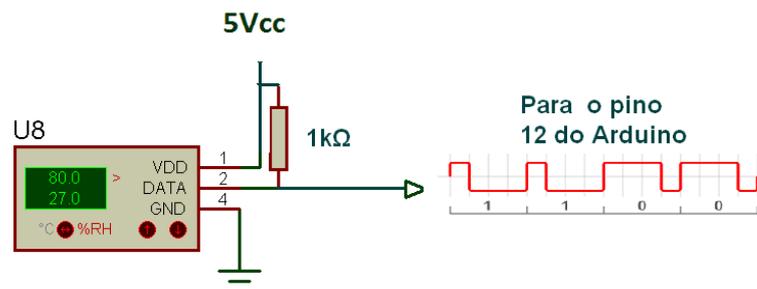


Figura 26 – Sensor de temperatura e umidade (Fonte: do autor).

3.4 Fluxograma de funcionamento

A seqüência que o algoritmo executa as funções é apresentada na Figura 27.

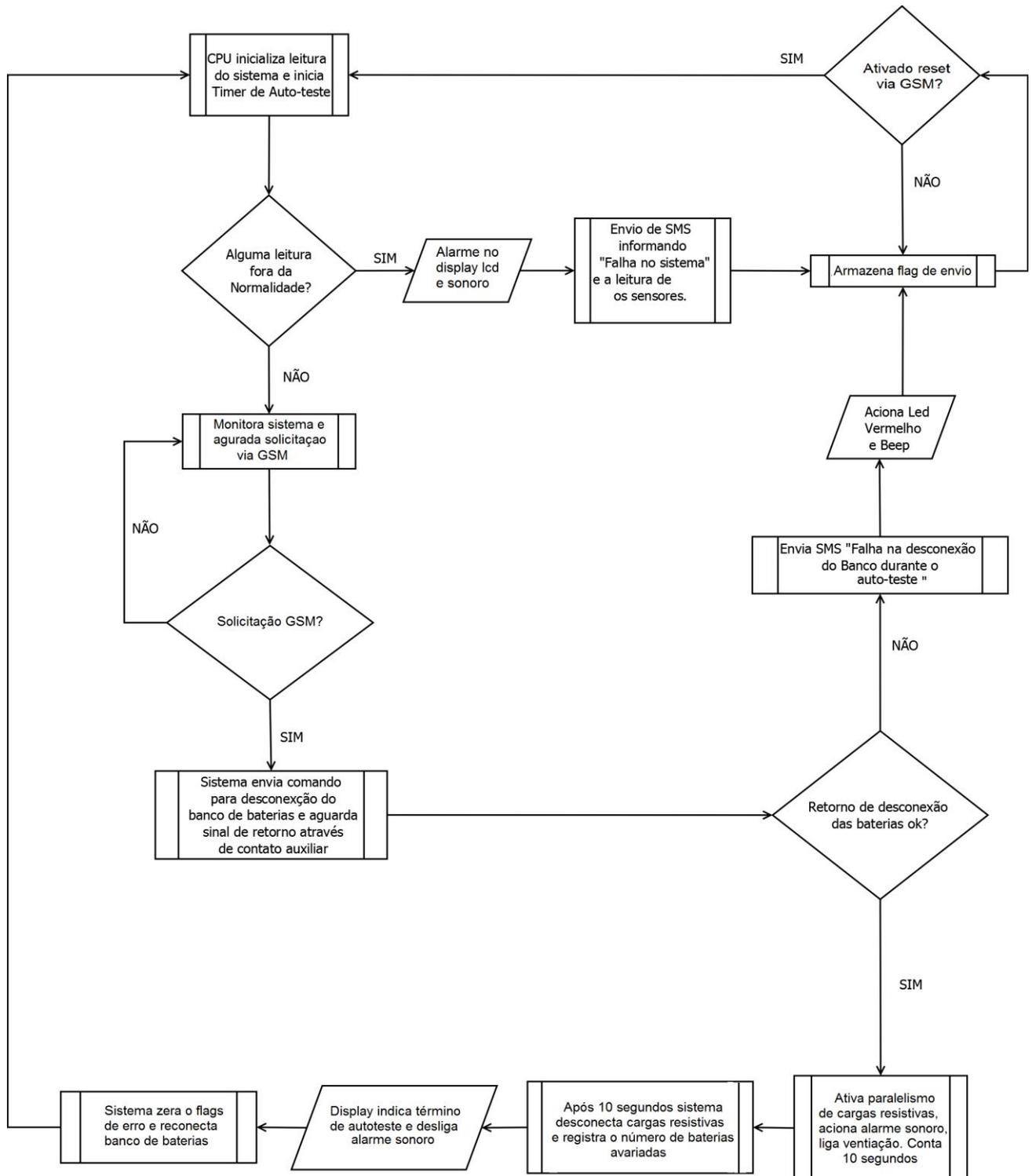


Figura 27 – Fluxograma de Funcionamento (Fonte: do autor)

4 Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentadas as principais características do protótipo desenvolvido, bem como resultados do funcionamento do mesmo.

4.1 Análise experimental do funcionamento do sistema

O protótipo montado é apresentado na Figura 28. Para efetuar os testes foram selecionadas 4 baterias de 12 V e 7 Ah com diferentes níveis de carga. O objetivo foi avaliar a precisão do sensor de tensão das baterias quando comparado com o multímetro digital *True Rms* Fluke E-115.

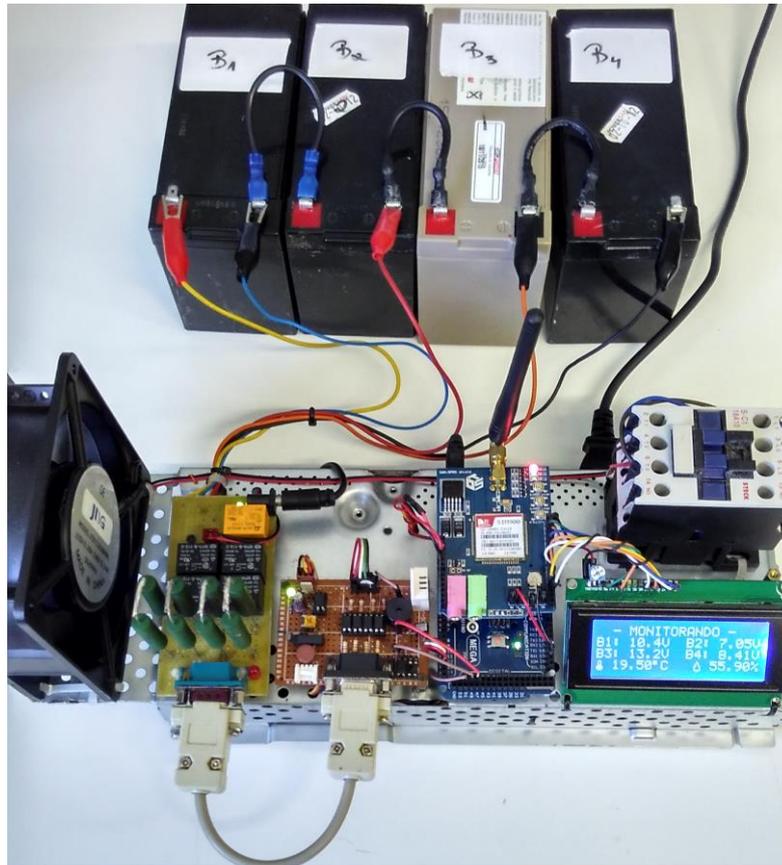


Figura 28 – Módulo montado em funcionamento (Fonte: do Autor).

Foram efetuadas 3 medidas em sequência e posteriormente calculado o erro percentual de leitura para cada bateria, comparando o valor médio da leitura do multímetro Fluke E-115 com o valor médio da leitura do protótipo. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre os valores de tensão medidos

Bateria	Método de Aferição	1ª Medição [V]	2ª Medição [V]	3ª Medição [V]	Média [V]	Desvio Padrão [V]	Erro Relativo [%]
1	Protótipo	10,42	10,45	10,40	10,42	±0,03	0,67
	Fluke E-115	10,35	10,38	10,34	10,35	±0,02	
2	Protótipo	7,05	7,10	7,11	7,08	±0,03	1,87
	Fluke E-115	6,94	6,95	6,97	6,95	±0,02	
3	Protótipo	13,20	13,22	13,21	13,21	±0,01	0,76
	Fluke E-115	13,11	13,08	13,15	13,11	±0,04	
4	Protótipo	8,41	8,44	8,37	8,41	±0,04	0,71
	Fluke E-115	8,38	8,35	8,34	8,35	±0,02	

Fonte: do autor.

Foram encontrados diferentes valores de erro para os sensores de tensão, sendo que o menor foi de 0,67 % e o maior foi de 1,87 %. Notou-se que mesmo sendo utilizada a mesma função de interpolação polinomial para cada sensor, houve uma variação entre os valores de erro. Um dos fatores que pode justificar essa margem é que os optoacopladores estão em série e medindo cargas de diferentes valores de tensão de bateria, podendo assim ocasionar variação de milivolts na tensão V_{LED} .

Para avaliação do sensor de temperatura e umidade do protótipo também foram efetuadas 3 leituras sequenciais. As medidas de temperatura e umidade registradas pelo módulo foram comparadas com um higrômetro/termômetro digital Minipa MT 241, e posteriormente calculado o erro percentual entre o valor médio de leitura dos dois métodos de medição. Como demonstrado na Tabela 3 o erro percentual para leitura de temperatura foi de 2,59%, enquanto para a umidade foi de 1,91%.

Tabela 3 – Comparação entre os valores de temperatura e umidade medidos

Grandeza	Método de Aferição	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média	Desvio padrão	Erro Relativo
Temperatura [°C]	Protótipo	19,50	19,50	19,51	19,50	±0,01	2,59
	Minipa MT 241	20,03	20,02	20,02	20,02	±0,01	
Umidade [%]	Protótipo	55,90	55,92	55,91	55,91	±0,01	1,91
	Minipa MT 241	57,00	57,00	57,00	57,00	±0,00	

Fonte: do autor.

A análise e comparação de todas as leituras do protótipo com outros instrumentos de qualidade (Fluke-E115 e Minipa MT241) foram consideradas

satisfatórias, apresentado baixos valores de erro percentual. Dessa forma não se verificou necessidade novas medidas.

4.1 Teste dos alarmes:

O sistema está programado para enviar mensagens via *SMS (Short Message Service)* quando houver alguma medida fora dos valores parametrizados na programação, mesmo quando conectados ao carregador. Os 5 alarmes testados foram:

- Tensão de bateria baixa inferior a 10,5 V;
- Tensão de bateria alta superior a 20 V;
- Desequalização de carga: quando houver diferença de mais de 30% da queda de tensão entre as baterias
- Temperatura acima de 40 °C;
- Umidade relativa acima de 90 %.

A Figura 29 mostra as indicações do LCD e o recebimento de mensagens SMS dos testes realizados.



Figura 29 – Dados mostrados no LCD e envio via *SMS* (Fonte: do autor)

Para simular as variações foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Fonte d.c. ajustável: Conectada no lugar de uma das baterias;
- Soprador térmico: Aplicação de calor no sensor de temperatura/umidade.

Os testes tiveram excelente resposta, sendo que o tempo entre a identificação da anomalia e o recebimento da mensagem SMS foi menor que 5 segundos. O tempo de recebimento da mensagem pode variar, de acordo com a operadora.

Apesar de o sistema registrar os valores de temperatura e umidade relativa, para mensagem de alerta optou-se em não discriminar qual grandeza está fora dos limites.

Após identificar a anomalia o sistema envia o SMS do respectivo erro apenas uma vez. Nesse momento o usuário poderá solicitar via GSM o autoteste que reseta os registros de envio de mensagem, e se após efetuar o procedimento de autoteste ainda houver algumas variáveis fora dos parâmetros o sistema envia novamente a mensagem. Esta forma de envio de dados garante que se o usuário poderá, a qualquer momento, se certificar da situação atual de leitura do sistema.

4.2 Solicitação de Autoteste via GSM

Para efetuar a solicitação do teste do autodiagnóstico de banco foi efetuado uma chamada curta (toque) via GSM para o módulo. Quando o sistema identifica a solicitação envia uma mensagem ao display, conforme Figura 30.



Figura 30 – Mensagem de solicitação no lcd (Fonte: do autor)

Após 2 segundos o sistema iniciou a sequência de ações:

- 1- Desacoplamento do banco de baterias do carregador/inversor;
- 2- Aplicação de carga resistiva em paralelo com cada resistência, acionamento do ventilador para retirar calor das resistências e leitura das tensões.

O processo de teste dura 10 segundos, que foi o tempo definido na programação. Durante o teste o sistema emite um alarme sonoro e o display fica piscando com a informação “Autoteste Iniciado!!”, mostrando o valor atual de leitura das tensões das baterias. Foi verificado que as baterias B1 e B2 tiveram as tensões completamente zeradas durante o teste e a bateria B4 apresentou carga insuficiente com um valor mínimo registrado (no final de 10 segundos) de 4,48 V. Já a bateria B3 conseguiu manter uma tensão de 12,3 V com a carga resistiva paralela. A Figura 31 demonstra as informações exibidas no display.



Figura 31 – Tensões das baterias durante procedimento de Autoteste (Fonte: do autor).

Após finalizar Autoteste o microcontrolador envia uma mensagem informando quantas baterias foram identificadas com tensão inferior à 10,5V, conforme ilustra a Figura 32.

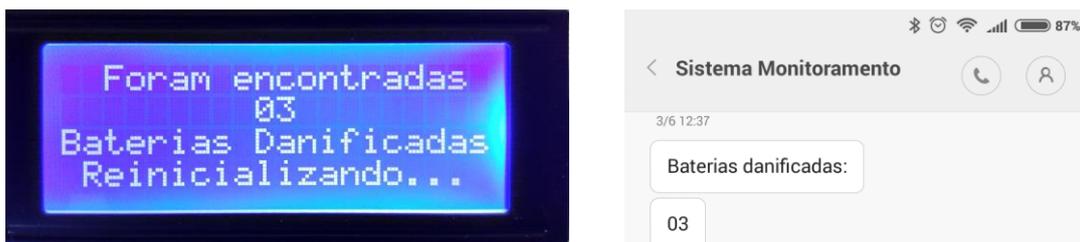


Figura 32 – Finalização de Autoteste e envio de mensagem SMS (Fonte: do autor)

O teste foi realizado com sucesso e o tempo de resposta desde o momento da solicitação até o recebimento da mensagem SMS foi menor que 15 segundos.

4.3 Segurança do Hardware

Uma plataforma microcontrolada não está imune a travamentos, nesse sentido poderá ser implementada uma função que monitora o travamento e reinicia o sistema, chamada *Watchdog* (cão de guarda, em inglês). Este tipo de função pode ser via software ou por hardware, e caso seja adicionada ao projeto é importante que uma mensagem SMS seja enviada para o administrador toda vez que for executada, para conhecimento do administrador do sistema.

Outra medida que aumenta a disponibilidade do hardware é a proteção da alimentação de suas fontes de tensão. O ideal é ligar a fonte que alimenta a plataforma microcontrolada à um *nobreak*, que é um dispositivo que aumenta a estabilidade de tensão e mantém o hardware ativo quando falta energia elétrica local.

O circuito que mede tensão das baterias poderia ter sido simplificado utilizando apenas divisores resistivos, mas para obter-se um isolamento completo do banco de baterias decidiu-se utilizar acopladores em todos os estágios de comunicação com o microcontrolador, garantindo assim mais segurança ao sistema.

4.4 Limitações e Manutenção

De acordo com a função interpolada, a faixa de leitura de tensão contínua situa-se entre 1,55 a 30 V com excelente resolução e entre 31 V à 40 V com resolução menor. Para os objetivos deste projeto, esta precisão é considerada satisfatória uma vez que a tensão medida da bateria é em torno de 12 V. Caso sejam medidos valores superiores durante o procedimento de carga a interpretação é de que a bateria medida está com a resistência interna maior que as outras.

O valor de tensão calculada na faixa entre 31 V a 40 V através da curva de 3^o grau poderá ser extrapolado para 531 V caso o valor de tensão lido pela porta analógica seja próximo de 5 V, fazendo o valor decimal lido chegar ao máximo, que é 1023. Esta condição esporádica somente será atingida se praticamente toda

tensão do carregador (em torno de 50 V) estiver aplicada em apenas uma das 4 baterias. Neste caso as outras 3 deveriam estar em curto e isso é improvável.

Para aplicar a mesma metodologia em baterias de maior capacidade será necessário diminuir o valor ôhmico das resistências e aumentar o valor de suas potências. Consequentemente deverão ser utilizados relés que suportem maior corrente de teste de paralelismo ou utilizar chaves contatoras.

Um critério importante para escolha da operadora do sistema GSM é a região no qual será instalado o sistema. Evidentemente a região o sinal deve ser de boa qualidade e alta disponibilidade para poder efetuar a transmissão dos dados.

Aquisição da variável de tensão tem boa precisão, porém o optoacoplador é um dispositivo sensível a variações de temperatura, conforme indica a Figura 33. Para corrigir este problema pode ser implementado um fator de correção na equação polinomial que é atualizado de acordo com as informações de temperatura lidas pelo sensor

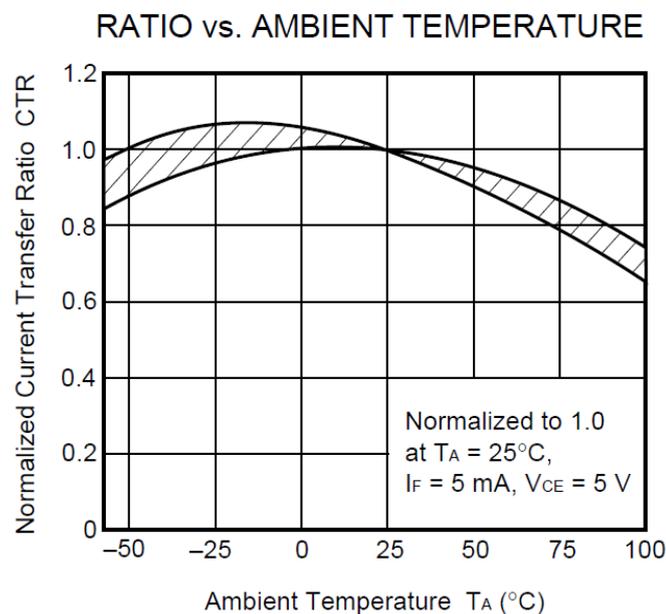


Figura 33 – Curva de temperatura do optoacoplador PS2501-1 (CEL, 2016).

Os optoacopladores possuem sua vida útil diminuída conforme as horas de utilização, como indica a Figura 34.

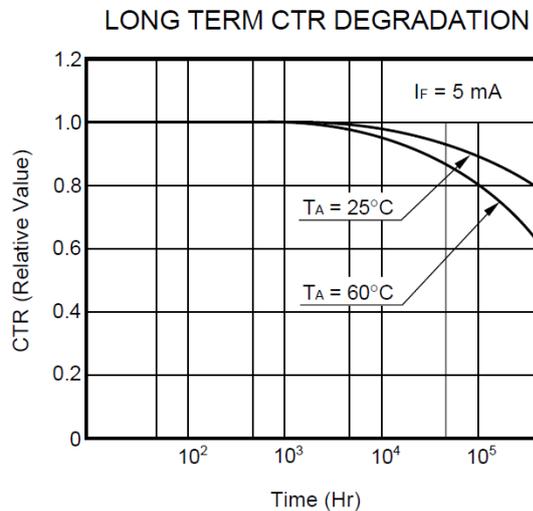


Figura 34 – Curva de depreciação do optoacoplador em função do tempo de uso e da temperatura. (CEL, 2016).

Considerando a temperatura ambiente de 25°C à partir de 50.000 horas (aproximadamente 5,7 anos) há uma depreciação exponencial sendo que com 10 anos de uso contínuo estes dispositivos perdem 10% do seu ganho CTR (razão de transferência de corrente).

Neste sentido, é importante que o sistema seja vistoriado no máximo a cada 2 anos ou 3 anos, fazendo uma vistoria dos dispositivos que podem sofrer depreciação:

- Baterias: inspeção visual de oxidação nos terminais elétricos (azinhavre);
- Placas: oxidação nas placas eletrônicas;
- Substituição de optoacopladores.

4.6 Analisadores de baterias do mercado

Os analisadores de baterias (Figura 35) mais sofisticados do mercado além da resistência interna são capazes de analisar o comportamento dinâmico das baterias, como por exemplo, curvas de carga e descarga e condutância interna. Uma

modelagem elétrica mais apurada deve incluir além das características ôhmicas também as características indutivas e capacitivas, como mostra a Figura 35.

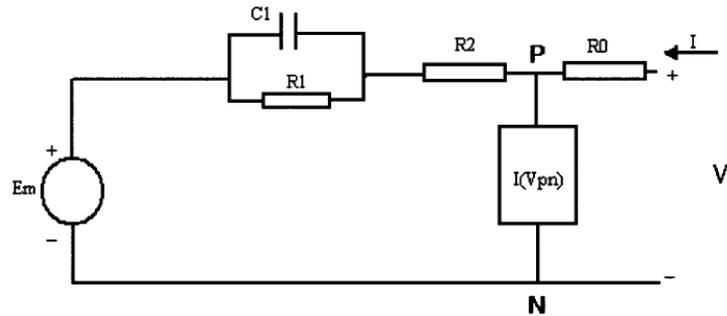


Figura 35 – Modelo matemático incluindo capacitância interna, resistências ôhmicas e corrente parasita. (MOUBAYED et al., 2008)

Estas características são relevantes, pois traduzem o comportamento dos elementos químicos das baterias quando são submetidas às descargas ocasionadas por inversores, que apesar de solicitar tensão contínua a corrente tende a ser oscilante, devido às características de chaveamento de uma dada topologia de inversor, conforme a Figura 36.

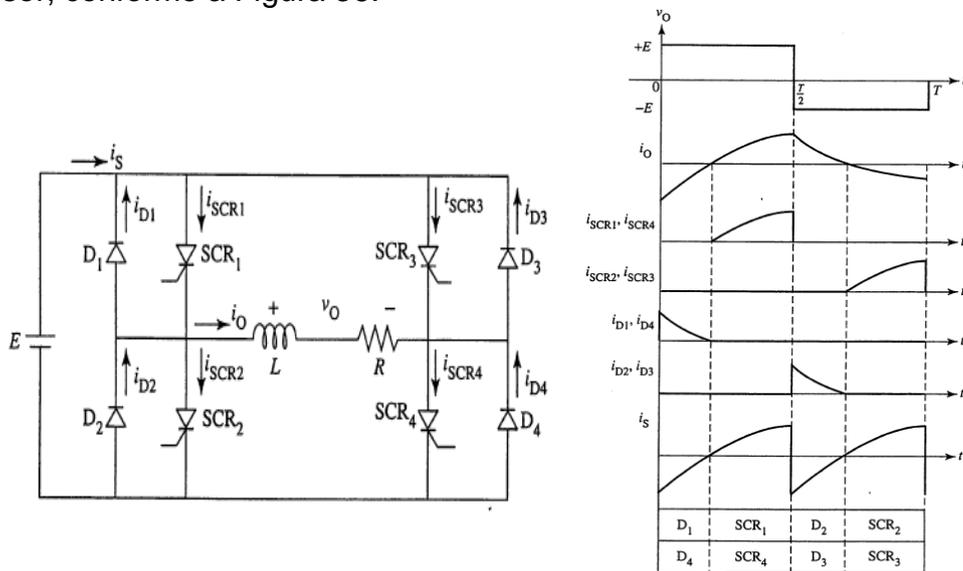


Figura 36 - Exemplo inversor simples (ASHFAQ, 2000).

O projeto proposto tem por objetivo informar o estado de carga das baterias, ou seja, se está apta a fornecer energia. Apesar de não possuir todas as funcionalidades dos analisadores mais sofisticados do mercado, é bastante eficaz nas medições de equalização de carga e no envio de dados.

4.7 Aperfeiçoamento da modelagem

Para transmissão dos dados o projeto pode ser modificado para utilizar a internet, através da instalação de um *shiled* de rede, ou seja, em vez de mensagens de celular o administrador, poderá receber e-mails ou até mesmo utilizar protocolos de transmissão do tipo SNMP.

Ao invés de efetuar a modelagem matemática através da interpolação dos pontos experimentais, as equações poderiam ser deduzidas através de funções de transferência utilizando dados de tabelas dos fabricantes. Neste sentido a maior dificuldade encontrada foi transportar os dados das curvas para as funções de transferência, por este motivo a técnica foi evitada.

Alguns fabricantes de optoacopladores disponibilizam notas de projetos no qual são fornecidas as funções de transferência para aplicações bem específicas, como mostra a Figura 37. Não foram encontradas funções que se adequassem ao projeto proposto, em sua maioria as funções são para utilização em fontes conversoras DC/DC.

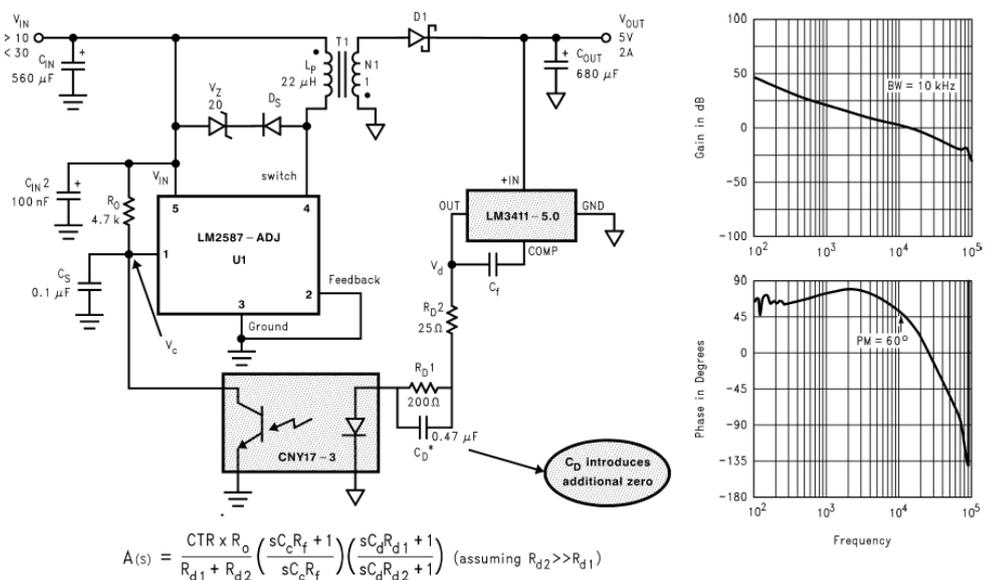


Figura 37 – Função de transferência para aplicações de optoacopladores em fonte chaveadas (TEXAS INSTRUMENTS, 2013).

Além da modelagem, existe a possibilidade de incrementar o monitoramento do projeto adicionando um teclado numérico no qual seria inserido o valor da capacidade, em Ah, da bateria. Dessa forma quando o inversor estivesse consumindo a carga do banco o sistema estaria enviando mensagens informando o tempo de autonomia restante, imediatamente antes da carga do banco de baterias esgotar por completo.

4.5 Custo do projeto

A tabela 4 apresenta os valores médios, no mercado internacional, sem considerar tributação, dos dispositivos utilizados no projeto.

Tabela 4 - Custo médio dos dispositivos que compõem o projeto.

Descrição	Quantidade	Valor unitário [U\$]	Total [U\$]
Arduino Mega 2560	1	8,00	8,00
Shield GSM Arduino	1	21,00	21,00
Shield ACS712	1	1,80	1,80
FAN Qualitas Q180A3	1	15,00	15,00
Relé Metaltex AXP1RC2	5	0,50	2,50
Relé Metaltex TNA2R C2	1	5,00	5,00
Sensor DHT22	1	2,50	2,50
Display LCD 20 x 4	1	4,50	4,50
Optocolpador	4	0,50	2,00
Resistores Diversos	12	0,10	1,20
Placa de Fenolite Perfurada	2	0,80	1,60
Resistor de Fio 1,2 Ohm 50W	4	2,00	8,00
Buzzer	1	0,80	0,80
Total			73,90

Fonte: aliexpress.com, 2016

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento e montagem do módulo de monitoramento microcontrolado demonstraram que é possível utilizar plataformas de baixo custo para explorar recursos de monitoramento em sistemas de geração e conversão de energia, em especial as energias renováveis que utilizam bancos de baterias. Além disso, deve-se ressaltar a importância de incorporar formas inovadoras de aquisição de dados, como o envio de mensagens através de comunicação GSM, viabilizando testes e monitoramento de sistemas isolados de energia a grandes distâncias. Uma ressalva é feita no que diz respeito à estabilidade e travamentos, pois exigem testes em campo e por períodos maiores.

Foi verificado também que é possível efetuar medidas e acionamentos elétricos utilizando componentes eletrônicos optoacopladores, desde que haja um ajuste das regiões não lineares. Mesmo possuindo algum índice de depreciação de eficiência sua aplicação é justificada por ser seguro e de baixíssimo custo.

Em novos estudos pretende-se aperfeiçoar a plataforma implementando tecnologias mais sofisticadas de aferição de baterias, juntamente com uma modelagem matemática mais apurada de tais dispositivos.

ABSTRACT

The lead acid batteries are electrochemical devices widely used for energy storage, often may have distant administrators, such as power generation in autonomous systems. This study aimed to develop a remote microcontrolled system inexpensive and electrically isolated for analysis of battery banks performance, assessing data of the load, temperature and humidity and using GSM technology to request and sending the read data. For project execution we used the Arduino platform, designed a interface circuit for reading and sending of the informations through GSM system. The results obtained with the prototype shows that the system has good accuracy of reading and communication. From the results obtained it can be concluded that it is possible to use versatile microcontroller systems and low cost to evaluate the performance of battery banks in distance, creating possibles new research in this area.

Keywords: Batteries. Arduino. Optocouplers. GSM

REFERÊNCIAS

ALLEGRO. **ACS712.** Disponível em: <www.datasheetspdf.com/datasheet/ACS712.html=bv.123664746,d.eWE&cad=rja>. Acesso em: 1 jun. 2016.

ALTOGAGREEN. **Dimensionar um Power Bank.** Disponível em: <<http://www.altogagreen.com/sf/if/pt/powerbank/power2.htm>>. Acesso em: 08 maio 2016.

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência.** São Paulo: Pearson, 2000. 440 p.

ARDUINO. **LEARN ARDUINO.** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>>. Acesso em: 06 maio 2016.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. **Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental.** Disponível em: <<http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=conceito.45>>. Acesso em: 06 maio 2016.

CEL. **PS2501-1.** Disponível em: <www.cel.com/pdf/datasheets/ps2501.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2016.

COELHO, K. D. **Estudo de uma Fonte Ininterrupta de Corrente contínua de Baixa Potência Gerenciada por um Microcontrolador.** Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis. 2001.

DIAS, Edson da Silva; KARASINSKI, Carlos Alberto. **Guia para Aplicação e Manutenção de Banco de Baterias.** 194 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Cefet-PR, Curitiba, 2003.

ELECTRONICS, Lite-on. **LITE-ON ELECTRONICS, INC.** Disponível em: <www.soselectronic.hu/a_info/resource/d/ltv815.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2016.

ELETRÔNICABR. **TUTORIAL SOBRE FOTOACOPLADORES ou acoplador ótico.** Disponível em: <<http://eletronicabr.com/treinamento-eletronica/16/tutorial-sobre-fotoacopladores-ou-acoplador-otico/6584/>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

EMBARCADOS. **Arduino Mega 2560.** Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 23 maio 2016.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa,** 6a edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., R. J. 2013.

JOHNSON, D.E. **Fundamentos de análise de circuitos elétricos.** Prentice Hall, 1994.

KAFAAGROUP. **Battery Equalizer 48V.** Disponível em: <Battery Equalizer 48V>. Acesso em: 08 maio 2016.

MOUBAYED, Nazih et al. Parameter identification of the lead-acid battery model. **2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference**, [s.l.], p.1-6, maio 2008. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/pvsc.2008.4922517>.

NILSSON, James William; RIEDEL, Susan A. . **Circuitos elétricos**. 6. ed Rio de Janeiro (RJ): LTC, c2003. 656p.

PRIDOPIA. **DHT22**. Disponível em: <www.pridopia.co.uk/pi-user-manual/A4-DHT22.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2016.

QUALITAS. **Mini Ventilador AC Q180A3**. Disponível em: <<http://www.qualitas.ind.br/mini-ventiladores-ac/mini-ventilador-ac-q180a3.html>>. Acesso em: 08 maio 2016

SISKEN, Larry; VAN TRAN,. **Design Guidelines for Transistor Output Optocouplers**. Disponível em: <<http://www.ecnmag.com/article/2010/12/design-guidelines-transistor-output-optocouplers>>. Acesso em: 05 maio 2016.

SURE. **Silicon Coated Radial Tag Wire Wound Resistor**. Disponível em: <<http://www.sureresistors.com/ssr.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **AN-1095 Design of Isolated Converters Using Simple Switchers**: Application note. 2013. Disponível em: <www.ti.com/lit/an/snva005b/snva005b.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2016.

TINYSSINE. **Arduino GSM/GPRS Shield**. Disponível em: <http://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product_id=464>. Acesso em: 23 maio 2016.

TUDOR. **Catalogo Tudor**. Disponível em: <tudor.com.br/assets/upload/layout_catalogo_tudor_estacionarias.pdf>. Acesso em: 1 maio 2016.

UNIPOWER. **Manual técnico Unipower**. Disponível em: <www.unipower.com.br/index.php?/Download-document/34-Bateria-UP1290.html>. Acesso em: 06 maio 2016.

VERA, L. H. **Análise do Impacto do Comportamento de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, UFSC, Porto Alegre, 2009.

VISHAY. **Vishay Application Note 2**. Disponível em: <www.vishay.com/docs/83741/83741.pdf>. Acesso em: 06 maio 2016.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Giuliano Arns Rampinelli, orientador prestativo, que agregou conhecimento necessário para este projeto.

À Universidade Federal de Santa Catarina, todos professores, colaboradores e amigos por todo suporte a mim concedido.

À minha esposa Aline, pelo apoio, carinho e compreensão durante toda jornada acadêmica.