



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COMO
PARTE DE PROJETO REALIZADO NO LABORATÓRIO DE
SISTEMAS EMBARCADOS E COMPUTAÇÃO PERSASIVA

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2016

ANDREI HENRIQUE PATRIOTA CAMPOS

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COMO
PARTE DE PROJETO REALIZADO NO LABORATÓRIO DE
SISTEMAS EMBARCADOS E COMPUTAÇÃO PERVASIVA

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Instrumentação Eletrônica

Orientador:

Professor Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2016

ANDREI HENRIQUE PATRIOTA CAMPOS

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS COMO
PARTE DE PROJETO REALIZADO NO LABORATÓRIO DE
SISTEMAS EMBARCADOS E COMPUTAÇÃO PERVASIVA

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Instrumentação Eletrônica

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Quitéria Patriota, que me ensinou desde cedo o valor das coisas que realmente importam na vida, e sempre esteve firme ao meu lado nas piores tempestades, e ao meu irmão, Igor Patriota, por sempre ter acreditado no meu potencial.

Agradeço também aos professores Jaidilson, por toda a paciência e orientação durante todos estes semestres, e Saulo, pelo ótimo trabalho realizado na execução deste projeto.

Por fim, não poderia deixar de mencionar alguns dos competentes colegas com os quais compartilhei horas de trabalho e dedicação, de modo que somamos esforços para que tudo corresse da melhor forma possível, são estes: Thamiles, Arthur Vidal e Kleber.

“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar num sonho que se tem...”

(Renato Russo)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
2	CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO ESTACIONÁRIAS	6
2.1	Tensão Nominal	6
2.2	Capacidade Nominal	6
2.3	Estado de Carga Inicial.....	6
2.4	Máxima Capacidade	7
2.5	Tensão de Carga Máxima.....	7
2.6	Corrente de Descarga Nominal.....	7
2.7	Capacidade à Tensão Nominal	7
2.8	Especificações Gerais.....	8
3	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO.....	9
4	LISTA DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	10
5	MEDIÇÃO DE CORRENTE	12
5.1	Sensor de Corrente ACS712.....	14
5.2	Esquema de medição de corrente	18
5.3	Circuito de medição de corrente.....	19
6	MEDIÇÃO DE TENSÃO	21
6.1	Medição diferencial com amplificador operacional	23
6.2	Circuito completo de medição de tensão com detecção de três níveis de tensão	24
6.3	Circuito completo de medição de tensão com detecção de dois níveis de tensão.....	27
7	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA.....	29
7.1	Sensor de temperatura termoresistivo Pt100	31
7.2	Projeto do circuito de medição de temperatura com Pt100	33
8	RESULTADOS OBTIDOS.....	36
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 5.1. Medição de corrente via resistor <i>shunt</i>	12
Figura 5.2. Medição de corrente na configuração <i>Low-Side</i>	12
Figura 5.3. Medição de corrente na configuração <i>High-Side</i>	13
Figura 5.4. Transformador de corrente 100A HJ SCT013.....	13
Figura 5.5. Sensor de corrente LA 100-P da marca LEM.....	14
Figura 5.6. a) Fotografia do sensor ACS712; b) Diagrama elétrico do sensor ACS712.....	15
Figura 5.7. Curva de Tensão de Saída <i>versus</i> Corrente Medida.....	16
Figura 5.8. Curva característica de Tempo de Subida <i>versus</i> Capacitor de Filtro no sensor.....	16
Figura 5.9. a) Fotografia do sensor ACS758; b) Diagrama elétrico do sensor ACS758.....	18
Figura 5.10. Circuito proposto para medição da corrente da bateria.....	20
Figura 6.1. Medição de tensão a partir de um divisor de tensão.....	22
Figura 6.2. Sensor de tensão 25-VP da marca LEM.....	23
Figura 6.3. Estágio amplificador diferencial com AOP.....	24
Figura 6.4. Circuito de medição de tensão com detecção de três níveis.....	25
Figura 6.5. Simulação do circuito de medição de tensão com detecção de três níveis.....	26
Figura 6.6. Circuito de medição de tensão com detecção de dois níveis.....	27
Figura 6.7. Simulação do circuito de medição de tensão com detecção de dois níveis.....	28
Figura 7.1. Medição de temperatura baseada em semicondutores.....	29
Figura 7.2. a) Fotografia do sensor LM35; b) Diagrama elétrico do sensor com encapsulamento TO-92.....	30
Figura 7.3. Modelos diferentes de Pt100.....	32
Figura 7.4. Tolerâncias conforme a norma IEC60751.....	32
Figura 7.5. Circuito para medição de temperatura.....	34
Figura 7.6. Simulação do circuito de medição de temperatura.....	35
Figura 8.1. Esquema do circuito de medição completo.....	36
Figura 8.2. <i>Layout</i> do circuito de medição completo.....	38
Figura 8.3. Expansão proposta para o circuito de modo a efetuar medições em um banco com até três baterias.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais características elétricas das baterias especificadas.....	8
Tabela 5.1. Quadro com características elétricas do sensor de corrente.....	17
Tabela 8.1. Mapeamento dos pinos de Entrada/Saída do microcontrolador.....	37

1 INTRODUÇÃO

As atividades aqui detalhadas foram executadas durante o estágio supervisionado e buscaram desenvolver circuitos de medição e transdução para monitorar as grandezas de tensão, corrente e temperatura de baterias chumbo-ácido estacionárias, com o intuito de se utilizar estes parâmetros como entradas para modelos embarcados em um sistema microcontrolado a fim de se estimar os estados de carga e de saúde da bateria de interesse. Além dos circuitos de condicionamento de sinais desenvolvidos, foram propostos esquemas para medições em bancos de baterias em série com até três baterias. Vale salientar que tão somente foram projetados os sistemas de aquisição de dados e de interfaceamento com o microcontrolador, de forma que as atividades definidas para este estágio não contemplaram o desenvolvimento dos modelos destas baterias.

A bateria de chumbo-ácido é a bateria mais econômica apesar do seu peso elevado. Este tipo de bateria é largamente utilizada em equipamentos hospitalares, cadeiras de roda elétricas, luzes de emergência e no-breaks. Inventadas em 1859 pelo físico francês Gaston Planté, estas baterias foram as primeiras a serem comercializadas (SISTEMAS E TECNOLOGIA APLICADA, 2016). Atualmente o emprego da bateria chumbo-ácido vem sendo ampliado com a utilização em sistemas de captação de energia solar, centrais de computador.

O monitoramento das grandezas características de baterias chumbo-ácido estacionárias, a saber: tensão, corrente e temperatura, são de extrema importância para o estudo e implementação de modelos para estas baterias, os quais oferecem importantes informações sobre os processos de carga e descarga, incorporando, inclusive, efeitos não lineares tais como a característica de capacidade e o efeito de recuperação. Além do mais, estes modelos permitem estimar o estado de carga e o estado de saúde ao longo dos ciclos de carga e descarga.

Com a utilização de testes programáveis de carga e descarga é possível realizar a aquisição das grandezas de interesse, sendo estas inseridas em um sistema microcontrolado o qual apresenta uma série de modelos embarcados que permitem determinar os estados de carga e de saúde da bateria de interesse.

No entanto, para que estes parâmetros sejam calculados pelo modelo com uma acurácia aceitável, faz-se necessário buscar meios de se medir as variáveis de tensão, corrente e temperatura de forma precisa e ao mesmo tempo prezando pela integridade dos circuitos de condicionamento de sinais e de processamento de dados.

Diante do exposto, buscou-se neste estágio desenvolver circuitos de medição e condicionamento de sinais para monitorar as variáveis supracitadas, no período de 7 de Março de 2016 a 23 de Maio de 2016, com uma carga horária de 20 horas semanais, totalizando, pois, uma carga horária de 222 horas, superior à carga horária mínima definida de 210 horas.

As atividades foram desenvolvidas no laboratório de sistemas embarcados e computação pervasiva (Embedded) sob supervisão dos professores Jaidilson Jó da Silva e Saulo Dornellas.

2 CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO ESTACIONÁRIAS

Antes de projetar os circuitos de medição das grandezas fundamentais da bateria chumbo-ácido estacionária, faz-se necessário definir algumas de suas especificações mais comuns (*Johnson Controls*, 2013).

2.1 TENSÃO NOMINAL

Para baterias de chumbo-ácido, o valor de tensão nominal de um elemento é de 2V. O valor de tensão nominal da bateria como um todo equivale ao produto entre a tensão de um elemento pela quantidade de células conectadas em série. Logo, se a bateria possui 6 células conectadas em série, a tensão nominal da bateria é de $2 \text{ (Volts)} * 6 \text{ (células)} = 12\text{V}$.

2.2 CAPACIDADE DE NOMINAL

A capacidade nominal da bateria é a capacidade em Ampère-hora definida para um regime de descarga de 10 horas, com corrente constante à temperatura de referência (25°C), até a tensão final de 1,75 V por elemento. Para as baterias de interesse este parâmetro varia de 24Ah a 94Ah.

2.3 ESTADOS DE CARGA INICIAL

O estado inicial de carga (SoC) é um valor percentual correspondente à carga inicial da bateria com relação à sua capacidade nominal. A relação entre estado de carga e profundidade de descarga (DoD) é $\text{SoC} = 100 - \text{DoD} \text{ (\%)}$.

2.4 MÁXIMA CAPACIDADE

A capacidade máxima das baterias de interessa variam desde 30 Ah até 115Ah e são indicadas no próprio manual do fabricante.

2.5 TENSÃO DE CARGA MÁXIMA

O valor deste parâmetro é de 13 V, e foi obtido por observação dos gráficos de curva de descarga presentes no manual técnico das baterias estudadas, e dos *logs* de carga e descarga obtidos com a própria fabricante.

2.6 CORRENTE DE DESCARGA NOMINAL

A corrente de descarga utilizada para comparação equivale ao necessário para descarregar a bateria em 10 horas. As baterias estudadas tinham uma corrente de descarga variando entre 2,4A e 9,4A.

2.7 CAPACIDADE À TENSÃO NOMINAL

Para calcular este parâmetro, é necessário conhecer precisamente a tensão nominal (item 2.1) e a corrente nominal de descarga (item 2.6). Em seguida, calcula-se a capacidade obtida extraída em uma descarga até que o valor de tensão seja inferior à tensão nominal.

Tomando como exemplo uma bateria de tensão nominal de 12V e corrente nominal de descarga de 2,4A. A partir dos logs de carga e descarga fornecidos pelo fabricante, sabe-se que a bateria leva cerca de 8,5 horas a uma corrente de descarga de 2,4A para que sua tensão fique abaixo dos 12V. Conclui-se então que a capacidade extraída neste período é $8,5h \times 2,4A = 20,4Ah$.

2.8 ESPECIFICAÇÕES GERAIS

As especificações gerais de uma bateria chumbo-ácido estacionária geralmente são tabeladas pelo fabricante e fornecidas em manuais, conforme apresentado na Tabela 1, retirada do manual do fabricante de uma das baterias estudadas.

Característica	Especificação	Valores
Capacidade @25°C (Ah)	10h	94
	20h	105
	100h	115
Dimensões (mm)	Comprimento	330
	Largura	172
	Altura	240
Peso (Kg)		27,1
Torque	Mínimo	13,6 N.m
	Máximo	20,3 N.m
Tensão de Flutuação		de 13,2 a 13,8V @ 25°C
Tensão de carga / equalização		de 14,4 a 15,5V @ 25°C*
Compensação de temperatura		Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V Para cada 1°C acima de 25°C, adicionar 0,033V

Tabela 2.1: Principais características elétricas das baterias especificadas.

3 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Os circuitos de condicionamento foram projetados para atender a um conjunto de referências estabelecidas no início do projeto, referências estas que correspondem aos valores de tensão, corrente e temperatura que poderão ser medidos sem comprometer a integridade de qualquer parte de *hardware*.

As especificações de tensão estabelecem que o circuito deva estar preparado para medir tensões de 0 a 20 V, de forma que as referências dos circuitos de potência e de condicionamento estejam totalmente isoladas. Além do mais, foi exigida uma precisão de duas casas decimais na medição da tensão.

Para corrente, propôs-se uma corrente máxima a ser medida de 100 A, tanto na carga quanto na descarga da bateria, sendo que, para garantir o bom funcionamento do circuito, esse limite foi estendido para 120 A. Pensando-se em proteger o circuito contra possíveis sobrecargas, foram estudadas algumas opções de supressão de surtos de corrente baseadas em disjuntores de corrente contínua.

Por fim, a faixa de temperaturas mensuráveis solicitada foi de 0 a 100 °C com precisão de uma casa decimal.

4 LISTA DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Ao longo do período de estágio, foram propostas atividades semanais correspondentes às etapas de desenvolvimento dos circuitos de medição:

- Atividade 1:
 - ✓ Estudo da documentação das baterias
- Atividade 2:
 - ✓ Estudo do sensor de tensão LEM 25 VP
 - ✓ Estudo do sensor de corrente LEM LA 100P
 - ✓ Verificação da possível conexão de 3 baterias no novo circuito, ou seja, o uso de 3 entradas analógicas, com possibilidade de *jumper* para selecionar a quantidade de baterias de interesse
- Atividade 3:
 - ✓ Pesquisar sobre o possível uso do transformador TC 100 A como sensor de corrente
 - ✓ Verificar a viabilidade do uso de Amplificadores de Instrumentação para a medição de tensão
 - ✓ Verificar via simulação o comportamento do Amplificador Operacional LM324 na configuração amplificadora diferencial
- Atividade 4:
 - ✓ Estudo do sensor de corrente ACS712
 - ✓ Simulação do circuito de medição de tensão com LM324 com detecção de nível de tensão (0 a 9V; 9 a 16V; 16 a 20V)
 - ✓ Projeto do primeiro diagrama elétrico do circuito de medição com medição de corrente, tensão e temperatura
 - ✓ Levantamento da lista de componentes necessários
- Atividade 5:
 - ✓ Verificar via simulação a inserção de tolerância dos resistores para avaliar o erro de medição em *software*
 - ✓ Testar em *protoboard* um estágio com *Amp Op* para avaliar o erro de medição em *hardware*
 - ✓ Gerar um diagrama de blocos do sistema de medição via *flowchart*

- ✓ Verificar a possibilidade de se medir a temperatura via sensor PT100

Dessa forma, realizaram-se basicamente três atividades no período de Mar/2016 a Maio/2016, que foram:

- Projeto dos circuitos de medição levando em consideração os diferentes tipos de sensores e as diferentes maneiras de condicionar os sinais de forma a minimizar os possíveis erros de medição;
- Simulação dos circuitos projetados a fim de estimar o comportamento do circuito com os componentes reais;
- Montagem prévia do circuito em placa para verificar o funcionamento do mesmo.

Nos capítulos que seguem, será abordada com mais detalhes a execução de tais atividades.

5 MEDIÇÃO DE CORRENTE

Em se trata de medição de corrente, há dois tipos de configurações básicas: *low-side* e *high-side*. Em ambas as configurações, a corrente pode ser monitorada medindo-se a tensão gerada nos terminais do resistor (*shunt*) sensível à corrente que flui, também conhecido como resistor *shunt*, conforme observado na Fig. 5.1 (TEXAS INSTRUMENTS, 2012).

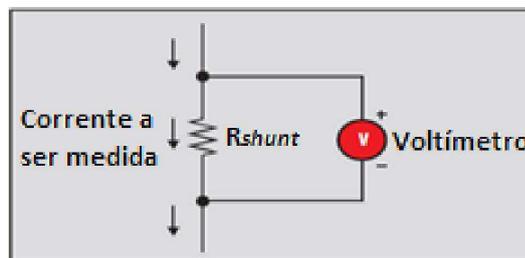


Figura 5.1. Medição de corrente via resistor shunt.

Na configuração *low-side*, o resistor *shunt* é conectado após a carga, estando em série com o GND (Fig. 5.2). Este tipo de configuração é recomendada quando o sistema de medição possa tolerar perturbações no caminho para o terra. Apesar de ser simples e barata esta configuração apresenta uma resistência indesejável no caminho da carga para o terra; não permite detectar condições de falha no circuito e exige precisão externa dos demais componentes do circuito para alcançar e manter alta acurácia (TEXAS INSTRUMENTS, 2012).

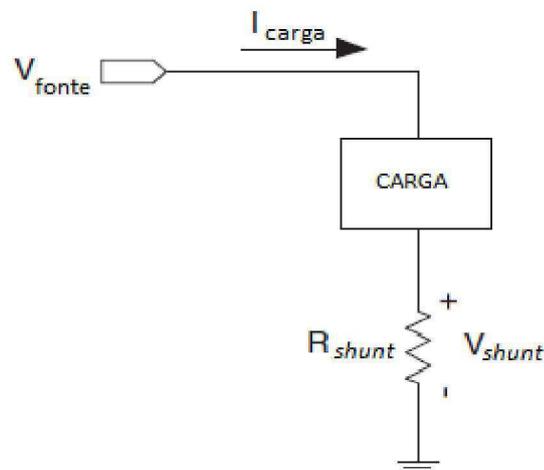


Figura 5.2. Medição de corrente na configuração *Low-Side*.

Já na configuração *high-side*, tal resistor é conectado entre a fonte de alimentação e a carga (Fig. 5.3). Esta configuração é recomendada quando o sistema não puder tolerar perturbações no caminho para a terra e precisar identificar a ocorrência de curtos-circuitos. Apesar de garantir boa imunidade ao ruído, esta configuração dificulta o uso de amplificadores operacionais padrão, pois as resistências devem ser combinadas para obter um índice de rejeição de modo comum aceitável, em torno de 100 dB. Além disso, devem suportar uma tensão de modo comum muito alta (TEXAS INSTRUMENTS, 2012).

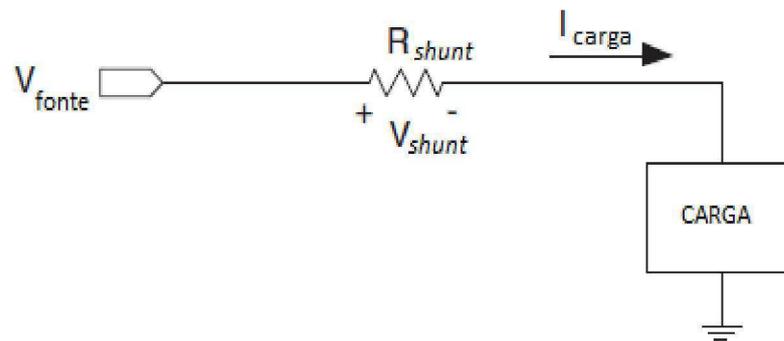


Figura 5.3. Medição de corrente na configuração *High-Side*.

No entanto, apesar da simplicidade destes modelos de medição, eles não são praticáveis para medições de altas correntes, uma vez que a potência do resistor *shunt* precisaria ser muito elevada. Como o circuito foi projetado para medir uma corrente de até 100A em ambos os sentidos, este resistor deveria ser especificado para uma potência mínima de 100W ($P = R \cdot I^2 = 0,01 \cdot 100^2 = 100W$), o que seria bastante inviável.

Cogitou-se também utilizar um transformador de corrente (TC) (Fig. 5.4), como um sensor de corrente. Entretanto, o contraponto imediato deste dispositivo é o fato do mesmo apenas ser usado em medições de correntes AC.



Figura 5.4. Transformador de corrente 100A HJ SCT013.

Também foi considerado o sensor de corrente LA 100-P (Fig. 5.5) da marca LEM, o qual apresenta capacidade de medir correntes DC de até 150 A nos dois

sentidos. Entretanto este sensor apresenta o inconveniente de precisar ser alimentado com tensão simétrica ($\pm 12V$ ou $\pm 15V$), o que também foge à especificação do projeto de usar apenas alimentação simétrica de 12V.



Figura 5.5. Sensor de corrente LA 100-P da marca LEM.

Decidiu-se então optar por um sensor de corrente da família ACS712 baseado em efeito *Hall*, o qual será detalhado a seguir.

5.1 SENSOR DE CORRENTE ACS712

Para medição de corrente da bateria foram utilizados quatro CI's ACS712ELCTR-30A-T, que são sensores de corrente por efeito *Hall* do fabricante Allegro, em paralelo, de forma a se estabelecer um divisor de corrente. Esses sensores medem correntes na faixa de $\pm 30 A$, contemplando, pois, uma faixa de medição de corrente de até $\pm 120 A$.

O sensor ACS712 é utilizado para medir a corrente elétrica alternada ou contínua de circuitos industriais, comerciais e sistemas de comunicação. A corrente elétrica aplicada gera um campo magnético que o circuito *Hall* converte em uma tensão proporcional. Uma fotografia do sensor em estudo pode ser observada na Fig. 4.6a.

A saída deste sensor possui uma variação de tensão positiva quando uma corrente flui dos pinos 1 e 2 para os pinos 3 e 4, que correspondem aos pinos de entrada e saída da corrente, conforme o diagrama representado na Fig. 5.6b.

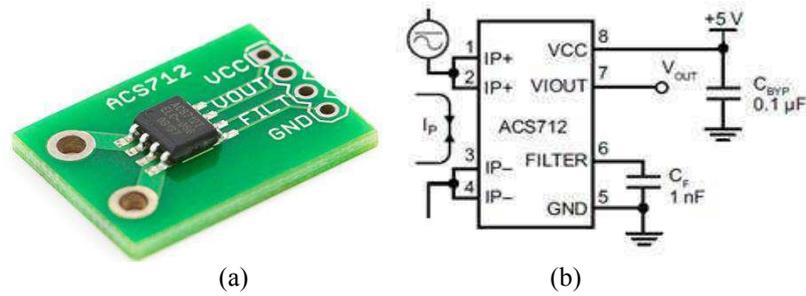


Figura 5.6. (a) Fotografia do sensor ACS712; (b) Diagrama elétrico do sensor ACS712(ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2003).

A resistência interna do caminho percorrido pela corrente é igual a $1,2 \text{ m}\Omega$, consumindo assim uma baixa potência. Os terminais de condução de corrente são isolados eletricamente dos pinos 5 a 8. Isto permite que o ACS712 seja usado em aplicações que necessitam de isolamento elétrico sem o uso de optoacopladores ou outras técnicas de isolamento (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2013).

A curva característica Tensão de Saída *versus* Corrente Medida pelo sensor ACS712ELCTR-30A-T pode ser observada na Fig. 5.7, admitindo-se que 0 A corresponde a uma tensão de saída de 2,5 V. A sensibilidade típica deste sensor é de 66 mV/A .

Devido à técnica de fabricação utilizada, tal sensor opera em uma temperatura ambiente na faixa de -40°C a 85°C , sendo a tensão de saída insensível aos efeitos de temperatura e estresse mecânico nessa faixa (ALLEGROMICROSYSTEMS, 2013). Além disso, o uso de um filtro passa baixa no pino 6 filtra o sinal induzido magneticamente pelo efeito *Hall*.

Tal filtro tem seu valor de capacitância escolhido associado à frequência de corte, que por sua vez, tem relação com o tempo de subida da resposta ao degrau do sensor.

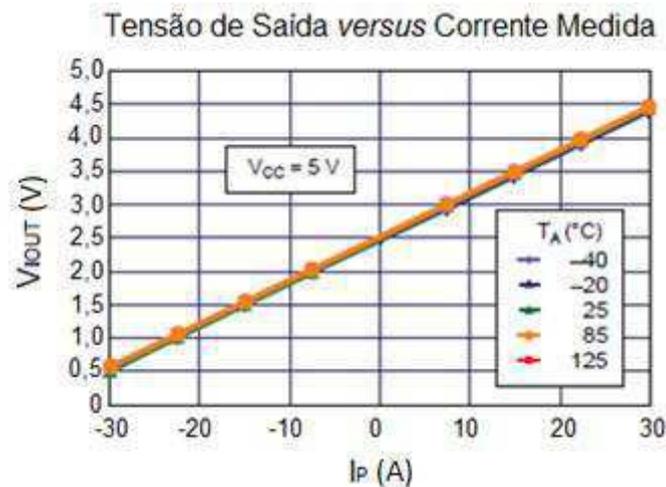


Figura 5.7. Curva Tensão de Saída *versus* Corrente Medida.

Logo,

$$f(-3 \text{ dB}) = 0,35/t_r \quad (5.1)$$

onde: $f(-3 \text{ dB})$ é a frequência de corte do filtro passa-baixa e t_r é o tempo de subida.

Na Fig. 5.8 pode ser observada a curva característica Tempo de subida *versus* Capacitância Externa do Filtro, bem como uma tabela com tempos de subida referentes a alguns valores de capacitâncias usuais.



Figura 5.8. Curva característica de Tempo de Subida *versus* Capacitor de Filtro no sensor. Adaptado de: (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2013).

O sensor ACS712 pode ser alimentado com uma tensão típica de 5 V, variando de 4,5 V até 5,5 V. É comum um capacitor conectado em paralelo no pino 8 deste, escolhendo-se neste caso uma capacitância igual a 0,1 μF.

A corrente total medida é dada pela soma dos valores de corrente correspondentes aos níveis de tensão medidos sobre quatro resistores de 9,51 kΩ

conectados no pino 7 de saída de cada sensor de corrente. A escolha deste valor de resistência está associada à garantia do nível de tensão mínima para uma medição de corrente confiável (no caso, 2,5 V). Além disso, tal valor satisfaz a carga resistiva mínima da saída admitida neste pino, que é igual a 4,7 k Ω .

A relação entre a corrente da bateria e a tensão de saída no pino 7 é descrita conforme a Equação 5.2:

$$I_{bat} = 15,00 \cdot V_{ioutACS712} - 37,5 \quad (5.2)$$

onde: I_{bat} é a corrente da bateria (A) e $V_{ioutACS712}$ é a tensão de saída (V) proporcional à corrente.

Quanto à escolha da capacitância do filtro do sensor, dado que o interesse é medir correntes em nível DC, definiu-se então um capacitor de 220 nF conectado ao pino 6 do sensor de corrente, que garantiu a menor frequência de corte para o valor de capacitância disponível em laboratório, no caso, $f = 561$ Hz (vide listagem na Fig.4.8).

A Tabela 5.1 reúne as principais características elétricas do sensor, segundo o fabricante.

Tabela 5.1. Quadro com características elétricas do sensor de corrente (ALLEGRO, 2010).

Características	Símbolo	Condição de Teste	Mín	Típico	Máx	Unid.
Tensão de Alimentação	V_{cc}		4,5	5	5,5	V
Corrente de Alimentação	I_{cc}	$V_{cc} = 5$ V (saída aberta)	-	10	13	mA
Carga Capacitiva de Saída	C_{LOAD}	V_{OUT} para GND	-	-	10	nF
Carga Resistiva de Saída	R_{LOAD}	V_{OUT} para GND	4,7	-	-	k Ω
Resistência de Condução Primária	$R_{primário}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	-	1,2	-	m Ω
Tempo de Subida	t_r	$I_p = I_p(\text{máx})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ e $C_{OUT} = \text{aberto}$	-	5	-	μs

5.2 ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE CORRENTE

Conforme mencionado anteriormente, foram utilizados quatro sensores da família ACS712 com capacidade de medição de até ± 30 A, a fim de se medir a corrente da bateria. Dado que nas exigências do projeto foi especificado que o circuito de medição de corrente deveria medir no máximo ± 100 A, o uso de quatro sensores em paralelo possibilitou medir até ± 120 A, atendendo, pois, a capacidade demandada.

Escolheu-se não optar por outros sensores com um fundo de escala maior, como os sensores de corrente da família ACS758 do mesmo fabricante, os quais são capazes de medir correntes de até ± 200 A isoladamente, pois estes apresentam sensibilidade de 10 mV/A, não passando de 30 mV/A, o que representa uma sensibilidade muito baixa. O sensor ACS758ECB-200B-PFF-T, bem como seu diagrama elétrico são ilustrados na Fig. 5.9a e na Fig. 5.9b.

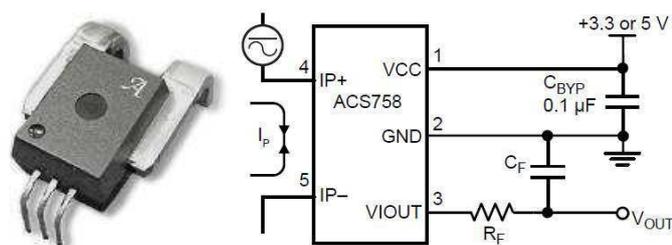


Figura 5.9. (a) Fotografia do sensor ACS758; (b) Diagrama elétrico do sensor ACS758(ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2003).

Para assegurar a confiabilidade das medições de corrente pelos sensores ACS712, propôs-se medir a alimentação destes sensores de modo a recalibrá-los constantemente. Dado que a alimentação dos CIs pode variar numa faixa de 4,5 V a 5,5 V, a tensão de saída para uma corrente de 0 A, por exemplo, será sempre uma função daquela, sendo dada por $+V_{cc}/2$. Dessa forma, caso a alimentação dos CIs sofra alguma flutuação em torno de 5 V, os valores de corrente obtidos no microcontrolador via Eq. 1 sofrerão um desvio. Faz necessário, pois, inserir o valor da tensão de alimentação no modelo com o intuito de ajustar a Eq. 1 durante todo o tempo.

O diagrama elétrico do circuito de medição de corrente proposto é apresentado na Fig. 5.10. Nele, podemos observar os terminais positivos da bateria e da carga conectados aos pinos 1 e 2, e 3 e 4 de cada sensor ACS712 respectivamente, de maneira

que, durante a descarga da bateria (corrente fluindo da bateria para a carga), a corrente entra nos pinos 1 e 2 e sai nos pinos 3 e 4 fazendo com que a corrente calculada pela Eq.5.2 seja positiva. Já na carga (corrente fluindo da carga para a bateria), a corrente entra nos pinos 3 e 4 e sai nos pinos 1 e 2 resultando numa corrente calculada negativa.

Os resultados das medições de cada sensor individual são inseridos no microcontrolador em entradas analógicas diferentes, sendo a corrente resultante calculada via *software* simplesmente somando os valores das correntes calculadas para cada sensor.

Conforme mencionado anteriormente, a tensão de alimentação do circuito é realimentada no modelo embarcado no microcontrolador de maneira realizar uma calibração constante da medição de corrente. Esta medição é feita por meio de um amplificador diferencial que mede a diferença entre o $+V_{cc}$ da fonte de 5 V e o terra do circuito, aplicando um ganho de $+0,5$ V/V sobre esta diferença. Este ganho faz-se necessário para condicionar o valor de tensão lida à tensão de referência (5 V) do conversor A/D do microcontrolador.

5.3 CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE

O modelo do circuito de medição de corrente na forma de diagrama de blocos é ilustrado na Fig. 5.10, no qual ficam explicitadas as duas entradas do circuito, correspondentes ao pólo positivo da bateria e ao pólo positivo da carga respectivamente, e as cinco saídas, sendo quatro referentes às leituras de correntes e uma à leitura de tensão, e que vão diretamente para as entrada analógicas do microcontrolador.

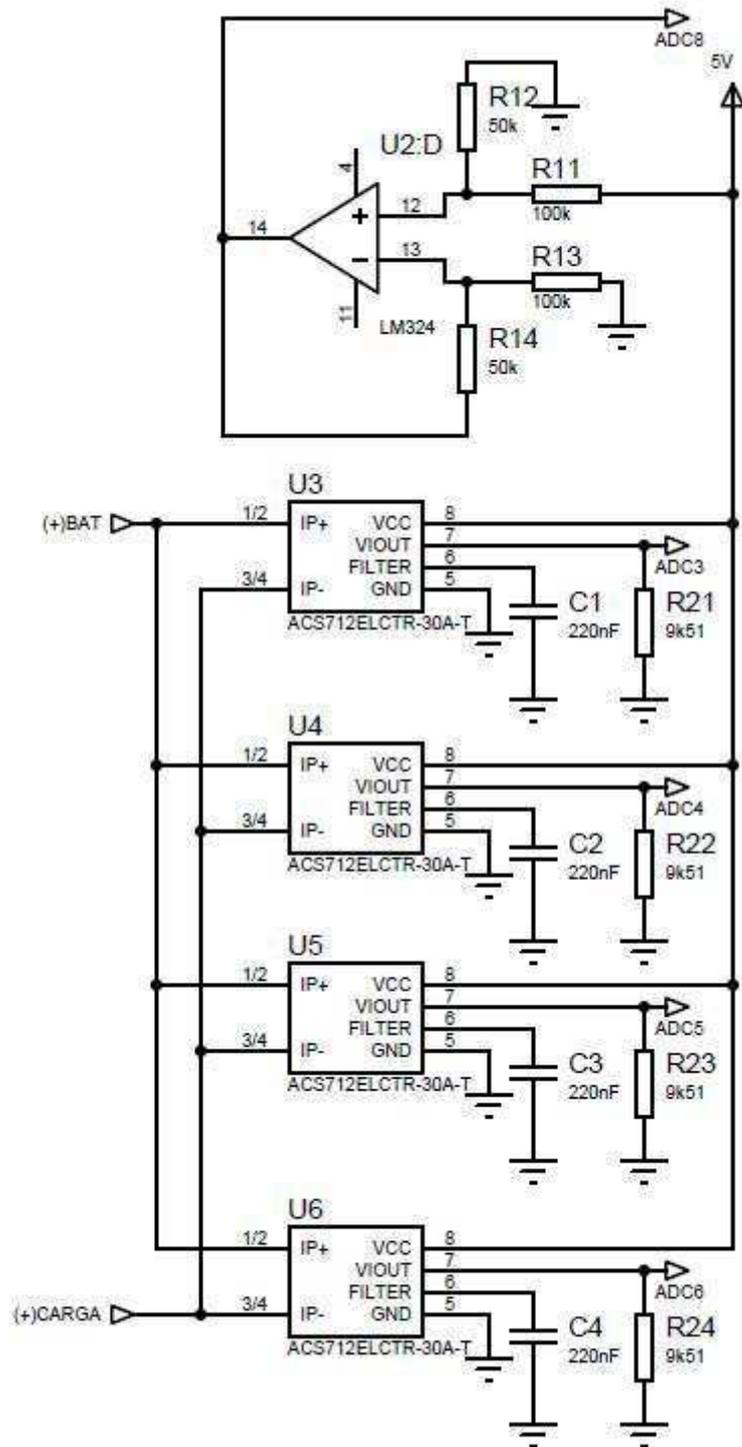


Figura 5.10. Circuito proposto para medição da corrente da bateria.

6 MEDIÇÃO DE TENSÃO

Embora muitos circuitos tenham em suas saídas tensões CC passíveis de serem medidas por meio de dispositivo de aquisição de dados, às vezes é preciso condicionar estes sinais de tensão antes de inseri-los em tais dispositivos.

Para fazer medições de tensão, é essencial compreender os conceitos básicos desse tipo de medição. Basicamente, a tensão é a diferença de potencial elétrico medida entre dois pontos de um circuito elétrico. Entretanto, uma confusão comum está em como determinar o ponto de referência da medição. O ponto de referência da medição é o nível de tensão que serve de referência para a medição (*National Instruments*, 2016).

Há basicamente dois métodos para a medição de tensões: com referência ao terra e diferencial.

Na medição com referência ao terra, considera-se a medição de tensão em relação a um ponto comum. Muitas vezes, esses pontos são estáveis e sem variação, estando normalmente em torno de 0 V. Historicamente, o termo "terra" foi originado pela maneira normal de garantir o potencial de tensão de 0 V, pela conexão direta do sinal à terra.

Outra maneira de se medir a tensão é determinar a tensão "diferencial" entre dois pontos separados de um circuito elétrico. Por exemplo, para medir a tensão em um resistor, você deve medir a tensão nos dois terminais do resistor. A diferença entre essas tensões será a tensão no resistor. Normalmente, as medições de tensão diferenciais são úteis para determinar a tensão existente em elementos individuais de um circuito ou fontes, caso as mesmas possuam sinais com muito ruído.

A medição da tensão com referência ao terra pode ser realizada de maneira muito simples com o uso de um voltímetro sobre a carga, ou com um divisor resistivo de tensão, conforme a Fig. 6.1.

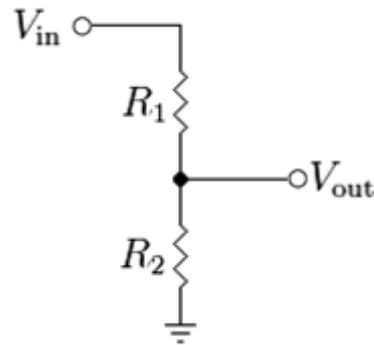


Figura 6.1. Medição de tensão a partir de um divisor de tensão.

Matematicamente, tem-se que

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (5.1)$$

onde: V_{in} é a tensão de entrada a ser medida (V), de forma que $V_{in} = V_1 + V_2$, V_{out} é a tensão de saída medida no divisor resistivo (V), de forma que $V_{out} = V_2$.

O principal problema em se utilizar um divisor resistivo para medir tensão, aplicando-se V_{out} diretamente no conversor A/D do microcontrolador, é o fato de que o terra dos circuitos de baixa potência (circuitos de medição, condicionamento e do próprio microcontrolador) ficará diretamente ligado ao negativo (terra) do circuito de potência. Como as correntes envolvidas são muito elevadas (de até 100 A em ambos os sentidos), qualquer surto de corrente poderá danificar os circuitos de baixa potência. Dessa forma, optou-se por uma medição de tensão diferencial, de modo que o elemento medidor pudesse ser inserido em paralelo no circuito de potência, e apresentasse alta impedância de entrada, a fim de drenar o mínimo de corrente possível da bateria e evitar erros na medição de corrente. Além disso, buscou-se garantir o isolamento da referência dos dois circuitos.

Inicialmente, buscaram-se algumas referências de sensores de medição de tensão DC, sendo o sensor 25-VP da fabricante LEM considerado inicialmente para se medir a tensão da bateria. No entanto, da mesma forma que o sensor de medição de corrente LA 100-P da mesma fabricante, este sensor necessita de alimentação simétrica, o que não é do interesse do projeto. O sensor LEM 25-VP é ilustrado na Fig. 6.2.

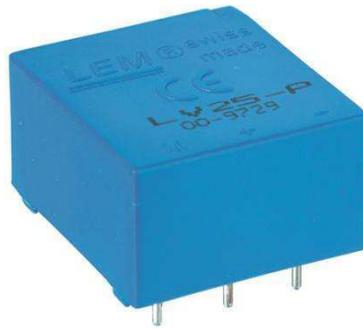


Figura 6.2. Sensor de tensão 25-VP da marca LEM.

Por fim, optou-se por utilizar um esquema de medição diferencial de tensão baseado em amplificadores operacionais, o qual será explicado a seguir.

6.1 MEDIÇÃO DIFERENCIAL COM AMPLIFICADOR

OPERACIONAL

A medição diferencial de tensão pode ser facilmente implementada com a utilização de um estágio de amplificação diferencial com amplificador operacional (AOP). O circuito básico com AOP bem como a expressão matemática para determinar a tensão de saída é ilustrado na Fig. 6.3.

Pode-se mostrar facilmente que a impedância de entrada oferecida por este circuito é igual a $2R_1$, de forma que é possível obter uma impedância de entrada muito elevada escolhendo-se adequadamente o valor de R_1 . Para $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, por exemplo, obtém-se um ganho de 0,5 e uma impedância de entrada de $200 \text{ k}\Omega$. Dessa forma, como o circuito foi projetado para medir uma tensão de até 20 V nos terminais da bateria, a corrente máxima que será drenada desta será de $100 \mu\text{A}$, o que representa uma corrente extremamente pequena considerando-se as correntes envolvidas nos processos de carga e descarga.

No entanto, como uma das exigências do projeto era medir uma tensão de 0 a 20 V com precisão de duas casas decimais, não é possível realizar a aquisição de dados com apenas um conversor A/D de 10 *bits*, o qual permite mensurar uma faixa de tensão de apenas 10,23 V com uma precisão dupla. Dessa forma, a solução encontrada para contornar este problema foi dividir a faixa de tensões de interesse em três faixas menores, a saber: 0 a 9 V, 9 a 16 V e 16 a 20 V, e realizar uma medição de tensão com

detecção de nível. Para isto, foram necessários três conversores A/D de 10 *bits*, cada qual para medir uma dada faixa de tensão.

Assim, foram necessários, além do estágio amplificador diferencial de entrada descrito acima, mais três estágios também diferenciais para condicionar o sinal de cada uma das faixas de medição.

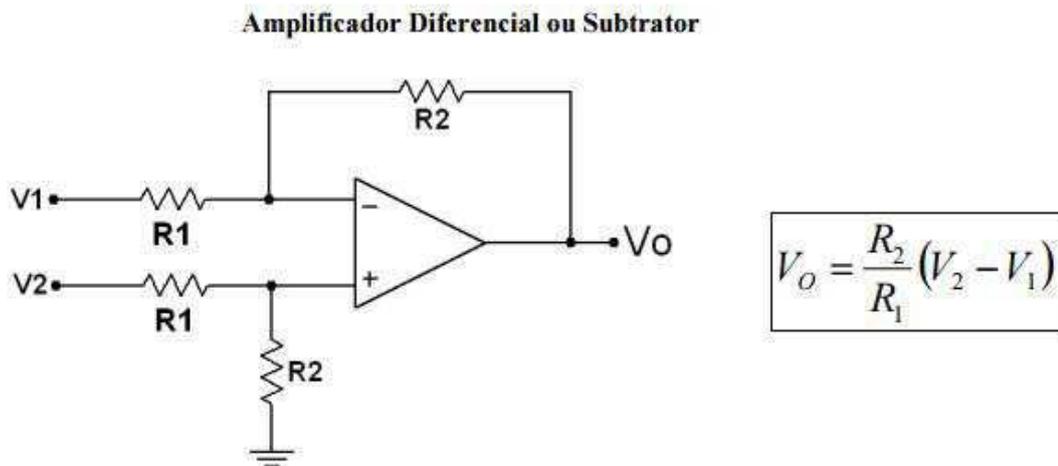


Figura 6.3. Estágio amplificador diferencial com AOP.

Deve-se destacar também a necessidade de se ter optado por um AOP que pudesse ser alimentado com uma fonte unipolar, visto o projeto não foi especificado para operar com alimentação simétrica. Assim, foi escolhido o AOP LM324, sendo este um modelo de amplificador bastante difundido e que permite tanto alimentação simétrica convencional, quanto alimentação unipolar. Além do mais, este AOP opera com uma corrente de alimentação baixíssima não superior a 3 mA, sendo ideal para a aplicação em circuitos que necessitem de alimentação por meio de baterias (*TEXAS INSTRUMENTS*, 2016).

6.2 CIRCUITO COMPLETO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO COM DETECÇÃO DE TRÊS NÍVEIS DE TENSÃO

O circuito completo projetado para medição da tensão da bateria com detecção de três níveis de tensão é apresentado na Figura Fig. 6.4.

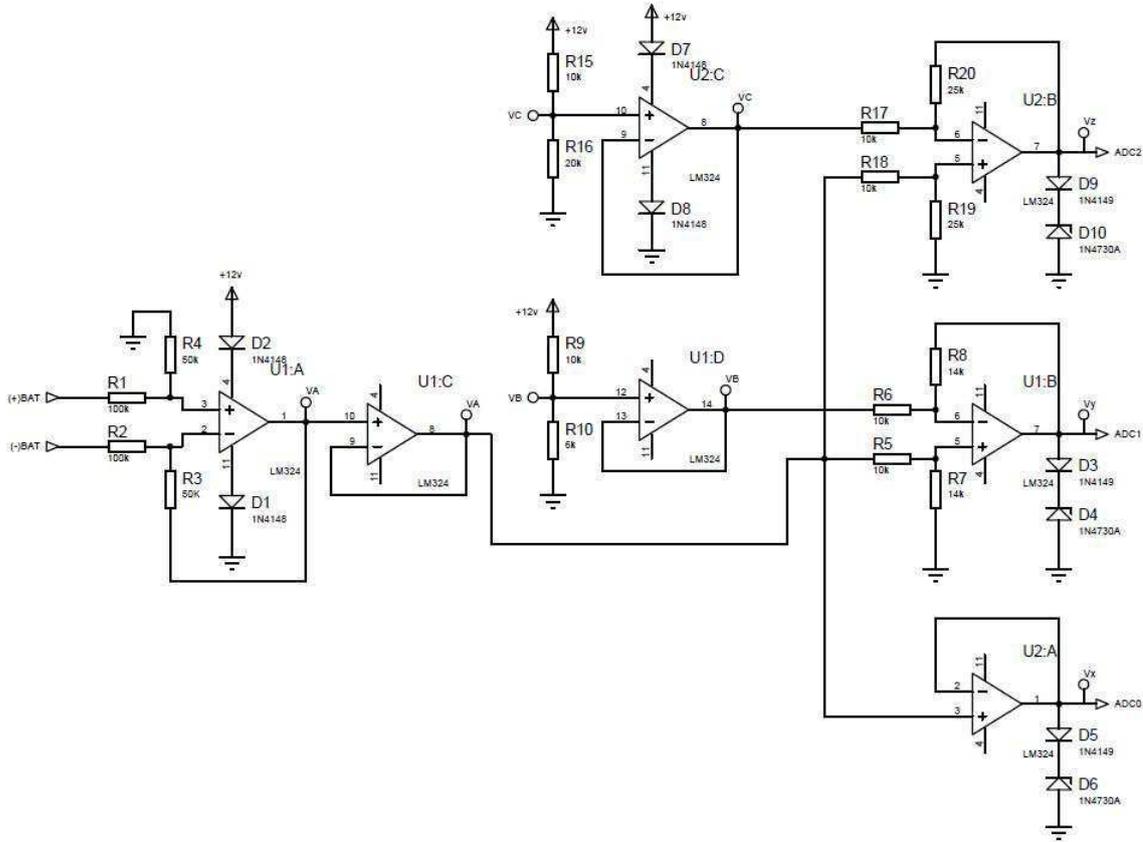


Figura 6.4. Circuito de medição de tensão com detecção de três níveis.

Para facilitar o entendimento do circuito, foram especificados nós nos quais as expressões das tensões são definidas, conforme segue:

$$V_x = V_a = 0,5 \cdot V_{in} \quad (6.2)$$

$$V_y = 1,4 \cdot (V_a - V_b) = 1,4 \cdot (0,5 \cdot V_{in} - 4,5) = 0,7 \cdot V_{in} - 6,3 \quad (6.3)$$

$$V_z = 2,4 \cdot (V_a - V_c) = 2,5 \cdot (0,5 \cdot V_{in} - 8) = 1,25 \cdot V_{in} - 20 \quad (6.4)$$

onde: $V_{in} = V_{battery}$; $V_a = 0,5 \cdot V_{in}$; $V_b = 4,5 \text{ V}$; $V_c = 8 \text{ V}$.

O circuito teve seu comportamento validado via simulação no Multisim[®], conforme explicitado pela Figura 6.5.

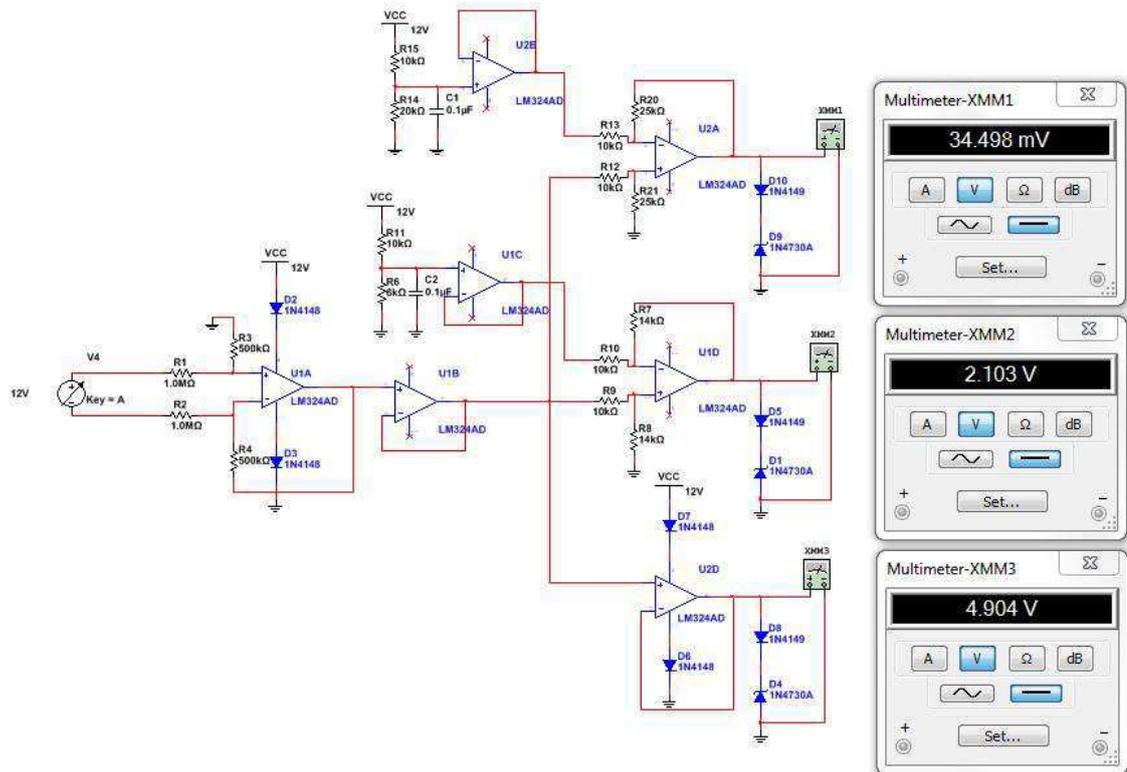


Figura 6.5. Simulação do circuito de medição de tensão com detecção de três níveis.

Pode-se observar que as curvas ajustadas são aproximadamente iguais às expressões teóricas obtidas.

Com relação aos diodos 1N4149 e 1N4730A nas entradas do microcontrolador, estes foram utilizados a fim de proteger os conversores A/D de possíveis tensões maiores do que 5 V (V_{ref} do microcontrolador), as quais podem danificar irreparavelmente o CI. Esta associação de diodos funciona de modo que quando a tensão sobre eles tenta ultrapassar o valor de 4,9 V, esta tensão será grampeada em 4,9 V.

O circuito de medição de tensão com detecção de três níveis de tensão, apesar de ter funcionado muito bem nas simulações, mostrou-se demasiadamente complicado em se tratando de implementação prática, pois os valores de resistores necessários não são tão comuns no mercado, e decidiu-se por evitar ao máximo o uso de associações de componentes. Além disso, o número elevado de componentes consiste em uma fonte considerável de erros no circuito.

Dessa forma, foi necessário reprojeter o circuito para medir apenas dois níveis de tensão, reduzindo, dessa forma, o número de componentes necessários para realizar o circuito.

6.3 CIRCUITO COMPLETO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO COM DETECÇÃO DE DOIS NÍVEIS DE TENSÃO

O circuito de medição de tensão reprojeto foi planejado para medir duas faixas de tensão, a saber: 0 a 10 V e 10 a 20 V. Este circuito também se baseou na medição diferencial de tensão com estágios de amplificação diferencial com AOPs.

Outro ponto reconsiderado foi impedância de entrada do circuito, que era de 200 k Ω e passou a ser de 4 M Ω , o que representou um aumento no nível de isolamento do circuito bem como um consumo ainda menor de corrente da bateria. O diagrama elétrico do circuito é mostrado na Figura 6.6.

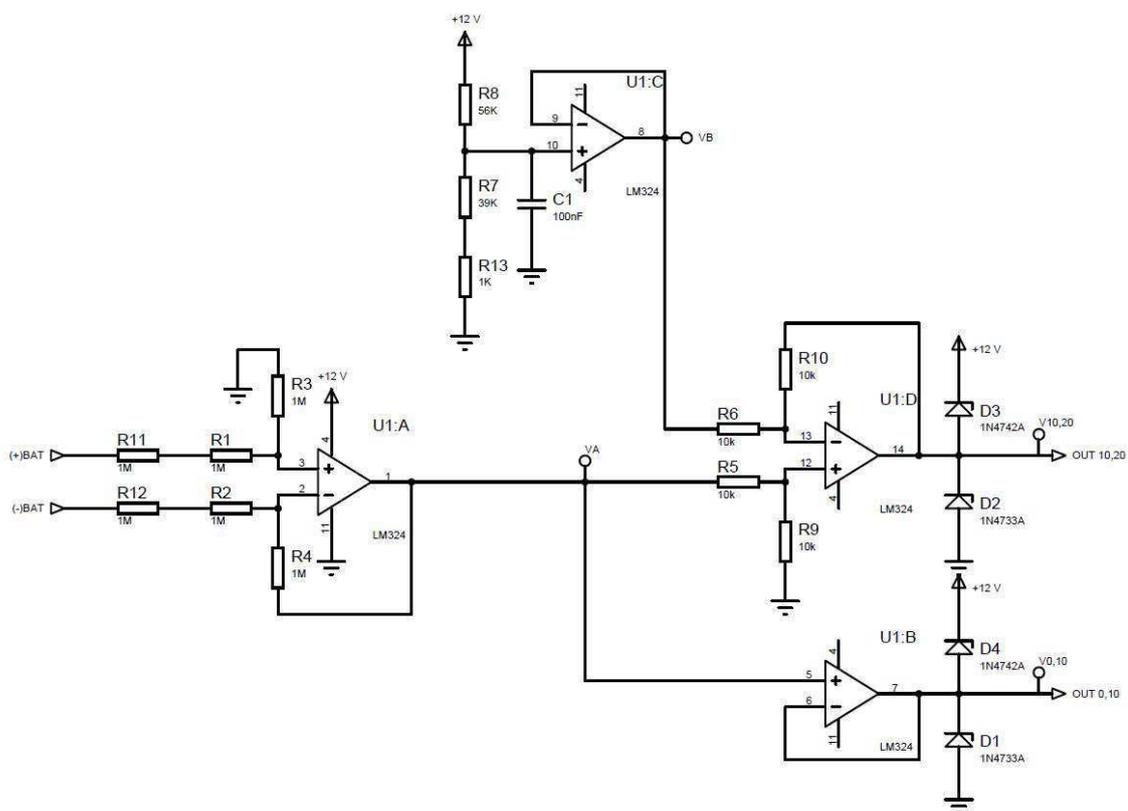


Figura 6.6. Circuito de medição de tensão com detecção de dois níveis.

Neste esquema é possível observar o estágio diferencial de entrada, formado pelo AOP U1:A e o conjunto de resistores R1, R2, R3, R4, R11 e R12 de 1 M Ω que juntos determinam um ganho de 0,5 e a impedância de entrada de 4 M Ω .

O AOP U1:B é um *buffer* que aplica o sinal de saída do estágio diferencial de entrada à entrada analógica do microcontrolador, de maneira que a tensão $V_{0,10}$ varia de 0 a aproximadamente 5 V quando a tensão entre os terminais da bateria varia na faixa de

0 a 10 V. Os diodos Zener 1N4742A (12 V) e 1N4733A (5,1 V) grampeiam a tensão aplicada à entrada analógica do microcontrolador em 0 e em aproximadamente 5 V respectivamente, quando esta tensão tenta assumir valores fora desta faixa. Os AOPs U1:C e U1:D condicionam a tensão a ser lida pela porta analógica quando a tensão sobre a bateria se encontra entre 10 e 20 V ($V_{10,20}$), sendo os diodos Zener supracitados também responsáveis por garantir que a tensão não ultrapasse a faixa de 0 a 5 V.

As expressões das saídas do circuito de condicionamento são:

$$V_{0,10} = V_a = 0,5 \cdot V_{in} \quad (5.8)$$

$$V_{10,20} = V_a - V_b = 0,5 \cdot V_{in} - 5 \quad (5.9)$$

onde: $V_{in} = V_{battery}$; $V_a = 0,5 \cdot V_{in}$; $V_b = 5$.

O circuito teve seu comportamento validado via simulação no Multisim[®], conforme explicitado pela Figura 6.7.

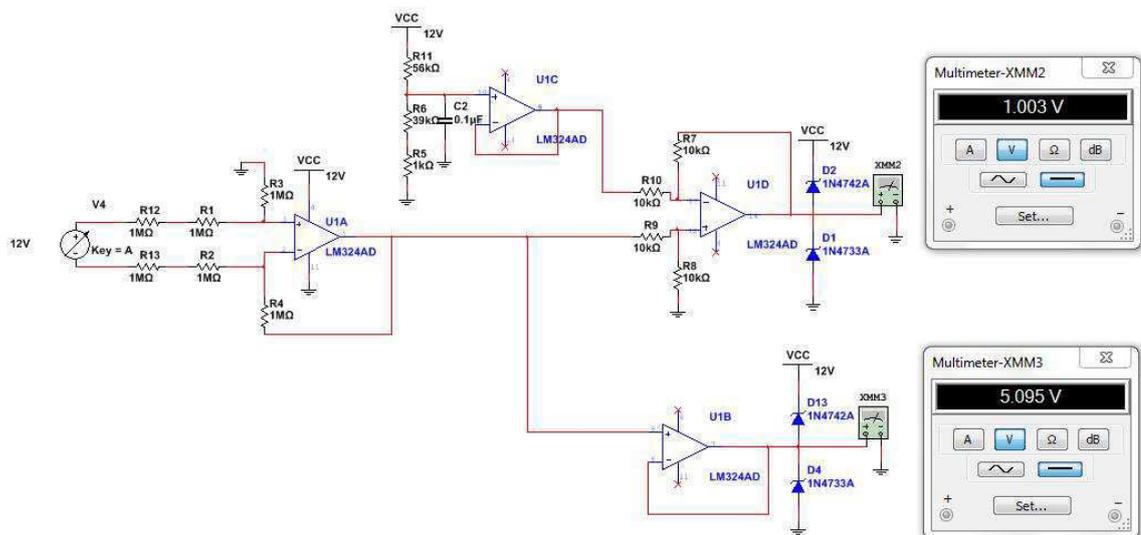


Figura 6.7. Simulação do circuito de medição de tensão com detecção de três níveis.

7 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

No que se refere à medição de temperatura, existem diversas técnicas desenvolvidas no mercado. Dentre elas, a medição de temperatura com semicondutores é amplamente utilizada em aplicações embarcadas, devido a ser eletricamente e mecanicamente mais frágil do que a maioria dos outros tipos de medição (*CAPGO SEMICONDUCTOR*, 2013). Dessa maneira, recomenda-se que o sensor de temperatura fique no interior do sistema cuja temperatura deseja-se medir.

Esta técnica baseia-se nas características de corrente de coletor de um transistor de junção bipolar (TBJ). Seja a relação entre a tensão base-emissor V_{BE} e a corrente de coletor I_C descrita conforme a Eq. (6.1).

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) \quad (7.1)$$

onde: k é a constante de Boltzmann, com valor igual a $1,3806488 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$; T é a temperatura absoluta (K); q é a carga de um elétron (C) e I_S é a corrente relacionada à geometria e a temperatura dos transistores (A).

Se N transistores idênticos ao primeiro (Fig. 7.1) tiverem a corrente total no coletor dividida igualmente entre eles, então a nova tensão base-emissor V_N é dada por

$$V_N = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right) \quad (7.2)$$

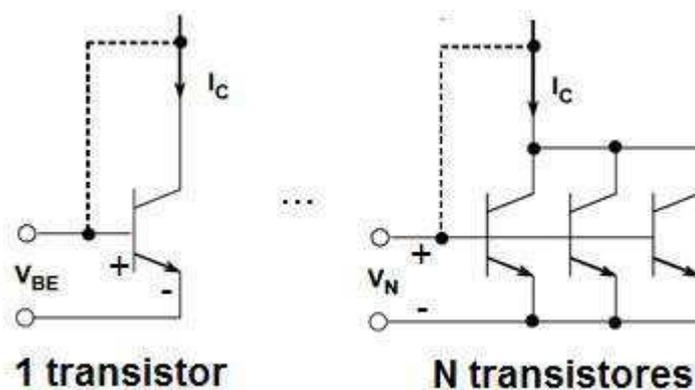


Figura 7.1. Medição de temperatura baseada em semicondutores. Adaptação de: (ZUMBAHLEN, 2007).

Logo, a diferença entre as duas tensões base-emissor é proporcional à temperatura absoluta dos transistores, que não depende de I_S , de acordo com a Eq. (7.3).

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln(N) \quad (7.3)$$

Esta diferença de tensão é, assim, convertida para uma tensão ou uma corrente de saída. Um deslocamento pode ser aplicada para converter o sinal de temperatura absoluta para Celsius ou Fahrenheit (ZUMBAHLEN, 2007).

Outra opção seria utilizar um sensor de temperatura integrado, como o LM35. Este é um sensor de precisão, fabricado pela *National Semiconductor*, que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura em que ele se encontrar, no momento em que for alimentado por uma fonte de tensão simples de 4-20 VDC e GND. Ele drena apenas 60 μA para estas alimentações, tendo um auto-aquecimento de aproximadamente 0,1 $^{\circ}\text{C}$ ao ar livre.

Além disso, o sensor LM35 apresenta vários tipos de encapsulamentos, sendo o mais comum o TO-92. Tal encapsulamento tem semelhança com um transistor TBJ e oferece ótima relação custo benefício, devido a ser o mais barato dos modelos e propiciar a mesma precisão dos demais. A grande diversidade de encapsulamentos se dá devido à alta gama de aplicações deste circuito integrado (*NATIONAL SEMICONDUCTOR*, 2000).

O sensor em estudo e o diagrama elétrico correspondente são ilustrados nas Figuras 7.2a e 7.2b, respectivamente.

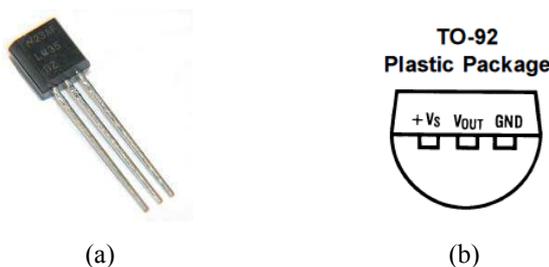


Figura 7.2. (a) Fotografia do sensor LM35; (b) Diagrama elétrico do sensor com encapsulamento TO-92 (NATIOANL SEMICONDUCTOR, 2000).

A saída do sensor apresenta baixa impedância, consistindo em um sinal de tensão linearmente proporcional à temperatura medida em Graus Centígrados. Sendo assim, apresenta grande vantagem com relação aos outros sensores de temperatura calibrados em Kelvin, não necessitando de nenhuma subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em Graus Celsius.

A relação da temperatura mensurada com a tensão de saída do LM35 é descrita conforme a Eq. (7.4):

$$T_{bat} = 100 \cdot V_{out} \quad (7.4)$$

onde: T_{bat} é a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) e V_{out} é a tensão de saída do sensor (V).

Outra vantagem deste sensor de temperatura é não precisar de qualquer calibração externa para fornecer com exatidão suas medições, tendo valores de temperatura dentro da faixa de -55°C a 150°C (*NATIONAL SEMICONDUCTOR*, 2000). Tal especificação engloba a faixa de temperatura ambiente utilizada pelas baterias FREEDOM[®], ou seja, de -10°C a 45°C .

7.1 SENSOR DE TEMPERATURA TERMORESISTIVO PT100

Apesar da grande praticidade oferecida pelo LM35, decidiu-se optar pelo uso do sensor termoresistivo Pt100, o qual encontra grande aplicabilidade na indústria, sendo, pois, bem mais acessível.

Termoresistências de platina são sensores de temperatura cujo princípio de funcionamento se baseia na lateração da resistência elétrica do elemento com variação da temperatura.

A variação da resistência com a temperatura é chamada de coeficiente de temperatura e é especificada como a média da variação entre 0 e 100°C . Este coeficiente é de $0,385 \Omega$ por $^{\circ}\text{C}$, conforme a norma IEC60751, para o Pt100.

Tanto nos modelos de fio bobinado quanto nos modelos de filme plano, onde uma película é depositada submetida a um vácuo elevado sobre o substrato cerâmico, a estabilidade em altas temperaturas é uma constante (*NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA*, 2016). A fotografia contendo alguns modelos de Pt100 é mostrada na Figura 7.3. As curvas de tolerância em função da temperatura medida para as diferentes classes do dispositivo são ilustradas na Figura 7.4.



Figura 7.3. Modelos diferentes de Pt100 (NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA, 2016).

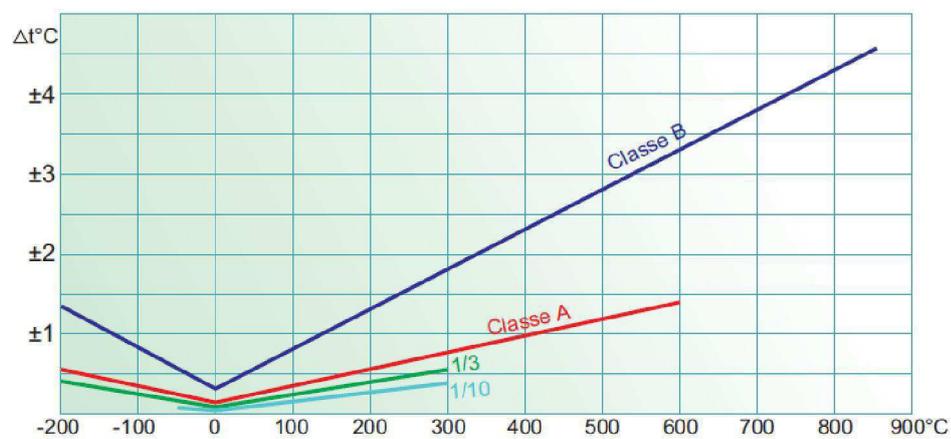


Figura 7.4. Tolerâncias conforma a norma IEC60751 (NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA, 2016).

A curva característica da resistência *versus* temperatura do Pt100 é não linear e apresenta duas regiões, uma para temperaturas de -200 a 0°C e outra de 0 a 850°C. Como a faixa de temperatura a ser medida foi definida como sendo de 0 a 100°C, projetou-se o circuito de medição de temperatura com base nessa segunda região, cuja equação é explicitada abaixo:

$$R[\Omega] = Pt(1 + 3.90802 \cdot 10^{-3} \cdot t - 0.580195 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \quad (7.5)$$

7.2 PROJETO DO CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA COM PT100

O esquema do circuito de medição de temperatura é ilustrado na Figura 7.5, sendo o mesmo explicado a seguir.

O conjunto formado pelo transistor bipolar (TBJ) BC559AP, pelo resistor R1 de 100 Ω , pelo resistor R3 de 2,7 k Ω , pelo diodo Zener 1N4730A, e pelo trimpot de 5 k Ω funcionam como uma fonte de corrente de 1 mA que alimenta o Pt100. O trimpot é necessário para fazer o ajuste fino de corrente, a qual deve ser a mais exata possível, enquanto que R3 garante que a tensão de 3,9 V do diodo jamais seja aplicada diretamente à junção emissor-base do TBJ. Os AOPs condicionam a tensão sobre o Pt100 para uma faixa de 0 a 5 V, a qual é aplicada diretamente ao conversor A/D.

Um dos principais problemas do Pt100 é trabalhar com sua baixa sensibilidade, que, como mencionado anteriormente, é de 0,385 $\Omega/^\circ\text{C}$. Desse modo, sabendo-se que a 0 $^\circ\text{C}$ sua resistência nominal é de 100 Ω , a 100 $^\circ\text{C}$ este valor de resistência será de 138,5 Ω . Assim, se uma corrente constante de 1 mA passa através deste dispositivo, a tensão entre seus terminais irá variar entre 0,1 V (0 $^\circ\text{C}$) e 0,1385 V (100 $^\circ\text{C}$), o que corresponde a uma faixa de valores de tensão muito curta.

Para contornar o problema da baixa sensibilidade do Pt100, foi projetado um estágio de condicionamento que pudesse realizar a transdução desta faixa de tensões muito estreita, para a faixa de 0 a 5 V, sendo este sinal, então, aplicado ao conversor A/D do microcontrolador. A expressão que relaciona a tensão de saída do circuito de condicionamento, e a tensão sobre o Pt100 é a seguinte:

$$V_{out} = 125 \cdot V_{Pt100} - 12,5 \quad (7.6)$$

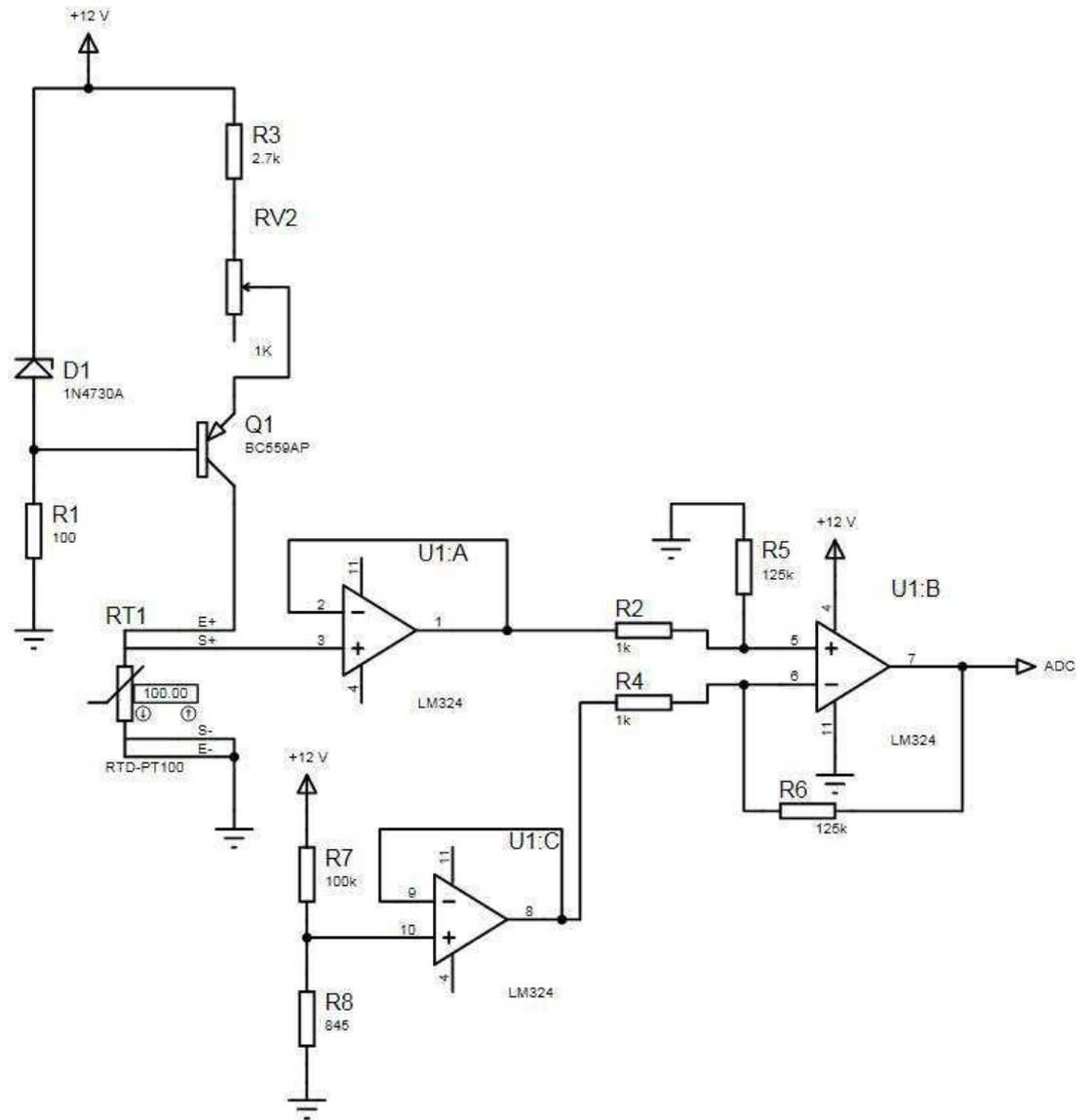


Figura 7.5. Circuito para medição de temperatura.

O circuito de condicionamento é formado por três AOPs do modelo LM324 os quais estabelecem uma relação linear entre a tensão sobre o PT100 e a tensão aplicada à entrada analógica do microcontrolador.

O circuito teve seu comportamento validado via simulação no Multisim[®], conforme explicitado pela Figura 7.6.

8 RESULTADOS OBTIDOS

Realizado passo a passo tais atividades, obteve-se o circuito completo para medição e condicionamento das grandezas relativas à uma bateria de chumbo-ácido estacionária, o qual é representado esquematicamente na Figura 8.1.

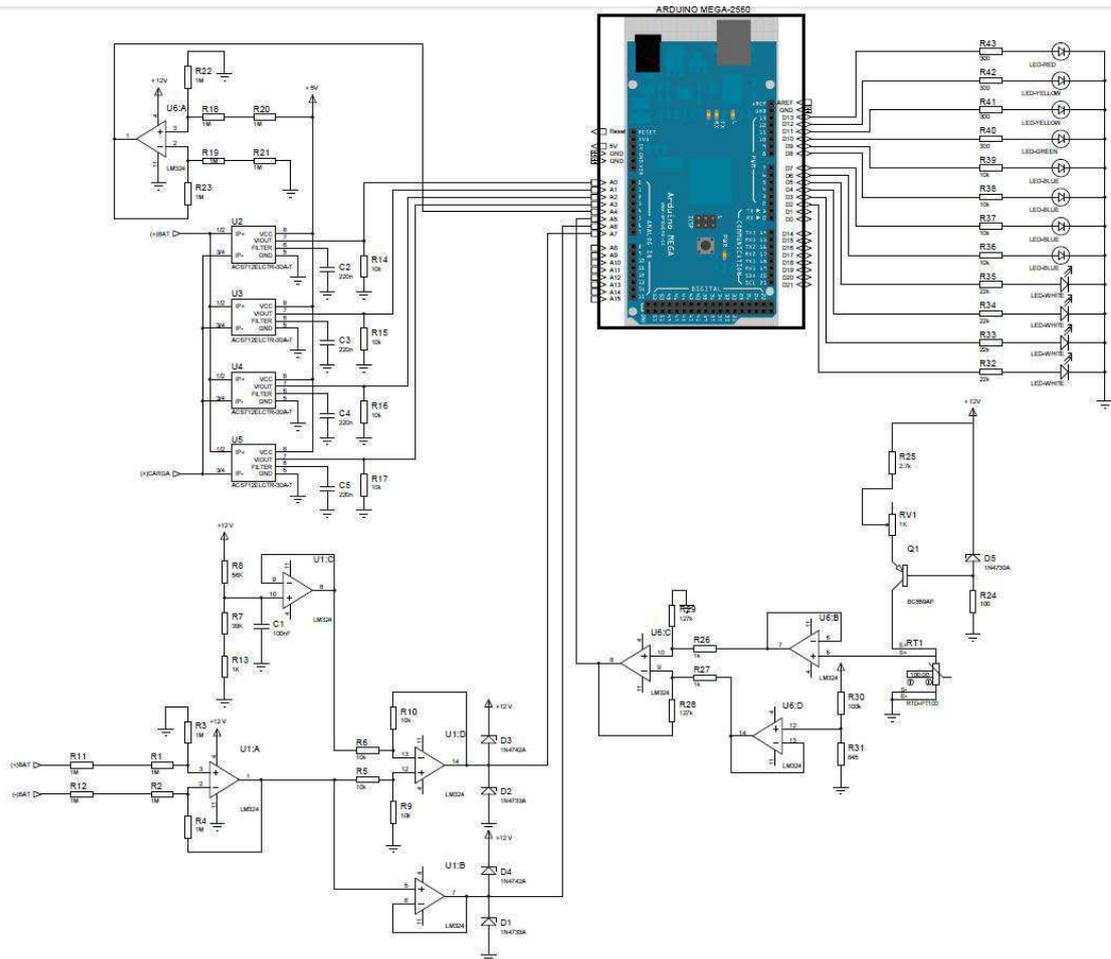


Figura 8.1. Esquema do circuito de medição completo.

As saídas do modelo implementado no microcontrolador para a bateria consistem basicamente no estado de saúde (SOH) e no estado de carga (SOC), as quais são representadas cada qual por quatro LEDs nas cores branco e azul, respectivamente. Estes LEDs representam o SOH e SOC em quatro níveis distintos, a saber: 0-25%; 25-50%; 50-75% e 75-100%. Além destes dois parâmetros, o modelo também deverá indicar se a bateria está em estado de carga ou descarga, em equalização e em flutuação. Foram então adicionados mais quatro LEDs, dois amarelos, que indicam se a bateria se

encontra em equalização ou em flutuação, e um verde e outro vermelho, que indicam respectivamente se a mesma está em estado de carga ou de descarga.

Foi feito um mapeamento dos pinos de Entrada/Saída do microcontrolador utilizado no circuito, conforme indicado na tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Mapeamento dos pinos de Entrada/Saída do microcontrolador.

Tensão(V)	Entrada	Saída	Tipo	Pino Arduino Mega	Significado
V_corr1	X		Analógica	A0	Tensão proveniente do primeiro sensor de corrente.
V_corr2	X		Analógica	A1	Tensão proveniente do segundo sensor de corrente.
V_corr3	X		Analógica	A2	Tensão proveniente do terceiro sensor de corrente.
V_corr4	X		Analógica	A3	Tensão proveniente do quarto sensor de corrente.
V_tens_corr	X		Analógica	A4	Tensão condicionada de alimentação dos sensores de corrente.
V_tens1	X		Analógica	A5	Tensão proveniente da medição de tensão da bateria no primeiro nível (0 a 10 V).
V_tens2	X		Analógica	A6	Tensão proveniente da medição de tensão da bateria no segundo nível (10 a 20 V).
V_temp	X		Analógica	A7	Tensão condicionada proveniente da medição de temperatura com o Pt100.

Tensão(V)	Entrada	Saída	Tipo	Pino Arduino Mega	Significado
LED_branco1		X	Digital	2	SOH-1
LED_branco2		X	Digital	3	SOH-2
LED_branco3		X	Digital	4	SOH-3
LED_branco4		X	Digital	5	SOH-4
LED_azul1		X	Digital	6	SOC-1
LED_azul2		X	Digital	7	SOC-2
LED_azul3		X	Digital	8	SOC-3
LED_azul4		X	Digital	9	SOC-4
LED_verde		X	Digital	10	LED_Carga
LED_amarelo1		X	Digital	11	LED_Flutuação
LED_amarelo2		X	Digital	12	LED_Equalização
LED_vermelho		X	Digital	13	LED_Descarga

O *layout* do circuito foi desenvolvido no *software* CadSoft EAGLE®, sendo ilustrado na Figura 8.2

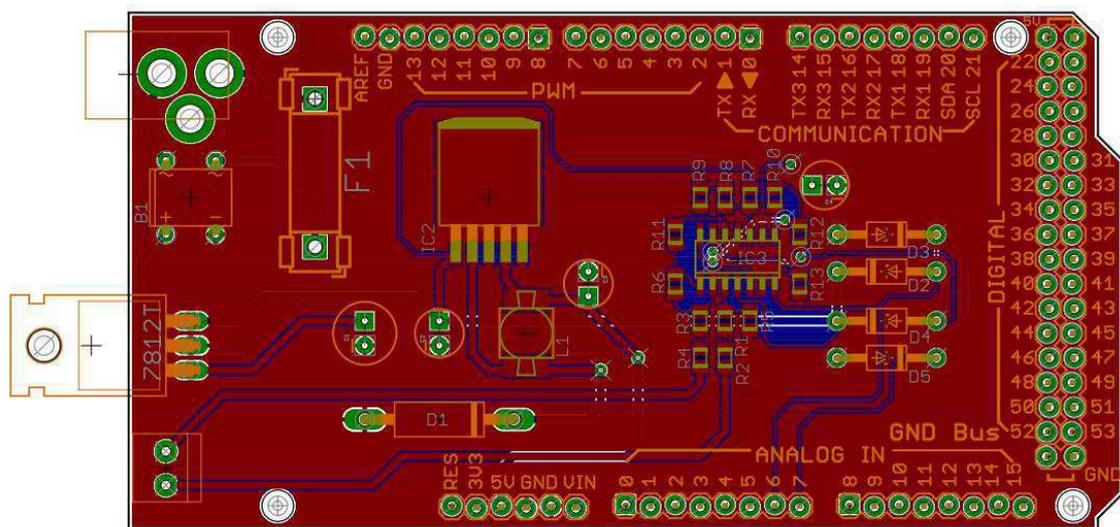


Figura 8.2. Layout do circuito de medição completo.

Foi também proposta uma maneira de se expandir o circuito acima de modo a realizar medições em um banco com três baterias, conforme ilustrado no esquema da Figura 8.3.

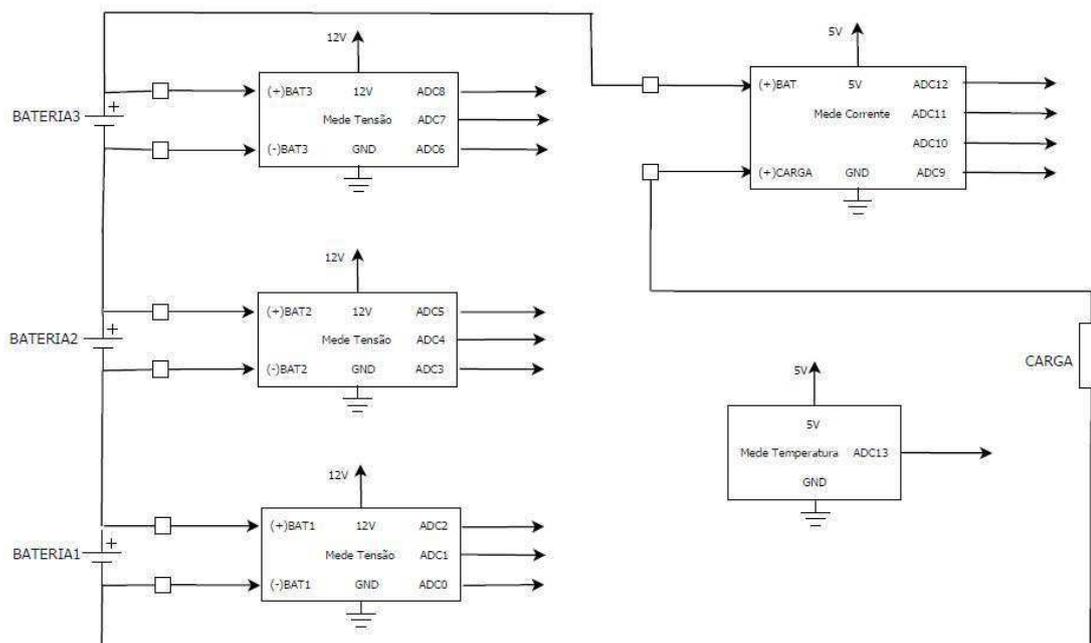


Figura 8.3. Expansão proposta para o circuito de modo a efetuar medições em um banco com até três baterias.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Relatório de Estágio supervisionado, foram abordadas algumas das atividades desenvolvidas em um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado no Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva (*Embedded*) da UFCG.

Vale ressaltar que devido ao cronograma deste projeto, não foi possível realizar a montagem do circuito em placa para testes, uma vez que esta etapa só está prevista para ocorrer em Junho deste ano.

Dito isto, foi cumprida rigorosamente a carga horária de 222 horas planejada atendendo ao máximo os objetivos propostos no início deste trabalho.

No mais, tem sido muito enriquecedor trabalhar em um projeto que vem me permitido vivenciar vários aspectos pragmáticos da engenharia, como o trabalho em equipe e a necessidade de se trabalhar sob demanda, aspectos estes que muitas vezes não são bem representados em uma sala de aula.

Nas próximas etapas, serão realizados testes com as versões finais dos circuitos projetados com a aplicação dos mesmos em baterias isoladas e em bancos, de modo a validar os modelos de baterias estudados e implementados. Este trabalho é, pois, um subconjunto de um projeto bem mais elaborado e complexo e que envolve esforços de vários indivíduos, tanto engenheiros quanto cientistas da computação.

BIBLIOGRAFIA

ALLEGRO MICROSYSTEMS (2010). **ACS712 (Datasheet)**. Disponível em:

<<http://www.allegromicro.com/~media/Files/.../ACS712-Datasheet.ashx>>. Acesso em: Abr. 2016.

CAPGO SEMICONDUCTOR (2013). **Introduction to Semiconductor Temperature Sensors**. Disponível

em: < <http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Semiconductor/Semi.html> >. Acesso em: Mai. 2016.

SISTEMA E TECNOLOGIA APLICADA (2016). **Vantagens e Limitações das Baterias Chumbo-Ácido**. Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-chumbo-acido>>. Acesso em: Abr. 2016.

Manual Técnico Bateria Estacionária FREEDOM[®]. *Johnson Controls*, Sorocaba, 2013.

TEXAS INSTRUMENTS (2012). **Current Shunt Monitors (Tutorial)**. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ml/slyb194/slyb194.pdf>>. Acesso em: Abr. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS (2015). **LM324-N (Datasheet)**. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf>>. Acesso em: Abr. 2016.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Como fazer medições de tensão – Parte 5**. Disponível em:

< <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/2422-como-fazer-medicoes-de-tensao-parte-5> >. Acesso em: Abr. 2016.

NATIONAL SEMICONDUCTORS. **LM35 (Datasheet)**. Disponível em:

<<http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1276463.pdf>>. Acesso em: Mai. 2016.

NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA, 2016. **TERMORESISTÊNCIAS Pt100 (Datasheet)**.

Disponível em: < http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto_pt100.pdf>. Acesso em: Mai. 2016.

ZUMBAHLEN, H (2007). **BASIC LINEAR DESIGN**. Disponível em:

<<http://www.foxcomputer.se/Basic%20Linear%20Design.pdf>>. Acesso em: Mai. 2016.