

Sydeney Wagner Silva Araujo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Brasil

13 de setembro de 2018

Sydeney Wagner Silva Araujo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de estágio apresentado à Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Orientador: Alexandre Cunha Oliveira

Campina Grande, Brasil

13 de setembro de 2018

Sydeney Wagner Silva Araujo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de estágio apresentado à Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica

Alexandre Cunha Oliveira
Orientador

Professor
Convidado

Agradecimentos

Agradeço a contribuição e suporte técnico dos amigos João Paulo e Jonatas Kinas.

"Ainda tá dando tudo errado."

Sydeney Araujo

Resumo

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas pelo aluno de graduação Sydeney Wagner Silva Araujo, durante Estágio Integrado concedido pelo Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), realizado no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), sob orientação do professor Alexandre Cunha Oliveira e supervisão do professor Gutemberg Golnsalves dos Santos Júnior. As atividades foram relacionadas ao desenvolvimento de um sistema embarcado para controle de um ciclador de baterias.

Palavras-chaves: Bateria. Ciclador. Sistema embarcado.

Abstract

This report presents the activities developed by the undergraduate student Sydeney Wagner Silva Araujo, during the internship granted by the Department of Electrical Engineering (DEE), Federal University of Campina Grande (UFCG), held at the Laboratory of Industrial Electronics and Machine Drives (LEIAM), under the guidance of Professor Alexandre Cunha Oliveira and supervision of Professor Gutemberg Golnsalves dos Santos Júnior. The activities were related to the development of an embedded system for the control of a battery cycler.

Key-words: Battery. Cycler. Embedded System.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Conversor <i>buck</i>	9
Figura 2 – Conversor <i>buck</i> : Chave fechada	10
Figura 3 – Conversor <i>buck</i> : Chave aberta	10
Figura 4 – Formas de onda do conversor <i>buck</i>	11
Figura 5 – Tensão de circuito aberto vs DOD.	15
Figura 6 – Métodos clássicos de carga de bateria.	16
Figura 7 – Diagrama de controle.	22
Figura 8 – Esquema da carga.	22
Figura 9 – Montagem da carga.	23
Figura 10 – Diagrama da associação de IGBTs.	24
Figura 11 – Montagem dos IGBTs.	25
Figura 12 – Montagem das resistências.	26
Figura 13 – Esquema de polarização dos MOSFETs.	26
Figura 14 – Montagem dos MOSFETs.	26
Figura 15 – UML.	34
Figura 16 – Sistema.	35
Figura 17 – Detalhes da carga.	35
Figura 18 – Detalhes da descarga.	36
Figura 19 – Teste de descarga contínua.	39
Figura 20 – Teste de descarga pulsada.	40
Figura 21 – Teste de carga.	41
Figura 22 – Tempo de subida e descida da carga.	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações do Conversor	21
--	----

Sumário

Introdução	1
I Objetivos	3
1 Objetivos	5
II Revisão bibliográfica	7
2 Conversor de potência <i>buck</i>	9
3 Baterias	13
3.1 Características elétricas	14
3.2 Método de carga	15
III Aspectos construtivos	19
4 Aspectos construtivos	21
4.1 Módulo de carga	21
4.2 Módulo de descarga	23
IV Atividades	27
5 Atividades	29
5.1 O relacionamento de entidades	29
5.1.1 O gerenciador de tarefas	29
5.1.2 As tarefas	30
5.1.3 O controlador de descarga	30
5.1.4 O controlador de carga	32
5.1.5 O controlador de tempo	33
5.2 O funcionamento do sistema	34
V Resultados	37
Conclusão	43

Referências 45

Introdução

Um ciclador de baterias é um sistema capaz de realizar cargas e descargas em baterias de maneira controlada. Esse tipo de equipamento é comumente utilizado em laboratórios com a finalidade de fazer levantamento dos parâmetros elétricos destes sistemas de acumulação de energia.

Para realizar as transferências de energia elétrica associadas às cargas, conversores de potência podem ser associados a sistemas de controle para injetar nas baterias os sinais necessários ao levantamento de tais parâmetros. Estes conversores operam de maneira chaveada para que seja desperdiçada o mínimo de energia possível na transferência.

Dado que os níveis de tensão da rede de distribuição são mais elevadas que a tensão necessária à carga de uma bateria, o conversor *buck*, ligado a um barramento capacitivo com tensão retificada, pode ser utilizado para carregar baterias de maneira controlada. Esse controle em malha fechada pode ser feito de maneira simplificada com um controlador proporcional integral.

As descargas podem ser realizadas de maneira forçada, também com a ajuda de conversores chaveados, ou simplesmente utilizando um caminho natural à circulação de correntes que saiam da bateria. Para o tipo de descarga dissipativa, resistores podem ser inseridos ou removidos de conexões aos terminais da bateria. Esse método tem como principal desvantagem o desperdício de energia, mas tem como vantagem uma relativa facilidade à implementação prática.

Para além de manejar os sistemas de controle em malha fechada, a utilização no momento adequado dos recursos de máquina empregados na implementação de um dispositivo com essa complexidade exige a modelagem e desenvolvimento adequado de um sistema embarcado. O bom desempenho da programação pode ser crucial ao funcionamento ou à falha do sistema, o que exige o emprego de boas práticas de desenvolvimento e manutenção.

Parte I

Objetivos

1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo descrever a criação do sistema de controle de um cicladador de baterias com as seguintes especificações:

- Módulo de carga:
 - Um conversor de potência *buck* deve retirar energia da rede elétrica e injetar em um banco com 1, 2, ou 3 baterias, com tensão nominal de 12 V, associadas em série.
 - A corrente da carga deve ser configurável entre 0,5 e 25 A.
 - A tensão nos terminais do banco de baterias deve ser ajustável entre 10 e 150% da tensão nominal
- Módulo de descarga:
 - Uma associação dinâmica de resistências deve dissipar a energia do banco de baterias de forma contínua ou pulsada.
 - A corrente da descarga deve ser ajustável entre 1 e 100 A.

Parte II

Revisão bibliográfica

2 Conversor de potência *buck*

O conversor *buck* é um circuito que opera abrindo e fechando um par de chaves periodicamente com a finalidade de diminuir algum valor de tensão contínua. O circuito pode ser observado na Figura 1. No funcionamento deste conversor, quando a chave fecha, como na Figura 2, o indutor é ligado em série com a fonte de tensão e a associação entre o capacitor e resistor. Isso faz com que o indutor comece a acumular energia, aumentando sua corrente. Quando a chave abre, como na Figura 3, a corrente que passa pelo indutor é transferido da chave para o Diodo. Coordenando a abertura e fechamento da chave, é possível controlar a quantidade de energia armazenada no capacitor e, conseqüentemente a tensão de saída. O resultado da operação do circuito pode ser observado na Figura 4.

A relação entre a entrada e a saída e da variação de tensão na saída são descritas por (HART, 2016) pela equação 2.1 e 2.2, respectivamente.

$$V_o = DV_s \quad (2.1)$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o(1 - D)}{8LCf_s^2} \quad (2.2)$$

A ondulação da corrente no indutor pode ser calculada, de acordo com (INSTRUMENTS, 2012), pela expressão 2.3, onde f_s é a frequência de chaveamento.

$$\Delta I_L = \frac{(V_s - V_o)D}{f_s L} \quad (2.3)$$

Figura 1: Conversor *buck*.

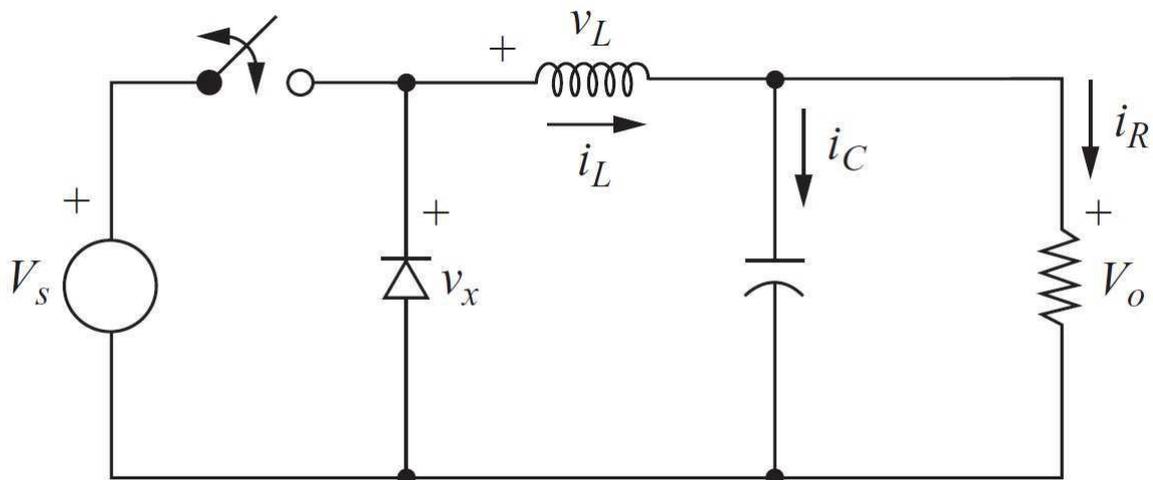


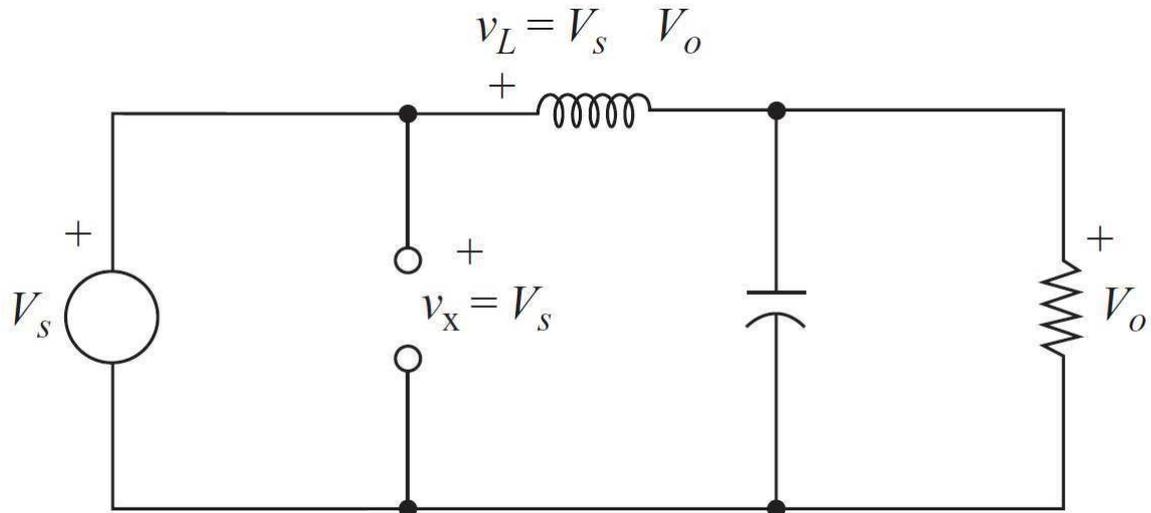
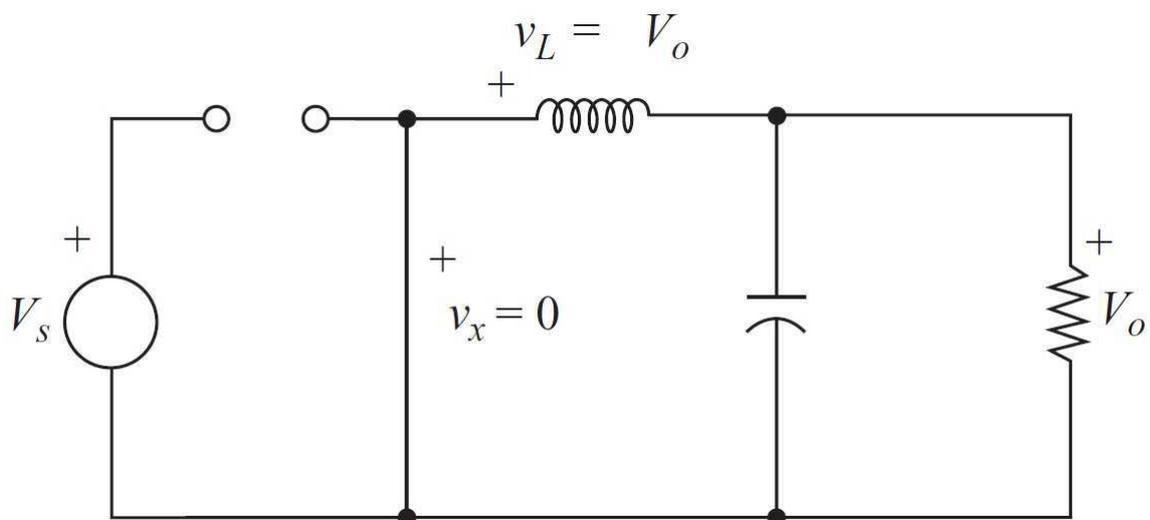
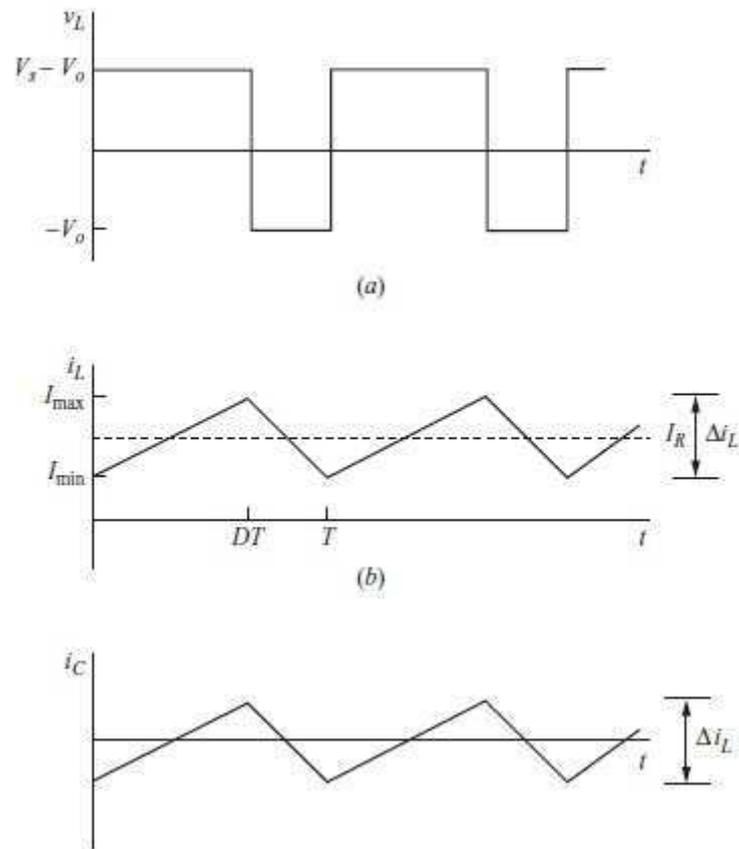
Figura 2: Conversor *buck*: Chave fechadaFigura 3: Conversor *buck*: Chave aberta

Figura 4: Formas de onda do conversor *buck*.

3 Baterias

A energia elétrica é um bem necessário e essencial a humanidade nos dias atuais, porém, armazená-la é uma árdua tarefa observando que a maioria dos seus campos de aplicação necessita de uma alta demanda de energia. Como solução a esse problema foram criadas as baterias. Elas são conceituadas como ‘um conjunto de células eletroquímicas’ e em resumo, é um sistema que transforma energia química em energia elétrica – e vice-versa nas recarregáveis –, através de um fenômeno químico – reação de oxirredução – no qual ocorre a movimentação de elétrons.

As baterias podem ser classificadas como:

- Primárias: Em que seus compostos químicos reagem uma única vez convertendo sua energia química em energia elétrica, ou seja, não são recarregáveis;
- Secundárias: Possui capacidade de recarga.
- Baterias Inundadas: As placas são mergulhadas no eletrólito livre dentro da bateria e dispõe-se de aberturas para verificação do eletrólito, assim como para reposição de água.
- Baterias Seladas: São semelhantes às baterias inundadas, porém não possuem as aberturas para verificação do eletrólito e reposição de água, possuindo então o eletrólito suficiente para seu tempo de vida normal. Deve-se ter cuidado ao carregar este tipo de bateria pois se manobradas indevidamente ocorrerá perda na performance e vida útil.

Quanto ao tipo de material destacam-se os seguintes:

- Níquel Cádmio – NiCd: Segundo (TRINDADE, 2006), são Baterias robustas com uma vida útil duradoura, tendo como principais características possuírem um ótimo desempenho sob rigorosas condições de trabalho, em baixas temperaturas, subtensão e sobrecarga;
- Níquel Hidreto Metálico – NiMH: Ainda segundo (TRINDADE, 2006), essas baterias têm sido usadas devido à sua maior densidade de energia e pelo não uso de metais não tóxicos e por modernas baterias de NiMH oferecerem o dobro da densidade de energia em comparação com as baterias de NiCd. Tanto as baterias NiCd como as baterias NiMH, têm uma alta taxa de autodescarga;

- Chumbo-Ácido: De acordo com (KIEHNE, 2003), as baterias de Chumbo-Ácido são caracterizadas pelo uso do chumbo (Pb) em ambos eletrodos como material ativo. No ânodo, o chumbo é oxidado pela descarga no íon bivalente que, no eletrólito diluído de ácido sulfúrico, forma o sulfato de chumbo. Já no cátodo, o carregamento ativo de material é baseado no íon tetravalente. As maiores vantagens desse tipo de bateria são o baixo custo e alta disponibilidade, porém, sua durabilidade depende muito de como ela é carregada e descarregada, e da temperatura da operação. E seu estado de carga é difícil manter e determinar;

Quanto às baterias de chumbo-ácido, pode-se ainda classificá-las quanto ao tipo de aplicação:

- Bateria SLI (Starting, Lighting and Ignition): Operam em ciclos de curta duração. Sua construção é feita para que suas células tenham um grande número de placas finas, proporcionando assim maior superfície ativa entre elas e altas descargas de corrente em curtos espaços de tempo;
- Bateria Tracionária: As suas células possuem placas grossas e duráveis, o que permite descargas profundas e ciclos longos. São projetadas para sistemas que precisem de uma corrente constante por um grande intervalo de tempo, como veículos de tração elétrica (empilhadeiras, rebocadores, etc.);
- Bateria Estacionária: Projetadas para sistemas onde não pode ocorrer interrupções na alimentação, como nobreaks. São baterias que também possuem ciclos longos e descargas profundas.

3.1 Características elétricas

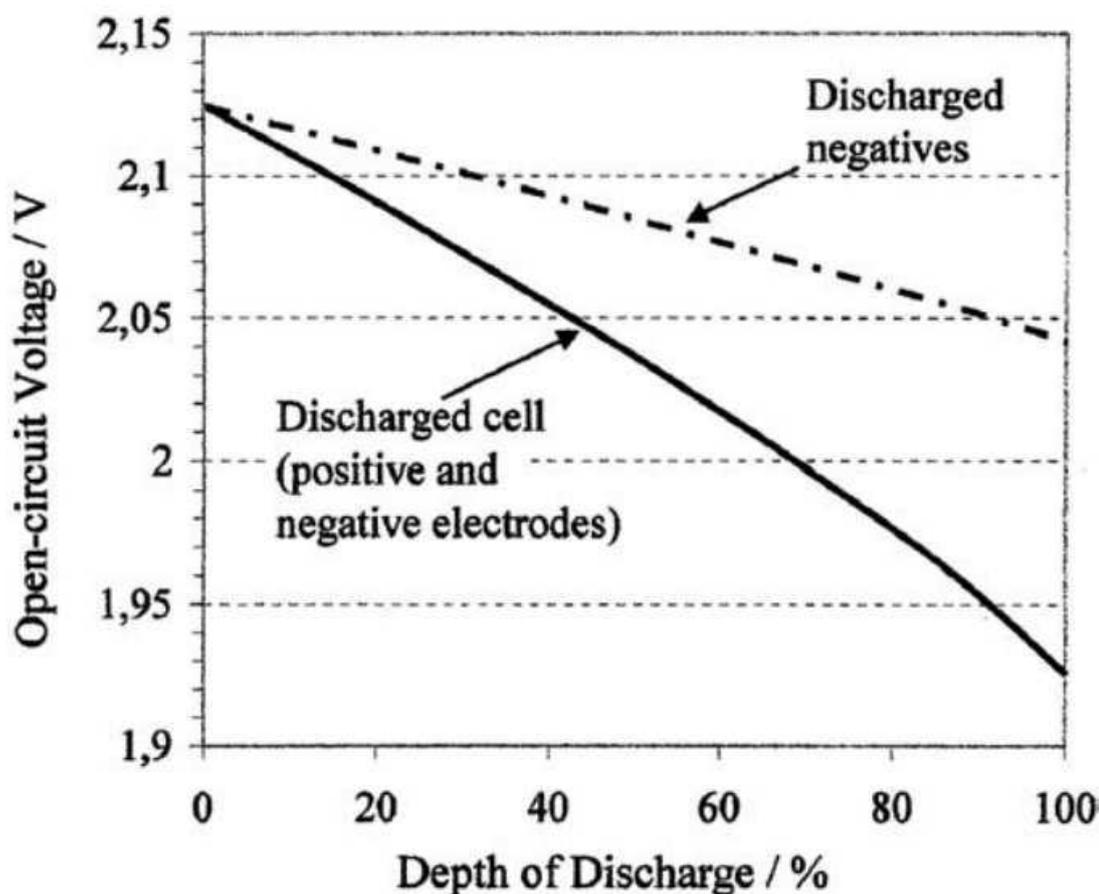
Dentre as principais características elétricas de uma bateria pode-se citar a capacidade de fornecimento de corrente, ou capacidade da bateria, medida em ampéres-hora (Ah) e a tensão nos seus terminais.

Essas características apresentam variações que dependem de fatores externos, como a temperatura e a própria utilização da bateria (ciclos de cargas e descargas). Coelho define o ciclo de carga 100% como uma drenagem de corrente até o descarregamento total, e novamente uma injeção de corrente até que a bateria recupere 100% da carga.

Conforme (TRINDADE, 2006), a capacidade da bateria é reduzida em baixas temperaturas e aumentada para temperaturas acima de 25° C, porém a vida útil das baterias é reduzida em altas temperaturas.

O estado de profundidade de descarga (*Depth of Discharge - DOD*), ou inversamente, estado de carga (*State of Charge - SOC*), é outro parâmetro importante em relação

Figura 5: Tensão de circuito aberto vs DOD.



Fonte: (KIEHNE, 2003)

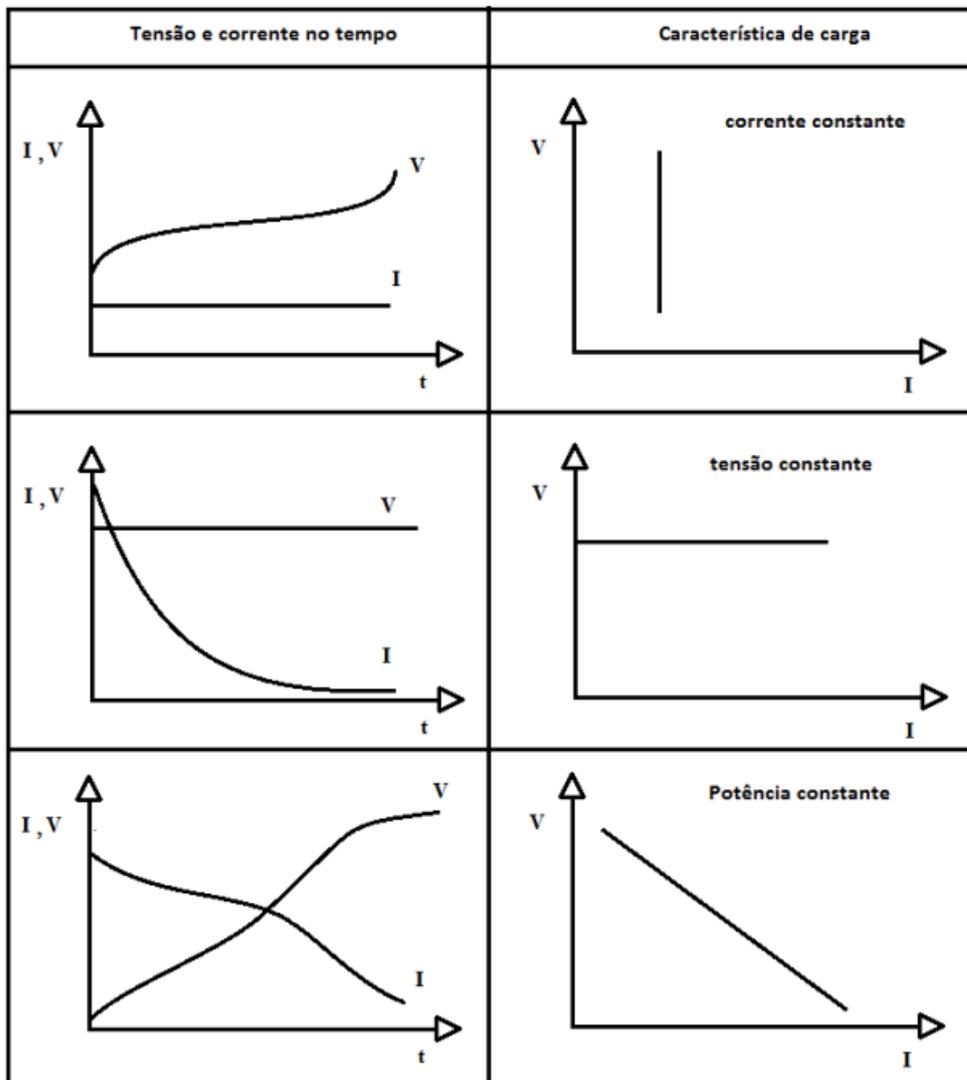
ao número de ciclos das baterias. Ele é referente à quantidade de carga (em Ah) retirada da bateria num ciclo de funcionamento sendo expressa em porcentagem da capacidade nominal, dessa forma pode-se determinar o quanto de carga existe, evitando sobrecargas ou descargas desnecessárias.

É possível determinar o DOD por meio da medição da tensão nos terminais da bateria em circuito aberto – para o caso de baterias de chumbo-ácido, ou por meio da medição da acidez do eletrólito. Deve-se salientar que isto não irá dizer se a bateria está boa, somente um teste de descarga poderá informar.

3.2 Método de carga

Na literatura existem três métodos de carga clássicos bem definidos, potência constante, corrente constante e tensão constante. As curvas que caracterizam estes métodos são expostas na Figura 6. Percebe-se que essa caracterização é feita sobre as curvas de corrente e tensão como também pelo tempo de carga.

Figura 6: Métodos clássicos de carga de bateria.



Fonte: (BASTOS, 2013)

O método de tensão constante consiste em aplicar uma tensão constante durante todo o processo de carga, fazendo com que a corrente decresça à medida que a bateria alcance sua carga plena. A principal desvantagem deste método é que ao iniciar o processo de carga a corrente pode adquirir valores elevados, ocasionando o aquecimento das placas. Dessa forma, se utilizado, deverá ser em pequenos intervalos de tempo, com limitação de corrente e supervisão da temperatura.

No método da corrente constante, a corrente injetada é constante e controlada. Dessa forma evita-se o aquecimento das placas, porém deve-se ficar atento a tensão, para evitar expor a bateria a tensões que ultrapassem os valores permitidos pelo fabricante para que ela não se deteriore.

Com o método de potência constante, mantém-se a relação $V \times I$ constante, sendo

assim, a tensão irá diminuir com o aumento de corrente. Segundo (KIEHNE, 2003), a corrente deverá ser limitada de forma que seja absorvida pela bateria, evitando aquecimentos excessivos. Este método também deverá ser realizado em pequenos intervalos de tempo.

De acordo com o exposto acima, percebe-se que existem dois fatores importantes que permeiam o processo de carga, são eles: temperatura e tensão terminal, visto que valores elevados de tais acarretarão na redução da vida útil da bateria. Há também métodos mistos, os quais são combinações dos métodos clássicos, como: método dos dois níveis de tensão, e métodos de carregamento rápido como o de corrente pulsada. (KIEHNE, 2003) acrescenta que as características de carga são influenciadas por distúrbios externos tais como, a frequência e a temperatura ambiente.

Parte III

Aspectos constructivos

4 Aspectos construtivos

Para atender às requisições do projeto, a carga e a descarga foram separadas em módulos diferentes. O módulo de carga consiste em um conversor *buck* controlado, enquanto o módulo de descarga é formado por um conjunto de chaves que, quando acionadas, inserem resistências em paralelo com as baterias, aumentando sua corrente de descarga em degraus. Para ajuste fino de corrente da descarga, são utilizados montagens com MOSFETs polarizados como seguidores de tensão. O diagrama da montagem pode ser observado na Figura 7.

4.1 Módulo de carga

O módulo de carga tem como entradas um PWM para controle da chave e um sinal digital para acionamento de um relé e, como saídas, as leituras analógicas de tensão nos terminais da bateria e a corrente no indutor. O acionamento do relé serve para remover o resistor utilizado para reduzir a corrente de carga do barramento capacitivo. O esquema do módulo pode ser observado na Figura 8 e a montagem na Figura 9.

O conversor foi montado com um indutor de $940\mu H$ e um capacitor na saída de $4700\mu F$. O fato da tensão nos terminais serem os mesmos do conjunto de baterias ligadas, a variação de tensão é drasticamente reduzida. Os outros dados do conversor estão presentes na tabela 1.

Tabela 1: Especificações do Conversor

Tensão de Entrada (V_s)	180 V
Tensão de Saída (V_o)	12/24/36 V
Corrente no Indutor (I_L)	De 0,5 a 25 A
Ondulação de Corrente no Indutor (ΔI_L)	0,596 A
Frequência de Chaveamento (f_s)	20 kHz

Fonte: o próprio autor

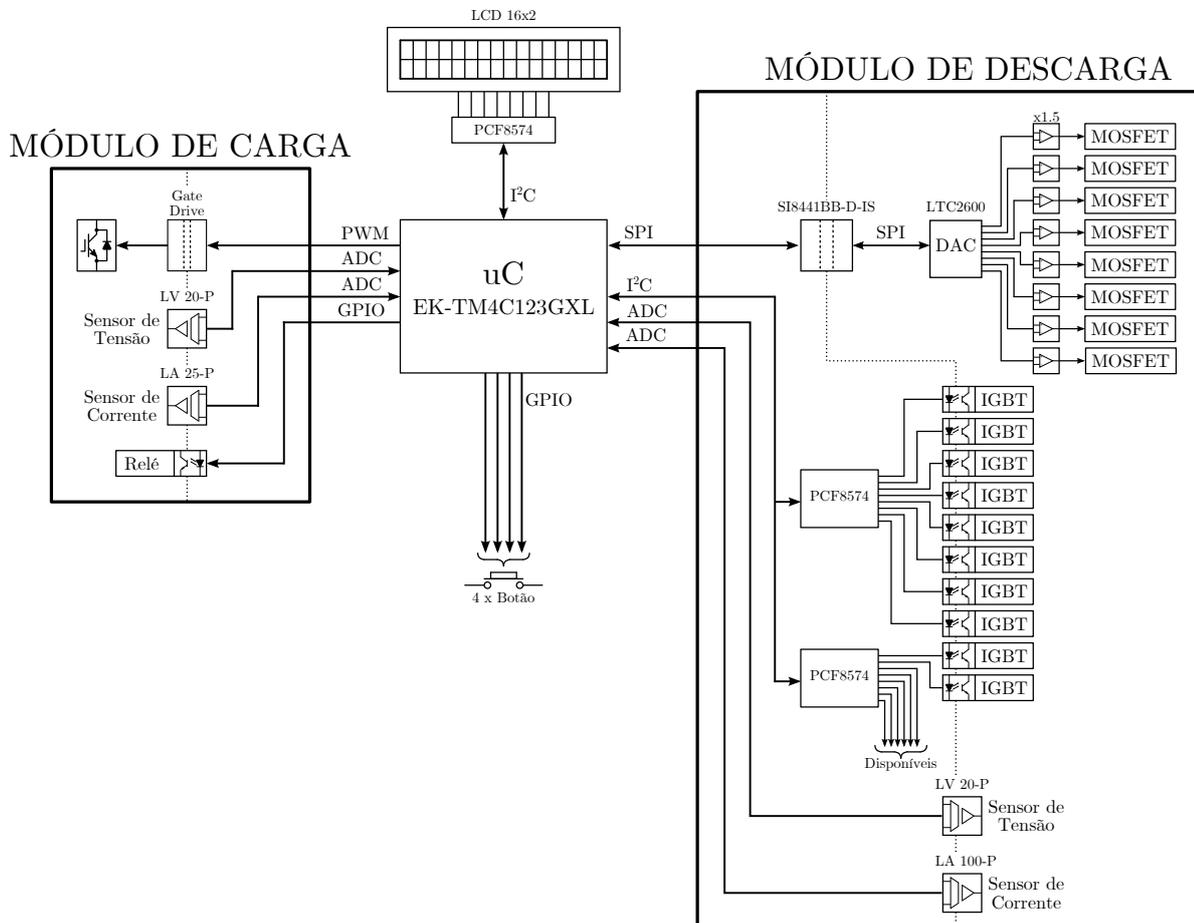
Utilizando as equações 2.3, o valor de *ripple* de corrente é:

$$\Delta I_L = \frac{(180 - 12)0,06667}{20 \times 10^3 \times 940 \times 10^{-6}} = 0,596 A \quad (4.1)$$

Para um indutor de 10 mH, o *ripple* seria:

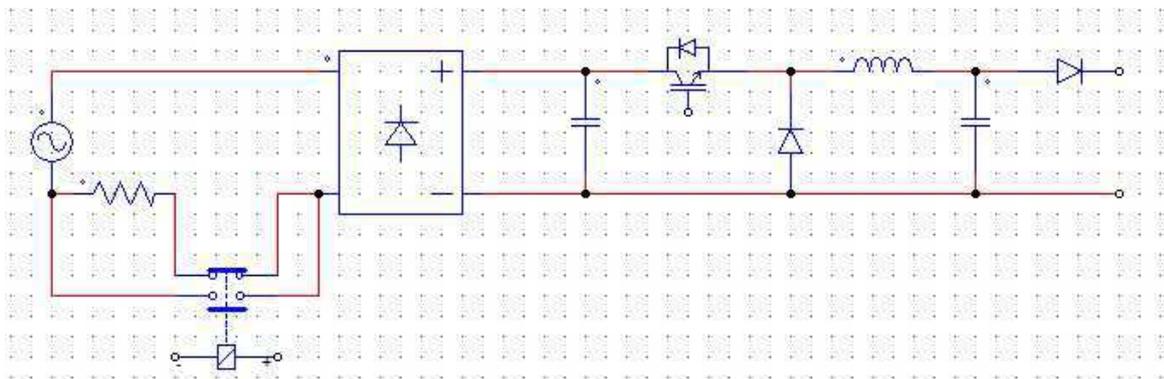
$$\Delta I_L = \frac{(180 - 12)0,06667}{20 \times 10^3 \times 10^{-2}} = 0,056 A \quad (4.2)$$

Figura 7: Diagrama de controle.



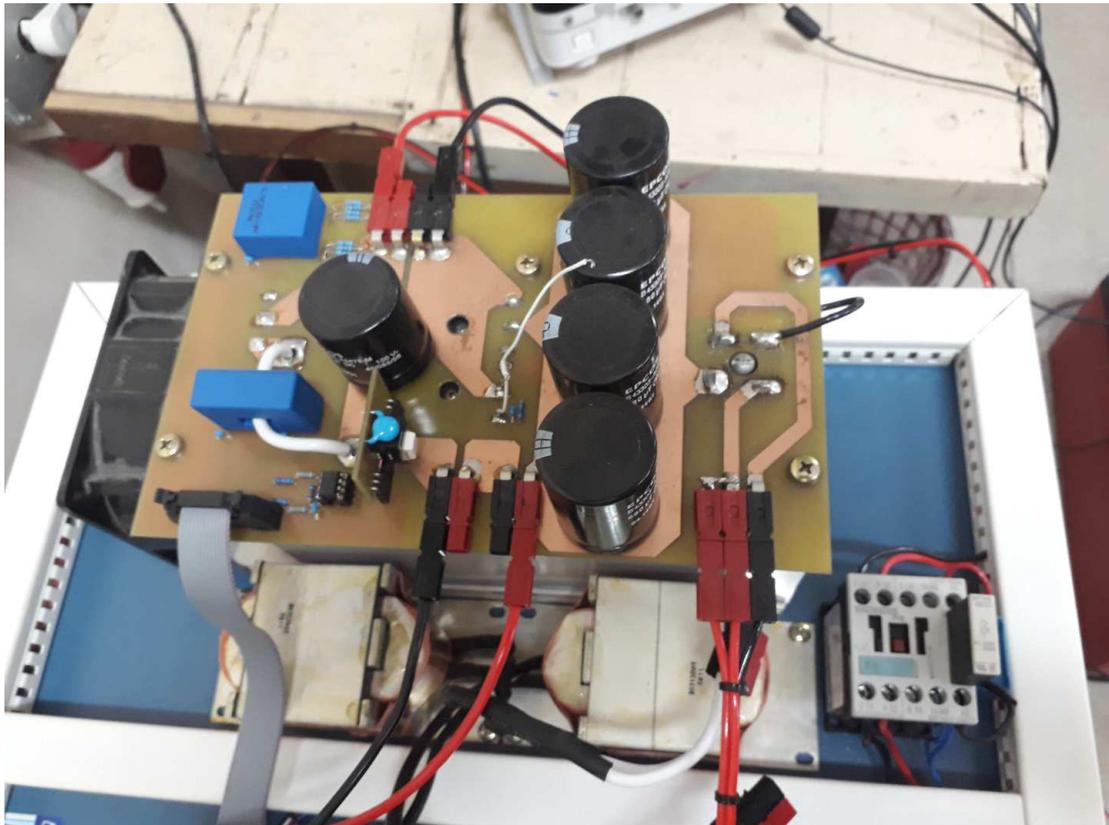
Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Esquema da carga.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9: Montagem da carga.



Fonte: Elaboração própria.

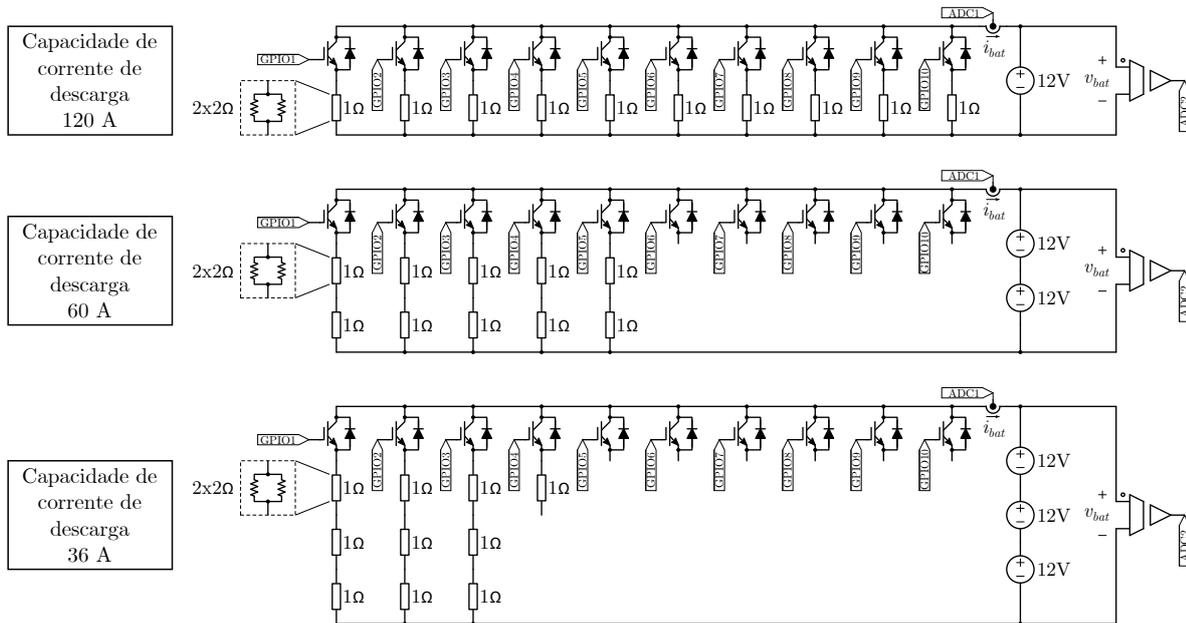
4.2 Módulo de descarga

No módulo de descarga, o controle da corrente é dada pela resistência equivalente ligada ao banco de baterias. As resistências são inseridas em paralelo às baterias por IGBTs. Cada módulo IGBT insere ou remove uma resistência equivalente a 1Ω . Assim, para cada canal IGBT acionado, seria drenada da bateria uma corrente equivalente à tensão dividida pela resistência. Para se adaptar à quantidade variável de baterias, relés são utilizados para inserir, por canal, a quantidade de resistências equivalente ao número de baterias no banco. Assim, por canal, se o banco contém 3 baterias, a resistência por canal passa de 1Ω para 3Ω . O esquema dessas ligações pode ser observado na Figura 10. Nas Figuras 11 e 12 estão as montagens respectivas dos canais IGBTs e das resistências utilizadas.

Para controlar o acionamento do conjunto de canais IGBTs, foi utilizado o expensor de entrada e saída digital, que se comunica com o microcontrolador por uma i^2c , PCF8574 da Texas Instruments, cujo datasheet pode ser encontrado em ([INSTRUMENTS](#),).

Na Figura 13 é possível verificar o esquema de polarização de cada canal MOSFET e, na Figura 14 a montagem de dois canais MOSFET. Cada canal tem a capacidade de drenar correntes entre 0 e 6 A. O controle dessa corrente é feita com a utilização do

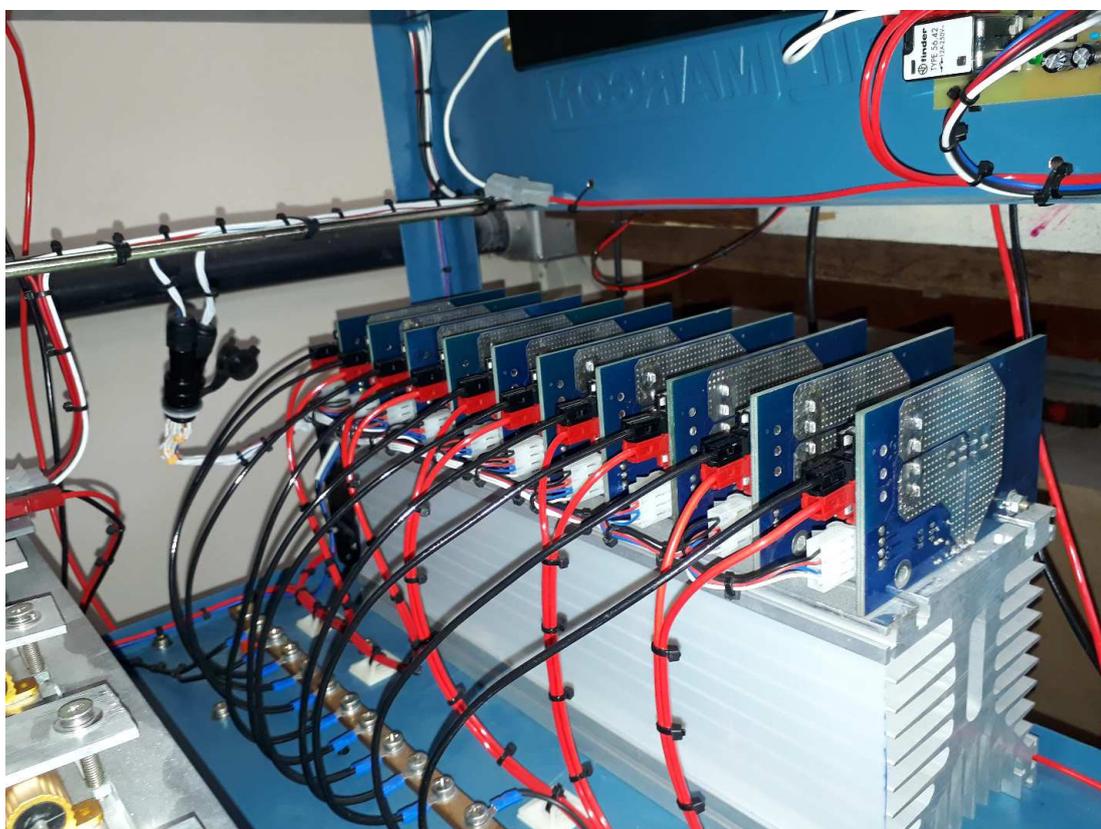
Figura 10: Diagrama da associação de IGBTs.



Fonte: Elaboração própria.

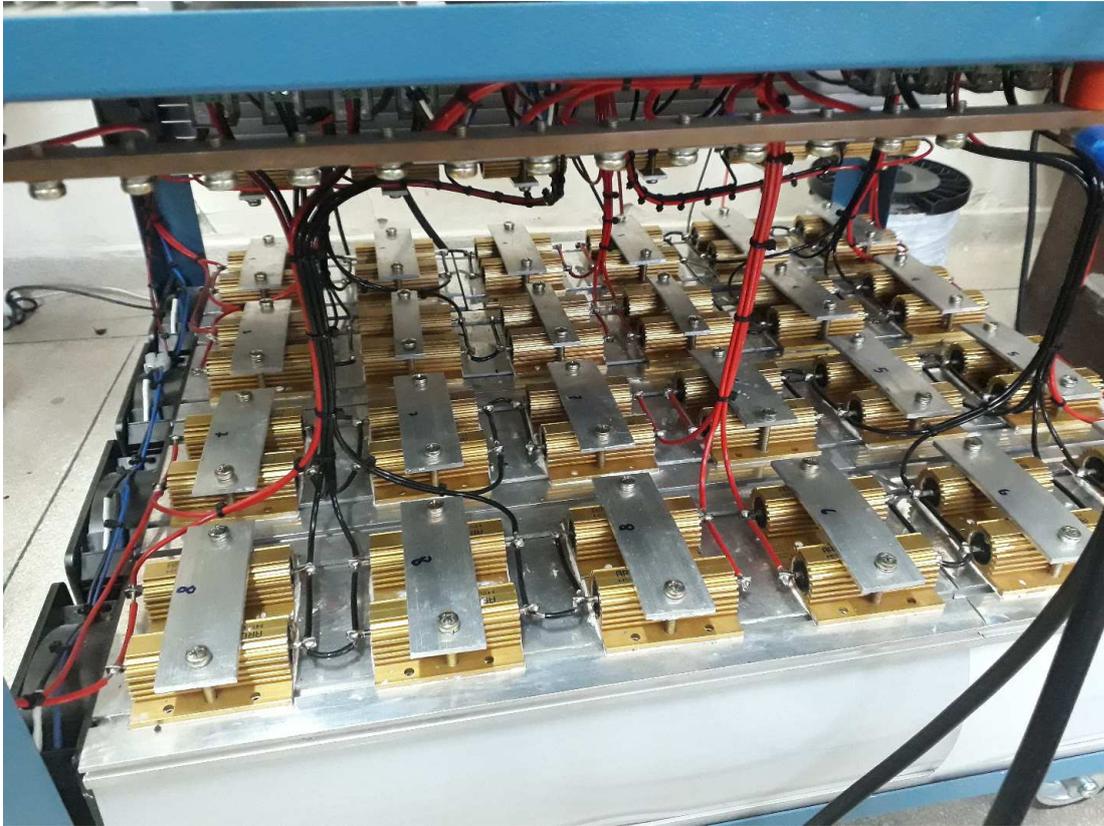
conversor digital analógico, que se comunica com o microcontrolador por uma comunicação SPI ([TECHNOLOGY](#),), LTC2600 da Linear Technology.

Figura 11: Montagem dos IGBTs.



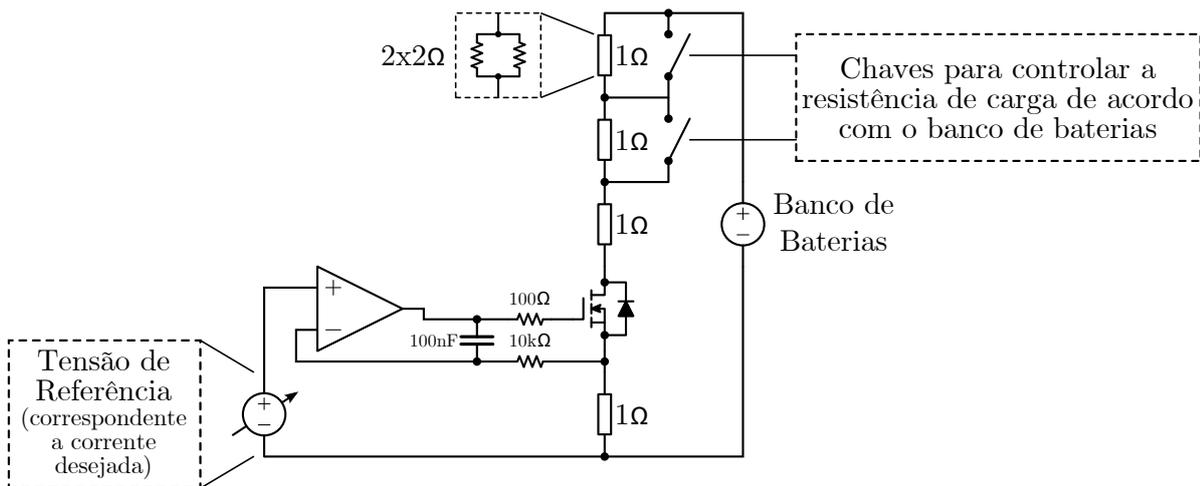
Fonte: Elaboração própria.

Figura 12: Montagem das resistências.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 13: Esquema de polarização dos MOSFETs.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14: Montagem dos MOSFETs.

image/MOSFETs.jpg

Fonte: Elaboração própria.

Parte IV

Atividades

5 Atividades

As atividades foram realizadas na sequência que segue:

- Realizar estudos sobre os sinais necessários à carga e descarga de baterias.
- Selecionar o microcontrolador a ser utilizado na implementação.
- Determinar a relação entre os componentes a serem controlados.
- Criar um gerenciador de tarefas para coordenar a relação entre as entidades modeladas.
- ConFigurar os periféricos do microcontrolador
- Criar um menu de conFigurações.
- Criar controladores de entidades para os módulos de carga e descarga
- Criar a lógica de negócios para realização de carga e descarga.

O microcontrolador selecionado foi o contido na TIVA TM4C123GH6PM. Dado que o microcontrolador contém os periféricos necessários, a escolha se deu por ganho de produtividade pela familiaridade com sua conFiguração e funcionamento.

5.1 O relacionamento de entidades

5.1.1 O gerenciador de tarefas

O tipo *taskManager_t* foi definido para conter uma lista de tarefas pré definidas, um identificador para tarefa em execução, um identificador para a próxima tarefa a ser executada, um identificador para o evento mais recente relacionado ao gerenciador de tarefas, um identificador para o evento mais recente relacionado ao menu, um controlador para o módulo de carga, um controlador para o módulo de descarga e um controlador de tempo.

```

1 struct TaskManager {
2     //Lista de tarefas definidas
3     task_t tasks [TASKS_NUMBER];
4     //Identificador da tarefa em execucao
5     taskID_t index;
6     //Identificador da proxima tarefa
7     taskID_t next_index;

```

```

8 //Evento mais recente do gerenciador de tarefas
9 event_t event;
10 //Evento mais recente do menu
11 menu_event_t menu_event;
12
13 //Controlador do modulo de descarga
14 discharge_controller_t discharge_controller;
15 //Controlador do modulo de carga
16 charge_controller_t charge_controller;
17 //Controlador de tempo
18 time_controller_t time_controller;
19
20 };

```

5.1.2 As tarefas

O tipo *task_t* foi definido para conter um ponteiro para um número inteiro de 32 bits que pode ser utilizado como *stack pointer*, um identificador, um inteiro de 8 bits para determinação da ordem de prioridade de execução, um identificador de status de execução e um ponteiro para uma função do tipo void que deve executar a ação para qual a tarefa foi criada.

```

1 struct Task {
2 //Stack pointer
3 volatile uint32_t *sp;
4 //Identificador
5 taskID_t id;
6 //Prioridade
7 uint8_t priority;
8 //Status
9 taskStaus_t status;
10 //Ponteiro para a funcao
11 TaskCallback callback;
12 };

```

5.1.3 O controlador de descarga

O tipo *discharge_controller_t* foi definido para conter um identificador do modo de operação, podendo ser contínua ou pulsada, um inteiro de 8 bits para a quantidade de baterias, uma lista de canais IGBT, um inteiro de 8 bits para contagem de canais IGBT ativos, dois canais MOSFET, um identificador para unidade de tempo utilizada, um float para medição e corrente e outro para medição de tensão.

Para o modo de descarga contínua, o modelo tem um float para referência de corrente, um inteiro de 32 bits para a duração do ensaio, um inteiro de 8 bits para

compensação de atrasos e um inteiro de 64 bits para registro do início do teste.

Para a descarga pulsada, o modelo conta com uma lista de pulsos a serem executados, um inteiro de 8 bits para identificação do pulso sendo executado, um inteiro de 16 bits para registro da quantidade de pulsos diferentes e um inteiro de 16 bits para registro da quantidade de vezes que os pulsos serão executado em ciclos.

O tipo *pulse_t* foi modelado para conter um valor lógico para verificação da execução do pulso alto e outro para o pulso baixo, um valor float para a amplitude do pulso alto e outro para o pulso baixo, um inteiro de 32 bits para registro da duração de tempo do pulso alto e outro do pulso baixo, um inteiro de 8 bits para compensação de atrasos do pulso alto e outro para o pulso baixo, um inteiro de 64 bits para registro do início do pulso alto e outro para o pulso baixo.

O tipo *igbt_channel_t* foi modelado para conter uma variável para registro de estatus, que pode ser habilitado ou desabilitado, um float para a resistência do canal, um float para a corrente que pode passar pelo canal, uma variável para registro do pino do expansor ao qual o canal é conectado, um ponteiro para a estrutura do expansor PCF8574 e duas variáveis para a estrutura dos relés que são utilizados para inserir ou remover resistências no canal, de acordo com o número de baterias.

O tipo *MOSFET_channel_t* foi modelado para conter uma variável do tipo float para referência de corrente que deve passar pelo canal e uma estrutura para controle do conversor digital analógico.

```

1 struct MOSFETChannel{
2     float reference;           //A referencia deve ser limitada entre 0 e 5V
3     ltcOutput_t ltcOutput;
4     ltc2600_t *DAC;
5     relayi2c_t relay [2];
6 };

```

```

1 struct IGBTChannel{
2     igbt_status_t status;
3     float resistance;
4     float current;
5     pcf8574Pins_t pin;
6     pcf8574_t *pcf8574Base;
7     relayi2c_t relays [2];
8
9 };

```

```

1 struct Pulse{
2     //Flag para indicacao da finalizacao do pulso alto
3     bool high_pulse_complete;
4     //Flag para indicacao da finalizacao do pulso baixo
5     bool low_pulse_complete;

```

```

6 //Amplitude do pulso baixo em Ampere
7 float high_pulse_amplitude;
8 //Amplitude do pulso baixo em Ampere
9 float low_pulse_amplitude;
10 //Duracao do pulso alto
11 uint32_t high_pulse_duration;
12 //Compensacao de tempo do pulso alto
13 uint8_t high_pulse_time_compensation;
14 //Inicio do pulso alto
15 uint64_t high_pulse_start;
16 //Duracao do pulso baixo
17 uint32_t low_pulse_duration;
18 //Compensacao de tempo do pulso baixo
19 uint8_t low_pulse_time_compensation;
20 //Inicio do pulso baixo
21 uint64_t low_pulse_start;
22 };

1 struct DischargeController{
2 //Modo de operacao [continua/pulsada]
3 discharge_control_mode_t control_mode;
4 uint8_t battery_number;
5 float cc_reference; //Referencia de corrente para
descarga cc
6 pulse_t pulses[MAX_PULSES_NUMBER]; //Pulsos
7 uint8_t pulse_index; //Pulso atual
8 uint16_t number_of_pulses; //Numero de pulsos altos e baixos
9 uint16_t number_of_cycles; //Numero de Ciclos de pulsos
10 time_unit_t time_unit; //Unidade de tempo [us/ms/s]
11 uint32_t cc_test_duration; //Duracao do teste cc
12 uint8_t time_compensation; //Compensacao de tempo do teste cc
13 uint64_t cc_test_start; //Inicio do teste CC
14 igbt_channel_t IGBTs[8]; //Canais IGBT
15 uint8_t active_igbt_channels; //Numero de canais IGBT ativos
16 MOSFET_channel_t MOSFETs[2]; //Canais MOSFET
17 float current; //Corrente medida
18 float voltage; //Tensao medida
19
20 };

```

5.1.4 O controlador de carga

O tipo *charge_controller_t* foi modelado para conter um valor float para referência de tensão, um valor float para a máxima corrente de carga e outro para a mínima, um float para a medição de corrente e outro para a medição de tensão, um inteiro de 8 bits

para registrar a quantidade de baterias, um controlador pi para controle de corrente e outro para controle de tensão.

O tipo *pi_controller_t* foi modelado, em espaço de estados, para conter um float para o estado atual do controlador, um float para a saída do controlador, um float para o período de amostragem, um float para o ganho proporcional e outro para o ganho integral.

```

1 struct PI_controller{
2
3     float state; //Estado do controlador
4     float out; //Saida do controlador
5
6     float sample_period; //Periodo de amostragem utilizado na discretizacao
7
8     float kp; //Ganho proporcional
9     float ki; //Ganho integral
10
11 };

1 struct ChargeController{
2
3     float voltage_reference; //Referencia de tensao
4     float max_current; //Maxima corrente
5     float min_current; //Minima corrente
6     float current; //Corrente medida
7     float voltage; //Tensao medida
8
9     uint8_t batery_number; //Numero de baterias
10
11     charge_control_mode_t control_mode; //Modo de controle [tensao/corrente]
12
13     pi_controller_t current_controller; //Controlador PI de corrente
14     pi_controller_t voltage_controller; //Controlador PI de tensao
15
16 };

```

5.1.5 O controlador de tempo

O tipo *time_controller_t* foi modelado para conter um inteiro de 64 bits para contar quantas interrupções ocorreram do *sysTick* e um inteiro de 32 bits para o registro da quantidade de ticks do relógio são necessárias para uma interrupção.

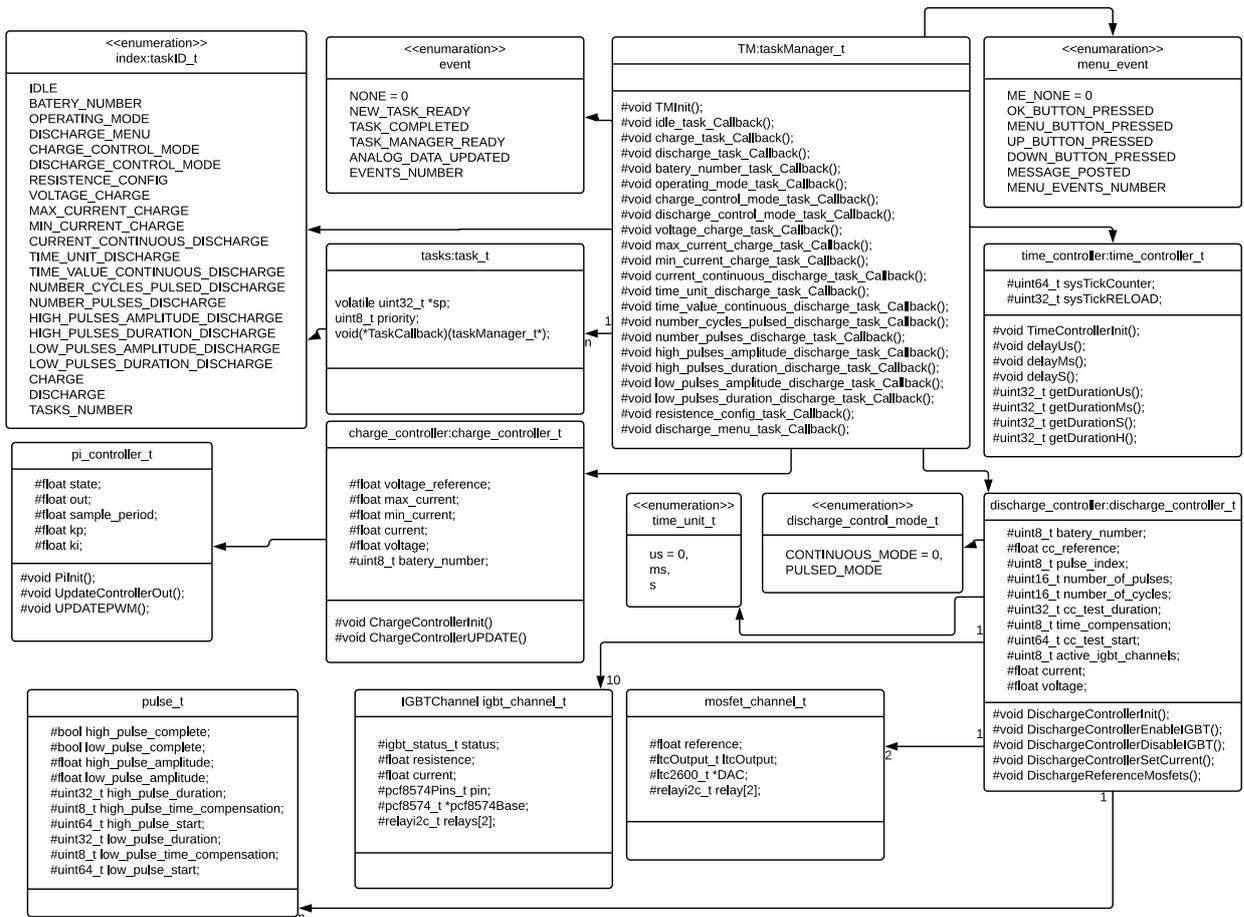
```

1 struct TimeController{
2     uint64_t sysTickCounter; //Conta as interrupcoes
3     uint32_t sysTickRELOAD; //Quantidade de ticks por interrupcao
4 };

```

O diagrama de relacionamento das entidades pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: UML.



Fonte: Elaboração própria.

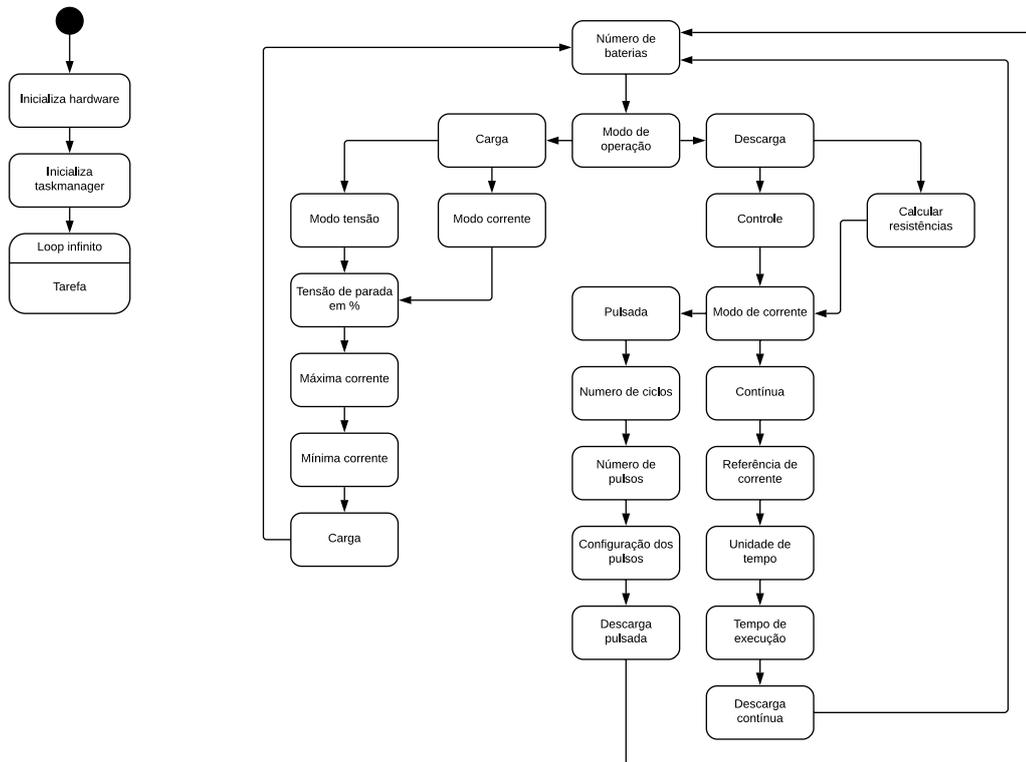
5.2 O funcionamento do sistema

O funcionamento do sistema pode ser acompanhado na Figura 16. Por uma questão de portabilidade, os problemas foram divididos em pequenas tarefas que, quando estabelecida uma ordem correta, resolvem o problema proposto. Desta forma, para transitar de uma tarefa para outra, basta indicar o próximo passo a ser executado na lista de tarefas.

O gerenciador de tarefas se comporta como um escalonador não-preemptivo que executa as tarefas até o fim. Desta forma, a ordem de execução das tarefas deve ser fixa e pré definida.

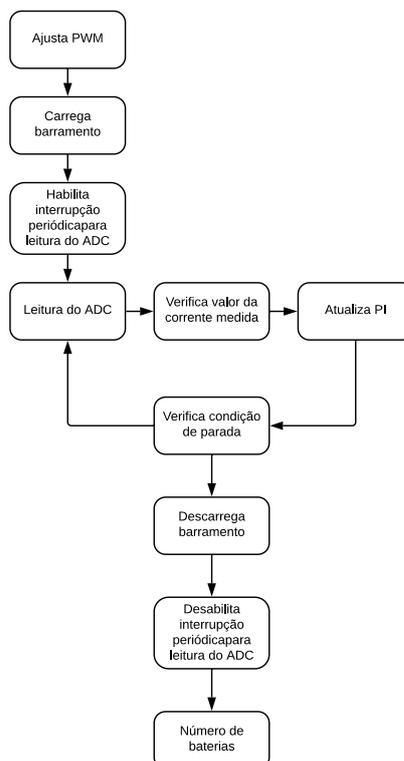
Mais detalhes do funcionamento das tarefas de carga e descarga podem ser observados nas Figuras 17 e 18

Figura 16: Sistema.



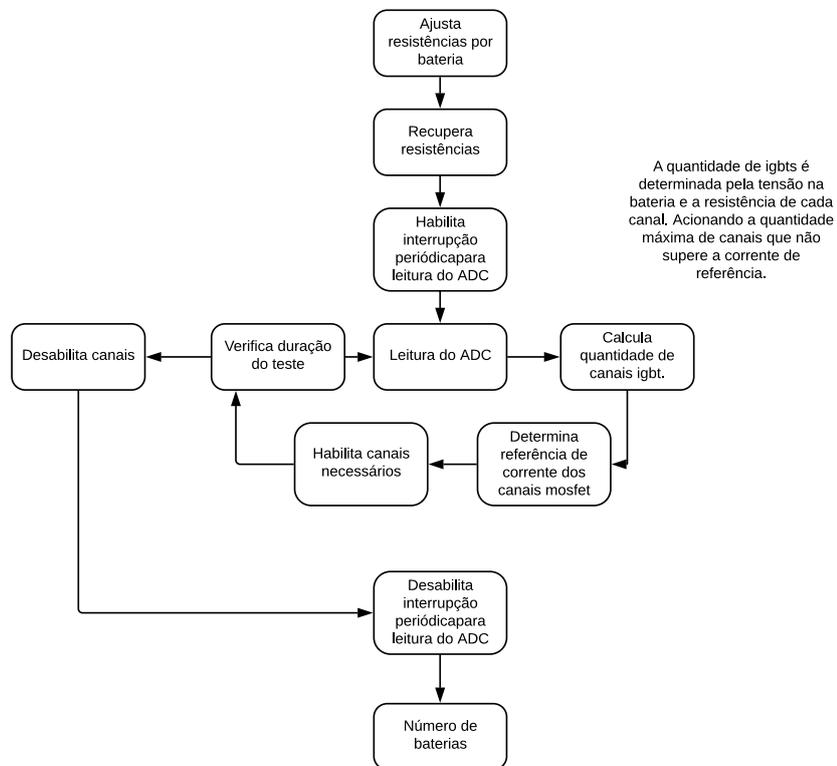
Fonte: Elaboração própria.

Figura 17: Detalhes da carga.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 18: Detalhes da descarga.

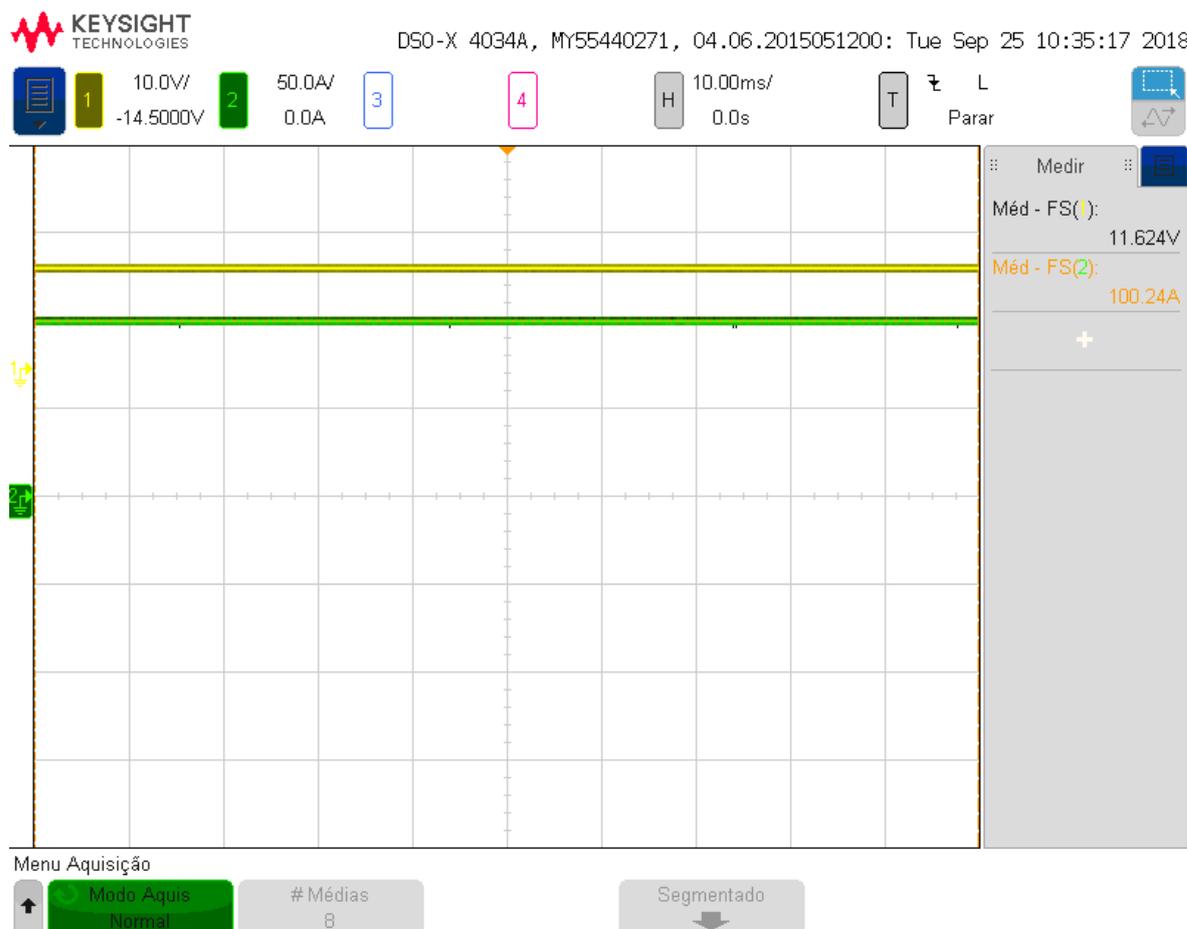


Fonte: Elaboração própria.

Parte V

Resultados

Figura 19: Teste de descarga contínua.

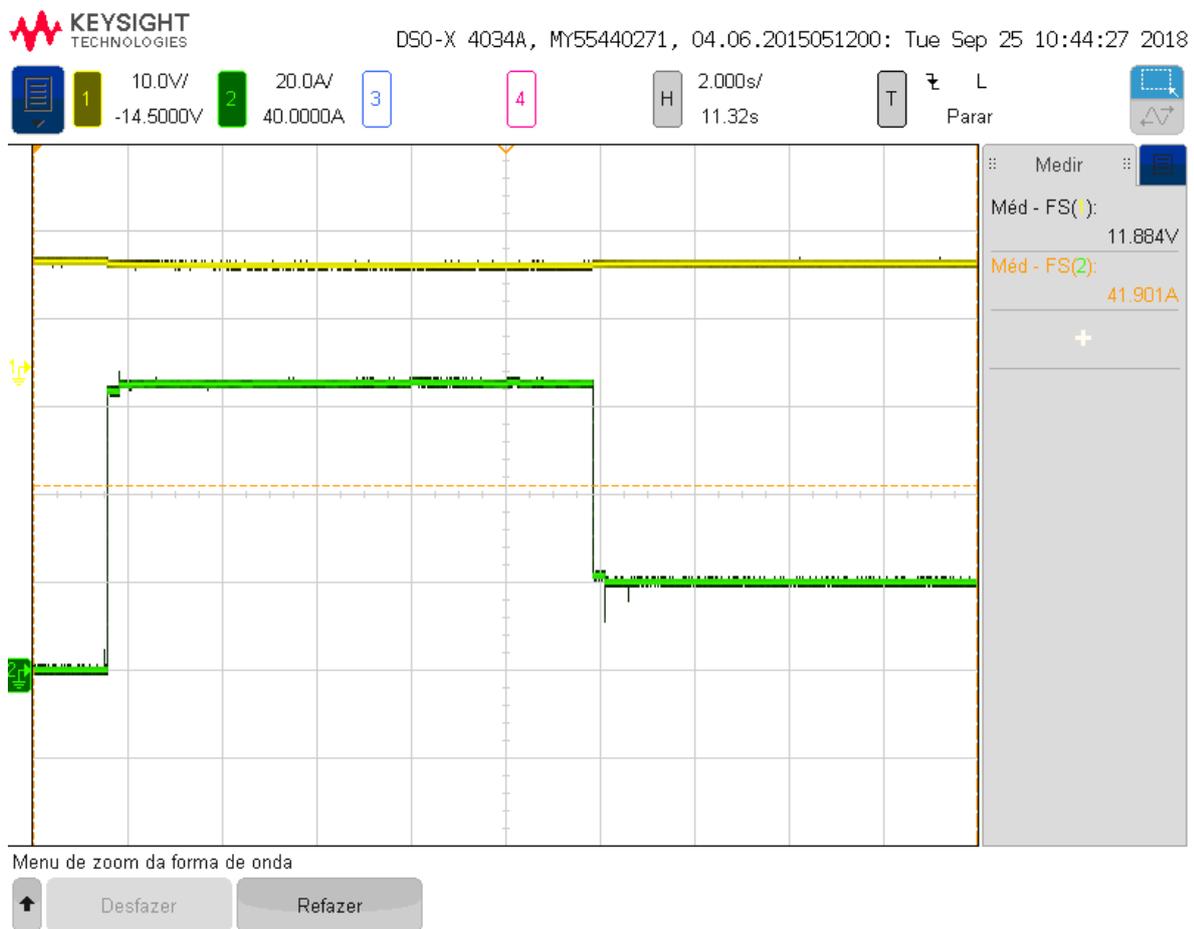


Fonte: Elaboração própria.

Após a implementação do sistema, os resultados contidos nas Figuras 19, 20 e 21, realizados com apenas uma bateria de chumbo-ácido, comprovam que o objetivo foi atingido. Na Figura 19, é possível observar que para uma referência de descarga contínua de 100 A a corrente medida foi de 100,24 A. Na imagem 20 é possível observar que a descarga pulsada segue a forma de onda determinada, contendo um pulso alto de 65 A com 10 segundos de duração e um pulso baixo de 20 A com 8 segundos de duração.

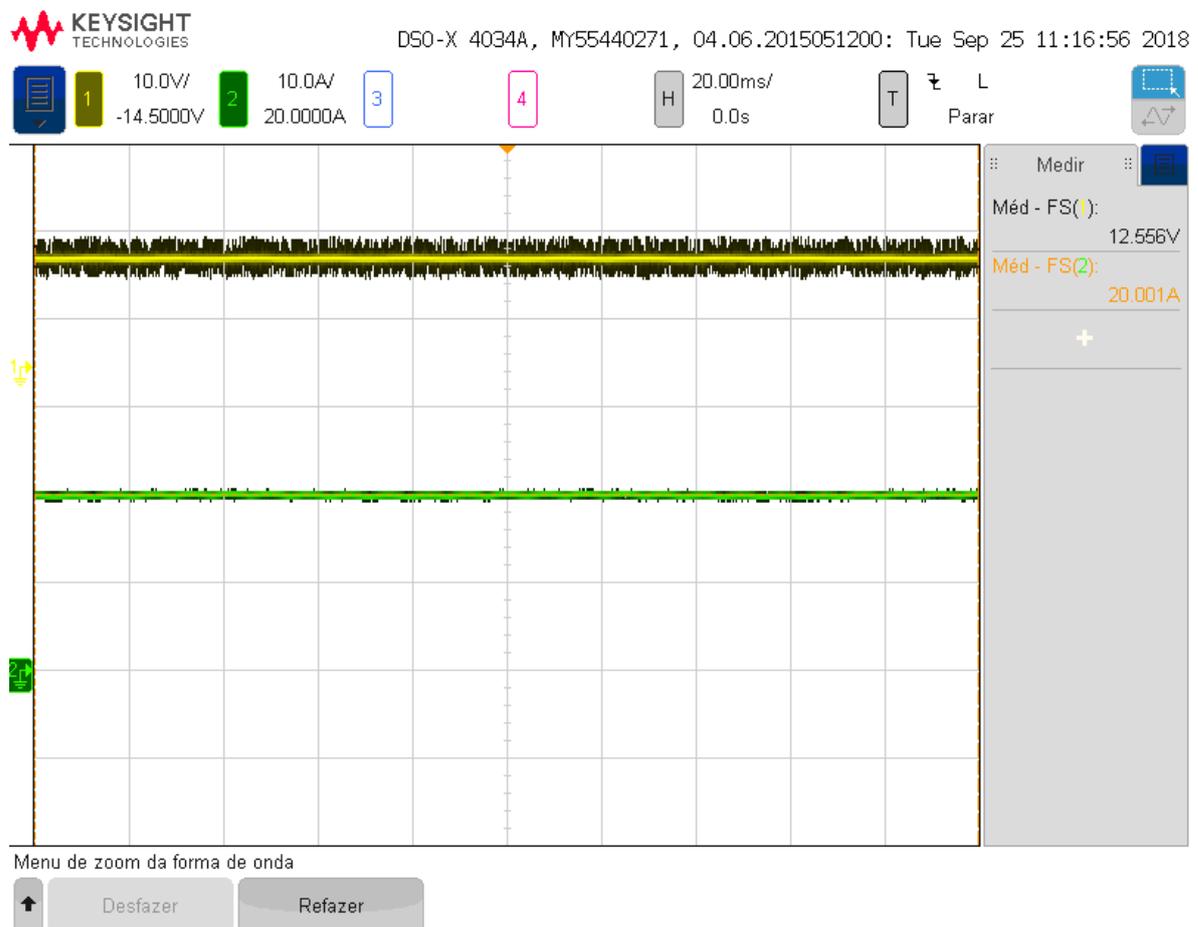
No ensaio que comprova o funcionamento do sistema de carga, uma corrente de referência de 20 A foi imposta, obtendo o valor medido de 20,001 A, que pode ser observado na Figura 21. Já na Figura 22, é possível observar o desempenho de subida e descida do controlador de corrente. Na descida, o tempo é menor pelo fato do fornecimento de energia ao conversor interrompido.

Figura 20: Teste de descarga pulsada.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 21: Teste de carga.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 22: Tempo de subida e descida da carga.



Fonte: Elaboração própria.

Conclusão

Ao realizar os testes, foi possível concluir que a facilidade de utilizar o expensor de entrada e saída *i²c* PCF8574 para economizar o uso de pinos do microcontrolador acabou acarretando em prejuízo no desempenho da descarga. Provando que esse tipo de comunicação é mais adequada para pequenas distâncias, a troca de informações entre a TIVA TM4C123G e o expensor foi prejudicada, acarretando travamentos em todo o circuito que dependia da *i²c*. Para resolver este problema, planeja-se substituir esta conexão por uma RS-485, que é mais robusta em relação aos ruídos, para controle dos pinos de microcontroladores menores e mais baratos, como PICs.

Em relação à carga, dado que o *ripple* com a indutância de $940 \mu H$ é maior que a diferença mínima de uma referência de corrente para outra, se fez necessário a mudança para um indutor maior para garantia do funcionamento do controle.

O sistema embarcado pode ser melhorado de maneira significativa se o gerenciador de tarefas puder ser acessado de qualquer setor do código, evitando a necessidade de passar essa variável por parâmetro em todas as tarefas.

Referências

- BASTOS, R. F. *Sistema de gerenciamento para carga e descarga de baterias (chumbo-ácido) e para busca do ponto de máxima potência gerada em painéis fotovoltaicos empregados em sistemas de geração distribuída*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013. Citado na página 16.
- HART, D. W. *Eletrônica de Potência: análise e projetos de circuitos*. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2016. Citado na página 9.
- INSTRUMENTS, T. *PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I2C Bus*. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf>. Online; acessado em 25 de setembro de 2018. Citado na página 23.
- INSTRUMENTS, T. *Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage*. [S.l.]: Agosto, 2012. Citado na página 9.
- KIEHNE, H. A. *Battery technology handbook*. [S.l.]: CRC Press, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 17.
- TECHNOLOGY, L. *LTC2600/LTC2610/LTC2620*. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2600fe.pdf>. Online; acessado em 25 de setembro de 2018. Citado na página 24.
- TRINDADE, R. H. L. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto satélite universitário, itasat. *12o Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA-XII ENCITA*, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.