

Mateus Costa Lucena

Documentação Descritiva de uma Plataforma para Ensaio de Baterias Chumbo Ácido

Campina Grande - Paraíba

Fevereiro de 2017

Mateus Costa Lucena

Documentação Descritiva de uma Plataforma para Ensaio de Baterias Chumbo Ácido

Relatório de Estágio Supervisionado submetida a Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Departamento de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Antonio Marcus Nogueira Lima

Campina Grande - Paraíba

Fevereiro de 2017

Lucena, Mateus Costa

Documentação Descritiva de uma Plataforma para Ensaio de Baterias Chumbo Ácido/ Mateus Costa Lucena. – Campina Grande - Paraíba, Fevereiro de 2017-
67 p. : il.

Orientador: Prof. Antonio Marcus Nogueira Lima

Relatório de Estágio Supervisionado
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

1. Conversor bidirecional. 2. Controle de carga e descarga 3. Eletrônica de Potência.
4. Baterias Chumbo Ácido. I. Título.

Mateus Costa Lucena

Documentação Descritiva de uma Plataforma para Ensaio de Baterias Chumbo Ácido

Relatório de Estágio Supervisionado submetida a Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Campina Grande - Paraíba, 3 de março de 2017:

Prof. Antonio Marcus Nogueira Lima
Orientador

Avaliador

Campina Grande - Paraíba
Fevereiro de 2017

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados ao professor Antonio Marcus, em razão da oportunidade de desenvolvimento ofertada, e o apoio as atividades desenvolvidas.

Os agradecimentos especiais são direcionados particularmente ao professor Alexandre Cunha, e também a todos aqueles que compõem o Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), por contribuírem para a formação de um ambiente colaborativo.

Resumo

Este relatório de estágio apresenta a documentação descritiva da plataforma para ensaios de baterias chumbo ácido desenvolvida por meio de pesquisa fomentada pela empresa Moura S.A. entre os anos de 2013 a 2015. O desenvolvimento deste projeto foi realizado por um grupo de estudantes em conjunto com professores do departamento de engenharia elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba, Brasil. A plataforma desenvolvida compreende um conversor bidirecional fazendo a função de controle de carga e descarga de baterias chumbo-acido, um tanque hidrotérmico, com circuitos de refrigeração e aquecimento, e um computador servidor, que realiza a comunicação, controle centralizado e monitoramento do sistema elétrico e de temperatura. Esta documentação inclui a descrição dos diagramas elétricos de acionamento, dos circuitos de refrigeração do tanque hidrotérmico e da estrutura do conversor projetado. Esta documentação tem por objetivo facilitar a fundamentação necessária para que um usuário não experiente possa fazer uso da plataforma.

Palavras-chave: documentação. plataforma para ensaios. baterias.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ilustração do esquema simplificado da plataforma de ensaio.	15
Figura 2 – Ilustração do conversor trifásico controlado com fluxo bidirecional. . . .	17
Figura 3 – Ilustração do modelo elétrico simplificado de uma bateria.	20
Figura 4 – Diagrama de blocos da estratégia de controle de corrente na bateria. . .	21
Figura 5 – Diagrama de blocos da estratégia de controle de tensão no barramento.	21
Figura 7 – Fotografia do compressor hermético.	27
Figura 8 – Fotografia do recipiente de líquido refrigerador.	28
Figura 9 – Fotografia da bomba centrífuga hydrobloc P500T.	28
Figura 10 – Fotografia do filtro seco ADK 163.	29
Figura 11 – Fotografia do pressostato do tipo KP.	30
Figura 12 – Fotografia de um condensador resfriador a ar.	30
Figura 13 – Fotografia dos componentes do quadro de acionamento.	31
Figura 14 – Ilustração do módulo FieldLogger.	32
Figura 15 – Ilustração do inversor CFW08.	33
Figura 16 – Ilustração do inversor Altivar 31.	34
Figura 17 – Fotografia do contator CJX1B.	34
Figura 18 – Fotografia do disjuntor em uso.	35
Figura 19 – Ilustração de um relé miniatura.	35
Figura 20 – Fotografia do conversor de sinal.	36
Figura 21 – Fotografia da fonte de alimentação 24VDC delta.	37
Figura 22 – Fotografia da bancada de ensaio do conversor estático.	38
Figura 23 – Ilustração da tomada de 3 pinos padrão brasileiro.	39
Figura 24 – Recorte de dados relacionados aos fusíveis diazed.	40
Figura 25 – Fotografia das reatâncias em uso na bancada.	41
Figura 26 – Placa de instrumentação e controle do conversor.	41
Figura 27 – Placa de instrumentação e controle do conversor.	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação do compressor hermético - faixa da temperatura(Embraco, 2009).	26
---	----

Sumário

	Introdução	11
I	INTRODUÇÃO A PLATAFORMA DE ENSAIO	14
1	PLATAFORMA DE ENSAIO DE BATERIAS	15
2	CIRCUITO PARA CARGA E DESCARGA DE BATERIAS	17
2.1	Modelo matemático	17
2.1.1	Sistema trifásico	17
2.1.2	Capacitor e comutação das chaves	18
2.1.3	Filtro LCL	18
2.1.4	Bateria	20
2.2	Estratégias de controle	20
2.2.1	Controle de corrente	20
2.2.2	Controle em cascata do retificador trifásico	21
II	DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA DE ENSAIO	24
3	CIRCUITO HIDROTÉRMICO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA	25
3.1	Tanque de banho termostizado controlado	25
3.1.1	Compressor hermético - MT22JCL3	26
3.1.2	Recipiente com líquido refrigerador - S-8064J	27
3.1.3	Bomba hydrobloc P500T	28
3.1.4	Filtro secador - ADK163	29
3.1.5	Pressostato tipo KP	29
3.1.6	Condensador resfriado a ar	30
3.2	Quadro elétrico de comando e controle	31
3.2.1	Módulo de aquisição e registro de dados - FieldLogger	32
3.2.2	Inversor de frequência - CFW08	33
3.2.3	Inversor de frequência - Altivar 31	33
3.2.4	Contator de potencia tripolar - CJX1B	34
3.2.5	Disjuntor termomagnético tripolar - tipo DIN	34
3.2.6	Relé Miniatura 15A - AT1RC3	35
3.2.7	Conversor de sinal	36

3.2.8	Fonte de alimentação 24VDC	36
4	CIRCUITO PARA CARGA E DESCARGA DE BATERIAS	38
4.1	Tomada tripolar	39
4.2	Fusível diazed - tipo 5SB2 81	40
4.3	Reatância Monofásica	40
4.4	Placa de instrumentação e controle	41
4.5	Projeto de conversor	42
III	ESQUEMA DE CONEXÕES	43
5	CONSIDERAÇÕES DESCRITIVAS E FUNCIONAIS	64
5.1	Tanque de banho termotizado controlado	64
5.2	Quadro elétrico de comando e Controle	64
6	PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66

Introdução

Nos dias atuais, as baterias ou acumuladores de energia assumem um papel cada vez mais importante devido a sua grande aplicabilidade. Dentre os vários tipos de baterias existentes atualmente no mercado, as baterias de chumbo-ácido são mais comumente usadas por armazenar uma quantidade relativamente grande de energia com um baixo custo. Aplicações típicas de bateria chumbo-ácido incluem: veículos elétricos, veículos convencionais, sistemas ininterruptos de energia, backups de energia para sistemas de comunicações, entre outros (LIANG et al., 2001).

Uma importante etapa na fabricação de uma bateria consiste no seu processo de formação. O processo de formação se dá através do suprimento de energia, de um modo geral em tensão e/ou corrente contínua. Durante esta etapa, pode-se melhorar dentre outros aspectos, o ciclo de vida da bateria. Com isso, várias técnicas de cargas têm sido propostas e/ou aperfeiçoadas (CHENG; CHEN, 2003)(JIANG; DOUGAL, 2004)(DÍAZ et al., 2004)(HUANG et al., 2005)(CHEN et al., 2010)(CHIU et al., 2006), além disso, uma gama de conversores tem sido proposta com a finalidade de aumentar a eficiência de conversão de energia e diminuir o tempo de carga das baterias (TAO et al., 2006)(SCHUCH et al., 2006)(WANG; CHUANG, 2007)(CHEN et al., 2008)(CHUANG; KE, 2008).

Motivação

O sistema de retificação denominado SPM (Sistema Pulsante Moura) é empregado atualmente para o suprimento de energia no processo de formação de baterias de chumbo-ácido na empresa Moura (ACORDO..., 2012). Apesar de o SPM ser bastante funcional, apresenta várias desvantagens, onde as principais são: fluxo de potência unidirecional (da rede elétrica para baterias); retificação não controlada (corrente com altas componentes harmônicas de baixa ordem); elevada corrente de neutro; Sistema desbalanceado/desequilibrado.

A presença de elevada corrente no neutro causa uma alimentação trifásica desequilibrada podendo se manifestar como degradação da potência útil disponibilizada nos processos de conversão e operação inadequada de equipamentos e sistemas. Desequilíbrios acentuados podem comprometer drasticamente o desempenho operacional de muitos equipamentos levando-os a posterior degradação.

Os desequilíbrios representam, portanto, reflexos imediatos nos custos operacionais dos equipamentos e sistemas elétricos podendo ocasionar grandes prejuízos financeiros relacionados com o aumento das perdas, interrupções de processos e queima de equipamentos

(TEODORO, 2005).

Como consequência pela presença de altas componentes harmônicas na entrada dos conversores, pode-se citar principalmente a diminuição do rendimento de conversão, pois sabe-se que para que se tenha uma perfeita transferência de potência entre fonte e carga, é necessário ter um perfeito comportamento senoidal das tensões e correntes. Além disso, tais distúrbios podem provocar falha no isolamento dos condutores devido ao maior aquecimento, falhas em equipamentos eletrônicos, interferência eletrônica, ruído, entre outros.

Apesar da Empresa Moura possuir filtros ativos que corrigem o fator de potência, essa correção é vista apenas pelo lado de alta tensão, não solucionando os distúrbios presentes nos conversores SPM. A forma mais adequada de reduzir e até eliminar estes problemas no sistema elétrico é o uso de um sistema que compense este comportamento indesejável, ou seja, um sistema que permita o perfil senoidal da tensão e da corrente se mantenha o mais fiel possível. Tais sistemas atuam diretamente compensando os harmônicos oriundos do sistema elétrico e a circulação de potência reativa, de forma que a fonte forneça apenas a potência ativa necessária.

Cooperação técnico-científica

Dentro do cenário exposto acima, o acordo de cooperação técnico científica celebrado entre a Acumuladores Moura S.A. (MOURA) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), teve como finalidade propor um conjunto de soluções, no que diz respeito ao sistema de conversão atualmente adotado pela empresa MOURA, visando diminuir ou até mesmo sanar alguns problemas atualmente encontrados. Servindo como uma proposta para ser implantado em futuras instalações da empresa ou até mesmo podendo ser utilizado em substituição ao SPM.

Para isso, foram analisados, circuitos de potência que atendessem a demanda da empresa MOURA no que diz respeito às especificações técnicas, sendo avaliados uma série de figuras de méritos para a escolha final do circuito de potência a ser empregado, tais como: preço; distorção harmônica da corrente da rede elétrica; capacidade de gerar fluxo bidirecional de potência; rendimento do conversor e complexidade de controle.

Uma vez definido o circuito de potência a ser empregado, integralizou-se as seguintes etapas de desenvolvimento: Simulação das soluções observadas na literatura técnicas; Projeto e especificação dos dispositivos utilizados; Construção de protótipo para validação experimental do estudo.

A solução adotada compõe fundamentalmente uma solução modular, capaz de ser aplicada a um número variável de baterias, demandando para isso adaptações não

estruturais (reprogramação de software). A plataforma desenvolvida compreende um conversor bidirecional fazendo a função de controle de carga e descarga de baterias chumbo-acido, um tanque hidrotérmico, com circuitos de refrigeração e aquecimento, e um computador servidor, que realiza a comunicação, controle centralizado e monitoramento do sistema elétrico e de temperatura. Desta forma, a plataforma construída permite avaliar o processo de carga e descarga de baterias, e ainda, em sua extensão, o processo de formação das baterias.

As atividades técnicas previstas no plano de trabalho do acordo de cooperação foram desenvolvidas nas dependências do Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), unidade acadêmica do Centro de Engenharia Elétrica e Informática (CEEI).

Programa de Estágio

O programa de estágio objetiva oferecer ao estudante a oportunidade de complementar sua formação por meio da familiarização com a plataforma de ensaios estruturada no LEIAM, permitindo dentro do contexto acadêmico, a promoção de ações de desenvolvimento que promovam aperfeiçoamento técnico e uma aproximação da experiência profissional. Ao mesmo tempo, sob processo de supervisão, espera-se ainda o desenvolvimento de competências e habilidades na área de eletrônica de potencia.

O programa do Estágio Supervisionado realizado contou com uma carga horária de 180 horas que foram integralizadas em 16 horas semanais, tendo seu início em 11 de novembro de 2016 e sendo finalizado em 28 de janeiro de 2017. O Estágio foi realizado nas instalações do LEIAM/UFCG.

O programa de estágio supervisionado foi desenvolvido na modalidade de estágio obrigatório, e apresentado a Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da UFCG em cumprimento as exigências para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica. As atividades desenvolvidas foram, em síntese: estudo e simulação da estrutura de projeto do conversor, estudo e simulação das estratégias de controle do conversor, reconhecimento da bancada de testes, descrição de sua estrutura de hardware e avaliação dos resultados. A descrição da estrutura de hardware inclui: esboço do esquema de conexões do quadro de acionamento, dos circuitos de refrigeração e das estruturas do circuito de carga e descarga do conversor.

O conjunto de atividades realizadas objetivou fundamentalmente a construção de um guia documentado que descreve os principais procedimentos e subsistemas utilizados na plataforma. Deste modo, enseja-se com o material produzido, facilitar a introdução de novos estudantes e pesquisadores na realização dos estudos e atividades viabilizados por meio da plataforma.

Parte I

Introdução a plataforma de ensaio

1 Plataforma de ensaio de baterias

A plataforma de ensaio estruturada nas dependências do Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM) permite a realização automática dos testes, sem necessidade de intervenção humana em qualquer estágio (a não ser em casos de eventos inesperados). Isto facilita sua execução dado que o alto número de cargas e descargas efetivados durante o processo de formação torna evidente que se trata de um experimento prolongado, podendo durar meses. O esquema simplificado da plataforma desenvolvida é apresentado na figura 1.

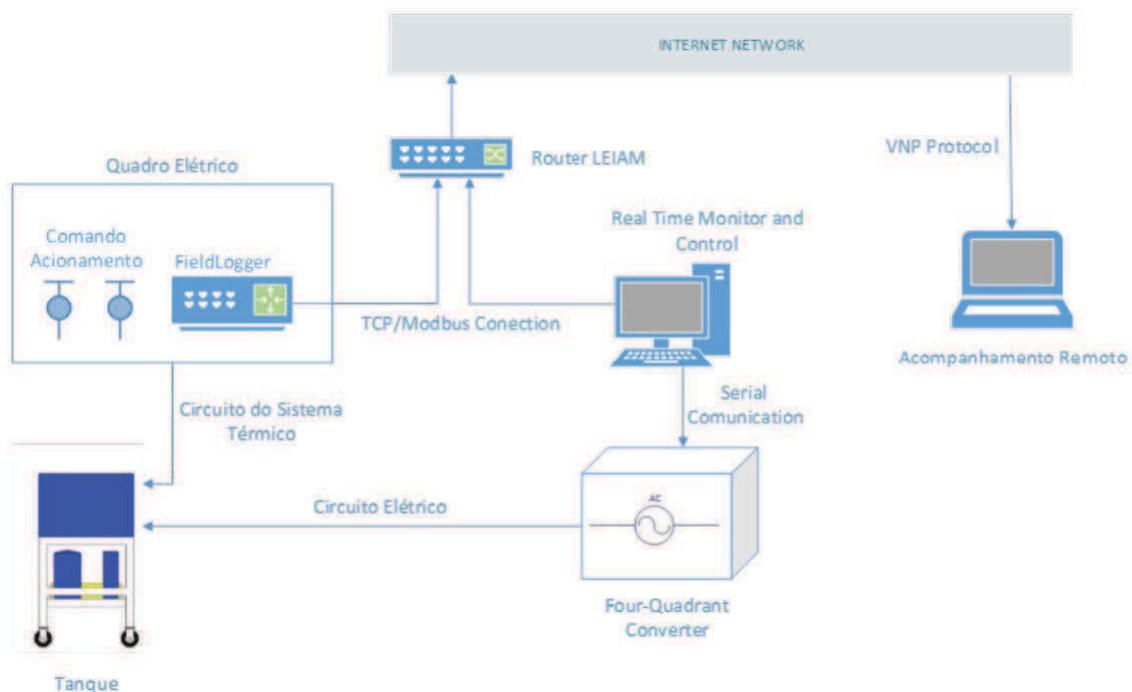


Figura 1 – Ilustração do esquema simplificado da plataforma de ensaio.

A plataforma incluiu um tanque hidrotérmico que realiza o banho termostático através de circuitos de aquecimento e resfriamento associadas à uma bomba de circulação. A plataforma conta ainda com um quadro elétrico de comando e controle. Os circuitos do tanque são acionados através do quadro e controlados por inversores, que são escravos de um FieldLogger, que realiza a medição, registro e controle da temperatura a partir de uma referências especificada. O monitor em tempo real contém as rotinas de software que realizam o ensaio. O monitor define as referências, realiza as amostragens elétricas e térmicas dos sistemas, registra, determina condições de falhas, e permite a comunicação remota para acompanhamento do experimento.

O plataforma compreende também um conversor estático desenvolvido para interface com as baterias. Este conversor permite a operação regenerativa de energia nos casos de

descarga. As comunicações empregadas são: ModBus sob TCP/IP com o quadro elétrico, e um protocolo customizado RS232. O algoritmo de controle do conversor é processado em um DSP da Texas Instruments® empregando uma placa da Digital Spectrum®. A programação é realizada em C++ e utiliza algumas bibliotecas pré-disponibilizadas pela Texas Instruments. Para programação e depuração do DSP é utilizado o Code Composer Studio®(CCS).

O esquemático da plataforma inclui ainda um software desenvolvido para acompanhamento remoto. A comunicação VPN empregada neste software permite acompanhar em tempo real os dados referentes ao experimento e as condições dos equipamentos, assim como gerar gráficos de dados anteriores para análise. Este permite interface com o MatLab® para realização de processamento de curvas utilizando os dados obtidos.

2 Circuito para carga e descarga de baterias

A literatura apresenta várias propostas de conversor para interface em sistemas com baterias (Tao et al., 2006; Schuch et al., 2006; Wang e Chuang, 2007; Chen et al., 2008; Chuang e Ke, 2008), onde maior parte foca na eficiência de conversão do sistema. A plataforma de ensaios estruturada emprega a solução apresentada na figura 2 (KETZER et al., 2016).

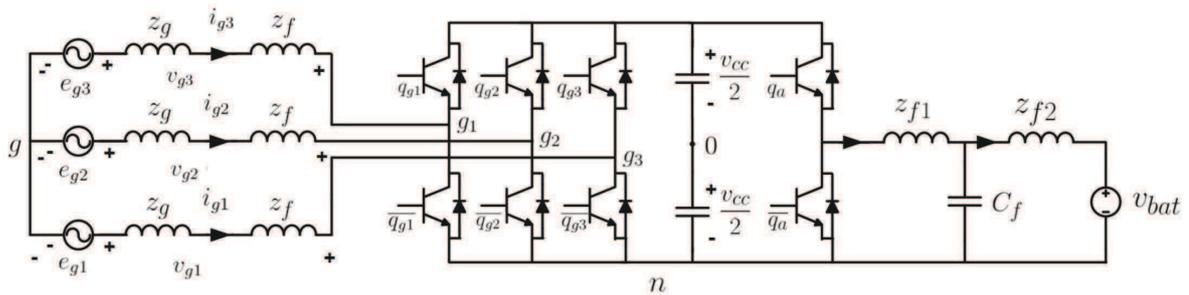


Figura 2 – Ilustração do conversor trifásico controlado com fluxo bidirecional.

O conversor é composto por um retificador trifásico controlado bidirecional em corrente com comando PWM (q_1 , q_2 e q_3). Este retificador tem por finalidade controlar o fator de potencia da rede e controlar a tensão do barramento DC. A segunda parte do conversor composta pelo braço formado pelas chaves q_a , \bar{q}_a tem por finalidade controlar a corrente da bateria e por sua vez controlar o fluxo de potencia.

2.1 Modelo matemático

2.1.1 Sistema trifásico

O sistema trifásico é representado pela fontes de tensão e_{gx} ($x = 1, 2, 3$) e as impedâncias da rede $z_g p L_g + R_g$ (o indutor equivalente L_g e o resistor R_g , e p é o operador derivada). As correntes da rede são dadas por i_{gx} . Os indutores acoplados possuem impedâncias $z_f = L_f p + R_f$. Estes indutores são associados em cumprimento aos propósitos de filtragem de harmônicos da rede. As tensões de polo são dadas por

$$v_{gx0} = (2q_x - 1) \frac{V_{cc}}{2} \quad (x = 1, 2, 3) \quad (2.1)$$

onde, q_x é o estado das chaves ($q_x = 1 \rightarrow$ chave fechada e $q_x = 0 \rightarrow$ chave aberta). Considerando um sistema trifásico simétrico, as tensões de polo do conversor são dadas por

$$v_{gx0} = v_{gx} + v_{g0} \quad (x = 1, 2, 3) \quad (2.2)$$

onde

$$e_{gx} = v_{gx} + z_g I_{gx} + z_f i_{fx} \quad (x = 1, 2, 3) \quad (2.3)$$

$$\sum_{x=1}^3 v_{gx} = 0 \quad (2.4)$$

$$v_{g0} = \frac{1}{3} \sum_{x=1}^3 v_{gx0} \quad (2.5)$$

e v_{g0} é a tensão homopolar. O modelo dinâmico equivalente no referencial estacionário é dado por

$$I_{gn} = \frac{E_{gn} - V_{gn}}{L_{gfs} + R_{gf}} \quad n = [d^s, q^s] \quad (2.6)$$

onde, d^s e q^s são as componentes ortogonais estacionárias, $R_{gf} = R_g + R_f$ e $L_{gf} = L_g + L_f$.

2.1.2 Capacitor e comutação das chaves

O estado do retificador trifásico é modelado por meio da comutação das chaves definida pelo sinal PWM gerado, o qual produz a corrente (i_{dc}) e a tensão (v_{dc}) no capacitor:

$$\overline{i_{dc}} = (q_1 i_{g1} + q_2 i_{g2} + q_3 i_{g3}) - q_a i_{bat} \quad (2.7)$$

$$\overline{v_{dc}} = \frac{1}{C} \int \overline{i_c} dt \quad (2.8)$$

2.1.3 Filtro LCL

A utilização de filtro passivos minimiza os harmônicos de tensão gerados através da modulação PWM, deste modo as correntes harmônicas eventualmente transmitidas a bateria são também atenuadas. Os filtros indutivos-capacitivos-indutivos(LCL) são amplamente utilizados por ter indutores menos volumosos e apresentarem uma atenuação de 40dB/década. Além disso, a segunda indutância(L_{f2}) reduz os transitórios de conexão. As equações que definem o comportamento do modelo são, no domínio do tempo:

$$v_{\bar{q}_a} - v_{cf} = L_{f1} \frac{di_{f1}}{dt} \quad (2.9)$$

$$v_{cf} = \frac{1}{C_f} \int i_{cf} dt \quad (2.10)$$

$$v_{cf} - v_{bat} = L_g \frac{di_{bat}}{dt} \quad (2.11)$$

no domínio de Laplace:

$$V_{\bar{q}_a}(s) - V_{cf}(s) = sL_{f1}I_f(s) \quad (2.12)$$

$$V_{cf}(s) = \frac{I_{cf}(s)}{sC_f} \quad (2.13)$$

$$V_{cf}(s) - V_{bat}(s) = sL_{f2}I_{bat}(s) \quad (2.14)$$

onde $v_{\bar{q}_a}$ é a tensão média na chave \bar{q}_a . A relação que explicita a corrente na bateria e a tensão do barramento DC é obtida considerando a bateria um circuito aberto desenergizado ($V_{bat} = 0$). Deste modo, reorganizando as equações 2.12,2.13,2.14 tem-se

$$\frac{I_{bat}(s)}{V_{\bar{q}_a}(s)} = \frac{1}{s(L_{f2} + L_{f1} + s^2C_fL_{f2})} \quad (2.15)$$

Reescrevendo em termos do polo ressonante

$$\frac{I_{bat}(s)}{V_{\bar{q}_a}(s)} = \frac{1}{C_fL_{f1}L_{f2}s(s^2 + \frac{L_{f1}+L_{f2}}{C_fL_{f1}L_{f2}})} \quad (2.16)$$

O filtro LCL apresenta portanto uma frequência de ressonância explicitada através dos polos complexos conjugados, de modo que:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_{f1} + L_{f2}}{C_fL_{f1}L_{f2}}} \quad (2.17)$$

Para fins de simplificação no projeto do sistema de controle do conversor, o filtro deve ser projetado de modo que a frequência de ressonância permaneça dentro de uma faixa que não crie problemas nas mais baixas e mais altas frequências, isto é, entre dez vezes a frequência da rede (f_{Hz}), e a metade da frequência de chaveamento (f_s) ($10f_{Hz} < f_{res} < 1/2f_s$) (LISERRE, 2001).

2.1.4 Bateria

O modelo simplificado de uma bateria elétrica encontra-se representado na figura 3. Este consiste em uma fonte de tensão ideal, representada por meio da tensão de circuito aberto, e uma resistência interna em série, que modela o efeito da queda de tensão nos seus terminais quando carregada.

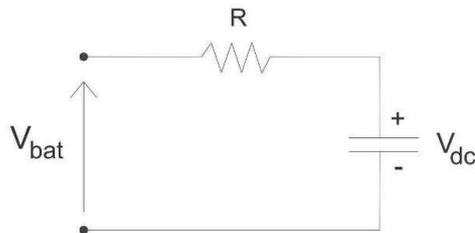


Figura 3 – Ilustração do modelo elétrico simplificado de uma bateria.

$$V_{bat} = RI_{bat} + V_{dc} \quad (2.18)$$

Este modelo não leva em consideração a variação da resistência interna, com a variação do estado de carga da bateria, nem a sua alteração em regime de carga ou descarga da bateria. Por isso é bastante limitado, podendo ser usado em situações onde o estado de carga não tem importância, assumindo uma carga ilimitada por parte da bateria.

A modelo da bateria sintetizado na forma de um circuito equivalente Thévenin é uma forma simples de exprimir o comportamento da tensão em vazio da bateria. Este tipo de modelo apresenta imprecisão nos resultados, uma vez que os valores dos componentes elétricos são fixos, o que não se verifica na realidade. De modo a melhor caracterizar esta representação, os modelos apresentados na literatura (DÜRR et al., 2006)(GAO; LIU; DOUGAL, 2002)(RAO; VRUDHULA; RAKHMATOV, 2003)(SALAMEH; CASACCA; LYNCH, 1992) buscam através de diferentes ferramentas matemáticas reproduzir as características que afetam o desempenho destes sistemas, sejam estas: estado de carga (SOC), estado de saúde (SOH), capacidade de armazenamento, perfil de descarga, temperatura, tempo de vida, etc.

2.2 Estratégias de controle

2.2.1 Controle de corrente

A corrente na bateria é controlada através de um regulador PI, o valor de referência dessa corrente é mantido de acordo com o plano de formação da bateria em questão, respeitando os limites de temperatura. Na figura 4 é apresentado uma esquema do controle de corrente e do acionamento das chaves.

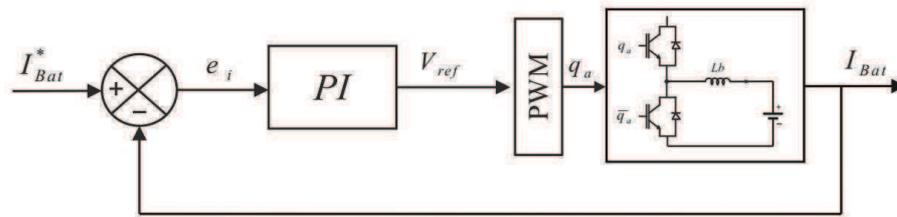


Figura 4 – Diagrama de blocos da estratégia de controle de corrente na bateria.

A corrente da bateria é medida (I_{Bat}), esta é comparada com um valor de referência (I_{ref}) o erro resultante (e_i) passa por um regulador PI que gera a tensão de referência necessária para garantir que a corrente da bateria seguir a referência.

2.2.2 Controle em cascata do retificador trifásico

O controle do retificador trifásico é chamado de controle em cascata devido a se tratar de duas malhas de controle, a mais interna de corrente da rede e a mais externa de tensão do barramento. O controle de corrente da rede é realizado para garantir fator de potência unitário e uma forma de onda com o mínimo de distorção harmônica possível, enquanto que o controle da tensão do barramento é para a garantir uma tensão mínima de operação possível. Na figura 5 é possível visualizar um esquema do controle que é realizado no retificador.

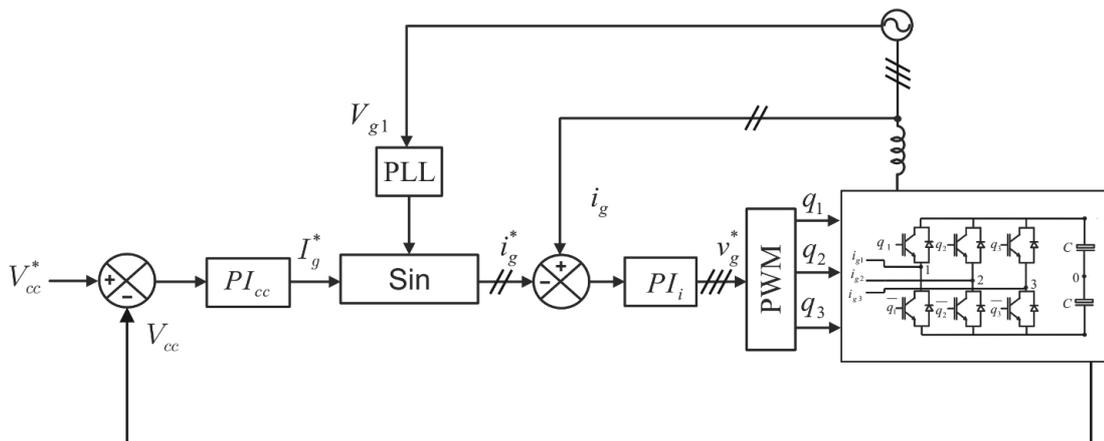


Figura 5 – Diagrama de blocos da estratégia de controle de tensão no barramento.

A tensão do barramento (V_{cc}) é medida e comparada com o valor de referência (V_{cc}^*) que se deseja ter no mesmo, este valor deve ser suficiente para garantir o controle de corrente na bateria. A saída do controlador de tensão do barramento (PI_{cc}) gera a referência do módulo de corrente na rede necessária para manter tal tensão, este valor passa pelo bloco SIN e juntamente com ângulo de fase (θ) obtido através de um PLL, algoritmo que tem por função determinar a fase da rede elétrica, a fim de garantir o fator

de potência unitário. A saída do bloco SIN é uma referência senoidal de corrente (i_g), esta é comparada com o valor de corrente medido da rede e entra em um controlador PI_i de dupla seqüência, o qual gera as referências de tensão para o PWM.

A função de transferência da equação 2.6 no referencial $\alpha\beta$ é escrita como

$$I_{\{\alpha,\beta\}}(s) = \frac{1}{l_g s + r_g} V_{\{\alpha,\beta\}}(s), \quad (2.19)$$

O controlador de corrente PI é dado por

$$G_{\alpha\beta}(s) = \begin{bmatrix} K_{p\alpha} & 0 \\ 0 & K_{p\beta} \end{bmatrix} + \frac{1}{s} \begin{bmatrix} K_{i\alpha} & 0 \\ 0 & K_{i\beta} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

onde $K_{p\{\alpha\beta\}}$ e $K_{i\{\alpha\beta\}}$ denotam os ganhos proporcional e integral, respectivamente. A função de transferência de malha fechada da corrente de referencia para a corrente de saída é dada por

$$\frac{I_{\{\alpha,\beta\}}(s)}{I_{\{\alpha,\beta\}}^*(s)} = \frac{\frac{K_{p\{\alpha,\beta\}}(s) + K_{i\{\alpha,\beta\}}}{l_{\{\alpha,\beta\}}}}{s^2 + \frac{K_{p\{\alpha,\beta\}} + r_g}{l_{\{\alpha,\beta\}}}s + \frac{K_{i\{\alpha,\beta\}}}{l_{\{\alpha,\beta\}}}} \quad (2.21)$$

Estes ganhos são determinados por três métodos:

1. **Primeiro método:** deslocamento de polos. α - eixo: $K_{p\alpha} = a_{i\alpha} r_g$, $K_{i\alpha} = K_{p\alpha} \frac{r_g}{l_d}$, β - eixo: $K_{p\beta} = a_{i\beta} r_s$, $K_{i\beta} = K_{p\beta} \frac{r_g}{l_g}$ nas quais os polos são deslocados em termos de $a_{i\alpha}$ e $a_{i\beta}$ para a respectiva função de transferência de malha fechada.
2. **Segundo método:** tempo de subida (λ). α - eixo: $K_{p\alpha} = \frac{l_g}{\lambda}$, $K_{i\alpha} = \frac{r_g}{\lambda}$, β - eixo: $K_{p\beta} = \frac{l_g}{\lambda}$, $K_{i\beta} = \frac{r_g}{\lambda}$ nas quais os polos são especificados em termos de λ para a respectiva função de transferência de malha fechada.
3. **Terceiro método:** Sistema de segunda ordem. α - eixo: $K_{p\alpha} = a_{i\alpha}$, $K_{i\alpha} = \frac{(K_{p\alpha} + r_g)^2}{4l_g \zeta^2}$, β - eixo: $K_{p\beta} = a_{i\beta}$, $K_{i\beta} = \frac{(K_{p\beta} + r_g)^2}{4l_g \zeta^2}$ nas quais os polos são especificados em termos de amortecimento (ζ) e do valor do ganho proporcional para a respectiva função de transferência de malha fechada.

As estratégias abordadas até o momento só garantem erro nulo para resposta a degrau. Como no sistema estacionário as correntes de referencia são de natureza senoidal, é necessário adaptar o controlador PI linear para um controlador ressonante. Desta forma o controlador PI é modificado na estrutura do integrador, de modo que

$$G_{\alpha\beta}(s) = \begin{bmatrix} K_{p\alpha} & 0 \\ 0 & K_{p\beta} \end{bmatrix} + \frac{s}{s^2 + \omega_e^2} \begin{bmatrix} K_{i\alpha} & 0 \\ 0 & K_{i\beta} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

na qual ω_e é a frequência de excitação da rede. A função de transferência de malha fechada é modificada para

$$\frac{I_{\{\alpha,\beta\}}(s)}{I_{\{\alpha,\beta\}}^*(s)} = \frac{K_{p\{\alpha,\beta\}}s^2 + K_{i\{\alpha,\beta\}}s + K_{p\{\alpha,\beta\}}\omega_e^2}{s^3l_g + b_2s^2 + b_1s + (b_2 + r_g)\omega_e^2} \quad (2.23)$$

onde, $b_2 = K_{p\{\alpha,\beta\}} + r_g$ e $b_1 = K_{i\{\alpha,\beta\}} + l_g\omega_e^2$. É interessante notar que tanto o controle de corrente da bateria, como o controle em cascatas são independentes um do outro, porem uma modificação efetuada em um deles modificara o comportamento do outro.

Parte II

Descrição da plataforma de ensaio

3 Circuito hidrotérmico para controle de temperatura

A bancada é dividida da seguinte forma: circuito hidrotérmico para controle de temperatura, circuito para controle de carga e descarga de baterias. Nesta secção apresenta-se a descrição dos componentes utilizados no circuito de controle de temperatura.

3.1 Tanque de banho termotizado controlado

O tanque de banho termotizado é apresentado na figura 6. Na parte superior está um tanque em aço inoxidável onde situam-se as baterias banhadas em água. Na parte inferior há um conjunto de estruturas que compõem os mecanismos necessários para realização do controle de temperatura. Há uma unidade condensadora linha *Optyma™ Blue Star*¹ da fabricante Danfoss®, e também uma bomba e um reservatório de água. O conjunto de dispositivos da unidade condensadora compreende: um compressor, um pressostato, um condensador resfriado a ar, um recipiente com líquido refrigerador e um filtro secador. A unidade condensadora é ilustrada na figura 6.



(a) Tanque hidrotérmico.



(b) Variante da unidade condensadora em uso.

Figura 6 – Fotografia das estruturas do circuito hidrotérmico de controle de temperatura.

Os componentes enumerados a seguir, compreendem o seguinte formato:

Componente - Modelo (Fabricante).

¹ <<http://products.danfoss.com.br/productrange/documents/commercialcompressors/condensing-units/optyma-blue-star/>>

A indicação da numeração destacada na figura 6 segue abaixo:

1. Compressor hermético - MT22JCL3 (Maneurop®)
2. Recipiente com líquido refrigerador - S-8064J (AC&R Components Inc.®)
3. Filtro secador - ADK163 (Emerson Climate Technologies®)
4. Pressostato - Tipo KP (Danfoss®)
5. Condensador resfriador a ar - R09R-3028A-4M-2506/2 (OLMO®)
6. Bomba - Hydrobloc P500T (KSB®)
7. Reservatório de água cilíndrico

3.1.1 Compressor hermético - MT22JCL3

O compressor hermético de refrigeração tem como função o aumento de pressão e temperatura do fluido na fase de vapor e consiste de um conjunto motor compressor hermeticamente selado em uma carcaça de aço soldada. Os compressores herméticos são projetados para operar sobre pequenas potências. Estes compressores compõem a classe de compressores denominada rotativa. Nesta classe os gases são comprimidos por elementos giratórios e a organização dos seus componentes proporciona significativa redução de perdas, se comparada a outras classes, e provê ainda maior rendimento volumétrico.

Os principais componentes do compressor hermético são exibidos na figura 7. São estes: o motor elétrico, mufla de sucção, linha de descarga (serpentina), cabeçote, bloco metálico formado pelas câmaras de sucção e descarga, o pistão, o cilindro e o eixo.

O compressor hermético tem como grande vantagem o não vazamento de líquido refrigerante através do eixo, como pode ocorrer com os compressores abertos. A desvantagem é que não permite acesso aos componentes internos para o caso de manutenção. Como consequência, em caso de queima do motor elétrico ou qualquer outro dano, a única solução é a substituição total do compressor.

O compressor hermético pode ser escolhido pela faixa de temperatura de evaporação que o sistema requer, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do compressor hermético - faixa da temperatura(Embraco, 2009).

Classificação	Temperatura de Evaporação
LBP - baixa pressão de retorno	-35°C até -10°C
MBP - média pressão de retorno	-35°C até -5°C
HBP - alta pressão de retorno	-5°C até +15°C



(a) Compressor hermético modelo MT22JC3L.



(b) Compressor hermético desmontado.

Figura 7 – Fotografia do compressor hermético.

3.1.2 Recipiente com líquido refrigerador - S-8064J

A função de um recipiente com líquido refrigerador é armazenar líquido refrigerante durante serviços de manutenção realizados no sistema, e fornecer fluxo contínuo de líquido refrigerador para o dispositivo de expansão. Em sistemas de refrigeração, o receptor é instalado após o condensador, de forma a recolher o líquido refrigerante condensado e permitir o fornecimento contínuo de líquido refrigerante ao dispositivo de expansão (tubo capilar). Na figura 8 é exibido uma variante destes recipientes.

De acordo com ASHRAE Standard 15-78, a capacidade de armazenamento destes recipientes é determinada tomando como base a quantidade de fluido presente no recipiente ao preencher 90% do volume interno quando a temperatura do fluido está a 90°F (32°C). Estes recipientes são selecionados com base na carga operacional de todos os componentes



Figura 8 – Fotografia do recipiente de líquido refrigerador.

do sistema, incluindo as linhas de transporte de líquido. É comum adicionar uma pequena porcentagem (relativamente a capacidade do recipiente) para cobrir dutos de sucção e descarga longos. É essencial para a escolha destes determinar também a carga máxima de funcionamento requerida pelo sistema.

3.1.3 Bomba hydrobloc P500T

O modelo hydrobloc P500 faz parte da classe de bombas centrífugas periféricas. Estas são recomendadas para aplicações de abastecimento de água limpa e de líquidos quimicamente não agressivos. São indicadas para uso doméstico, distribuição automática de água, pequenas instalações rurais e industriais. Na figura 9 é apresentada uma ilustração deste modelo.



Figura 9 – Fotografia da bomba centrífuga hydrobloc P500T.

Esta classe de bombas deve ser instalada o mais próximo possível da fonte do líquido a ser bombeado. Deverá ser previsto espaço suficiente para a desmontagem, inspeção e levantamento. A bomba deve ser fixada em uma base rígida o suficiente para absorver

todas as vibrações da bomba. O local de instalação não deve exceder a temperatura ambiente de 40 C. A ligação elétrica deverá seguir as conexões previstas na placa.

3.1.4 Filtro secador - ADK163

As funções do filtro secador, são: prover a filtragem, o acúmulo, e a retirada da umidade do líquido refrigerante. O filtro secador é responsável por reter impurezas que possam interferir no processamento do sistema. Estes filtros representam efetivamente o tipo de equipamento que deve ser substituído periodicamente para não perder sua funcionalidade e comprometer o sistema de refrigeração. O modelo em uso na plataforma é apresentado na figura 10.



Figura 10 – Fotografia do filtro seco ADK 163.

3.1.5 Pressostato tipo KP

O pressostato é um instrumento de medição de pressão utilizado como componente do sistema de proteção de equipamentos e processos industriais. Sua função básica é proteger a integridade de equipamentos contra sobrepresão ou subpressão provocadas durante o seu funcionamento. O mecanismo de mudança de estado atua fechando ou abrindo um contato, que pode ser do tipo normalmente aberto ou normalmente fechado. A plataforma de ensaio conta com um pressostato do tipo KP semelhante aquele apresentado na figura 11.

Os pressostatos tipo KP são usados em sistemas de monitoramento e controle, e gestão de alarmes em aplicações industriais. A série KP é adequada para fluido gasoso e ar. Os pressostatos KP podem ser utilizados em sistemas de refrigeração e ar condicionado para proporcionar proteção contra pressão de sucção excessivamente baixa ou pressão de descarga excessivamente alta. Os pressostatos KP também são usados para ligar e desligar



Figura 11 – Fotografia do pressostato do tipo KP.

os compressores de refrigeração e os ventiladores em condensadores resfriados a ar. Os pressostatos KP estão disponíveis com grau de proteção IP30, IP44 e IP55.²

3.1.6 Condensador resfriado a ar

O condensador de um sistema de refrigeração é um trocador de calor que rejeita todo o calor do sistema, isto é, o calor absorvido pelo evaporador mais o calor equivalente à energia fornecida pelo compressor. Os condensadores resfriados a ar, condensam o vapor do líquido refrigerante através da rejeição de calor para o ar ambiente, que circula através de uma serpentina condensadora aletada, com o auxílio de um ventilador. Na figura 12 é apresentado uma variante do condensador resfriados a ar utilizado na bancada.



Figura 12 – Fotografia de um condensador resfriador a ar.

Numa condição normal de projeto e funcionamento (carga máxima do sistema), o líquido refrigerante está aproximadamente 14 a 16°C mais quente do que o ar externo. Embora essa característica os torne menos eficientes em termos energéticos, seu projeto simples permite baixos custos de instalação e manutenção.

² As classes de proteção IP dizem respeito a proteção contra contato, entrada de corpos sólidos estranhos e água em comutadores.

3.2 Quadro elétrico de comando e controle

A quadro utilizado para acionar o sistema de refrigeração é apresentado na figura 13.

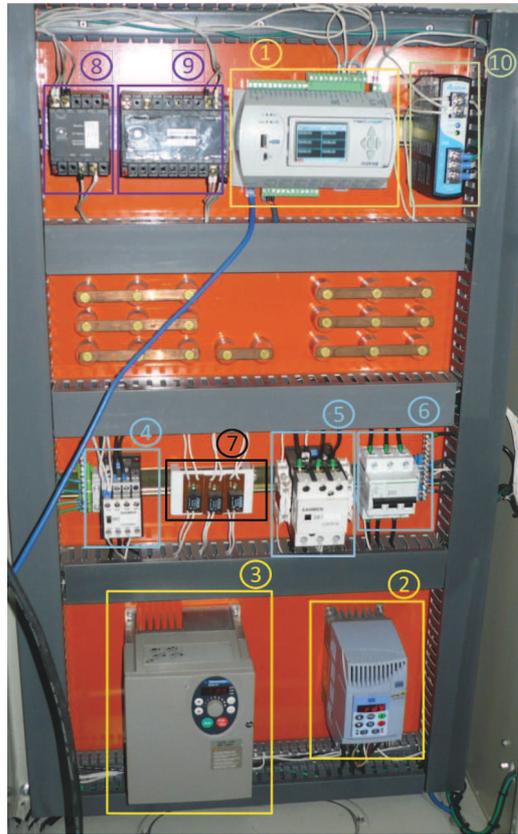


Figura 13 – Fotografia dos componentes do quadro de acionamento.

A indicação da numeração destacada na figura 13 segue abaixo:

1. Módulo de aquisição e registro de dados - FieldLogger (Novus®)³
2. Inversor de frequência - CFW08 (Weg®)⁴
3. Inversor de frequência - Altivar 31 (Schneider®)⁵
4. Contator de potência tripolar - CJX1B (Sanmen®)
5. Contator de potência tripolar -CJX1B (Sanmen®)
6. Disjuntor termomagnético tripolar - tipo DIN (Schneider ®)⁶

³ <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=607370&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=917491>

⁴ <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW08>>

⁵ <<http://www.schneider-electric.com.br/pt/product-range-download/2656-altivar-312/?filter=business-1-automacao-e-controle&parent-category-id=2900>>

⁶ <<http://ferramentas.schneider-electric.com.br/prime/produtos/protecaoeletrica/disjuntores/pdf/Disjuntores.pdf>>

7. Relé miniatura 15A - AT1RC3 24VDC (Metaltex®)⁷
8. Conversor de sinal encapsulamento tipo 1 - 50V420ADC24VDC (Secon®)⁸
9. Conversor de sinal encapsulamento tipo 2 - 50V420ADC24VDC (Secon®)
10. Fonte de tensão 24VDC - D0116888 (Delta Electronics®)⁹

3.2.1 Módulo de aquisição e registro de dados - FieldLogger

O FieldLogger é um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas e digitais que apresenta grande resolução e velocidade. É considerado um equipamento de alto desempenho e alta conectividade, porém de fácil configuração e operação.

Possui 8 entradas analógicas configuráveis por software para sinais de tensão, corrente, termopares, Pt100 e Pt1000. Dispõe ainda de duas saídas a relé e 8 portas digitais individualmente configuráveis como entrada ou saída. Possui até 128 canais para o cálculo de grandezas a partir das informações medidas. Reproduz detecção de até 32 ocorrências de alarme, permitindo o acionamento de saídas, envio de e-mails ou de traps SNMP. Possui entradas de alimentação que variam de 90 a 240 V ou 24 V.

Sua interface RS485 opera com o protocolo Modbus RTU e pode ser configurada como mestre ou escravo, o que permite a aquisição de até 64 canais externos para registro. Tem uma interface Ethernet que permite o acesso ao equipamento por navegador (HTTP), coleta de dados remota (FTP cliente e servidor), envio de e-mails (SMTP), SNMP e Modbus TCP. Possui uma interface USB para conectar a um computador (configuração, monitoramento ou coleta) e outra para conectar a um pen drive (coleta). Com memória básica para 512k de registros, permite ainda expansão por cartão SD.



Figura 14 – Ilustração do módulo FieldLogger.

⁷ <<http://www.metaltex.com.br/sub-categorias/relés-miniatura>>

⁸ <http://www.secon.com.br/pdf/150225052235_Datasheet%20ConSin.pdf>

⁹ <<http://www.deltapsu.com/products/download/Datasheet/DRP024V060W1AZ>>

Para indicação ou configuração local, uma exclusiva IHM (Interface Homem-Máquina) com display colorido pode ser acoplada ou instalada remotamente. Possui ainda um software configurador amigável que permite alterações nas configurações dos equipamentos, seja por Ethernet, USB ou RS485, além de diagnóstico on-line, coleta dos registros e exportação para diversos formatos. Na figura 14 é apresentada uma ilustração deste dispositivo.

3.2.2 Inversor de frequência - CFW08

O inversor de frequência CFW08 é um dispositivo que permite o acionamento de velocidade variável. É destinado ao controle e variação de velocidade de motores elétricos de indução trifásicos. O CFW08 possui controle vetorial (VVC - Voltage Vector Control) ou escalar (V/F) selecionáveis, interface de operação (IHM), alto grau de compactação, além de fácil instalação e utilização, que o tornam ideal para aplicações que necessitam de desempenho e espaço reduzido. O CFW08 pode ser interligado nas redes industriais por meio de protocolos mundialmente difundidos como: CANopen, DeviceNet, Modbus-RTU e Profibus-DP. Na figura 15 é apresentada a ilustração deste dispositivo.



Figura 15 – Ilustração do inversor CFW08.

3.2.3 Inversor de frequência - Altivar 31

O inversor Altivar 312 é um inversor de frequência para motores assíncronos trifásicos de de 0,18 a 15 kW. A unidade Altivar 312 é robusta, compacta e fácil de instalação. Suas funções integradas são particularmente adequadas para as exigências de aplicações envolvendo máquinas industriais simples. Com as várias placas de comunicação que estão disponíveis como opções, é possível integrar a unidade Altivar 31 nas principais arquiteturas de sistemas de controle. Na figura 16 é apresentado a ilustração de uma variante do modelo utilizado na bancada.



Figura 16 – Ilustração do inversor Altivar 31.

3.2.4 Contator de potencia tripolar - CJX1B

Os contatores CJX1B são destinados as manobras de motores elétricos trifásicos e monofásicos em circuitos 50/60 Hz, tensão nominal até 660V e corrente nominal de até 400A em potência máxima de 250CV em 380V. Apresentam proteção contra penetração de corpos estranhos e protegido contra torques conforme VDE 0106. Apresentam contato auxiliar 2NA+2NF em toda linha. Uma variante do modelo utilizado na bancada é apresentada na figura 17.



Figura 17 – Fotografia do contator CJX1B.

3.2.5 Disjuntor termomagnético tripolar - tipo DIN

Um disjuntor é um dispositivo eletromecânico que permite proteger uma determinada instalação elétrica contra sobrecorrentes e sobretensões. Pode atuar como dispositivo de manobra ou como dispositivo proteção de circuitos elétricos. O modelo empregado na bancada é aquele apresentado na figura 18.

As características de disparo do disjuntor são fornecidas pelos fabricantes através de duas informações principais: corrente nominal e curva de disparo. Outras características são importantes para o dimensionamento, tais como: tensão nominal, corrente máxima de

interrupção do disjuntor e número de polos. As especificações do elemento utilizado na bancada são apresentadas na secção III.



Figura 18 – Fotografia do disjuntor em uso.

3.2.6 Relé Miniatura 15A - AT1RC3

Um relé é um interruptor eletromecânico. A movimentação física deste interruptor ocorre quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, criando assim um campo magnético que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos. O relé em uso na bancada é um relé miniatura que representa um contato reversível para 15A. A figura 19 apresenta a ilustração de uma variante de modelos destes relés miniaturas.



Figura 19 – Ilustração de um relé miniatura.

3.2.7 Conversor de sinal

Os conversores de sinais são utilizados para adaptarem com isolamento galvânico(ópticos) os tipos de entrada e de saída 0-5V, 0-10V, 0-20mA e 4-20mA de diversos equipamentos. Na figura 20 são exibidos os modelos em uso.



(a) Encapsulamento tipo 1.



(b) Encapsulamento tipo 2.

Figura 20 – Fotografia do conversor de sinal.

3.2.8 Fonte de alimentação 24VDC

A fonte de alimentação delta® opera dentro de uma faixa de temperatura de -20°C a $+80^{\circ}\text{C}$ e faixa de tensão de entrada de 85Vac a 264Vac. A potência fornecida não diminui para esta faixa de variação da tensão de entrada. A unidade de alimentação monofásica inclui proteção contra sobretensão, sobrecorrente, sobretensão e curto-circuito. A estrutura concebida conta ainda com reserva de energia suficiente para arranque confiável de cargas com alta corrente de inrush, eliminando assim a necessidade de uma fonte de alimentação mais robusta e de maior custo. Na figura 21 é apresentado a fotografia do modelo em uso.



Figura 21 – Fotografia da fonte de alimentação 24VDC delta.

4 Circuito para carga e descarga de baterias

O controle de carga e descarga de baterias é realizado através das estratégias de controle apresentadas na parte I deste documento. A bancada projetada utiliza para tanto a estrutura de conversor também apresentada na parte I. A bancada projetada para a implementação destas estruturas é apresentada na figura 22 a seguir.

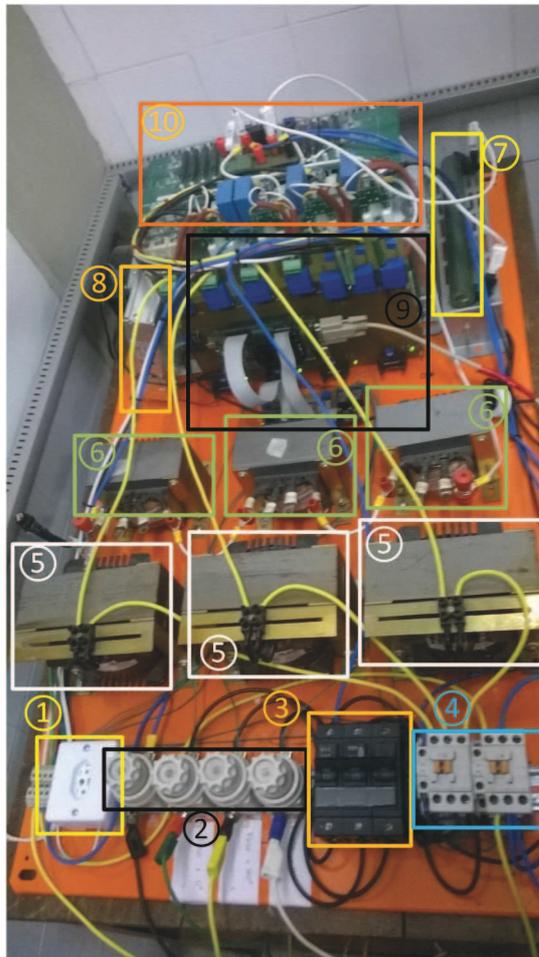


Figura 22 – Fotografia da bancada de ensaio do conversor estático.

A indicação da numeração destacada na figura 22 segue abaixo:

1. Tomada tripolar padrão NBR 14136:2002
2. Fusível diazed - tipo 5SB2 81 (SIEMENS®)¹
3. Disjuntor termomagnético tripolar - tipo DIN (Legrand ®)²

¹ <<http://w3.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protecao-eletrica/fusiveis/diazed/pages/diazed.aspx>>

² <<http://www.legrand.com.br/para-consumidores/protecao/disjuntores-din>>

4. Contator de potência tripolar - CS(A)-22 (SOPRANO®)³
5. Reatância monofásica - Indutância 7mH (MR SEVERO®)⁴
6. Reatância monofásica -TAPS: 0,5/1 - 2mH (MR SEVERO®)
7. Resistor de alta potência 30Ω e 50Ω - 200W ⁵
8. Fonte de alimentação chaveada saída tripla - T-60C(Mean Well®)⁶
9. Placa de instrumentação e controle do conversor
10. Projeto de conversor

4.1 Tomada tripolar

A tomada elétrica é o ponto de conexão que fornece a eletricidade principal a um plugue. Na figura 23 é apresentado o modelo em uso na bancada. Este apresenta plugue com haste terra conforme novo padrão brasileiro da NBR 14136:2002 baseada na norma internacional IEC 60906-1, em vigor no Brasil desde 2009.

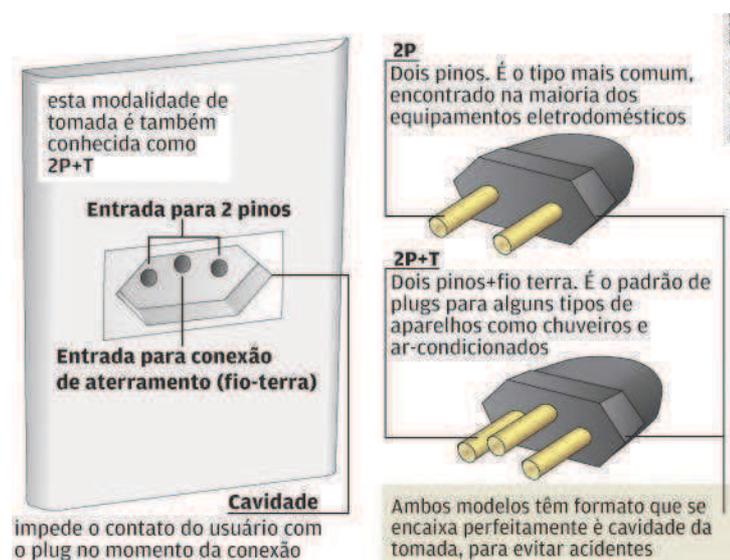


Figura 23 – Ilustração da tomada de 3 pinos padrão brasileiro.

³ <<http://www.soprano.com.br/produtos/materiais-eletricos/contatores-e-reles-csa/contator-csa-22/contator-csa-22>>

⁴ <<http://www.mrsevero.com.br/transformadores>>

⁵ <https://www.altanatubes.com.br/App_Controls/ProdImg.ashx?d=4&p=2573>

⁶ <<http://www.mouser.com/ds/2/260/t-60-spec-307658.pdf>>

4.2 Fusível diazed - tipo 5SB2 81

Os fusíveis DIAZED são utilizados na proteção de curto-circuito em instalações elétricas residenciais, comerciais e industriais, quando corretamente instalados, permitem o seu manuseio sem riscos de toque acidental. Possuem categoria de utilização gL/gG⁷, em três tamanhos (DI, DII e DIII) atendem as correntes nominais de 2 a 100A.

Tamanho NBR 9156 DIN 49515	Corrente nominal (A)	Tipo	Código de cor	Para bases
D II	2	5SB2 11	Rosa	Rôscas E27
	4	5SB2 21	Marron	
	6	5SB2 31	Verde	
	10	5SB2 51	Vermelho	
	16	5SB2 61	Cinza	
	20	5SB2 71	Azul	
	25	5SB2 81	Amarelo	

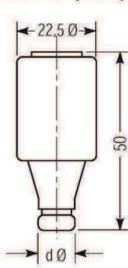
Dimensões (mm)		Tamanho NBR 9156 DIN 49515	Corrente nominal (A)	Dimensão dØ (mm)
		D II	2	6
			4	6
			6	6
			10	8
			16	10
			20	12
			25	14

Figura 24 – Recorte de dados relacionados aos fusíveis diazed.

4.3 Reatância Monofásica

O modelo de reatâncias em uso é comumente aplicado na limitação de corrente de curto circuito, filtragem de harmônicas, amortecimento de transientes, projetos especiais em eletrônica de potência, redes e instalações elétricas. São também utilizados em equipamentos eletrônicos que possuem uma ampla faixa de frequência, como: inversores de frequência, fontes chaveadas, controladores de velocidade de motores, e conversores estáticos em geral. O fabricante destes modelos garante a realização de ensaios realizados individualmente, de modo a proporcionar uma melhor precisão de sua indutância, resultando em uma maior eficiência. A figura 25 apresenta os modelos em uso na bancada.

⁷ A faixa de interrupção e a categoria de utilização (Curva tempo vs Corrente), foram convencionadas com um conjunto de letras. A IEC utiliza a montagem com 2 letras, sendo que a primeira letra, denomina a "Faixa de Interrupção", ou seja, que tipo de sobrecorrente o fusível irá atuar; A segunda letra, denomina a "Categoria de Utilização", ou seja, que tipo de equipamento o fusível irá proteger; Sendo assim, "gL/gG- Fusível para proteção de cabos e uso geral (atuação para sobrecarga e curto)

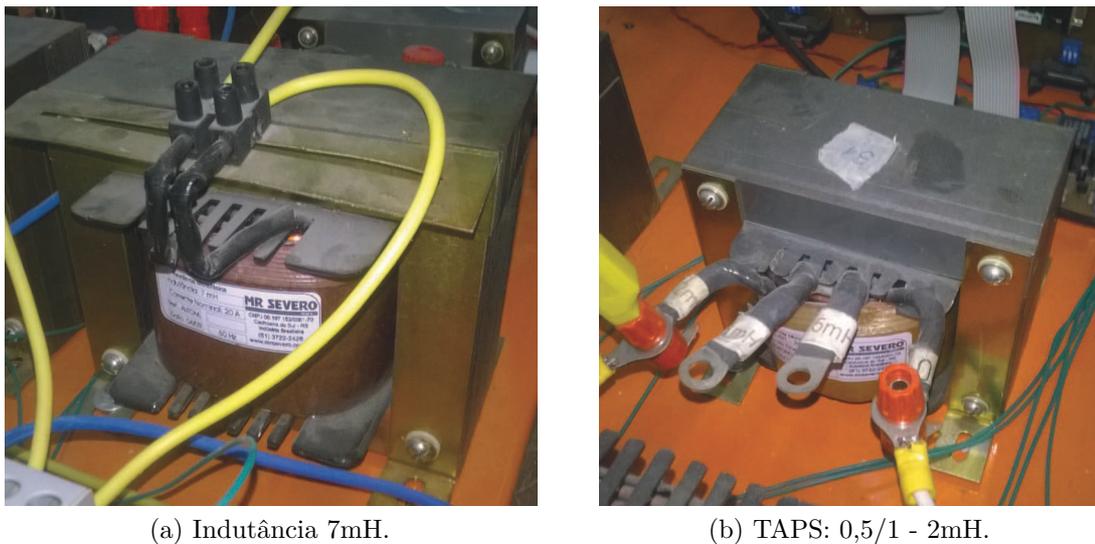


Figura 25 – Fotografia das reatâncias em uso na bancada.

4.4 Placa de instrumentação e controle

A figura 26(a) apresenta a fotografia da parte referida no diagrama de conexões do conversor, como sendo da placa de aquisição e condicionamento de dados. Nesta mesma imagem observa-se também a placa de conexões do DSP utilizado na bancada. Ambas as estruturas supracitadas, DSP e placa de aquisição, encontram-se conectadas em estruturas maiores, com diversas conexões internas, as quais não são tratadas neste documento. A figura 26(b) ilustra a abstração utilizada para representar estas estruturas.

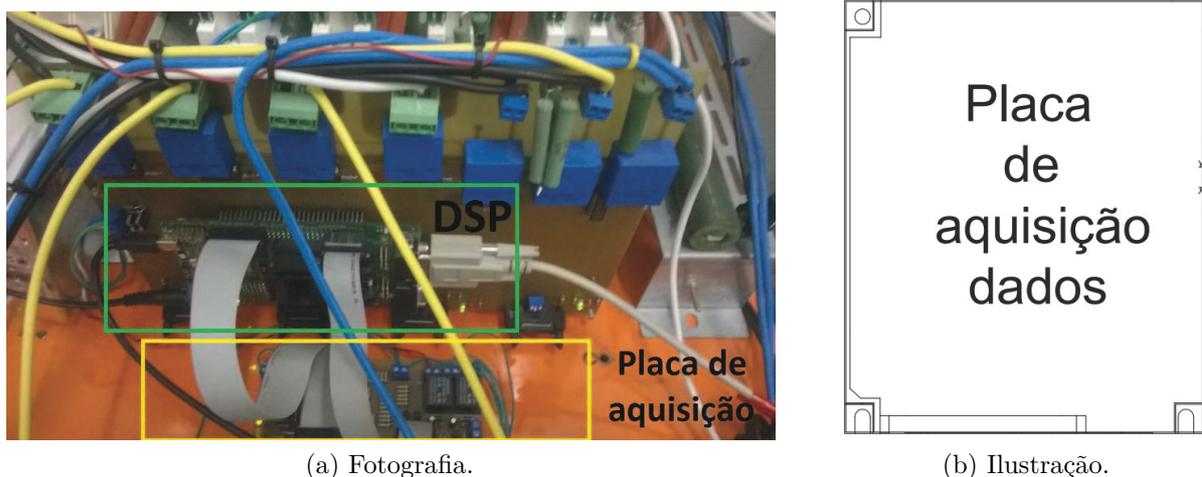
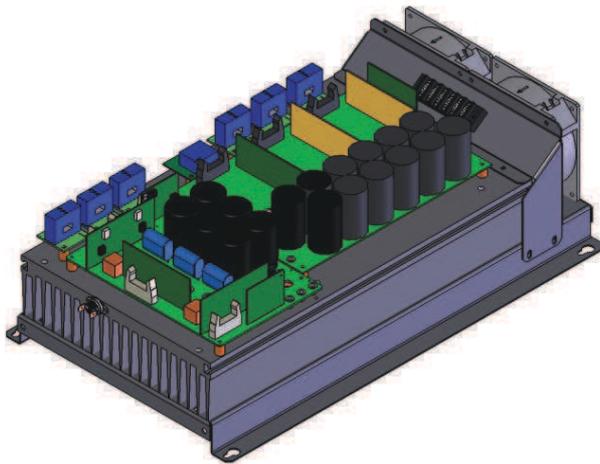


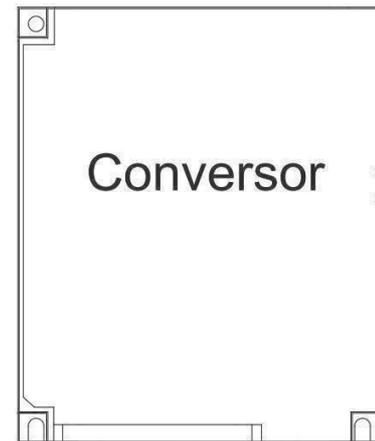
Figura 26 – Placa de instrumentação e controle do conversor.

4.5 Projeto de conversor

O conversor em uso na plataforma constitui fundamentalmente uma estrutura semelhante aquela apresentada na figura 27(a). A figura 27(b) ilustra a abstração utilizada para esboçar as conexões externas do conversor com os demais elementos da bancada. O esboço das conexões internas não é descrito no diagrama de conexões deste documento.



(a) Fotografia.

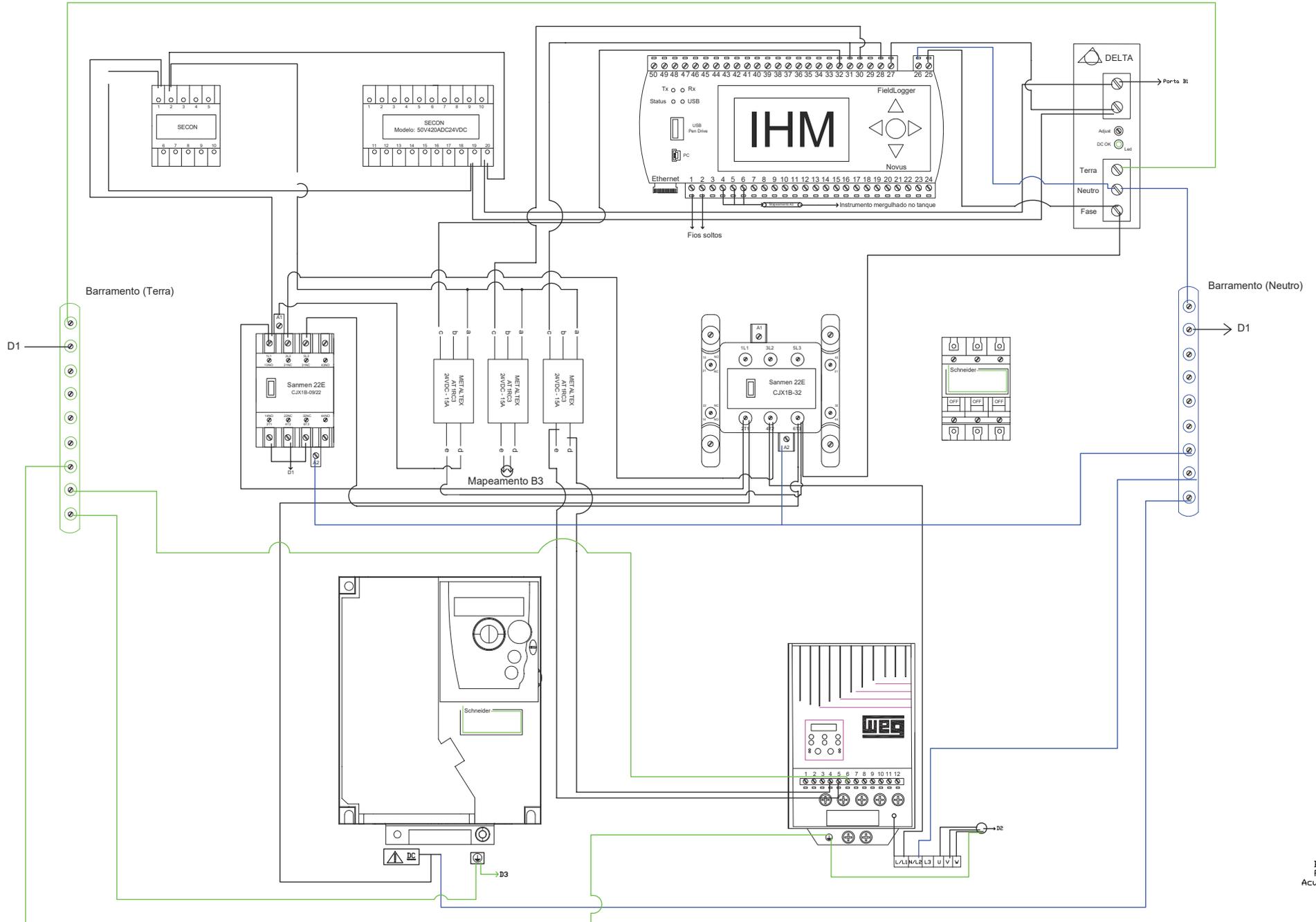


(b) Ilustração.

Figura 27 – Placa de instrumentação e controle do conversor.

Parte III

Esquema de conexões



NOTAS:
 1 - As conexões em verde e azul explicitam as extensões das conexões de terra e neutro, respectivamente.
 2 - A fonte delta fornece tensão de 24V para os equipamentos do quadro, conforme conexões explicitadas.
 3 - Os conversores de sinal (SECON) encontram-se, aparentemente (ver esboço das conexões), em desuso.
 4 - Os elementos de proteção e manobra do circuito (disjuntores, relés e contatores) cumprem sua função conforme as conexões esboçadas. O folheto que esboça as conexões da porta do quadro de acionamento complementam as demais conexões destes elementos.

DESENHOS DE REFERENCIA
 1 -

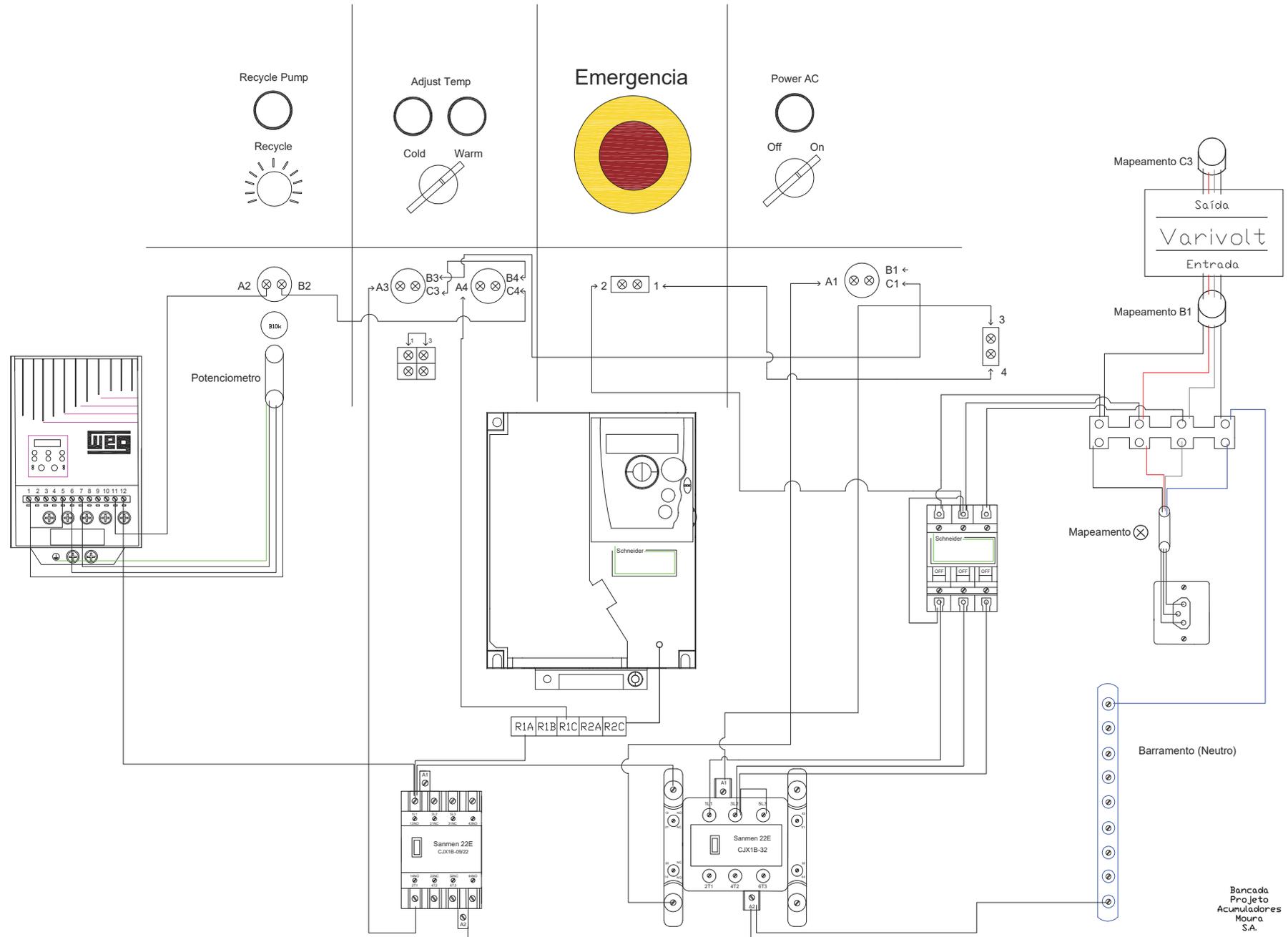
DD	EMISSÃO INICIAL	10.12.14	TCF	CHA	TCF	VERF.	ANILINA	APROV.	LEIAM
REV									

DATA: 03.03.17
 PROJ: Mateus C. Lucena
 VERF: ANILINA



Quadro de Acionamento
 DESENHO Nº: ESCALA: FOLHA: A3 REV: 00

Bancada
 Projeto
 Acumuladores
 Moura
 S.A.



Bancada
Projeto
Acumuladores
Moura
S.A.

- NOTAS:
- 1 - As conexões apresentadas explicitam as conexões que os equipamentos integram com os elementos de atuação da porta.
 - 2 - O botão de emergência, assim como a chave de energização (PDVER AC), encontra-se conectada majoritariamente aos elementos de proteção e manobra do quadro de acionamento.
 - 3 - O Inversor WEG está associado majoritariamente a porta através da chave de nível (RECYCLE PUMP).
 - 4 - O Inversor SCHNEIDER está associado majoritariamente a porta através da chave (ADJUST TEMP).

DESENHOS DE REFERENCIA
1 -

DD	EMISSÃO INICIAL	10.12.14	TCF	CHA	TCF				
REV									

DATA: 03.03.17
PROJ: Mateus C. Lucena
VERIF: ANILINA

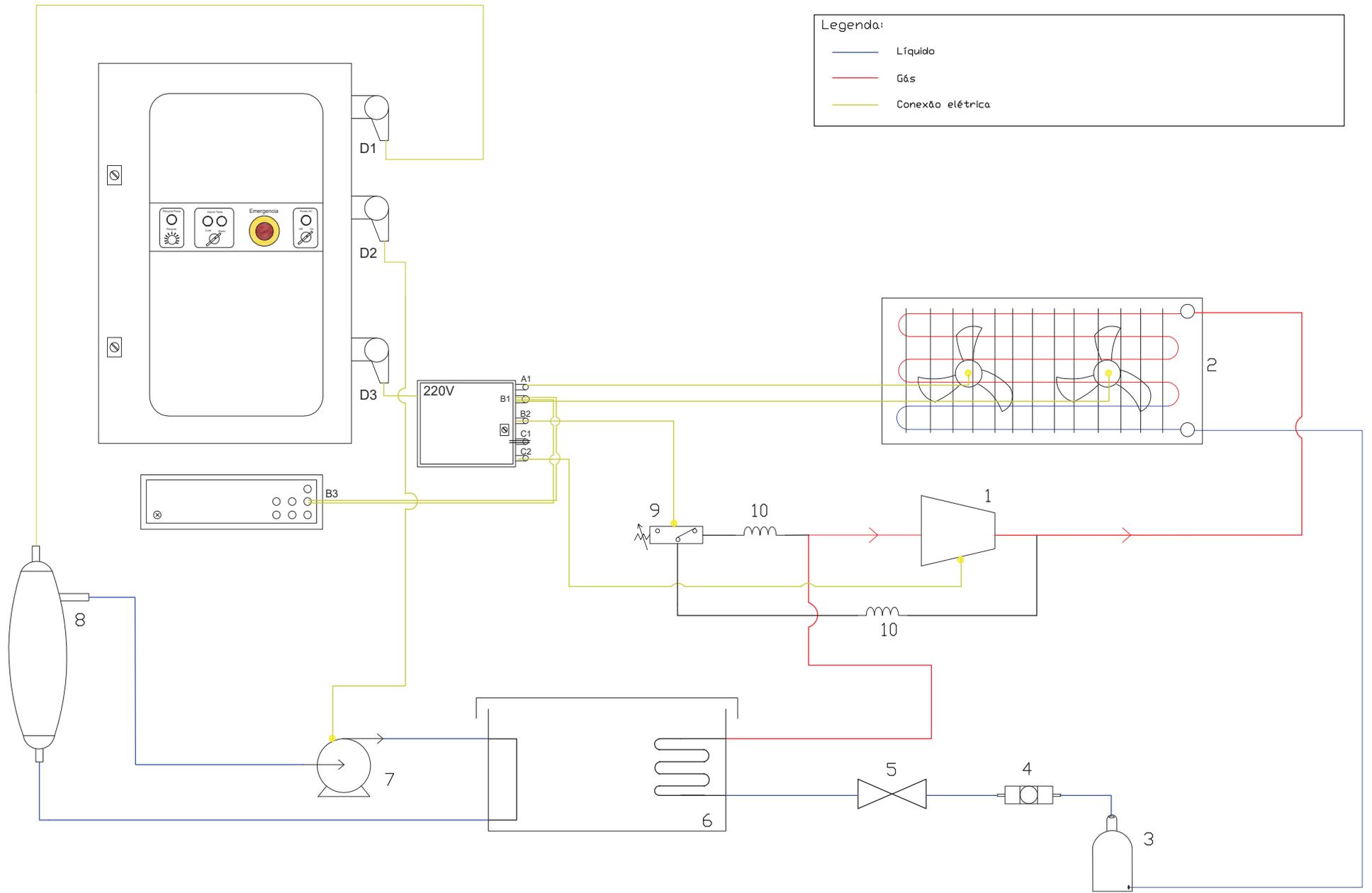


Quadro de Acionamento
conexões da porta

DESENHO Nº:	ESCALA:	FOLHA:	REV:
		A3	00

Legenda:

- Líquido
- Gás
- Conexão elétrica



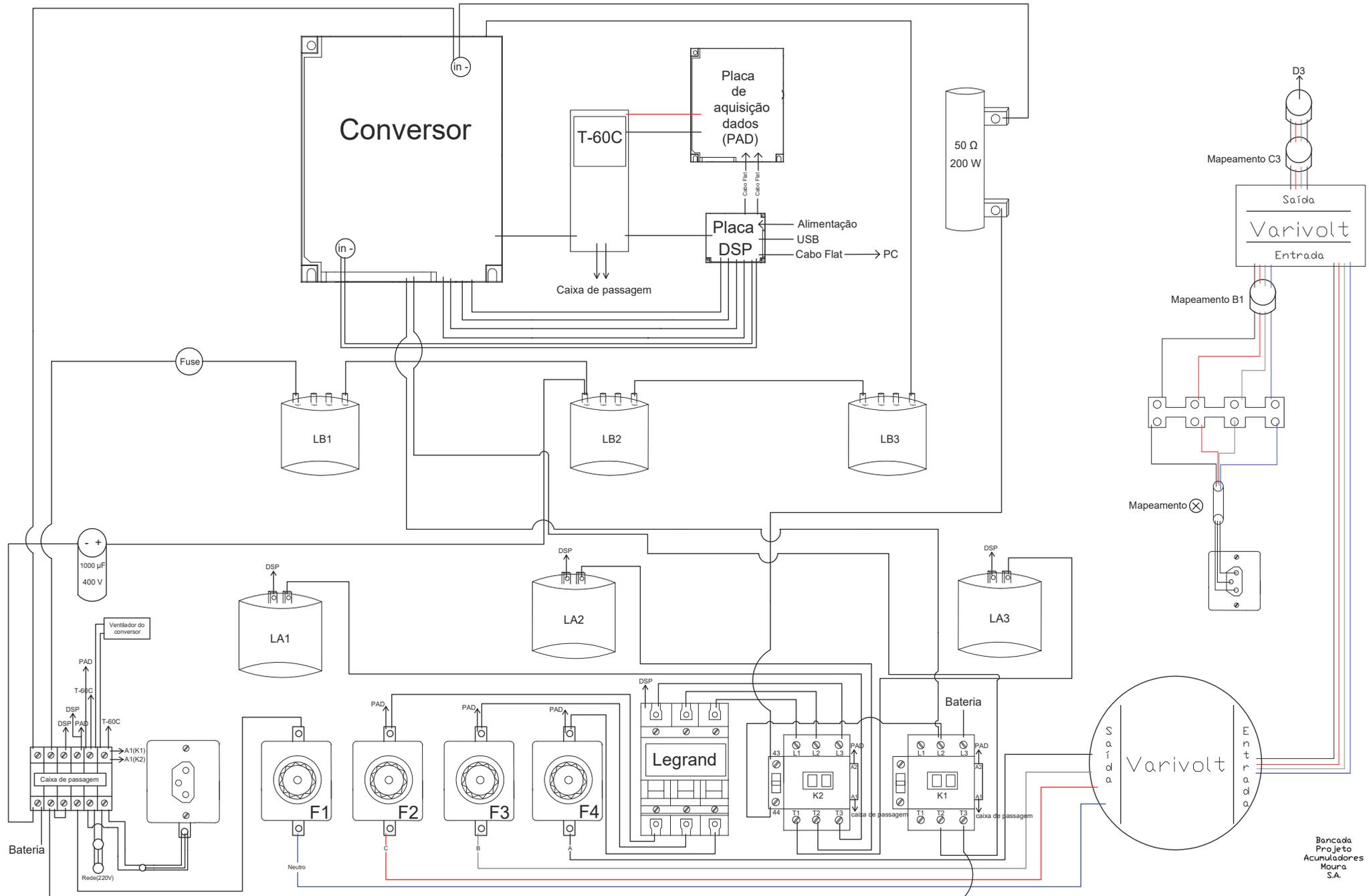
NOTAS:

- 1 - Compressor eleva a pressão substancialmente promovendo o aquecimento do fluido.
- 2 - Condensador resfriado a ar promove a passagem do fluido do estado gasoso para o estado líquido.
- 5 - A válvula de expansão oferece resistência a passagem de líquido em alta pressão, promovendo a redução da temperatura do líquido de forma abrupta.
- 6 - Tanque cobre a função de evaporador no ciclo de refrigeração. As estruturas presentes internamente promovem a troca de calor com o ambiente, de modo que o fluido possa do estado líquido para o estado gasoso.

DESENHOS DE REFERENCIA:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 - Compressor | 7 - Bomba centrífuga periférica |
| 2 - Condensador resfriado a ar | 8 - Reservatório de água |
| 3 - Líquido refrigerante | 9 - Pressostato |
| 4 - Filtro secador | 10 - Tubo capilar |
| 5 - Válvula de expansão | |
| 6 - Tanque coberto | |

DATA	03.03.2017		Circuito de refrigeração
PROJ.	Mateus C. Lucena		
VERF.	ANILINA	DESENHO Nº	ESCALA
APROV.	ANILINA	FOLHA	A3
REV.			00



NOTAS:
 1 - A diagramação apresentada para os elementos deste quadro, segue a mesma posicionamento dos elementos dispostos na bancada física.
 2 - A alimentação proveniente dos variavolts é direcionada aos elementos de proteção e manobra do circuito (Fusíveis, Disjuntores e Contatores) estes por sua vez se conectam as reatâncias LA1/LA2/LA3.
 3 - O conversor se conecta com as reatâncias (LB1/LB2/LB3) e o capacitor (C) que agregados compõem o filtro LCL. As conexões do filtro, se estendem até a bateria, conforme topologia do conversor bidirecional em questão.

RESENHAS DE REFERENCIA:
 LA1/LA2/LA3 - Reatâncias Monofásicas de acoplamento com a rede elétrica.
 LB1/LB2/LB3 - Reatâncias Monofásicas que compõem o filtro LCL adotado ao conversor.
 F1/F2/F3/F4 - Fusíveis diâmetro.
 LEGRAND - Disjuntor Termomagnético.
 K1/K2 - Contatores de potência Tripolar.

REV	EMISSÃO INICIAL	DATA	PREL.	VERF.	APRO.	CH	TCF	APR.
00	EMISSÃO INICIAL	10/12/14	TCF	CHA	TCF			

Projeto do conversor

DATA: 03.03.17
 PREL: Mateus C. Lucena
 VERF: ANNLINA
 APRO: ANNLINA



RESENHA Nº: ESCALA: FOLHA: 03 REV: 00

Bancada Projeto Acumuladores Moura S.A.

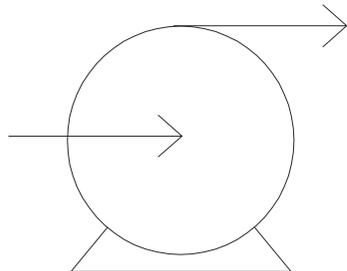
A

Bomba centrífuga periférica

B

C

Ilustração



D

E

Hydrobloc P 500 T

KSB

Q	$\frac{5}{40}$	l/min		H	$\frac{38}{5}$	m
3~	kW	0,37	HP	0,5	60Hz	
	3450	min ⁻¹	ICI	B	IP	44
220 V		380 V				
2,25 A		1,3 A				

F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO										= +		CLIENTE:		C:\User\Ruam\Downloads\unnamed (1).png		
REVISÃO GERAL										EXECUTADO						
REVISÃO GERAL										VERIFICADO						
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES						EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO	FOLHA 4			
PRJ	PCP	PRC	MON								DATA LIB.	/	/	DE 5 FOLHAS		

1

2

3

4

5

6

7

8

BORNEIRA DE FORÇA
ALIMENTAÇÃO/SAÍDA INVERSOR

INVERSOR

Compressor

Sucção

Descarga

Compressor Hermético Maneurop

Modelo: MT22JCL3

Número de Série: 10533058

200 - 230 V

3 ~ 60Hz

V ~ 50Hz

A

B

C

D

E

F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES

EXECUTADO

LIBERADO

DATA LIB.

INDICE

LIBERADO

DATA LIB. / /

CLIENTE:

C:\User\Ruani\Downloads\unnamed (1).png

FOLHA 5

DE 5 FOLHAS

PRJ

PCP

PRC

MON

A

B

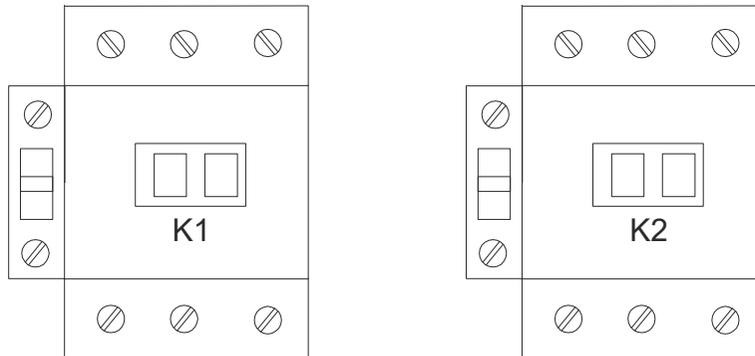
C

D

E

F

Contator de potencia tripolar

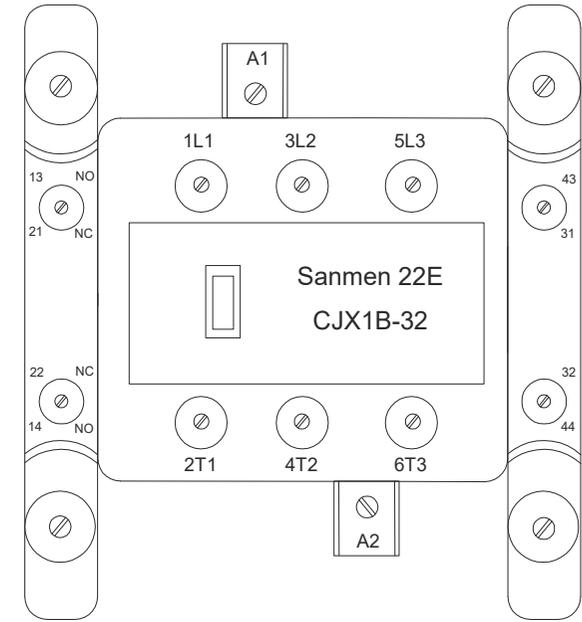
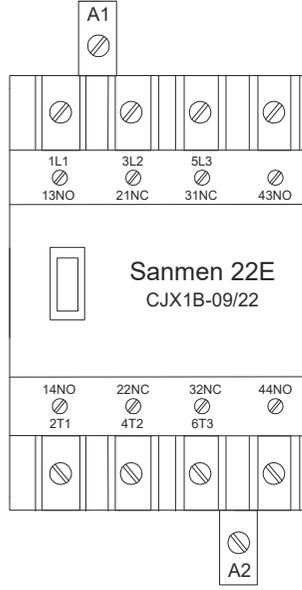


SOPRANO				
CS (A)-22				
	IEC	EN	VDE	BS
	60947	60947	0660	5424
V AC	240	440	550	690
kW	5.5	11	15	15
A	22	22	22	18
AC1=Ith=40A			Ui=690V	
V AC	1 phase		3 phase	
	115	230	200	230 460 575
HP	2	3	7.5	7.5 10 15

Corrente constante - 32A
 Quando protegido por fusível com retardo de tempo de 40A
 Curcto circuito 5kA RMS simétrico, 600V máx AWG(12-8)
 2,5-6,0 mm² 60/75°C
 Somente cabo de cobre
 Torque 20lbs.in

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO										= +		CLIENTE:		C:\Users\Ruan\Downloads\unnamed (1).png	
REVISÃO GERAL										EXECUTADO					
REVISÃO GERAL										VERIFICADO					
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES						EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO		FOLHA 3	
PRJ	PCP	PRC	MON									DATA LIB. / /		DE 5 FOLHAS	

Contator de potencia tripolar



SANMEN
CJX1B-09/22
AC CONTACTOR
IEC60947-4-1 VDE0660
GB14048.4
Ui=660V Ith=20A
2NO 2NC

AC3			
V~	220	380	660
Ie(A)	9	9	6.3
P(kW)	2.4	4	5.5

FOR CONTROL
VOLTAGE SEE COIL

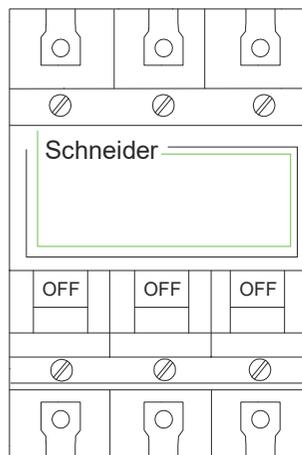
SANMEN
CJX1B-32/22
AC CONTACTOR
IEC60947-4-1 VDE0660
GB14048.4
Ui=660V Ith=55A
2NO 2NC

AC3			
V~	220	380	660
Ie(A)	32	32	18
P(kW)	8.5	15	23

FOR CONTROL
VOLTAGE SEE COIL

DIAGRAMA UNIFILAR

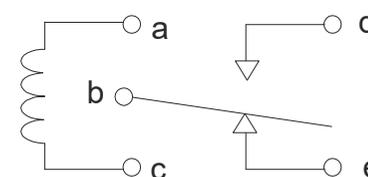
Disjuntor Termomagnético Tripolar - Tipo DIN



Relé miniatura - Contato reversível para 15A



Diagrama Elétrico



Vista de baixo

Schneider

Capacidade de Interrupção Icu

Ue (50/60Hz)	ABNT NBR NM 60898	ABNT NBR IEC 60947-2
220/127V	5kA	6kA
380/220V	3kA	4.5kA

Especificações da bobina

Tensão Nominal (V)	24
Máx. Tensão Contínua(V)	31,2
Tensão de Operação (V)	≤ 18
Tensão de Desoperação (V)	≥ 2,4
Corrente Nominal (mA)	15
Resistência (+/-10%) ohms*	1600

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

RLM

LOC

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES

EXECUTADO

LIBERADO

DATA LIB.

INDICE

LIBERADO

DATA LIB.

/ /

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

DIAGRAMA FUNCIONAL

C:\Users\Ruam\Downloads\unnamed (1).png

FOLHA 1

DE 5 FOLHAS

A

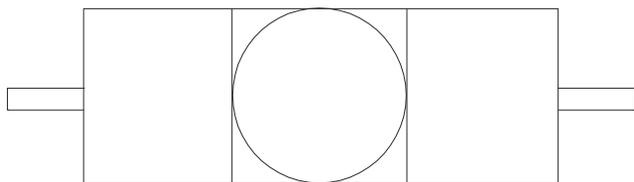
Filtro Secador

B

Dados de Placa

C

Ilustração



Emerson
Climate Technologies

ADK - 163
Filtro Secador

Para uso com CFC, HCFC & HFC
R12, R134 s, R22,
R404A, R407C, R410A,
R500, R502, R507

MWP 680 PSIG
4,690 kPa

Fabricado no Mexico

D

E

F

										= +		CLIENTE:			
		ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO													
		REVISÃO GERAL								EXECUTADO				C:\User\Ruani\Downloads\unnamed (1).png	
		REVISÃO GERAL								VERIFICADO					
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES				EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO				FOLHA 3	
PRJ	PCP	PRC	MON							DATA LIB. / /				DE 5 FOLHAS	

1

2

3

4

5

6

7

8

BORNEIRA DE FORÇA
ALIMENTAÇÃO/SAÍDA INVERSOR

INVERSOR

A

Fonte de alimentação chaveada saída tripla

B

T-60C

C

D

INPUT:	100 - 240 VAC		2A
			50/60Hz
OUTPUT:	+5V	===	5 A
	+15V	===	2 A
	-15V	===	0.5A

E

F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO
REVISÃO GERAL
REVISÃO GERAL

=	+
EXECUTADO	
VERIFICADO	
LIBERADO	
DATA LIB. / /	

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

C:\Users\Ruan\Downloads\unnamed (1).png

RLM	LOC
PRJ	PCP

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES	EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE
PRC	MON			

LIBERADO	DATA LIB. / /
----------	---------------

DIAGRAMA FUNCIONAL

FOLHA 5
DE 5 FOLHAS

A

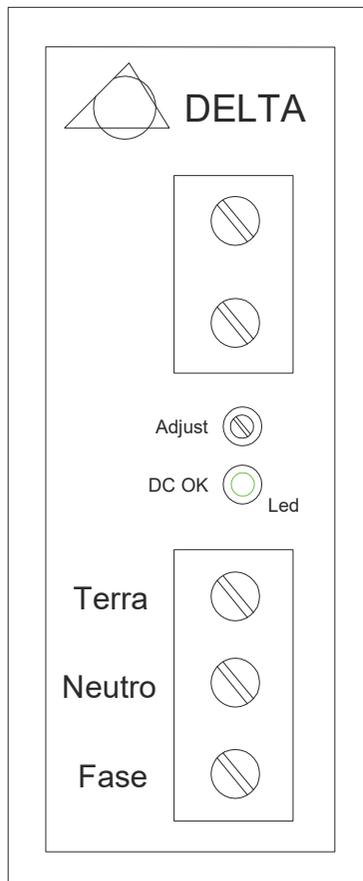
B

C

D

E

Fonte de alimentação 24Vdc



DELTA ELECTRONICS, INC
 POWER SUPPLY
 MODEL: D0116888
 DRP024V060W1AZ
 INPUT: 100-240V ~ 1,5A , 50~60Hz
 OUTPUT: 24V --- 2,5A

F

		ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO					=	+
		REVISÃO GERAL					EXECUTADO	
		REVISÃO GERAL					VERIFICADO	
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES			EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE
PRJ	PCP	PRC	MON				DATA LIB.	/ /

CLIENTE:
Quadro de Acionamento
DIAGRAMA FUNCIONAL

<small>C:\Users\Ruan\Downloads\unnamed (1).png</small>
FOLHA 6
DE 6 FOLHAS

1

2

3

4

5

6

7

8

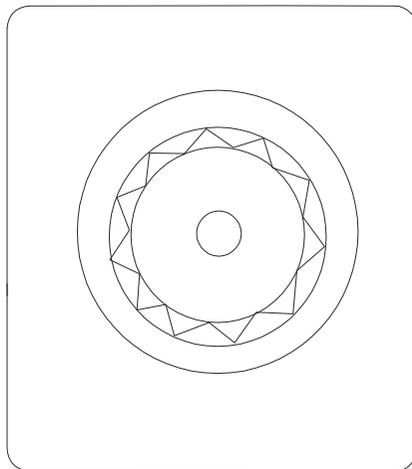
ALIMENTAÇÃO GERAL
1~ 60Hz 220V

ALIMENTAÇÃO
ELETRÔNICA

A

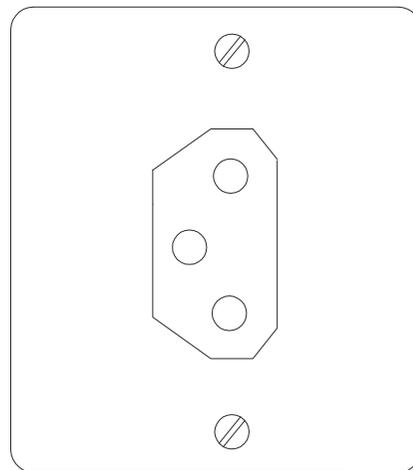
Fusível

500V-25A



B

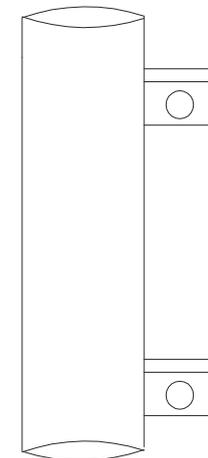
Tomada Tripolar



C

Resistencia

50ohms / 200W



D

E

F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

RLM

LOC

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES

EXECUTADO

LIBERADO

DATA LIB.

INDICE

LIBERADO

DATA LIB. / /

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

C:\Users\Ruan\Downloads\unnamed (1).png

DIAGRAMA FUNCIONAL

FOLHA 2

DE 5 FOLHAS

A

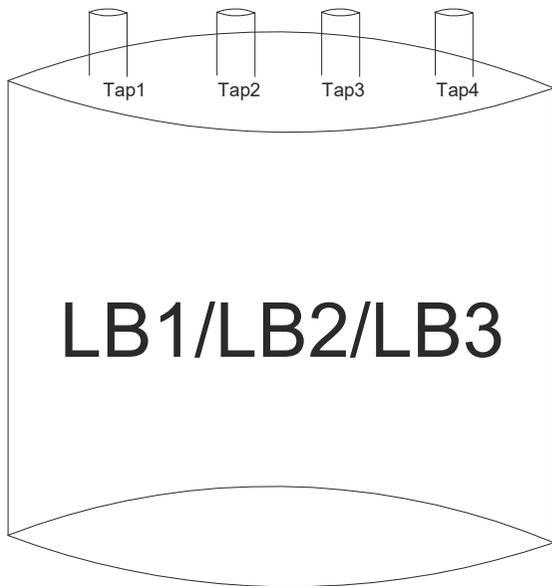
B

C

D

E

F



Reatância Monofásica

TAPS: 0,5/1 - 2mH

Corrente Nominal: 20A

Ref.: AUTOM.

380V

Data: 06/10

60Hz

MR SEVERO

Trafo

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

EXECUTADO

VERIFICADO

LIBERADO

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

C:\Users\Ruani\Downloads\unnamed (1).png

FOLHA 4

DE 5 FOLHAS

PRJ	PCP	PRC	MON	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES	EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO	DATA LIB.	/ /

DIAGRAMA FUNCIONAL

1

2

3

4

5

6

7

8

ELETRÔNICA

LIGAÇÃO AUTOMATIZADA ENTRE OS EMULADORES

A

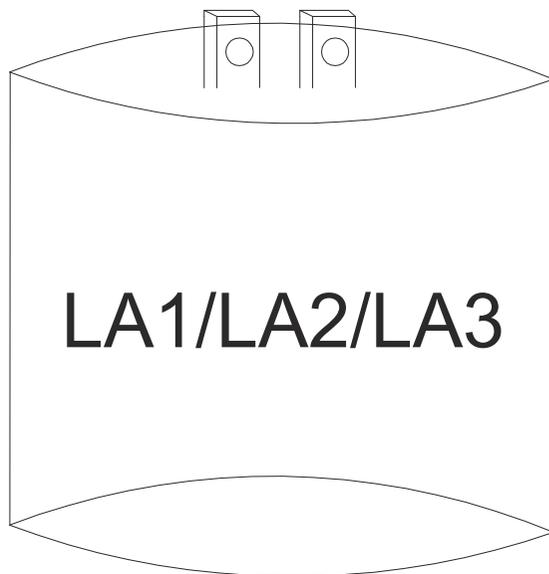
B

C

D

E

F



Reatância Monofásica

Indutância: 7mH

Corrente Nominal: 20A

Ref.: AUTOM.

Data: 04/09

60Hz

MR SEVERO

Trafo

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

EXECUTADO

VERIFICADO

LIBERADO

DATA LIB. / /

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

C:\Users\Raan\Downloads\unnamed (1).png

FOLHA 4

DE 5 FOLHAS

RLM LOC

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES

EXECUTADO

LIBERADO

DATA LIB. / /

INDICE

DIAGRAMA FUNCIONAL

PRJ PCP PRC MON

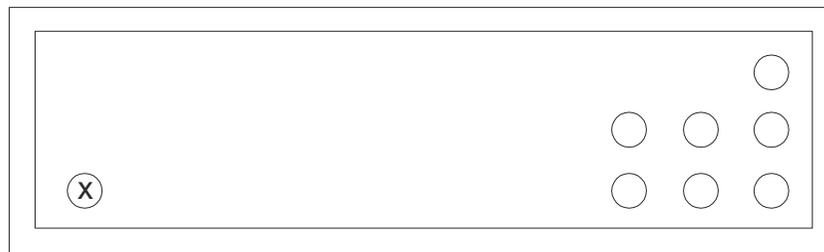
A

Quadro de Acionamento

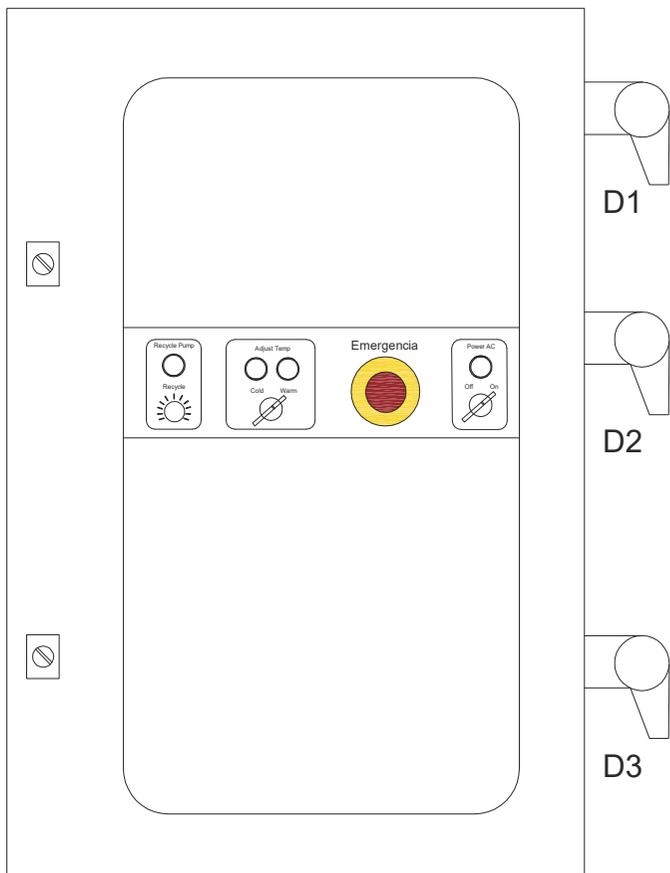
Vista Interna Superior

B

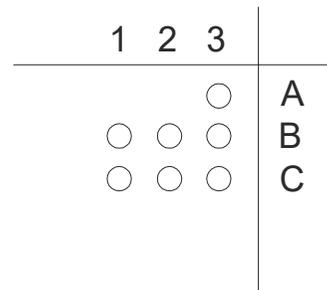
Vista Frontal



C



Mapeamento



F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO										= +		CLIENTE:		C:\Users\Ruan\Downloads\unnamed (1).png	
REVISÃO GERAL										EXECUTADO					
REVISÃO GERAL										VERIFICADO					
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES						EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO		FOLHA XX	
PRJ	PCP	PRC	MON									DATA LIB. / /		DE YY FOLHAS	

A

Unidade Condensadora

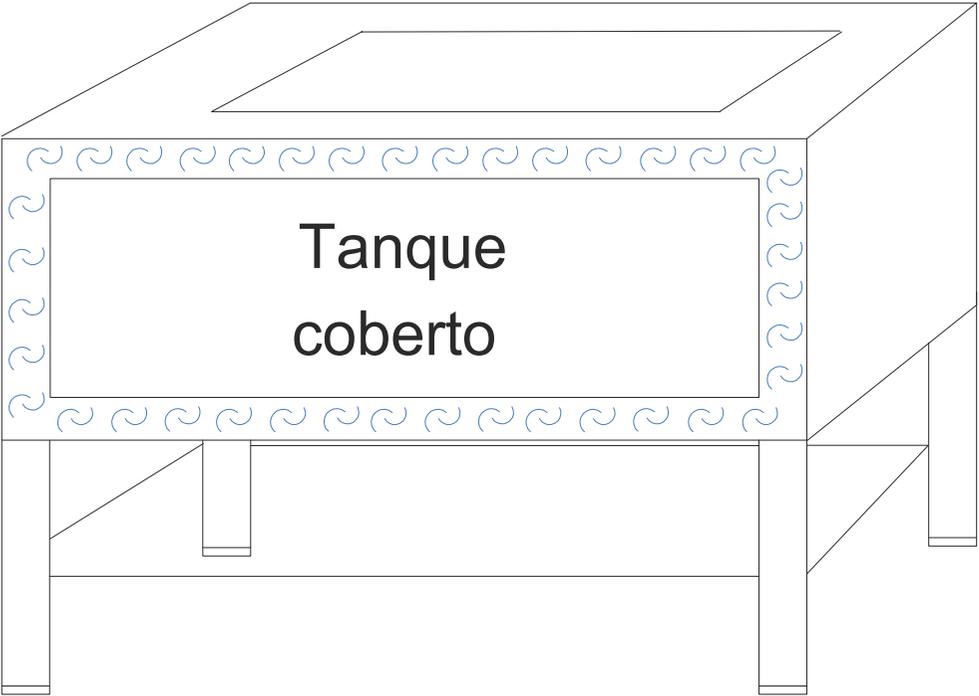
B

Ilustração

C



D



E

Danfoss				Maneurop	
Modelo: CMT 22-3B3				Unidade Condensadora:	
Série: 96350627B				10533058	
Carenagem uso ext: <input type="text"/>					
Gás Refrigerante: R12/22/502					
Compressor:	220V	3F	60Hz	7,1 a 40A Bt	
Ventilador(UN):	220V	1F	60Hz	0,3 a 1/10	
Temperatura de Evaporação: -18C° a 0C°					
Contator Modelo: C1 6					
Fusível Máximo: 20A					
Carga Total Refrigerante:					
Pressão de Projeto PSIG:				360 MÁX. 200MIN.	

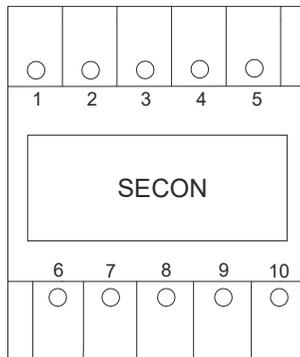
F

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO										=	
REVISÃO GERAL										EXECUTADO	
REVISÃO GERAL										VERIFICADO	
RLM	LOC	RESUMO DAS MODIFICAÇÕES					EXECUTADO	LIBERADO	DATA LIB.	INDICE	LIBERADO
PRJ	PCP	PRC	MON							DATA LIB. / /	

CLIENTE:

Conversores de Sinais

Encapsulamento Tipo 1



Encapsulamento Tipo 2

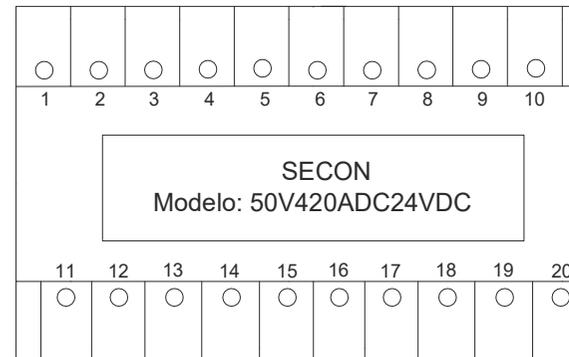
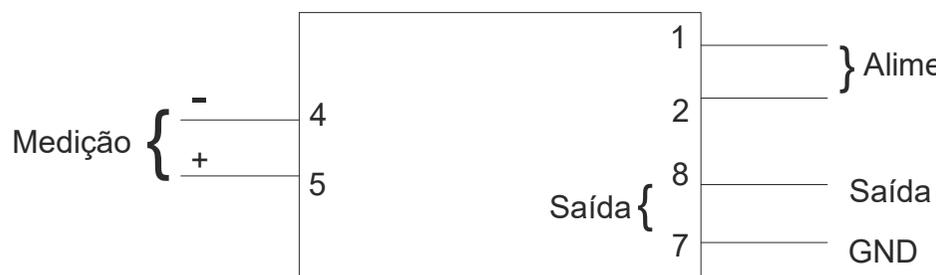
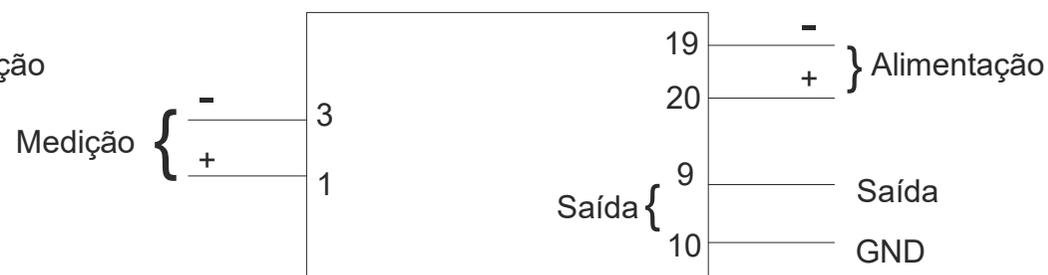


Diagrama de conexões



Conexão para o encapsulamento Tipo 1



Conexão para o encapsulamento Tipo 2

ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTO

REVISÃO GERAL

REVISÃO GERAL

= +

CLIENTE:

Quadro de Acionamento

C:\Users\Ruani\Downloads\unnamed (1).png

EXECUTADO

VERIFICADO

LIBERADO

DATA LIB. / /

DIAGRAMA FUNCIONAL

FOLHA 3

DE 5 FOLHAS

PRJ | PCP | PRC | MON |

RESUMO DAS MODIFICAÇÕES

EXECUTADO

LIBERADO

DATA LIB.

INDICE

5 Considerações descritivas e funcionais

As considerações apresentadas nesta seção complementam as notas informativas apresentados nos folhetos descritivos da parte III deste documento. É necessário informar que as descrições apresentadas a seguir dizem respeito a funcionalidade desejada para os elementos presentes na plataforma, todavia, podem não representar a configuração atualmente disposta das conexões em razão de eventuais testes passíveis de realização.

5.1 Tanque de banho termotizado controlado

O fluxo de água é gerado pela bomba, que troca a água do reservatório pela água do tanque, assim como cria um fluxo nas tubulações de troca de calor com o líquido refrigerante. Durante a operação do sistema, a fim de manter a temperatura do tanque homogênea, a bomba está sempre em operação. Dentro do reservatório de água há uma resistência que realiza o aquecimento da água no reservatório. O elemento de atuação do circuito de refrigeração é o compressor. Os circuitos de aquecimento e refrigeração são ligados de forma independente através do quadro de comando, configurando assim o *setup* estruturado para controle de temperatura.

5.2 Quadro elétrico de comando e Controle

O sensoriamento é realizado a partir de resistores detectores de temperatura (do inglês, *resistance temperature detectors*, RTDs), mais especificamente do tipo PT1000, mergulhados no tanque termotizado e associado a um DataLogger programado para realizar o controle de temperatura. Este último por sua vez, encontra-se associado aos inversores necessários para o acionamento do sistema. O inversor da marca Schneider é empregado no acionamento do compressor (controle do circuito de resfriamento), e o inversor WEG, no acionamento da bomba (controle do circuito de aquecimento). Os inversores permitem sintonizar a velocidade dos dois circuitos (aquecimento e resfriamento).

6 Perspectivas de trabalhos futuros

Sob o aspectos da descrição de hardware do sistema apresentado, recomenda-se estruturar diagramas que descrevam com mais detalhes as conexões do projeto de conversor, bem como da placa de aquisição de sinais e da placa do DSP. Relativamente a verificação do funcionamento da estrutura, é recomendado após finalizar a descrição do conversor fazer uso das informações apresentadas neste documento e esquematizar uma série de testes.

As demais partes da bancada representam fundamentalmente estruturas de software. Nesse contexto, existe a possibilidade de agregar valores a interface de comunicação remota e sobretudo descrever os procedimentos para sua utilização.

Relativamente a estrutura de controle e monitoramento do sistema, se faz necessário elaborar um documento que explicita as principais configurações adotadas bem como os procedimentos para correta utilização do DSP. Ainda com relação a utilização do DSP, comentar em detalhes os códigos utilizados na bancada é de grande valia para usuários não experientes.

As observações apresentadas como perspectivas para trabalhos futuro representam uma etapa fundamental para facilitar a introdução de recursos humanos nos estudos viabilizados por meio da bancada. É esperado que após cumprir as sugestões supracitadas a bancada encontre-se em condições de agregar com maior facilidade novos estudantes e pesquisadores.

Referências

- ACORDO Técnico-Científico de Cooperação, Acumuladores Moura e Universidade Federal de Campina Grande. 2012. Relatório Técnico das atividades desenvolvidas no acordo de cooperação. Citado na página 11.
- CHEN, L.-R. et al. Design of a reflex-based bidirectional converter with the energy recovery function. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 55, n. 8, p. 3022–3029, 2008. Citado na página 11.
- CHEN, M.-Y. et al. A novel control strategy for multi-phase battery chargers without hall-effect current sensors. In: IEEE. *Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International*. [S.l.], 2010. p. 2729–2735. Citado na página 11.
- CHENG, P.-H.; CHEN, C.-L. High efficiency and nondissipative fast charging strategy. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, IET, v. 150, n. 5, p. 539–545, 2003. Citado na página 11.
- CHIU, H.-J. et al. A novel rapid charger for lead-acid batteries with energy recovery. *IEEE transactions on power electronics*, IEEE, v. 21, n. 3, p. 640–647, 2006. Citado na página 11.
- CHUANG, Y.-C.; KE, Y.-L. High efficiency battery charger with a buck zero-current-switching pulse-width-modulated converter. *IET Power Electronics*, IET, v. 1, n. 4, p. 433–444, 2008. Citado na página 11.
- DÍAZ, J. et al. Intelligent and universal fast charger for ni-cd and ni-mh batteries in portable applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 51, n. 4, p. 857–863, 2004. Citado na página 11.
- DÜRR, M. et al. Dynamic model of a lead acid battery for use in a domestic fuel cell system. *Journal of power Sources*, Elsevier, v. 161, n. 2, p. 1400–1411, 2006. Citado na página 20.
- GAO, L.; LIU, S.; DOUGAL, R. A. Dynamic lithium-ion battery model for system simulation. *IEEE transactions on components and packaging technologies*, IEEE, v. 25, n. 3, p. 495–505, 2002. Citado na página 20.
- HUANG, H.-M. et al. Design and implementation of a novel rapid charger with energy recovery. In: IEEE. *Industrial Technology, 2005. ICIT 2005. IEEE International Conference on*. [S.l.], 2005. p. 1300–1303. Citado na página 11.
- JIANG, Z.; DOUGAL, R. A. Synergetic control of power converters for pulse current charging of advanced batteries from a fuel cell power source. *IEEE Transactions on Power electronics*, IEEE, v. 19, n. 4, p. 1140–1150, 2004. Citado na página 11.
- KETZER, M. B. et al. Battery test system with regenerating capability. In: *5 International Conference on Engineering Optimization-EngOpt 2016*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 17.

- LIANG, T. et al. Implementation of a regenerative pulse charger using hybrid buck-boost converter. In: IEEE. *Power Electronics and Drive Systems, 2001. Proceedings., 2001 4th IEEE International Conference on.* [S.l.], 2001. v. 2, p. 437–442. Citado na página 11.
- LISERRE, M. *Innovative control techniques of power converters for industrial automation.* Tese (Doutorado) — Politecnico di Bari, Italy, 2001. Citado na página 19.
- RAO, R.; VRUDHULA, S.; RAKHMATOV, D. N. Battery modeling for energy aware system design. *Computer*, IEEE, v. 36, n. 12, p. 77–87, 2003. Citado na página 20.
- SALAMEH, Z. M.; CASACCA, M. A.; LYNCH, W. A. A mathematical model for lead-acid batteries. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, IEEE, v. 7, n. 1, p. 93–98, 1992. Citado na página 20.
- SCHUCH, L. et al. Analysis and design of a new high-efficiency bidirectional integrated zvt pwm converter for dc-bus and battery-bank interface. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IEEE, v. 42, n. 5, p. 1321–1332, 2006. Citado na página 11.
- TAO, H. et al. Family of multiport bidirectional dc–dc converters. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, IET, v. 153, n. 3, p. 451–458, 2006. Citado na página 11.
- TEODORO, R. G. *Metodologia para compensação de desequilíbrio em redes elétricas.* Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, 2005. Citado na página 12.
- WANG, J.; CHUANG, C. Design considerations of microprocessor-controlled multiphase battery charger with fast-charging strategy. *IET Electric Power Applications*, IET, v. 1, n. 2, p. 143–152, 2007. Citado na página 11.