

## Relatório Final

*Soldagem & Inspeção*

### **Condicionador de Sinais em Soldagem**

#### **1. Soldagem a Arco Elétrico**

O arco elétrico de soldagem consiste de uma descarga elétrica sustentada através de um gás ionizado em alta temperatura (PLASMA) que produz energia térmica suficiente para ser usado na união de peças por fusão localizada. O arco de soldagem opera entre um eletrodo plano ou aproximadamente plano (a peça) e o outro cilíndrico (o arame, vareta ou eletrodo), cuja área é muito menor do que a do primeiro.

A queda de tensão na coluna de plasma varia principalmente com o comprimento do arco, com a corrente, com o tipo e geometria dos eletrodos e com gás de proteção. A corrente é transportada principalmente por elétrons e a estabilidade da descarga depende das condições de criação de elétrons livres e íons nos eletrodos e na coluna de plasma. A estabilidade é afetada pela polaridade. Arcos instáveis comprometem a qualidade da solda.

Industrialmente, o processo de soldagem a arco é o mais importante na produção e reparo de equipamentos, e sendo um processo especial de fabricação, que não pode ser completamente inspecionado contra imperfeições somente após sua finalização, o monitoramento da produção se faz necessário.

#### **2. Norma ISO**

A ISO 17662:2005 trata sobre as necessidades de monitoramento de cada processo de soldagem, especificando os dados que devem ser monitorados e a correta escolha e calibração dos sistemas e equipamentos de medidas.

#### **3. Proposta do Trabalho**

Apresentação de uma topologia (arquitetura de construção elétrica) de condicionamento de sinais para soldagens a arco, especificamente, tensão, corrente e velocidade de alimentação que seja de amplo uso, tanto para indústria, quanto para a maioria dos trabalhos científicos.

#### **4. Aquisição e condicionamento de sinais**

O sistema de aquisição escolhido para uso com esta topologia é uma placa de aquisição de sinais da National Instruments, MyDaq, que contém duas entradas analógicas e duas saídas analógicas a 200 kS/s e 16 bits, oito linhas de E/S digital, fornecendo alimentação para circuitos simples com fontes de +5, +15 e -15 volts, e um DMM de 60 V, para medições de tensão, corrente e resistência.

Para a realização da aquisição dos sinais elétricos (tensão e corrente) e da velocidade de alimentação do arame de adição dos processos de soldagem

a arco deve-se realizar o condicionamento destes sinais, adequando suas grandezas físicas (tensão, corrente e movimento linear) em suas respectivas amplitudes, em uma grandeza elétrica que possa ser convertida em um sistema digital. Comumente se realiza a conversão analógica/digital de sinais de tensão em baixas amplitudes. Assim a proposta é a construção de uma topologia que condicione os três sinais, em sinais de saídas em tensão, nos limites da placa citada.

A maioria dos conversores digitais utiliza-se de sinais de tensão para a interpretação dos dados adquiridos, portanto, o parâmetro de tensão do arco não necessita de um transdutor. Para os sinais de corrente e velocidade de alimentação, escolheu-se, respectivamente, um sensor Hall e um *encoder* relativo óptico rotativo em quadratura.

A próxima etapa para o desenvolvimento do sistema de monitoramento dos sinais em soldagem é o condicionamento dos mesmos, adequando-os à entrada do conversor analógico-digital (A/D). Em termos de grandeza elétrica, deve-se adequar a faixa de tensão liberada pelo transdutor, no caso da corrente, ou pela própria grandeza, no caso da tensão do arco, para a faixa de trabalho do conversor (divisor de tensão), e para a velocidade de alimentação converter o sinal modulado em frequência do *encoder* em um sinal de tensão, além de circuitos de segurança para o conversor A/D.

Detalhamentos dos circuitos são mostrados a seguir, explicando as etapas para o completo condicionamento dos sinais, e com a aplicação dos mesmos ser possível realizar a aquisição dos sinais dos processos de soldagem.

#### 4.1 Sinal de Tensão (U)

Em termos de grandeza elétrica, não há necessidade de um transdutor, mas deve-se adequar a faixa de tensão de soldagem (definida como -70 a +70 V no projeto) para a citada faixa de trabalho. Além disto, há a necessidade de um circuito de isolamento galvânico – o circuito de aquisição deve ser eletricamente isolado da parte de potência (soldagem) – filtros analógicos para a retirada de frequências fora do escopo de estudo, adequação de impedância para a ligação com as placas de aquisição, responsáveis pela conversão analógico-digital.

O condicionamento para o sinal de tensão (Figura 1) proveniente do processo de soldagem é realizado inicialmente com um circuito elétrico composto de um divisor de tensão (DTS), para adequação da amplitude do sinal para a faixa de trabalho, e um isolador galvânico proporcional de ganho unitário ISO122P.

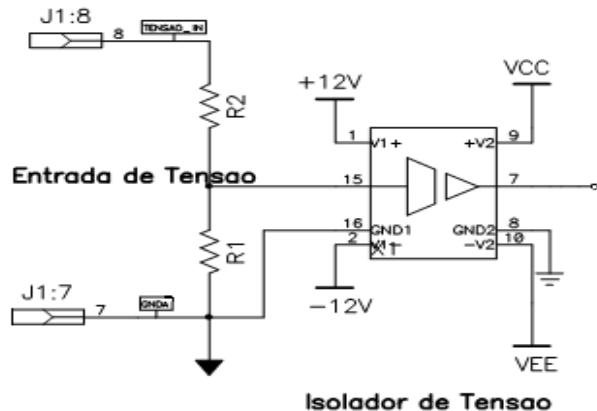


Figura 1. Circuito de entrada para a tensão: divisor de tensão e isolamento

O divisor de tensão divide o sinal de entrada de -70 a 70 V para a faixa de -6,29 até 6,29 V, com ganho de tensão de aproximadamente  $k_{divisor} \approx 1/11,14$ ; e o isolador galvânico tem ganho unitário, com sua saída, portanto, igual ao sinal em sua entrada, realizando o isolamento galvânico desacoplando a referência entre a fonte de soldagem e o sistema de aquisição, evitando despejo de corrente da potência (soldagem) para o sistema de condicionamento e aquisição, o que pode levar a danificação do último.

Após a adequação inicial da amplitude do sinal, e de sua isolação galvânico, há a necessidade de um filtro para altas frequências. Optou-se pela utilização de um filtro de Butterworth passa-baixa de segunda ordem com frequência de corte em 1591 Hz. Esta frequência permite uma resposta sem atenuação para frequências até cerca de 600 Hz, para atender os requisitos dos sinais de soldagem que estão até 300 Hz. Seu circuito elétrico é apresentado conforme a Figura 2. Após o filtro o sinal de tensão está pronto para ser adquirido, sendo então o circuito apresenta um ganho total de  $k_{condicionador} = (1/11,14) * 1,586 = 1/7,02$ .

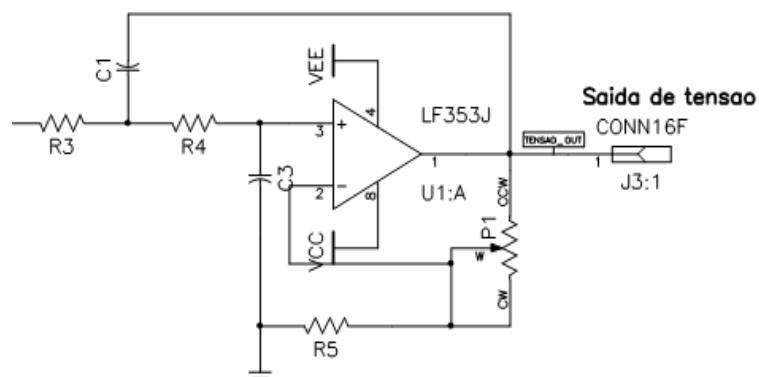


Figura 2. Circuito de filtro analógico: *Butterworth* de segunda ordem passa-baixa em 1591 Hz

Como o uso é para aquisição para as placas já citadas, não há necessidade de circuitos de segurança limitando a tensão em 10 V caso a entrada exceda os 70 V, visto que as mesmas apresentam segurança para até 40 V.

#### 4.2 Sinal de Corrente (I)

Para o sinal de corrente, os circuitos de condicionamento de sinal diferem-se dos utilizados para a tensão pela não necessidade de isolamento galvânico na etapa de condicionamento inicial, visto que o transdutor de efeito Hall utilizado já funciona como um isolamento galvânico.

O transdutor, no entanto, apresenta em sua saída, um sinal que, dependendo do modelo pode ser de corrente ou tensão proporcional à corrente que passa no condutor, sendo assim, quando for o caso, deve converter o sinal de corrente para um sinal de tensão proporcional, dentro da faixa de trabalho.

O circuito de condicionamento do sinal de corrente então é constituído de um conversor corrente tensão e um filtro passa-baixa como mostra a Figura 3.

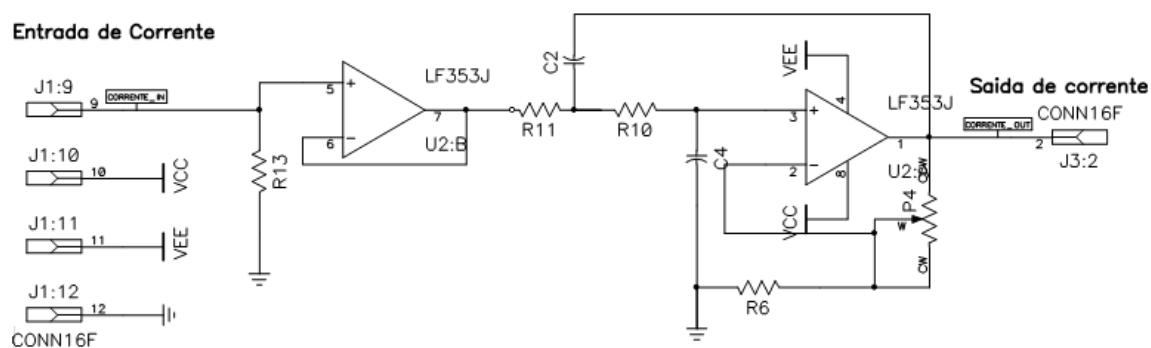


Figura 3. Circuito de condicionamento da corrente: Conversor corrente – tensão e filtro

O transdutor Efeito Hall (LEM LA 305-S) de corrente utilizado para o trabalho, com faixa de corrente de leitura de  $\pm 300$  A nominal e  $\pm 500$  A pico, apresenta o sinal de saída em corrente com amplitude de -120 a +120 mA e, após a passagem pelo conversor corrente/tensão (CCT) apresenta valores de -5,64 a +5,64 V, o valor de R13 é determinado pelo fabricante), sendo que na saída do filtro (o mesmo descrito para o sinal de tensão) apresenta um intervalo de -8,96 a +8,96 V, dentro dos limites de medida. O transdutor de corrente é do tipo de corpo fechado, que apresenta melhor linearidade de resposta. Os

transdutores que apresentam sinal de saída em tensão geralmente se apresentam em valores de  $\pm 4$  ou  $\pm 5$  V, estando então na faixa de uso do circuito.

#### 4.3 Sinal de Velocidade de Alimentação (Valim)

Para a velocidade de alimentação, utiliza-se uma montagem mecânica onde o arame passa entre dois discos com pressão suficiente para não haver escorregamento e, ao mesmo tempo, não deformar o arame. O eixo de um dos discos está acoplado ao eixo de um *encoder* relativo, podendo ser mecânico, magnético ou óptico. Os sinais que saem do mecanismo de medição são duas ondas digitais (fases), sendo trens de pulsos com 90 graus de defasagem entre si (

Figura 4). A Figura 5 ilustra a concepção de montagem do mecanismo de medida proposto.

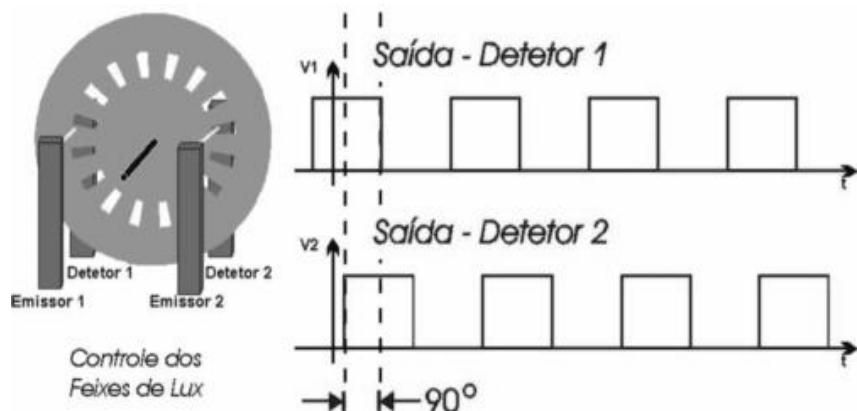


Figura 4. Sinal de saída de um *encoder* relativo

Os sinais provindos do *encoder* ou do disco óptico apresentam frequência variável de acordo com a rotação de seu eixo. Um circuito digital lógico do tipo *OU EXCLUSIVO* (apresenta saída com nível lógico 1, apenas quando suas entradas diferirem, ou seja, quando  $A=0$  e  $B=1$  ou  $A=1$  e  $B=0$ ) recebe os sinais das duas fases e dobra a sua frequência no sinal de saída, ou seja, seu sinal de saída tem o dobro da frequência do sinal de entrada em apenas um sinal. O sinal com frequência dobrada passa então por um circuito passivo onde este é transformado para um sinal com mesma amplitude sem

nível DC, ou seja, um sinal alternado. Este sinal alternado é necessário para o funcionamento do conversor de frequência em tensão (CFT).

O circuito possibilita a utilização de *encoder* ou discos ópticos que apresentam apenas uma onda digital (fase). Neste caso, deve-se aterrkar a segunda entrada do circuito para seu funcionamento. Este sinal então é convertido em tensão através de um circuito conversor de frequência em tensão, baseado no LM2907, que apresenta excelente linearidade de resposta. Este circuito para o condicionamento do sinal de velocidade de alimentação é ilustrado na Figura 6.

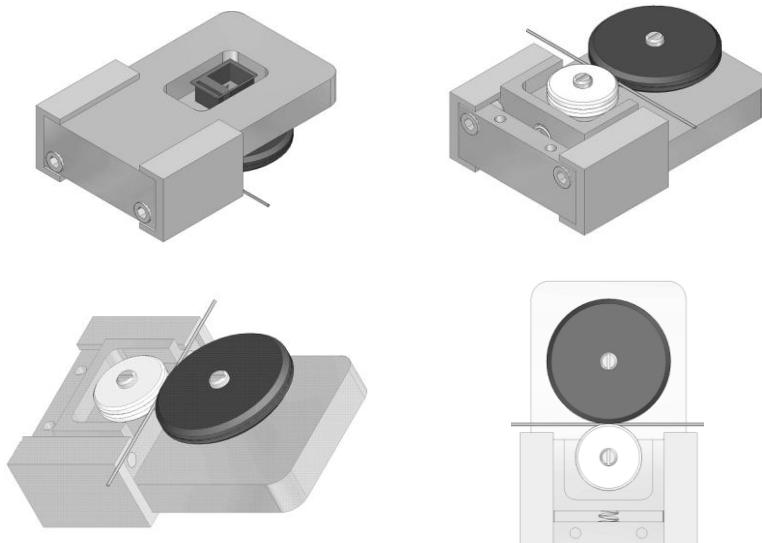


Figura 5. Mecanismo para medida de Velocidade de Alimentação

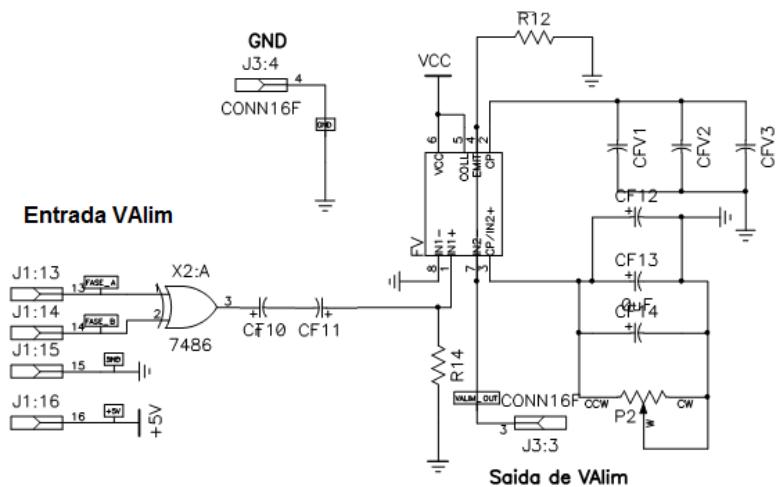


Figura 6. Circuito de condicionamento para a velocidade de alimentação

#### 4.4 Fontes de Alimentação

O circuito completo para o condicionamento, ainda é composto por duas fontes de alimentação simétricas de -12 e +12 V, para a alimentação dos circuitos. Necessita-se de duas fontes pela presença do isolador para o sinal de Tensão, que demanda o uso de duas fontes simétricas, uma no lado da potência e a outra no lado do sistema de aquisição. A segunda fonte apresenta também uma tensão regulada de +5 V para alimentação do *encoder*. Seus circuitos podem ser observados na Figura 7.

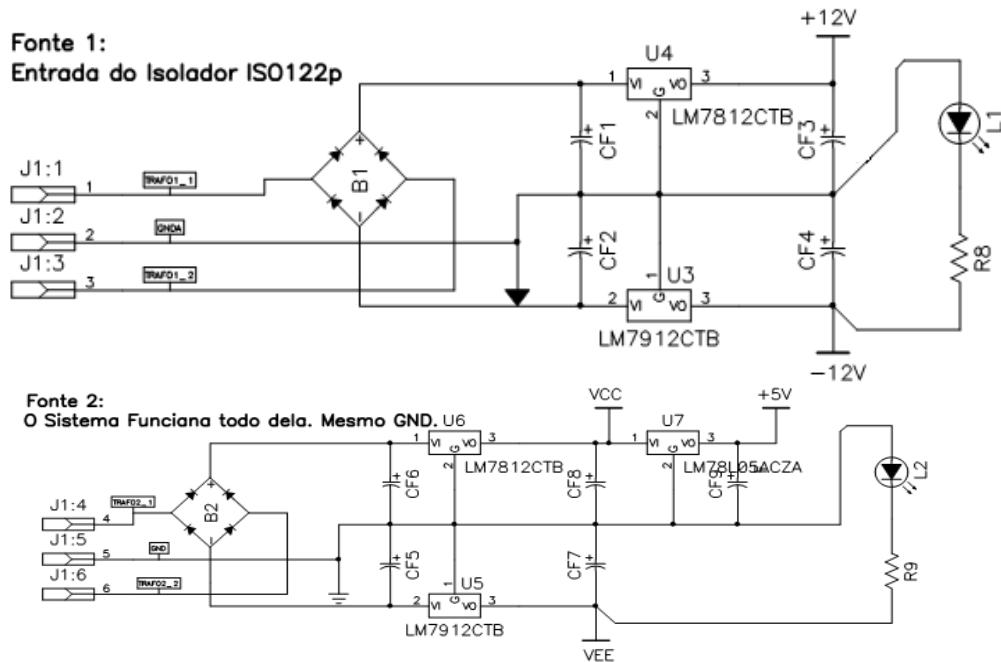


Figura 7. Fonte 1: utilizada na referência da parte da solda. Fonte 2: utilizada para alimentação de todo circuito e referencia para o sistema de aquisição

O consumo de corrente na Fonte 1 é menor que 50 mA, e para a Fonte 2 é de 120 mA somado ao que for consumido pelo transdutor de corrente com saída em corrente. Este tipo de transdutor consome mais corrente e, no caso deste trabalho 120 mA, resultando em um total de 240 mA. O consumo de corrente afeta na escolha dos transformadores das fontes, que são de 12+12 V e a corrente especificada conforme acima.

## 5. Protótipo

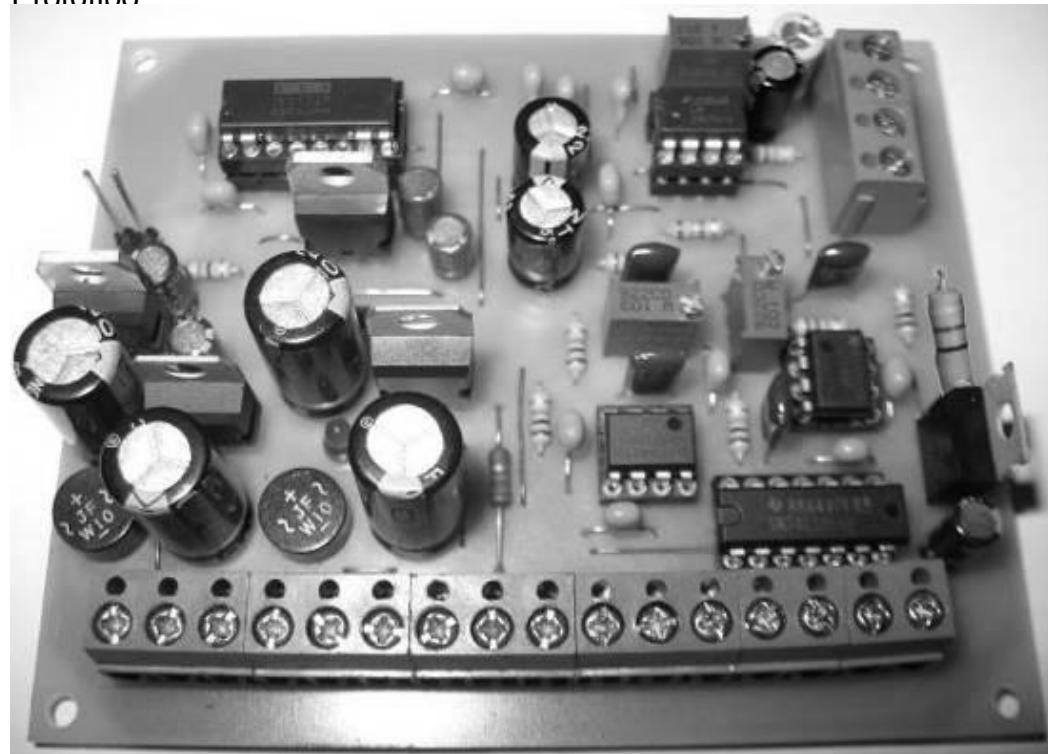
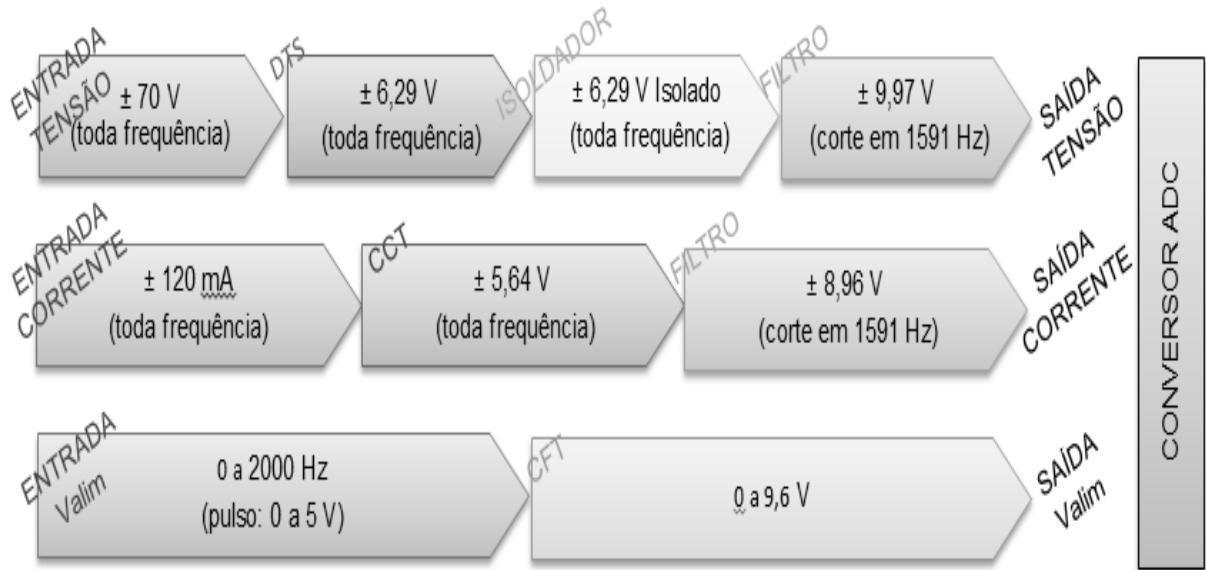


Figura 8 - Montagem da placa de condicionamento

A figura 9 mostra um fluxograma, com o esquema das etapas para o funcionamento dos circuitos de condicionamento dos sinais.



DTS: Divisor de Tensão; CCT: Conversor de Corrente em Tensão; CFT: Conversor de Frequência em Tensão; Valim: Velocidade de alimentação.

Figura9. Fluxograma das etapas do condicionamento dos sinais.

## 6. Calibração do Sistema de Aquisição

A topologia projetada deve ser calibrada com o uso de um banco de cargas<sup>1</sup> em conjunto com um voltímetro e um amperímetro calibrados (equipamentos de referência), sendo uma das formas de calibração indicadas. O banco de carga mantém a resistência relativamente constante durante todo o processo de calibração, garantindo uma leitura estável durante o acionamento da fonte de soldagem tanto para a tensão quanto para a corrente, e está ilustrado na Figura 8.



Figura 8. Banco de carga utilizado para calibração do sistema de monitoramento.

Deve-se variar a corrente imposta pela fonte de soldagem em  $\pm 300$  A em espaçamentos fixos de 50 A. Então, para cada valor de corrente imposta ao banco de carga, serão lidos os valores de corrente e tensão tanto pelos equipamentos de referência quanto pelo sistema de aquisição proposto. Os valores de tensão de saída dos circuitos de condicionamento serão medidos com o uso da placa de aquisição USB-6009, supracitada, e um programa de visualização implementado em *Labview*. Os equipamentos utilizados para a calibração serão:

- Multímetro Fluke True RMS 87 III para medição de tensão;
- Amperímetro Minipa True RMS ET-3910 para corrente;
- Fonte de Soldagem IMC *Digitec* 600;
- Protótipo da Topologia de Condicionamento;
- Banco de Carga do Laprosolda;
- NI USB-6009

## 7. Validação da Topologia

O sistema de condicionamento de sinais é validado pela instrumentação de diferentes soldagens TIG e MIG/MAG, através dos oscilogramas dos sinais de tensão e corrente obtidos durante os processos de soldagem. O mecanismo

<sup>1</sup> Tubo de aço inox, com resfriamento interno à água, utilizado como Resistência Ôhmica. O grampo ilustrado na Figura 8, ao ser mudado de posição, varia o valor da resistência que representa a queda de tensão proveniente do arco elétrico.

de leitura para velocidade de alimentação pode ser testado e validado utilizando-se um gerador de sinais digitais.

## 8. Dificuldades encontradas

Como explicado, a validação da topologia não chegou a ser realizada novamente, assim algumas considerações foram baseadas em testes em trabalhos anteriores no Laboratório de Soldagem da Faculdade de Engenharia Mecânica da Ufu.

O projeto se apresentou bastante complexo já que exige conhecimentos específicos em diferentes áreas da Engenharia Mecânica e Elétrica, logo, entende-se que para seu desenvolvimento é interessante que se possa contar com mais de uma pessoa de cada área. Além disso, um estudo de viabilidade mostrou que é de fundamental importância a vinculação do projeto com alguma entidade da Universidade, levando consideração o alto custo dos equipamentos envolvidos, uma prévia do orçamento foi feita para que fosse dada entrada no pedido dos componentes pelo Laboratório de Apoio a Fabricação.

Verificou-se também que o tempo proposto para o desenvolvimento do projeto não foi suficiente, muitas etapas não foram realizadas, dessa forma, para chegar ao resultado esperado, deve-se considerar o tempo gasto para revisão bibliográfica, imprevistos relacionados aprovações de orçamentos, indisponibilidade de componentes, laboratórios, equipamentos e supervisão necessárias para construção e validação da topologia.

## 9. Orçamento

Item	Qtdade	Valor	Total		Local
myDAQ + LabView 2012 Std	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00		NI
Sensor Hall HAT-600S	1	R\$ 270,00	R\$ 270,00		AMDS4
ISO122p	1	R\$ 110,00	R\$ 110,00		Farnell
KK2 (par)	2	R\$ 0,40	R\$ 0,80		
Resistor 1/4W	36	R\$ 0,05	R\$ 1,80		
LF353p	3	R\$ 1,05	R\$ 3,15		
Resistor 1W	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00		
KK3 (par)	2	R\$ 0,56	R\$ 1,12		
Ponte Retificadora	2	R\$ 0,50	R\$ 1,00		
Capacitor 1000u 35V	2	R\$ 0,80	R\$ 1,60		
Capacitor 470u 35V	2	R\$ 0,80	R\$ 1,60		
Capacitor 10uF 16V	3	R\$ 0,20	R\$ 0,60		
Capacitor 47uF 16V	2	R\$ 0,25	R\$ 0,50		
LM7812	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00		
LM7912	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00		
LM7805	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00		
LED 3mm	2	R\$ 0,25	R\$ 0,50		
KK4 (par)	3	R\$ 0,68	R\$ 2,04		
LM74LS86	1	R\$ 0,90	R\$ 0,90		
Capacitor Poliéster 100nF	12	R\$ 0,10	R\$ 1,20		
Placa de Fibra 2 FACE	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00		
Caixa	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00		Eletrodex
MIKE 2	1	R\$ 3,90	R\$ 3,90		
MIKE 4	1	R\$ 4,25	R\$ 4,25		
MIKE 5	1	R\$ 5,50	R\$ 5,50		
MIKE 8	1	R\$ 4,60	R\$ 4,60		
Cabo MANGA 4 vias	10	R\$ 2,10	R\$ 21,00		
TRAFOS 15+15 @100mA	1	R\$ 7,70	R\$ 7,70		
TRAFOS 15+15 @500mA	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00		
Fusível	2	R\$ 0,10	R\$ 0,20		
TOMADA FORCA + PORTA FUSIVEL	1	R\$ 2,50	R\$ 2,50		
CABO DE FORCA	1	R\$ 6,90	R\$ 6,90		
ENCODER 1024 pulsos	1	R\$ 379,50	R\$ 379,50		Farnell
Conector Jacaré preto	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00		
Conector Jacaré vermelho	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00		
LM331N	1	R\$ 7,30	R\$ 7,30		
Soquete 8DIP	3	R\$ 1,20	R\$ 3,60		
Soquete 14 DIP	1	R\$ 1,40	R\$ 1,40		
Soquete 16 DIP	1	R\$ 1,80	R\$ 1,80		

Total Material			R\$ 1.516,96		
Serviço (Montagem e Software)			R\$ 2.000,00		
TOTAL			R\$ 3.516,96		
Imposto	30%		R\$ 4.572,05		