

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO DOS PARÂMETROS DAS MÁQUINAS DE SOLDA DAS DECAPAGENS DA COSIPA ¹

Amauri Dias de Carvalho ²

Edson Kazuo Ino ³

José Araújo de Souza ⁴

Neilson Duarte de Souza ⁵

Ricardo Severiano da Silva ⁶

Thatiana Maria ⁷

Resumo

Durante a laminação a quente, surge ao longo de toda a superfície da tira de aço, uma camada de óxido que deve ser removida antes dela ser laminada a frio. A Decapagem é o processo usado para esta remoção. Lá, as bobinas são desenroladas, uma a uma, e suas extremidades são soldadas, ou seja, o final de uma bobina já em processo é soldada ao início da próxima bobina. Na seção de saída, a tira é aparada em suas bordas, inspecionada, oleada e enrolada novamente. A solda realizada na seção de entrada transforma o processo de decapagem em um processo contínuo, resultando na melhoria de sua produtividade e na dos processos posteriores. Esta melhoria é obtida através do aumento do peso médio dos rolos produzidos, pois se agrupam pelo menos duas bobinas em cada rolo. Na COSIPA o termo “rolo” é adotado para denominar o produto formado por duas bobinas unidas por solda. A solda que irá para o Laminador de Tiras a Frio (LTF) deverá possuir as mesmas características de qualidade da tira e terá como objetivo evitar a ocorrência de ruptura no LTF, o que pode ocasionar danos ao equipamento. As Decapagens da COSIPA são antigas e carentes de sistemas que supervisionem o processo, desta forma com o objetivo de implementar o monitoramento de parâmetros do processo de soldagem, e criar uma base dados que possa ser consultada para analisar qualquer anormalidade que ocorra durante o processo, ou mais tarde no LTF, foi desenvolvido um sistema de supervisão e arquivamento de dados dos parâmetros de cada solda realizada nas máquinas de solda.

Palavras-chave: Decapagem; Máquina de solda; Aquisição de dados; Controle de processo.

DEVELOPMENT OF A SUPERVISORY SYSTEM FOR WELDER PARAMETERS ON COSIPA'S PICKLING LINES

Abstract

During hot rolling, a superficial oxidation comes out over the entire rolled strip surface, which must be removed, before be processed in a cold mill. The equipment used to remove this oxidation is the pickling line. There, the coils are unwounded one by one and welded each other at its head and tail ends. At the exit section, the strip is side trimmed, inspected, oiled and wounded again. The weld that was made in the line's entry section turns the pickling process into a continuous one, improving its own productivity as well the next line's productivity. This is attained increasing the average weight of the produced coils, as, at least, two coils are grouped in one. The weld that goes to the mill must has the same quality features as the strip to avoid strip breaks in the mill, causing damages to it. COSIPA's pickling lines are olders and destitute of any process supervisory system. So aiming the implementation of a welding process parameter monitoring and create a database that could be consulted to analyse any abnormality that could occur on the process or later on Tandem Cold Mill (TCM), was developed a supervisory and saving system for each weld made in the welding machines.

Key words: Pickling line; Welder; Data acquisition; Process control.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Sócio da A.B.M. Engenheiro Eletricista, M.Sc., Analista de Manutenção da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

³ *Técnico em Eletrotécnica, Supervisor de Inspeção Elétrica da Gerência de Decapagens da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

⁴ *Técnico em Eletrotécnica, Inspetor Elétrico da Gerência de Decapagens da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

⁵ *Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Analista de Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

⁶ *Técnico em Metalurgia, Assistente de Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

⁷ *Assistente de Automação, Gerência de Automação da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão - SP.*

1 INTRODUÇÃO

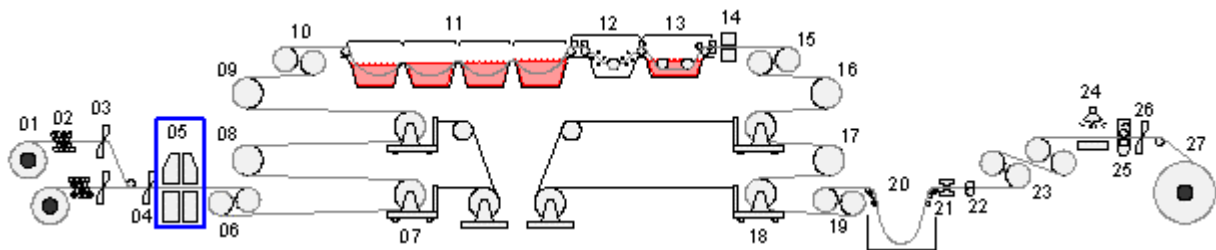
Durante a laminação a quente, surge ao longo de toda a superfície da tira uma camada de óxido. Para que essa tira possa ser laminada a frio é imprescindível a completa remoção desta camada, sob pena de geração de graves problemas de qualidade superficial e da possibilidade de ruptura durante o seu processo. A linha de processo que realiza esta função é a *decapagem*, que utiliza banhos de ácido clorídrico para a retirada dessa camada de óxido.

A linha de decapagem pode ser dividida em três seções - entrada, centro e saída. Na seção de entrada as bobinas são desenroladas uma a uma e soldadas nas suas extremidades final e inicial, respectivamente. Na seção central localizam-se os carros acumuladores (de entrada e saída), os tanques de ácido clorídrico, os tanques de lavagem e a secagem. Na seção de saída, a tira é aparada em suas bordas, oleada e enrolada novamente.

A solda tem como objetivos:

- transformar o processo de decapagem em um processo contínuo;
- aumentar a produtividade da Decapagem e dos processos posteriores.

A necessidade do processo ser contínuo se deve ao trajeto complexo que a tira deve percorrer ao longo da linha de Decapagem. A Figura 1 ilustra, como exemplo, a configuração típica de uma linha de Decapagem contínua, destacando a localização da máquina de solda. É possível notar a grande quantidade de rolos e equipamentos por onde a tira deve passar.



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 01 – Desenroladeiras. | 15 – Tensor 03. |
| 02 – Desempenadeiras. | 16 – Centralizador de bobinas 03. |
| 03 – Tesouras de corte duplo. | 17 – Centralizador de bobinas 04. |
| 04 – Tesoura de corte fino. | 18 – Carro acumulador de saída. |
| 05 – Máquina de solda. | 19 – Tensor 04. |
| 06 – Tensor 01. | 20 – Poço do “loop” de saída. |
| 07 – Carro acumulador de entrada. | 21 – Entalhador. |
| 08 – Centralizador de bobinas 01. | 22 – Tesoura de aparamento de bordas. |
| 09 – Centralizador de bobinas 02. | 23 – Tensor 05. |
| 10 – Tensor 02. | 24 – Mesa de inspeção de qualidade. |
| 11 – Tanques de ácido clorídrico. | 25 – Oleadeira. |
| 12 – Tanque de lavagem com água fria. | 26 – Tesoura de saída. |
| 13 – Tanque de lavagem com água quente. | 27 – Enroladeira. |
| 14 – Secador de chapas. | |

Figura 1 – Leiaute típico de uma linha de decapagem contínua.

Os ganhos de produtividade são obtidos pelo aumento do peso médio dos rolos produzidos, através do agrupamento de pelo menos duas bobinas em cada rolo formado na enroladeira, o que acarreta na existência de, no mínimo, uma solda. Na COSIPA o termo “rolo” é adotado para denominar o produto formado por duas bobinas unidas por solda.

Esta solda deverá ser laminada no Laminador de Tiras a Frio (LTF) e será, portanto, submetida aos mesmos esforços mecânicos pelo qual passará todo o restante da tira.

O risco de rupturas devido a estes esforços existe e, caso venham a ocorrer, causarão perdas no LTF, tanto de material de produção, como de cilindros de trabalho e a perda de produção, gerando elevação nos custos operacionais. Portanto, deve ser uma preocupação operacional na linha de Decapagem a garantia da qualidade e das características mecânicas e metalúrgicas da solda.

O processo de solda utilizado nas Decapagens da COSIPA é do tipo “Flash Butt” e é em malha aberta, ou seja, não existe controle automático para nenhum dos parâmetros que compõem o processo. Também não existia uma forma de supervisionar o processo ao longo de sua execução, o que dificulta o bloqueio de ocorrências que possam comprometer o resultado final.

Por exemplo, caso haja uma oscilação na rede elétrica de alimentação da máquina, que influencie significativamente na transferência de energia para a realização da solda, não existe um sensor conectado a um sistema de controle que perceba a anomalia e tome uma ação no sentido de corrigir imediatamente o problema. Isto vale para qualquer variável da máquina de solda. Desta forma, a verificação do desempenho do processo de solda é realizada por inspeção visual do cordão de solda após a *rebarbagem* (etapa do processo que retira o excesso de material que surge durante a realização da solda), e de testes destrutivos, após a realização de determinado número de soldas, conhecidos como “testes de embutimento”, que verificam a capacidade de deformação da solda.

Os parâmetros mais conhecidos, e que são considerados importantes na caracterização de uma boa solda são:

- a *tensão*, em volts;
- a *corrente*, em ampères e
- o *deslocamento* da máquina durante a solda, em milímetros).

A avaliação do comportamento destes três parâmetros pode auxiliar na análise do desempenho do processo de soldagem.

Este monitoramento era realizado semanalmente utilizando-se um *oscilógrafo*, que é um equipamento destinado a fazer a aquisição de dados em alta velocidade de sinais elétricos. Apesar de importante, este procedimento, por ser semanal, não garantia a qualidade de cada umas das soldas. Também não permitia uma análise aprofundada dos motivos que levavam às ocorrências de rupturas de solda no LTF.

Baseando-se nestas dificuldades foi desenvolvido um sistema contínuo de aquisição de dados, ou seja, do monitoramento da *tensão*, da *corrente* e do *deslocamento*, de cada solda realizada nas duas linhas de Decapagem.

O sistema implementado permite que o operador da máquina de solda observe em tempo real o comportamento das três variáveis. Também armazena em arquivo digital os dados coletados em cada solda, para posterior avaliação pelo suporte técnico e pela equipe operacional.

Este trabalho descreve o desenvolvimento desta solução, a utilização dos dados coletados, as possibilidades de melhoria nas informações e os resultados obtidos.

2 O PROCESSO DE SOLDA “FLASH BUTT”

Este processo de soldagem é projetado para produzir soldas entre dois metais de formatos similares, unindo as extremidades de trilhos, barras, tubos, anéis e, no caso da Decapagem, tiras de aço.

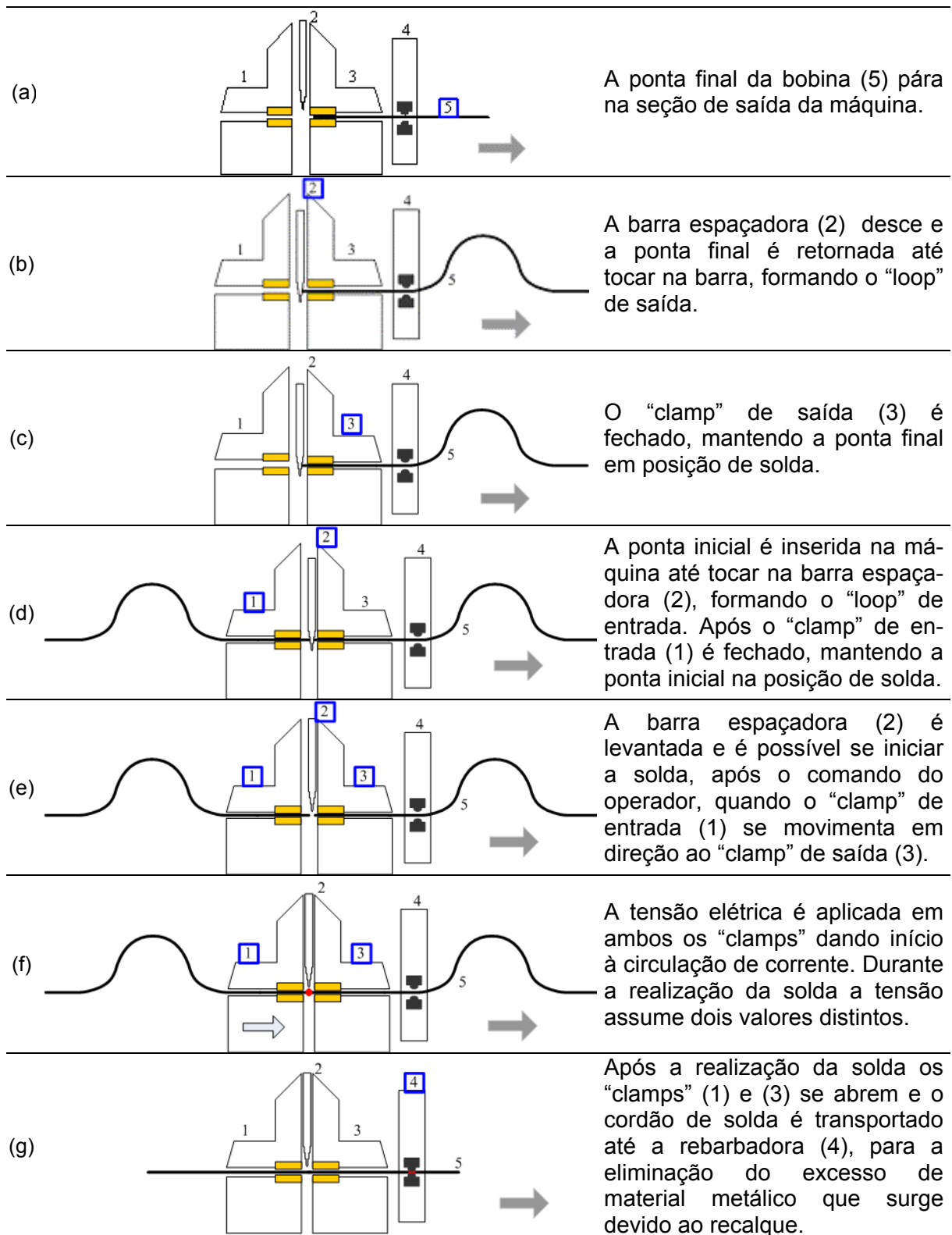


Figura 2 – Seqüência de uma máquina de solda tipo “Flash Butt”.

Na Figura 2, estão ilustradas as etapas do processo que se inicia com as peças que serão unidas sendo presas nos “clamps” (matrizes) de entrada e saída, os quais são conectados ao secundário do transformador de solda. Um dos clamps é deslizante e é programado para mover-se com velocidade controlada em direção ao outro clamp, que permanece fixo. Durante este movimento o transformador é energizado e quando as peças a serem soldadas se tocam, circula uma alta corrente

elétrica através delas.

Durante a soldagem das tiras, se observa três níveis distintos de tensão elétrica (em volts), caracterizando os três estágios de todo o processo (Figura 3).

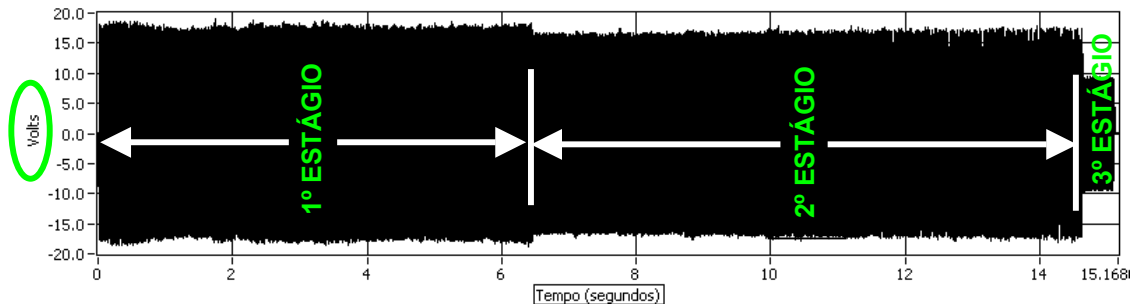


Figura 3 – Estágios do processo de solda

Este processo gera calor e a energia consumida pode ser calculada pela Equação 1 abaixo:

$$E = R \times I^2 \times t$$

Equação 1

sendo: E = energia consumida durante a solda.

R = resistência elétrica presente durante a solda.

I = corrente elétrica que circula durante a solda.

t = tempo utilizado para a realização da solda.

Ao ser atingida a temperatura apropriada, o “clamp” móvel acelera rapidamente, à uma taxa adequada, unindo as duas extremidades e formando uma junção tão robusta quanto o próprio metal, sem a necessidade de nenhum material de preenchimento. Este último movimento é denominado *recalque* ou, em inglês, “*upsetting*” e serve também para expulsar impurezas da zona de soldagem, deixando a solda livre de óxidos.

Finalmente, a solda é transportada para a rebarbadora onde são retirados os excessos de espessura que resultam da aplicação do recalque é inspecionada e liberada.

3 MONITORAMENTO DA MÁQUINA DE SOLDA

As maiores dificuldades para a avaliação da qualidade das soldas estão relacionadas com a complexidade do processo básico de soldagem e suas complicadas interações. Adicionalmente, variações no material, como a sua composição e as condições do processo tais como o desgaste das matrizes, pressões de trabalho, posicionamentos da máquina, etc., também influenciam no monitoramento do processo de soldagem. Considerável atenção é dispensada pelo operador no monitoramento do processo com o objetivo de se obter informações sobre a qualidade da solda e no controle do processo para assegurar a sua qualidade. O monitoramento e controle do processo de soldagem está intimamente relacionado com a qualidade obtida na solda.

Em uma máquina de solda os sinais mais utilizados no monitoramento das soldas são: a corrente elétrica, a tensão elétrica, as forças, os deslocamentos e a resistência dinâmica (Zhang e Senkara, 2006).

Dificuldades na obtenção destes sinais são grandes devido a grandes interferências magnéticas, geradas durante o processo de soldagem.

Definir os parâmetros do processo que serão coletados e armazenados durante a realização de uma solda, é o primeiro passo em um projeto de aquisição

de dados. A coleta destas informações é realizada por sensores, escolhidos em função do tipo de parâmetro, da sua amplitude e frequência. Estes sensores devem fazer a conversão das grandezas medidas em sinais elétricos, que serão encaminhados para o hardware do sistema de aquisição.

A definição dos dispositivos elétricos e eletrônicos necessários para a implementação do sistema de aquisição de dados vem logo a seguir.

O software utilizado deve permitir a construção de telas de navegação amigáveis e, também, a visualização, análise e avaliação imediatas, do comportamento de cada parâmetro da solda.

3.1 Parâmetros da Solda

Um sistema de aquisição de dados de uma máquina de solda, normalmente, mede e armazena a corrente do primário (I_{w1}) e a tensão no secundário do transformador de solda (V_{w2}), pois estes parâmetros estão diretamente relacionados com o aquecimento, por “efeito Joule”, da tira e com a formação do cordão de solda. O processo térmico durante a solda terá reflexos nas deformações causadas na tira metálica e pode ser monitorado através do deslocamento do “clamp” de entrada (x). O tempo gasto (t_w) para a realização de cada fase da solda pode indicar o retardo ou prolongamento na duração de cada etapa que faz parte do processo de solda. A Figura 4 mostra a localização de cada parâmetro na máquina de solda.

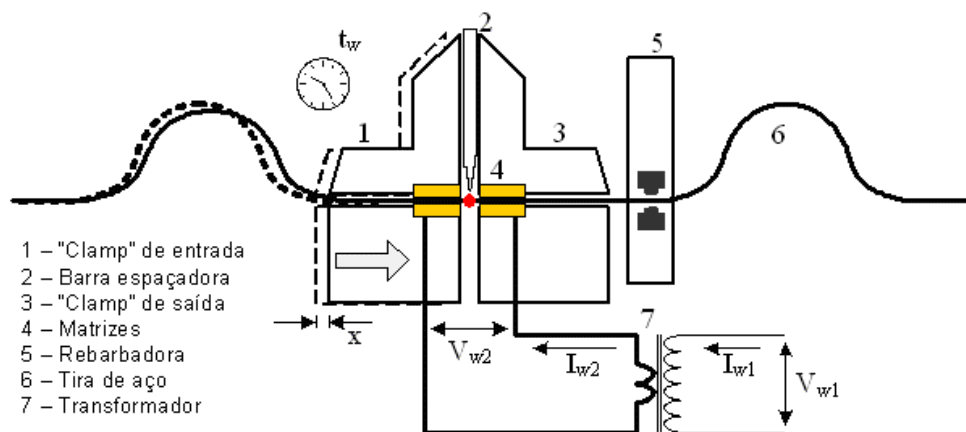


Figura 4 – Parâmetros da solda.

A parte elétrica de uma máquina de solda tipo “Flash Butt” envolve principalmente um transformador, responsável por abaixar a tensão de alimentação, normalmente 440 volts, para um valor de tensão secundária adequado e dependente do ajuste de seu “tap” (chave comutadora que altera o número de espiras no primário do transformador e com isso muda a relação de transformação). Esta tensão menor permite que a corrente no secundário, ou seja, a que circula na tira de aço durante a solda, seja a suficiente para aquecê-la e permitir a união das duas partes que estão sendo unidas.

A resistência elétrica é normalmente calculada a partir da relação entre a tensão e a corrente. No entanto, a resistência existente durante o processo de soldagem é dinâmica e varia ao longo do processo. Durante uma solda a voltagem medida contém contribuições resistivas (devidas à tira de aço e condutores elétricos) e indutivas (devidas ao transformador e ao loop de corrente formado durante a solda). Na Equação 2 vê-se os componentes da tensão no secundário durante a solda.

$$V_{w2} = I_{w2}R + L_m \frac{dI_{w2}}{dt}$$

Equação 2

Para que o valor de R seja determinado é necessário anular o termo dI_{w2}/dt . Em um sistema em corrente alternada isto acontece quando a corrente atinge os valores de pico, portanto a resistência dinâmica pode ser calculada duas vezes a cada ciclo. O algoritmo que será desenvolvido deverá utilizar as considerações acima na determinação da resistência dinâmica durante a solda.

3.2 Sensoreamento dos Parâmetros da Solda

A tensão elétrica no secundário do transformador pode ser medida através de condutores conectados diretamente na base das matrizes. Como o valor encontrado é baixo, no máximo 20 V_{CA}, não é necessário nenhum sensor especial para a conversão deste sinal.

A corrente elétrica no primário do transformador é coletada através de um transformador de corrente (TC) com relação de transformação de 1200 A para 5 A. Este sensor apresenta um range de ± 100mV.

O deslocamento é monitorado através de um potenciômetro linear, alimentado com 10 V_{CC}. Este dispositivo é composto por uma parte fixa e outra deslizante. Uma das extremidades do potenciômetro é fixada na estrutura móvel e a outra é presa na parte fixa da máquina de solda. O sinal de saída obtido é proporcional à posição da parte móvel em relação à parte fixa.

3.3 Hardware do Sistema de Aquisição de Dados

Um esquema típico de aquisição de dados de parâmetros de um processo, pode ser visto na Figura 5, onde estão identificados seus componentes.

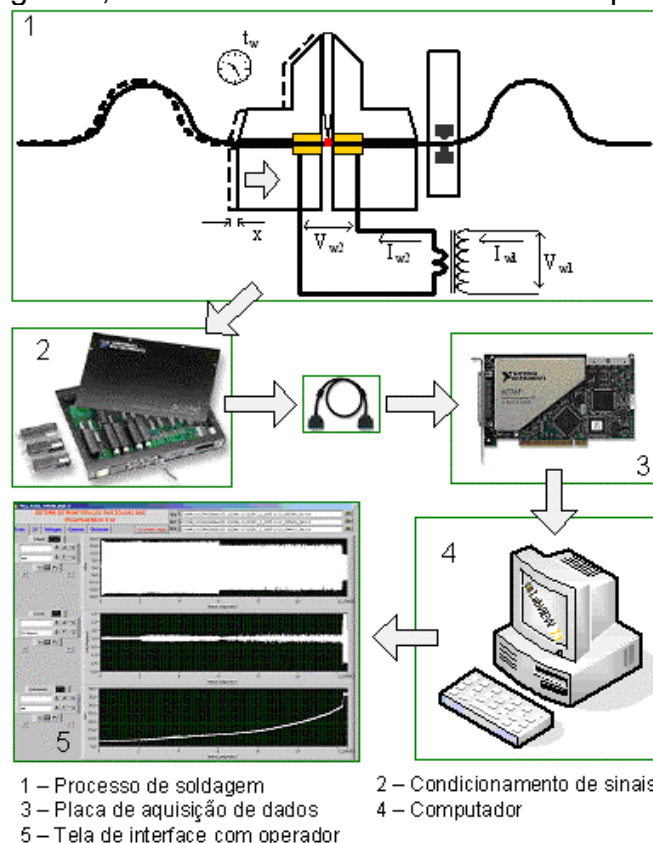


Figura 5 – Esquema típico de um sistema de aquisição de dados.

Os módulos condicionadores de sinal são responsáveis por adaptar os sinais elétricos recebidos dos sensores que monitoram o processo, às características da placa de aquisição de dados instalada no computador. A **Figura 6** mostra o aspecto físico de um destes módulos.



Figura 6 – Módulos condicionadores de sinal da National Instruments

A placa de aquisição de dados é o elemento de ligação entre o meio externo e o software que fará o tratamento de sinais. Ela deve ser capaz de transferir os dados para o software na velocidade requerida. Neste projeto foi selecionada uma placa da National Instruments, com resolução de 16 bits e taxa de amostragem de 200000 amostras por segundo, contendo 16 canais analógicos de entrada, 2 canais analógicos de saída, 8 canais de entrada/saída digitais configuráveis.

O computador utilizado deve ter capacidade de memória e de processamento, tais que não representem uma limitação ao funcionamento do sistema. Segundo o teorema de Nyquist, para que se consiga reconstruir um sinal contínuo é necessário que se faça a aquisição deste sinal com uma frequência de no mínimo duas vezes a frequência do sinal original. Na prática, adota-se a regra de que, quanto maior a taxa de aquisição melhor. O que limita isto é a capacidade dos equipamentos utilizados na coleta dos sinais. Neste projeto foi utilizada uma taxa de aquisição de 600 Hz.

3.4 Software do Sistema de Aquisição de Dados

A premissa principal do software é que deveria ser criado um arquivo para cada solda realizada em cada máquina, mesmo que elas acontecessem simultaneamente. Para isso foi estabelecido que o “trigger” para a criação do arquivo, início do armazenamento e visualização gráfica dos parâmetros de soldagem, deveria ser a voltagem do secundário do transformador. Estabeleceu-se que quando esta voltagem ultrapassasse 0,5 volts, deveria ser iniciado um novo arquivo, que seria encerrado quando a voltagem caísse abaixo deste valor.

A extensão utilizada para a criação dos arquivos foi a “txt”, desta forma qualquer software pode abri-los, possibilitando a leitura e tratamento dos dados armazenados. A identificação de cada arquivo deveria conter o nome da deca-pagem onde foi feita a solda, a data e hora de sua realização e um número sequencial indicando a quantidade de soldas feitas e que retorna para 000 toda vez que o software de controle é reinicializado, ou quando atinge o número 999. Foi desenvolvida uma tela que permite a visualização em tempo real dos parâmetros da solda. A **Figura 7** ilustra esta tela.

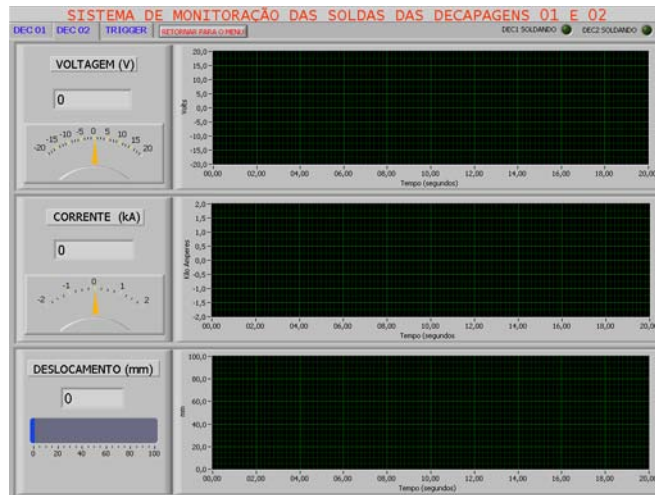
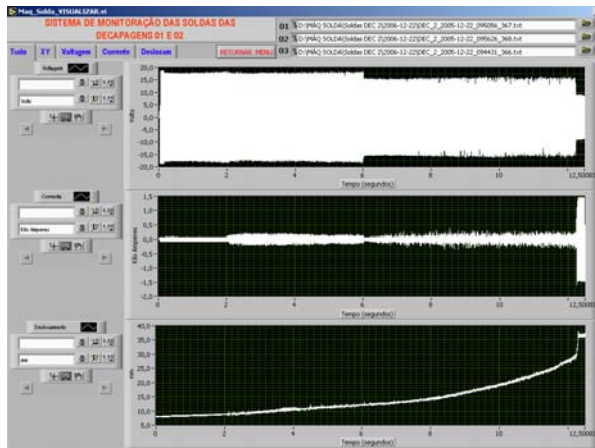
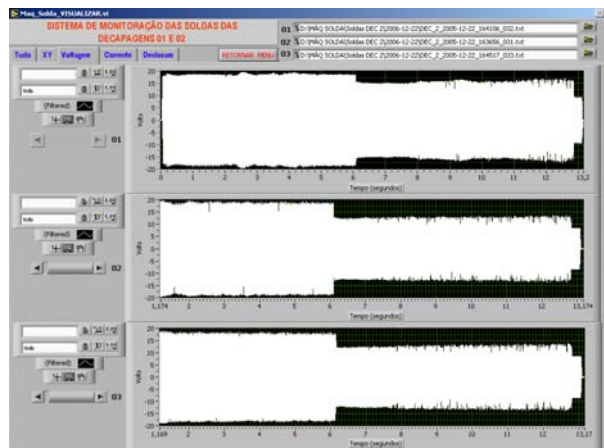


Figura 7 – Tela de acompanhamento em tempo real dos parâmetros da solda.

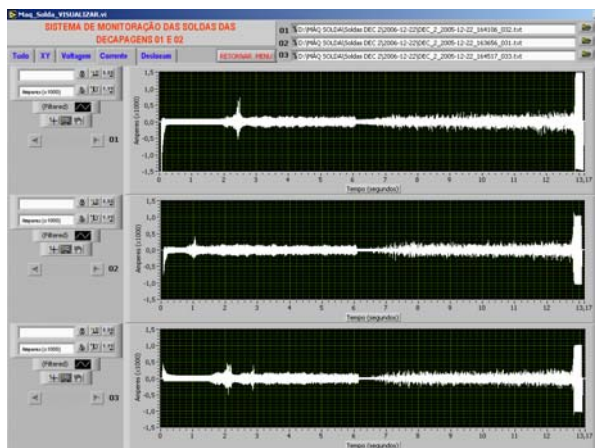
Também foram desenvolvidas telas para a análise das soldas realizadas. Uma destas telas permite que se observe os três parâmetros alinhados (Figura 8a), facilitando a verificação da simultaneidade dos eventos. Há uma tela que permite a comparação das tensões observadas de até três soldas simultaneamente (Figura 8b). É possível a realização do mesmo tipo de análise para a corrente (Figura 8c) e deslocamento (Figura 8d). Desta forma, pela comparação direta dos gráficos, se avalia qual parâmetro comprometeu o desempenho de uma dada solda.



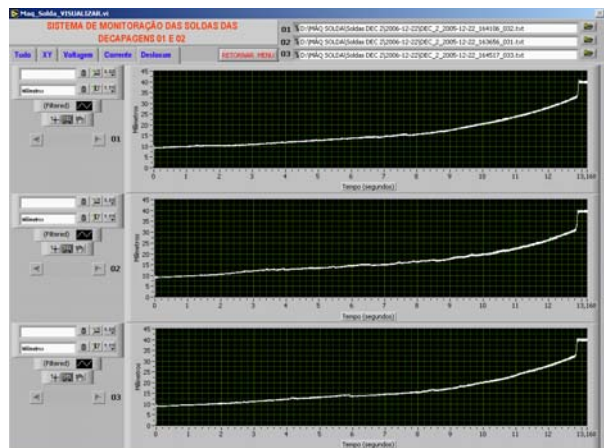
a) Três parâmetros juntos.



b) Voltagem.



c) Corrente.



d) Deslocamento.

Figura 8 – Telas de comparação entre os parâmetros de até três soldas.

O software utilizado no desenvolvimento do sistema foi o LabView® da National Instruments. O pacote denominado NI Developer Suite traz a versão profissional do LabView® e o gerador de executáveis “Application Builder”. A licença é mono usuário, mas a geração dos executáveis não tem nenhuma limitação, ou seja, podem ser instalados em qualquer quantidade de computadores. A escolha do LabView® facilitou a configuração de todo o hardware, evitando incompatibilidades. Todos os “drivers” para as placas de aquisição e demais acessórios, já vêm incorporados no pacote.

4 APLICAÇÃO DO SISTEMA

Nesta seção são enfatizados alguns pontos que podem ser verificados nos gráficos produzidos pelo sistema.

4.1 Avaliação do Processo

Na Figura 9, tem-se o gráfico da tensão. Alguns pontos importantes de verificação são: as amplitudes da tensão e o instante da mudança do 1º para o 2º estágio, como também, a duração de todo o processo.

Na Figura 10, se vê o gráfico da corrente. Alguns pontos de interesse são o tempo gasto no início da solda para a realização do aquecimento inicial das pontas da tira de aço e a quantidade de corrente utilizada na fase do recalque.

Por fim, na Figura 11, se observa o deslocamento da matriz de entrada durante o processo de solda. Oscilações ao longo da trajetória percorrida e a quantidade de recalque ao final são exemplos de análises possíveis de serem realizadas com este gráfico.

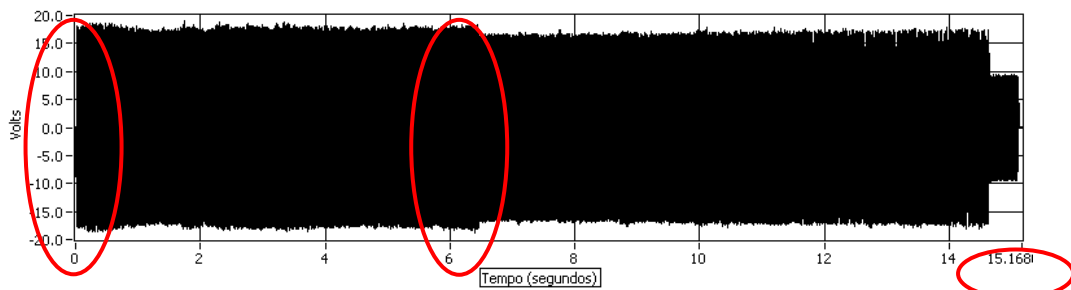


Figura 9 – Tensão aplicada às tiras durante a solda.

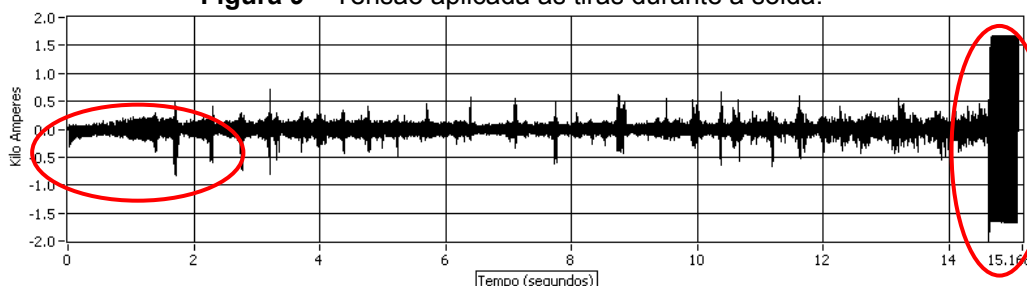


Figura 10 – Corrente elétrica do primário do transformador durante a solda.

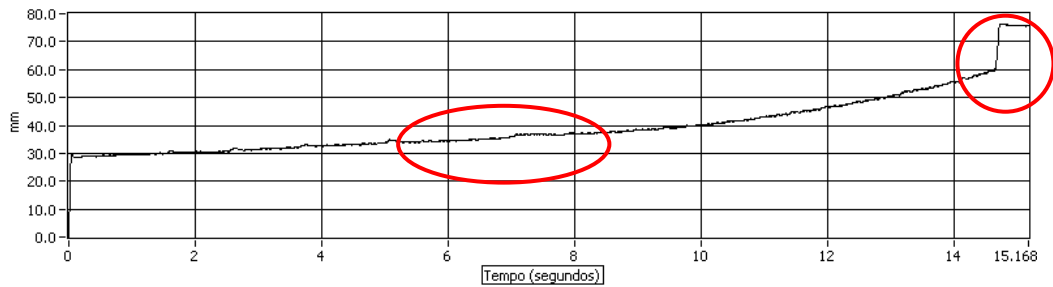
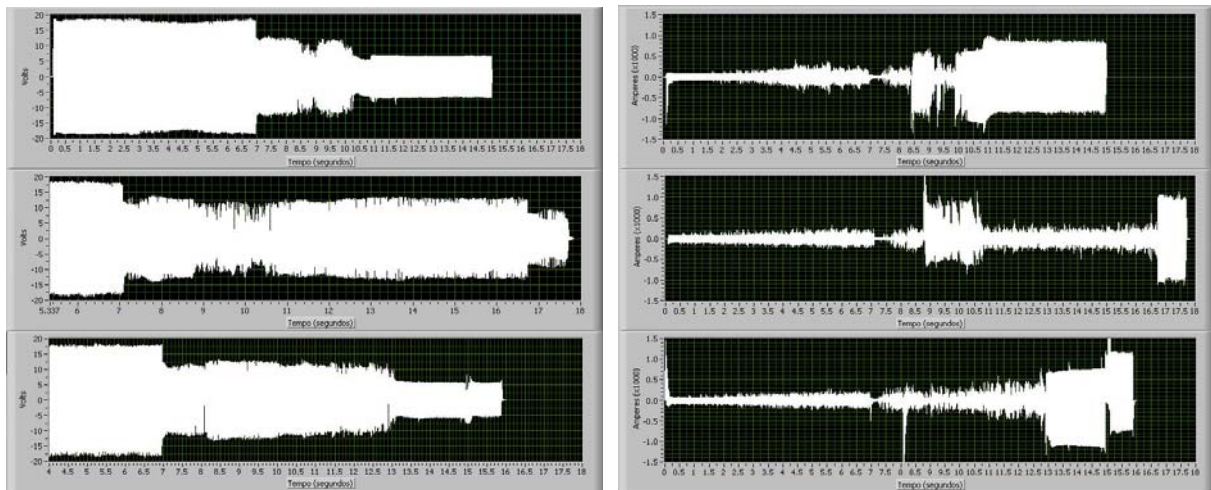


Figura 11 – Deslocamento da máquina durante a solda.

4.2 Avaliação do Equipamento

Na Figura 8 foram apresentadas curvas características corretas para a voltagem e corrente durante a solda. Comparando-as com as curvas apresentadas na Figura 12, fica evidente a ocorrência de anormalidades durante a execução da solda. Neste caso os gráficos indicaram falhas nos ignitrons.



a) Voltagem com falha.

b) Corrente com falha.

Figura 12 – Avaliação de falhas da máquina.

4.3 Novos Parâmetros de Análise

Acredita-se ser possível a implementação da avaliação da solda, através do tratamento dos dados aquisitados. Uma das possibilidades será o cálculo da resistência ôhmica dinâmica. Este parâmetro, de acordo com a literatura, pode ser indicador importante da qualidade da solda. A dificuldade da sua determinação está na obtenção dos valores de tensão e corrente em seus valores máximos a cada ciclo. A Figura 13 mostra um exemplo, após o tratamento dos dados no Excel®, de como seria o comportamento dinâmico da resistência ôhmica durante a solda e uma aproximação polinomial do seu comportamento.

O sistema desenvolvido permite ainda a inclusão do monitoramento de novas variáveis, tais como, a pressão do sistema hidráulico e as temperaturas da solda durante a rebarbagem. Um possível aprimoramento será a criação de um algoritmo de detecção de anormalidades, baseado nas experiências operacionais e nos relacionamentos obtidos entre os dados armazenados e as falhas ocorridas, principalmente no LTF. Desta forma o sistema passaria a ter a capacidade de julgar a qualidade da solda.

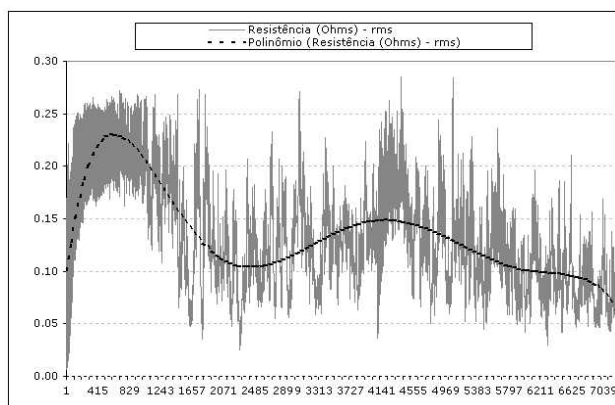


Figura 13 – Gráfico da resistência ôhmica dinâmica durante uma solda.

5 CONCLUSÕES

Após a implantação do sistema, a equipe operacional da máquina de solda passou a contar com uma ferramenta de diagnose imediata de falhas durante o processo de soldagem. Também, na ocorrência de alguma anormalidade na solda, é possível a consulta ao arquivo que contém todo o histórico desta solda específica, possibilitando o diagnóstico e a tomada de providências, no sentido de se corrigir eventuais falhas. É possível, através dos gráficos, definir com boa clareza, se a verdadeira causa de uma anormalidade foi operacional ou foi algum problema no equipamento.

REFERÊNCIAS

- 1 Zhang, H, e Senkara, J. **Resistance Welding – Fundamentals and Applications**. CRC Press - Taylor & Francis Group. New York. 2006.
- 2 LabView 7 Express – User Manual – National Instruments.
- 3 www.taylor-winfied.com – acessado em 06/2006.
- 4 www.ni.com – acessado em 04/2006.