



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RENAN ACCIOLY PIMENTEL

**ESTUDO E PARAMETRIZAÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS
DA SOLDA INTERCELL EM BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO**

Campina Grande, Paraíba
Junho de 2014

RENAN ACCIOLY PIMENTEL

ESTUDO E PARAMETRIZAÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS
DA SOLDA INTERCELL EM BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

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

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:

Professor Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Junho de 2014

RENAN ACCIOLY PIMENTEL

ESTUDO E PARAMETRIZAÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS DA SOLDA INTERCELL EM BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

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

Área de Concentração: Eletrotécnica.

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Edson Guedes da Costa.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais e a todos os colaboradores, que sempre estiveram ao meu lado, principalmente nos momentos de maior dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por todas as vitórias que vêm acontecendo comigo e principalmente por ter me dado os pais maravilhosos que tenho.

Agradeço a meus pais, Byron e Adriana, que puderam me proporcionar uma excelente educação e por estarem sempre presentes nos momentos felizes mas, também, nas dificuldades que mostraram-se ao longo desta caminhada. Foi com a força deste apoio que pude chegar ao profissional e pessoa que sou hoje.

Agradeço, também, a todos os amigos, minha namorada, por toda sua dedicação, amor, compreensão e companheirismo que só vieram acrescentar para que cada dia eu me torne uma pessoa melhor.

Agradeço também ao meu orientador, Edson Guedes, pelo apoio, ajuda, paciência e orientação para a realização do Trabalho de Conclusão de Curso, além do suporte dado durante a graduação.

E por último, gostaria de agradecer a Baterias Moura por ter me dado a oportunidade e o suporte para a realização de atividades que foram de suma importância para a confecção deste trabalho.

*“No meio da dificuldade
encontra-se a oportunidade”*

Albert Einstein.

RESUMO

A solda por resistência é usada extensivamente na indústria, em uma grande variedade de aplicações. Conhecimentos e medições das características do processo são fundamentais para o desenvolvimento de equipamentos e controle do mesmo. Isto é especialmente verdade para a solda intercell, usada na indústria de baterias automotivas, devido às características peculiares do processo e grande potencial de ganhos financeiros. Este trabalho descreve o conceito teórico de solda por resistência e em seguida o aplica em um ambiente de produção de baterias através do processo de solda intercell. A parte prática do trabalho teve como objetivo encontrar uma parametrização capaz de determinar, com confiança, a qualidade da solda evitando, assim, a análise destrutiva da mesma. E, finalmente, foi desenvolvida uma metodologia para o processo. As técnicas desenvolvidas mostraram ser de uso prático e efetivo, possibilitando, assim um melhor conhecimento do processo. As medições forneceram dados fundamentais para a modelação do processo além de servirem como guia para o desenvolvimento de procedimentos de controle do processo de solda intercell.

Palavras-Chaves: Solda Intercell, Processo, Desenvolvimento, Bateria, Parametrização.

ABSTRACT

Resistance welding is used extensively in industry for a wide range of applications. Knowledge and measurements of the process characteristics are important in the design of the equipment and process control. This is especially true for TTP welding, used on the automotive battery industry, due to the unique characteristics of the process and considerable financial gains. This work describes the theoretical concepts of resistance welding in order to apply those concepts in a production environment through the TTP welding. This practice is aimed to find a parametrization capable of determining weld quality avoiding thus destructive analysis. And, finally, developed a methodology for the process. The techniques developed in this thesis have been shown to be practical and effective and have enabled much better understanding of the process difficulties. The measurements provide essential data for modelling of the process and in guiding the development of TTP welding control procedures.

Keywords: TTP welding, Process, Development, Battery, Parametrization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Imagem do corte transversal da solda intercell.	1
Figura 2: Funcionamento da solda por indução (PENTEADO).	4
Figura 3: Esquemático do processo de solda por resistência (ZHANG, 2006).	6
Figura 4: Esquemático das resistências encontradas no processo (ZHANG, 2006).	7
Figura 5: Variação da resistividade de alguns metais com o aumento de temperatura (ZHANG, 2006).	8
Figura 6: Comportamento da resistência de contato para eletrodo sujo e limpo.	9
Figura 7: Comportamento resistência durante um ciclo de solda.	9
Figura 8: Elementos internos de uma bateria de Chumbo-Ácido.	11
Figura 9: Imagens da (a) Placa positiva; (b) Placa negativa.	12
Figura 10: Imagem da placa negativa inserida no envelope e placa positiva fora.	12
Figura 11: Elemento da bateria.	13
Figura 12: Elementos inseridos na caixa.	13
Figura 13: Imagem dos elementos conectados em série.	14
Figura 14: Ilustração de uma bateria Automotiva montada (Acumuladores Moura S/A, 2014).	14
Figura 15: Esquemático do desenvolvimento mecânico do processo de solda intercell (SCHROER & SNELL, s.d.).	17
Figura 16: Esquemático dos sinais do processo de solda intercell (SCHROER & SNELL, s.d.).	17
Figura 17: Esquemático do controle de solda (SCHROER & SNELL, s.d.).	18
Figura 18: Imagem ilustrativa da máquina Sovema Welmatic 1000.	20
Figura 19: Imagem ilustrativa do cabeçote da máquina Sovema Welmatic 1000.	20
Figura 20: Controlador de solda ISA-500CR.	21
Figura 21: Imagem ilustrativa do Verificador de solda Miyachi MM-370B.	21
Figura 22: Ilustração de solda boa.	22
Figura 23: Ilustração do canal partindo do centro.	23
Figura 24: Ilustração da meia-lua na parte superior da solda.	24
Figura 25: Ilustração do espirro na parte inferior da solda.	25
Figura 26: Ilustração do atraso no centro da solda.	26
Figura 27: Imagem da rebarba na parede da caixa.	27
Figura 28: Ilustração da rebarba de plástico dentro da solda.	27
Figura 29: Imagem do posicionamento dos sensores de corrente e tensão.	29
Figura 30: Ilustração do posicionamento do sensor de deslocamento.	29
Figura 31: Eletrodo usado na solda intercell.	30
Figura 32: Característica da tensão com a limpeza do eletrodo.	31
Figura 33: Característica da resistência com a limpeza do eletrodo.	31
Figura 34: Característica da corrente com a limpeza do eletrodo.	31
Figura 35: Característica da potência com a limpeza do eletrodo.	32
Figura 36: Característica da tensão.	33
Figura 37: Característica da resistência.	33
Figura 38: Característica da corrente.	33
Figura 39: Característica da potência.	34
Figura 40: Característica da corrente.	35
Figura 41: Característica da potência.	35
Figura 42: Imagem da solda abaixo limite de corrente.	36
Figura 43: Imagem da solda com defeito simulado.	37
Figura 44: Imagem da solda na segunda simulação de defeito.	37
Figura 45: Análise do deslocamento do porta eletrodos.	38
Figura 46: Limite para potência.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Causas e soluções para bolha.....	23
Tabela 2: Causas e soluções para meia-lua.....	24
Tabela 3: Causas e soluções para espirro.	25
Tabela 4: Causas e soluções para atraso.	26
Tabela 5: Causas e soluções para rebarba.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TTP.....	Thought the Partition
SIC.....	Solda Intercell
COS.....	Cast on Strap
CC.....	Corrente Contínua
CA.....	Corrente Alternada
CLP.....	Controlador Lógico Programável

SUMÁRIO

Sumário	xii
1 Introdução.....	1
2 Processos de soldagem	3
2.1 Solda por indução	3
2.1.1 Conceitos Básicos.....	3
2.1.2 Funcionamento	4
2.2 Solda por Resistência	5
2.2.1 Conceitos Básicos.....	5
2.2.2 Características Elétricas da Solda por resistência	7
3 Solda Intercell.....	11
3.1 Processo de Solda Intercell	15
3.1.1 Squeeze Time Delay (SQD)	15
3.1.2 Squeeze Time (SQZ)	15
3.1.3 Weld 1 Time (WE1)	15
3.1.4 Cool	16
3.1.5 Hold.....	16
3.1.6 Heat	16
3.2 Equipamentos.....	19
3.2.1 Máquina.....	19
3.2.2 Controlador de Solda.....	20
3.2.3 Verificador de solda.....	21
3.3 Defeitos	22
3.3.1 Bolha ou Canal	22
3.3.2 Meia-Lua ou Arco	23
3.3.3 Espirro	24
3.3.4 Atraso	25
3.3.5 Rebarba.....	26
4 Experimento	28
4.1 Conexão do verificador de solda Miyachi MM-370B com a máquina Sovema.....	29
4.2 Limpeza dos eletrodos para realização da solda	30
4.3 Coleta e Análise dos dados	32
4.4 Inserção de limites e análise das soldas	34
4.5 Análise de outras variáveis	37
4.6 Receita para o processo.....	38
4.7 Conexão do Miyachi com a Sovema.....	39
5 Conclusão	40
Bibliografia.....	41

1 INTRODUÇÃO

Baterias automotivas são feitas de um determinado número de células, geralmente 6, cada uma fornecendo 2 volts de tensão. Cada célula consiste de uma certa quantidade de placas positivas e negativas. A quantidade de placas depende da capacidade de armazenamento de energia definida para cada tipo de bateria. As células individuais são separadas das células adjacentes por paredes de um material plástico como polietileno ou polipropileno. As placas negativas de cada célula devem estar conectadas com as placas positivas da célula adjacente por uma conexão de chumbo que passa através das paredes fornecendo um caminho para o fluxo de corrente. A conexão de chumbo através das paredes é conhecida como solda intercell ou solda entre células e é ilustrada na Figura 1. Cada bateria automotiva possui 5 soldas intercell, caso apenas uma das soldas falhe, toda a bateria será destinada ao descarte já que o fluxo de corrente entre os polos da bateria será interrompido.

Existe pouca literatura para estudo do processo de solda intercell. Isto acontece, pois o processo é destinado apenas para indústrias de baterias automotivas que o mantêm sob segredo industrial. Além disso, soldar chumbo mostra-se um dos processos mais difíceis de realizar e requer o controle de vários parâmetros para a determinação de resultados confiáveis.



Figura 1: Imagem do corte transversal da solda intercell.

Apesar das peculiaridades, o processo de solda intercell faz parte de um conceito conhecido como solda por resistência que possui como característica o pressionamento

de peças, uma contra a outra, fazendo circular corrente elétrica que ocasiona, segundo a lei de Joule, um aquecimento na região, tornando possível a realização da solda. O processo de solda por resistência, especialmente quando aplicado na produção de baterias automotivas, será o objeto de estudo deste trabalho.

A análise visual da solda intercell é uma metodologia confiável, porém só pode ser realizado com a análise destrutiva da solda, gerando assim desperdício de material. Devido ao número de material desperdiçado gerado no processo, mostrou-se necessário um estudo capaz de determinar com consistência a qualidade da solda sem utilização de análises destrutivas. Para isso, testes elétricos se adequam tanto para a determinação da qualidade da solda quanto para serem aplicados dentro de um ambiente de produção.

No mercado, existem grandes fabricantes de máquinas capazes de realizar o procedimento. Para o estudo foi usado um fabricante italiano conhecido como Sovema, com mais de 40 anos de experiência em desenvolvimento de equipamentos usados na produção de baterias automotivas. O trabalho irá inicialmente desenvolver os conhecimentos teóricos sobre processos de soldagem, especialmente solda por resistência, para em seguida descrever o processo solda intercell com o intuito de entender o funcionamento da mesma, enfatizando suas características mecânicas e elétricas para, por fim, mostrar o estudo desenvolvido de parametrização elétrica da solda intercell.

2 PROCESSOS DE SOLDAGEM

O processo de soldagem visa à união localizada de materiais, similares ou não, de forma permanente, baseada na ação de forças em escala atômica semelhantes às existentes no interior do material, sendo a forma de união permanente de peças mais utilizadas industrialmente. De acordo com (SANTOS, 2001):

“A união de elementos metálicos é desejável na montagem de estruturas que transmitam ou suportem os esforços que surgem na execução do trabalho mecânico pelas máquinas. A seleção da forma adequada de transmitir esses esforços entre as disponíveis está relacionada à possibilidade técnica de aplicação, à possibilidade construtiva, ao custo, à disponibilidade de materiais e ao conhecimento, entre outros aspectos de menor peso” (SANTOS, 2001).

No decorrer deste capítulo serão apresentadas fundamentações teóricas que servirão como base para o melhor entendimento acerca do processo de soldagem e, principalmente, solda por resistência.

2.1 SOLDA POR INDUÇÃO

2.1.1 CONCEITOS BÁSICOS

Faraday, ao descobrir o princípio da indução eletromagnética e, conseqüentemente, o aquecimento indutivo acreditou que este fenômeno era indesejável uma vez que gerava aquecimento nos motores elétricos. Dr. E. F. Northrup, em 1916, desenvolveu o primeiro forno de indução, iniciando, assim, a exploração do campo de aplicações industriais do aquecimento indutivo de metais.

“O aquecimento indutivo tem como princípio a indução eletromagnética onde um condutor de eletricidade (no caso a peça metálica a ser aquecida), quando colocado sob a ação de um campo eletromagnético, desenvolve um corrente elétrica induzida. Essa corrente, que circula através da peça, e a resistência que o material oferece à sua passagem, são responsáveis pelo aparecimento de calor” (PENTEADO)

2.1.2 FUNCIONAMENTO

Basicamente, um equipamento para solda por indução é constituído de um gerador de alta frequência e de uma bobina de trabalho. De acordo com (PENTEADO):

“O gerador proporciona a corrente elétrica de alta frequência que, ao circular através da bobina de trabalho, nela desenvolve um intenso campo eletromagnético. A bobina é feita, usualmente, de tubo fino de cobre, com um ou mais espiras no formato conveniente de modo a circundar a área da peça que se deseja aquecer. A peça é colocada dentro da bobina, sem tocar nela” (PENTEADO).

A corrente elétrica irá circular pela bobina de cobre gerando um campo eletromagnético que gerará correntes induzidas na peça que se deseja aquecer. A circulação de corrente induzida, juntamente com a resistência do material à circulação de corrente, serão os responsáveis pelo aquecimento e, conseqüentemente, soldagem da peça que se encontra no interior da bobina.

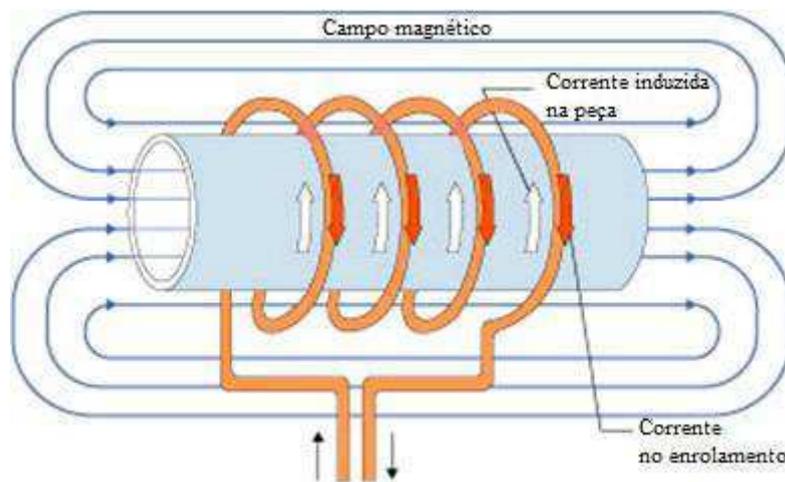


Figura 2: Funcionamento da solda por indução (PENTEADO).

Para que o aquecimento seja feito de maneira adequada existem alguns fatores que são essenciais, são eles:

- A potência do gerador;
- O dimensionamento adequado da bobina;

- A resistividade elétrica do material;
- O tempo de aplicação da energia fornecida pelo gerador.

Estes fatores devem estar bem definidos para a determinação da extensão e profundidade do aquecimento, bem como a temperatura a que se pode atingir.

“Por outro lado, a frequência da corrente alternada aplicada à bobina de trabalho exerce influência acentuada na determinação da profundidade do aquecimento. Efetivamente, a corrente induzida e, portanto, o aquecimento tende a circular na camada externa da peça aquecida sendo tanto mais superficial quanto mais elevada for a frequência. Embora a escolha da frequência depende da aplicação específica do aquecimento em casa caso, em princípio, quanto mais elevada a frequência, tanto mais extensa a variedade de peças que podem ser vantajosamente aquecidas por indução” (PENTEADO)

2.2 SOLDA POR RESISTÊNCIA

2.2.1 CONCEITOS BÁSICOS

“Na solda por resistência, as peças a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra, por meio de eletrodos não consumíveis, fazendo passar por estes uma alta corrente, que esta ocasiona, segundo a lei de Joule $Q = K * R * I^2 * t$, uma quantidade de calor proporcional ao tempo, resistência elétrica e intensidade de corrente, que deverá ser suficiente para permitir que a região de contato entre as peças a serem soldadas atinja o ponto de fusão” (BRACARENSE, s.d.).

Um par de eletrodos fixados em uma peça (porta eletrodos) movimentam-se em direções opostas proporcionando a aproximação dos mesmos. A medida que os eletrodos se aproximam, o material a ser soldado vai sendo comprimido e um contato elétrico para circulação de corrente é formado. A Figura 3 ilustra a compressão dos eletrodos em uma chapa de metal.

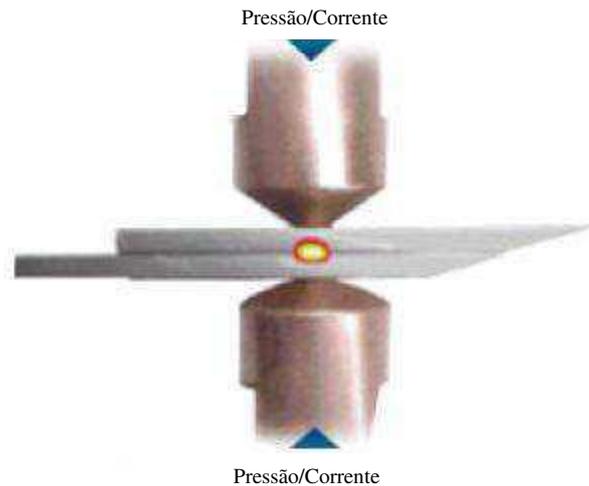


Figura 3: Esquemático do processo de solda por resistência (ZHANG, 2006).

Para solda por resistência, a geração de calor em todas as localizações do ponto de solda é mais relevante do que o total de calor gerado pois o calor não é uniforme durante a soldagem. Além disso, a taxa de aquecimento tem maior influência do que a energia total fornecida pois a variação da temperatura aplicada determina a microestrutura do material. Solda por resistência é popular devido a algumas vantagens:

- Alta eficiência energética (calor gerado no ponto exato da junta);
- Alta produtividade;
- Ciclos curtos de tempo;
- Possibilidade de impor um ciclo termal na peça durante um ciclo de aperto do porta eletrodos (tratamento de calor e solda em um ciclo combinado).

No entanto, em geral, até mesmo entre aqueles que usam este processo em um ambiente produtivo diariamente, solda por resistência tem a imagem de ser antiquada e vem sendo substituído por processos de solda alternativos, por exemplo solda à laser. Processos baseados em laser têm sido introduzidos na indústria automotiva, onde este processo vem substituindo o processo de solda por resistência. Por outro lado, muitos produtores vêm, depois de aproximadamente uma década de experiência prática, retornando para solda por resistência devido aos seus benefícios específicos listados acima, à sua relativa ausência de problemas operacionais e baixo custo em um ambiente de alta produção.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DA SOLDA POR RESISTÊNCIA

A resistência elétrica total envolvida no processo de soldagem pode ser atribuída às resistências de contato entre o eletrodo e o material a ser soldado (R1 e R5), da união do material (R3) e da resistência do próprio material (R2 e R4), como ilustrado na Figura 4.

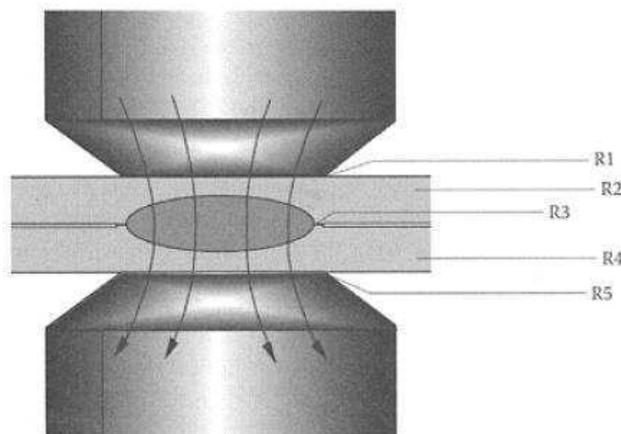


Figura 4: Esquemático das resistências encontradas no processo (ZHANG, 2006).

2.2.2.1 RESISTÊNCIA DO MATERIAL

A resistividade dos materiais metálicos varia de acordo com a temperatura. Porém cada metal varia a uma taxa diferente, por exemplo, a resistividade do aço tem maior sensibilidade às variações de temperatura que a resistividade do cobre. Por isso, ligas de cobre costumam ser usadas em eletrodos de solda por resistência devido à boa condutividade deste material, assim, com a aplicação de corrente elétrica nos eletrodos, o calor é concentrado no material a ser soldado (chapas de aço, por exemplo), tornando-se mais evidente durante o ciclo de soldagem na qual as chapas vão aquecendo, ocorrendo um acréscimo de resistividade e gerando mais calor na região da solda. Para evitar aumento da resistividade do eletrodo e, portanto, maior dissipação de calor, os eletrodos costumam ser resfriados com água corrente durante o processo de soldagem. A Figura 5 ilustra a variação da resistividade do aço, alumínio puro e cobre com o aumento da temperatura, nela se pode identificar a dificuldade de soldar alumínio uma vez que ele possui resistividade semelhante ao do cobre mesmo com o aumento de temperatura, diferentemente do aço. Tendo em vista o comportamento da resistividade, conclui-se que a resistência elétrica do material também sofrerá influência da variação de temperatura uma vez que a resistência é proporcional a resistividade.

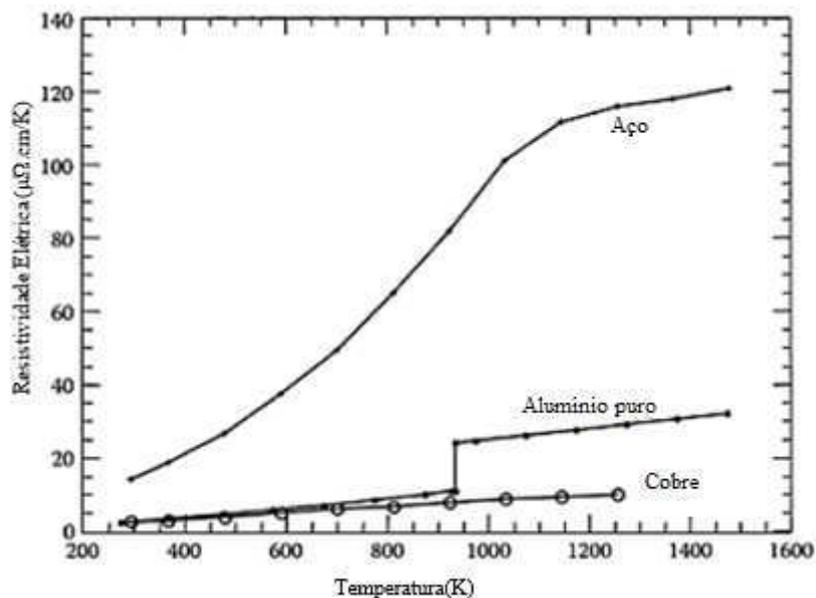


Figura 5: Variação da resistividade de alguns metais com o aumento de temperatura (ZHANG, 2006).

2.2.2.2 RESISTÊNCIA DOS CONTATOS

Apesar de a resistência elétrica para a maioria dos metais ser considerada independente da pressão, a resistência de contato é geralmente muito sensível a distribuição de pressão e às condições da interface de contato. Em geral, apenas uma porção do contato aparente é realizado, tal fato é causado por irregularidades na forma de cristas e cubas entre as superfícies de contato. Durante o processo de solda por resistência a pressão na região criada pelo aperto dos eletrodos esmaga as irregularidades e causa uma diminuição da resistência de contato. Uma pequena força do eletrodo pode não ser suficiente para criar uma superfície elétrica de contato na região, podendo produzir uma concentração de calor e possível derretimento localizado ou até mesmo vaporização do material. Além disso, a presença de óleo, sujeira, oxidação, pintura e qualquer material externo também causa uma mudança nessa resistência. No processo produtivo de baterias automotivas, sujeiras geradas em outros processos, como aplicação de giz na solda COS, têm um alto índice de influência nesta resistência. Como pode ser visto na Figura 6, o eletrodo de solda limpo faz com que a resistência final do processo se torne menor.

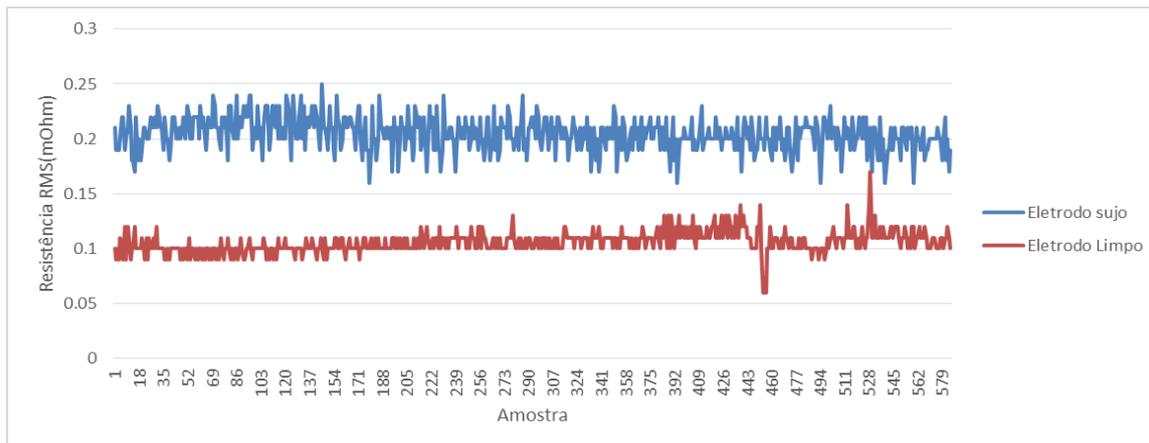


Figura 6: Comportamento da resistência de contato para eletrodo sujo e limpo.

2.2.2.3 RESISTÊNCIA TOTAL

O total de calor gerado na solda por resistência é determinado pela resistência elétrica total do material empilhado entres os eletrodos, que resulta da soma das resistências individuais (contato e do material) em diferentes posições. Um estudo do valor da resistência elétrica durante a solda fornece uma oportunidade de entender o processo físico que ocorre durante a soldagem. A Figura 7 ilustra o comportamento da resistência total do processo em um ponto de solda.

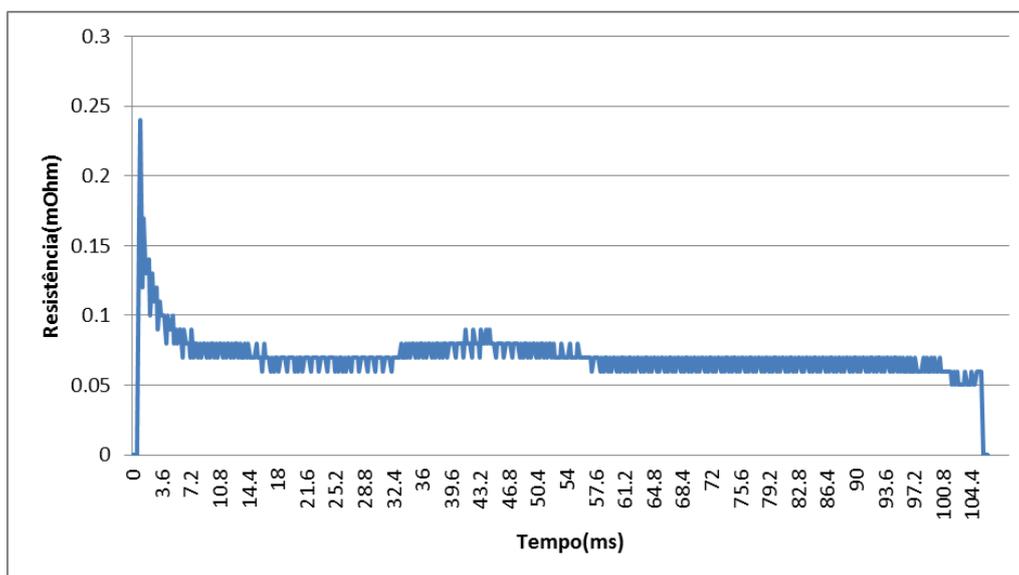


Figura 7: Comportamento resistência durante um ciclo de solda.

Como pode ser observado, a resistência é alta no início do processo devido ao pobre contato existente e ao possível acúmulo de sujeira nos eletrodos. Existe uma queda na resistência quando a corrente é aplicada, indicando que as irregularidades da superfície

de contato foram esmagadas devido à força do porta eletrodos e ao aquecimento, assim como a queima de materiais externos. Depois da queda inicial, a resistência continua decrescendo, mas a um ritmo mais lento. A resistência do material, no caso o chumbo, é dominante neste período. Então seria esperado que a resistência total do processo aumentasse, uma vez que a resistividade do chumbo aumenta com o aumento de temperatura em ambos estados, sólido e líquido. No entanto, o material passa a ficar mais flexível durante o ciclo de solda o que resulta em um aumento na superfície de contato e uma diminuição na espessura das placas. Portanto, a resistência total acaba diminuindo com a temperatura, o que significa que a diminuição da resistividade devido ao amolecimento do material sobrepõe o aumento da resistividade devido ao aquecimento.

3 SOLDA INTERCELL

“A bateria de Chumbo-Ácido é um dispositivo que armazena energia elétrica em forma de energia química convertendo-a novamente em energia elétrica quando conectada a um circuito elétrico externo” (PEREIRA & ALVES, 2006).

Uma bateria automotiva de chumbo-ácido é composta por 6 células secundárias, cada uma com 2 volts que, quando ligadas em série, formam um dispositivo com tensão final de 12 volts. Cada uma das células possui elementos que propiciam a conversão de energia, são eles: os eletrodos de dióxido de chumbo (PbO_2), eletrodos de chumbo metálico (Pb), eletrólito de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), separadores de polietileno, terminais externos de chumbo, caixa e tampa de polipropileno.

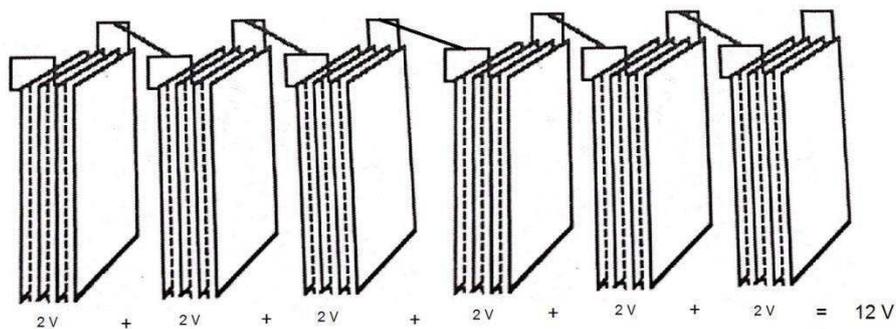


Figura 8: Elementos internos de uma bateria de Chumbo-Ácido.

O processo produtivo de uma bateria é constituído de várias etapas: primeiramente grades de uma liga de chumbo são preenchidas com o material ativo da bateria (este material é conhecido como massa e sua composição depende do fabricante) em um processo chamado de empastamento, formando, assim, as placas da bateria, como ilustrado na Figura 9. Existe uma diferença entre o material ativo das placas positivas e negativas, isto se dá devido à ação química que cada uma das placas exercerá dentro da bateria.

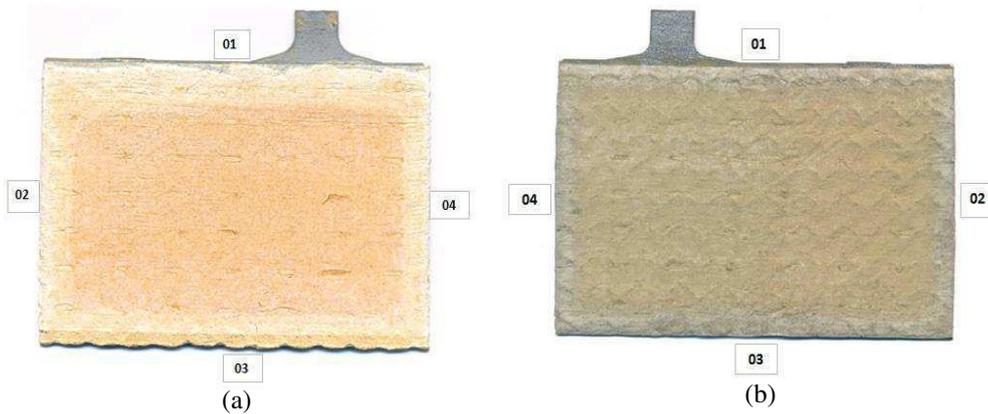


Figura 9: Imagens da (a) Placa positiva; (b) Placa negativa.

As placas, depois de secas e curadas, são transportadas em cavaletes para que se tenha início a montagem do acumulador de energia. A primeira etapa do processo de montagem é o envelopamento, no qual um operador alimenta uma máquina com placas positivas e negativas separadamente. Uma destas, a depender da especificação da bateria, será envelopada com o separador, que tem como principal função evitar o curto-circuito entre placas adjacentes. Depois de envelopar uma das placas, estas são empilhadas assim como ilustrado na Figura 10.



Figura 10: Imagem da placa negativa inserida no envelope e placa positiva fora.

O conjunto de placas é então transportado para o processo seguinte, conhecido como solda COS (*Cast on Strap*). Tal processo tem como função a união, em paralelo, de placas com a mesma polaridade e a formação da superfície necessária para ser realizada a solda intercell (*Strap*). Este conjunto de placas unidas pela solda COS é conhecido como o elemento ou célula da bateria. Seis destes elementos são inseridos em uma caixa de polipropileno já com furos punçados para dar continuidade ao processo. O elemento

isolado, assim como os 6 elementos inseridos na caixa são ilustrados na Figura 11 e Figura 12, respectivamente.



Figura 11: Elemento da bateria.



Figura 12: Elementos inseridos na caixa.

Em seguida vem o processo de solda intercell, cuja principal função é unir estes elementos em série através dos furos da caixa, com o intuito de formar um dispositivo de 12 volts. O processo será tratado com mais detalhes no decorrer deste trabalho.



Figura 13: Imagem dos elementos conectados em série.

Após a realização da conexão entre os elementos (ou entre células), a bateria segue para inserção da tampa, processo conhecido como selagem e, por fim, para o levantamento dos bornes, para então ser obtida a bateria montada como ilustrado na Figura 14.

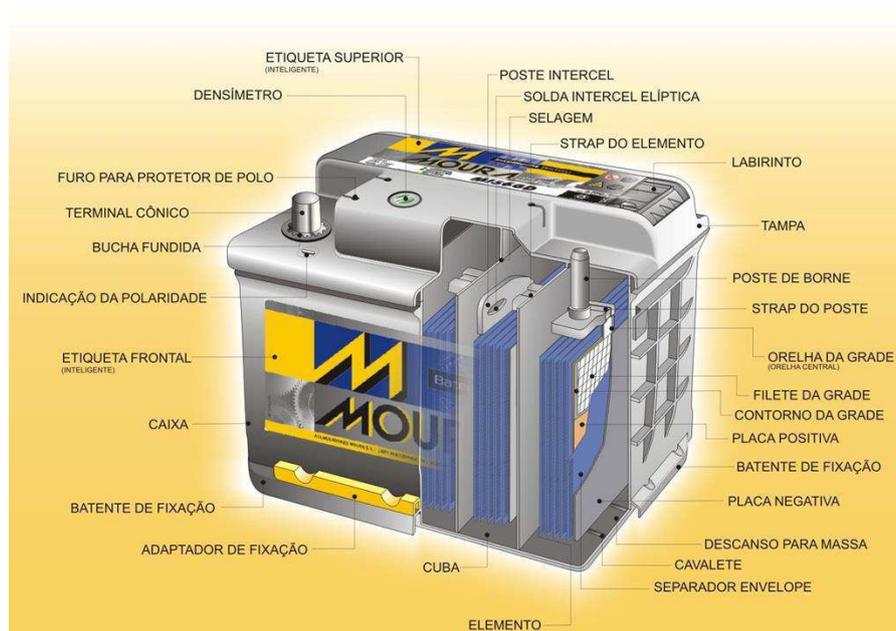


Figura 14: Ilustração de uma bateria Automotiva montada (Acumuladores Moura S/A, 2014).

Depois de montadas, as baterias seguem para o processo de formação e acabamento, que não é objeto de interesse para este estudo uma vez que não causam influência na solda intercell.

3.1 PROCESSO DE SOLDA INTERCELL

O processo de solda intercell é constituído de 6 sinais, que possuem relação direta com a qualidade da solda: SQD, SQZ, WE1, COOL, HOLD e HEAT. Estes serão detalhados a seguir.

3.1.1 SQUEEZE TIME DELAY (SQD)

É o tempo de espera entre o recebimento do sinal inicial e o aperto realizado pelo porta eletrodo no *strap*, com o intuito de formar a projeção no material. Este tempo permite o posicionamento adequado das partes para serem soldadas, pois estas são transportadas por esteiras na linha de produção, sofrendo muita trepidação que poderia deslocar a peça no momento do aperto, se não houvesse este sinal.

3.1.2 SQUEEZE TIME (SQZ)

Comprimento de tempo entre SQD e WE1. SQZ permite que o porta eletrodo forneça a pressão necessária antes da corrente de solda ser aplicada, ou seja, tempo em que será aplicado um aperto no *strap* com o intuito de formar a projeção para a solda. É necessário que este tempo seja longo o suficiente para que a força aplicada na peça seja estabilizada antes da aplicação da corrente. Caso a força varie no momento de circulação de corrente, a resistência de contato irá variar podendo, assim, gerar influência na qualidade da solda.

3.1.3 WELD 1 TIME (WE1)

Tempo de aplicação de corrente na peça para ser realizada a solda. O calor necessário para gerar uma solda de boa qualidade está diretamente relacionado ao tempo de aplicação de corrente. Caso o WE1 seja curto não será gerado calor suficiente para formação da solda (solda fria), e haverá expulsão de material, caso WE1 seja longo.

3.1.4 COOL

Tempo necessário para resfriamento e solidificação da solda. É o tempo em que o sistema de refrigeração da máquina fará com que água circule (geralmente à 14° C) dentro do porta eletrodos com o intuito de refrigeração da solda. Caso este tempo seja curto a solda pode ficar quebradiça, e pode haver retardo do processo produtivo caso seja muito longo.

3.1.5 HOLD

Tempo em que a peça é mantida sob pressão mesmo depois da interrupção de corrente. Durante este período, o ponto de solda resfria e o metal é forjado sobre força do porta eletrodos. A força continuada do porta eletrodos ajuda a manter a solda intacta até a mesma solidificar, resfriar e alcançar sua máxima resistência mecânica.

3.1.6 HEAT

Intensidade da variável a ser controlada com o intuito de formação da solda. Pode ser de 5 tipos diferentes:

- Primary RMS: controle por corrente constante no primário do transformador;
- Secondary RMS: controle por corrente constante no secundário do transformador;
- Power RMS: controle por potência constante;
- Primary limit: controle por pico de corrente no primário do transformador;
- Fixed pulse: controle por pulso.

O processo é constituído de 5 etapas que são apresentadas nas Figuras 15 e 16.

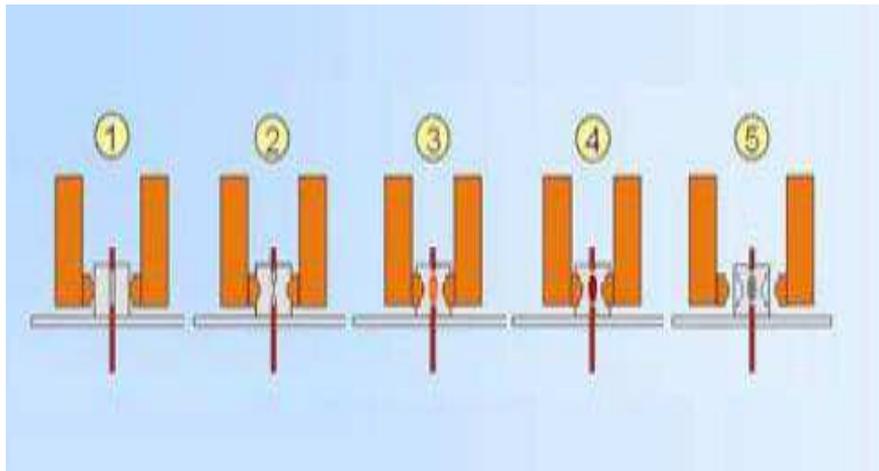


Figura 15: Esquemático do desenvolvimento mecânico do processo de solda intercell (SCHROER & SNELL, s.d.).

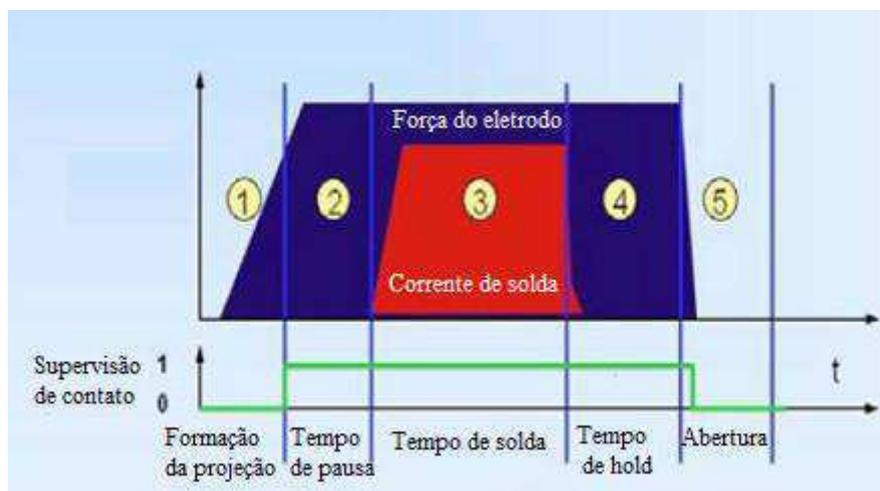


Figura 16: Esquemático dos sinais do processo de solda intercell (SCHROER & SNELL, s.d.).

Quando a bateria é posicionada, o porta eletrodo se ajusta e espera a estabilização das peças a serem soldadas (SQD). Com a estabilização da peça, inicia-se a aplicação de força para formar a projeção das faces, com o intuito de fornecer um contato elétrico para o fluxo de corrente (SQZ - fase 1). A fase 2 começa com o sinal do módulo de detecção de contato, o controlador espera estabilização do porta eletrodo para iniciar a injeção de corrente. A dimensão do contato realizado entre as peças influencia na qualidade da solda, pois quanto maior ele seja, menor será a resistência de contato e menor será o calor gerado na região de solda, podendo gerar soldas frias. Em caso de contatos muito pequenos, a resistência será maior, assim como o calor, podendo gerar expulsão de material de solda. Com o porta eletrodo estabilizado, inicia-se a fase 3 ou fase de aplicação de corrente. A amplitude da corrente (HEAT) e seu tempo de aplicação (WE1) é controlado pelo controlador de solda. O material então irá derreter e, devido à pressão do porta eletrodos,

irá preencher o furo realizado previamente na caixa. Com o fim da aplicação da corrente, inicia-se a fase de resfriamento (COOL e HOLD – fase 4) onde água irá circular pelo porta eletrodos com o intuito de resfriar e solidificar o material soldado. No final da fase 4 o porta eletrodos irá abrir e o módulo de detecção de contato irá indicar o fim do processo (fase 5).

Regulação dinâmica é requerida para o controle da energia da solda e particularmente da corrente, por isso fontes de potência chaveadas são normalmente usadas nas máquinas de solda modernas.

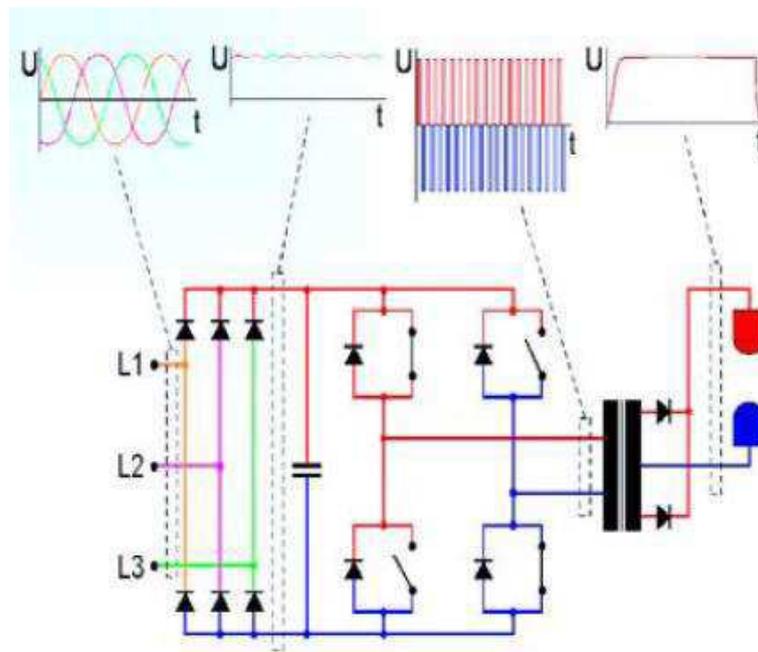


Figura 17: Esquemático do controle de solda (SCHROER & SNELL, s.d.).

A Figura 17 ilustra o princípio esquemático de um módulo de potência inversor CC, usando modulação por largura de pulso. O sinal CA é retificado para fornecer um link de tensão CC para o inversor IGBT. O inversor IGBT é controlado por uma frequência de 1 kHz e fornece 0,5 ms de ciclo de controle. O transformador de solda gera uma alta corrente de saída e, depois da retificação por dois diodos, uma sinal CC verdadeiro é aplicado nos eletrodos de solda. Apesar do desenvolvimento de novos equipamentos durante os últimos anos, variações na qualidade do material a ser soldado ou quedas de tensão na rede de alimentação podem influenciar na qualidade da solda intercell.

3.2 EQUIPAMENTOS

Para a realização do processo de solda intercell, equipamentos específicos devem ser usados conforme suas particularidades do processo. A seguir serão descritos os equipamentos usados neste processo.

3.2.1 MÁQUINA

A estrutura da máquina serve inicialmente para possibilitar que a peça seja mecanicamente comprimida antes, durante e depois da solda, mantendo-se intacta e estável. Isto significa que, especialmente em soldas com projeção, a estrutura tem que ser muito rígida para garantir que os porta eletrodos se mantenham paralelos, mesmo sobre máxima força. Porta eletrodos não paralelos vão resultar em forças não uniformes e diferenças proporcionais nas correntes de solda sobre a zona de contato.

Para este estudo foi usado uma máquina de solda a ponto, SOVEMA WELMATIC 1000, como ilustrada na Figura 18. Esta máquina é equipada com um cabeçote para operação, como apresentado na Figura 19, e fechamento hidráulico dos porta eletrodos com um movimento horizontal direto. A solda é feita por um pulso de alta corrente, cuja intensidade é previamente configurada e controlada automaticamente. É possível configurar independentemente todos os parâmetros de solda: potência, squeeze time, holding time e a duração da corrente. O ciclo operacional e todos os movimentos são controlados por um sistema CLP, programado por uma tela de toque. O sistema de controle de eixos é capaz de memorizar as coordenadas de até 99 baterias: quando diferentes tipos de baterias precisam ser produzidas, é apenas necessário inserir o código da bateria, sem inserir novamente todo o programa.



Figura 18: Imagem ilustrativa da máquina Sovema Welmatic 1000.

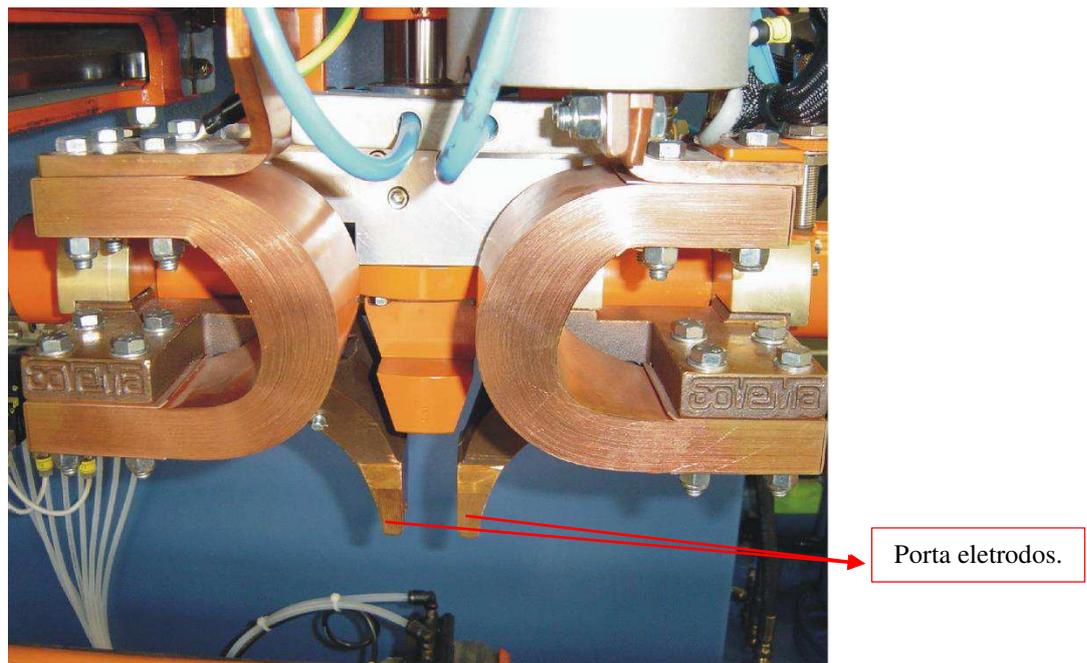


Figura 19: Imagem ilustrativa do cabeçote da máquina Sovema Welmatic 1000.

3.2.2 CONTROLADOR DE SOLDA

O controlador usado para realização da solda intercell é o Miyachi ISA-500CR, que fornece o maior nível de controle disponível hoje para solda de resistência a ponto (Figura 20).



Figura 20: Controlador de solda ISA-500CR.

3.2.3 VERIFICADOR DE SOLDA

Para verificação dos parâmetros aplicados na solda, foi usado um verificador de solda Miyachi MM-370B portátil, acoplável à máquina, que pode medir simultaneamente corrente, força, tensão, tempo e deslocamento. Este equipamento é ilustrado na Figura 21. Além disso, esta máquina pode definir limites para todos os parâmetros e, através de uma conexão CLP, pode se comunicar com a máquina Sovema. Os dados foram coletados através de uma entrada USB, mas também poderiam ser adquiridos através de uma conexão serial RS232, fornecida no verificador com um computador.



Figura 21: Imagem ilustrativa do Verificador de solda Miyachi MM-370B

3.3 DEFEITOS

Durante o processo de solda intercell alguns defeitos de solda podem ocorrer. Estas discontinuidades podem ser detectadas visualmente, mas algumas delas não apresentam características externas e, por isso, existe uma grande dificuldade de detectá-las. As recomendações a seguir formam um guia de ações que devem ser tomadas quando alguns destes defeitos forem encontrados. Deve ser lembrado que um ou mais defeitos podem ocorrer em uma mesma solda e, portanto, considerações cuidadosas devem ser tomadas antes que haja alguma alteração nos parâmetros da máquina. A Figura 22 ilustra um exemplo de uma boa solda que serve como referência para as demais.



Figura 22: Ilustração de solda boa.

3.3.1 BOLHA OU CANAL

A bolha ou canal é causado por uma quantidade insuficiente de material inserido no furo da caixa, ou seja, o volume de chumbo que é empurrada para dentro do furo não é suficiente para preencher o mesmo, fazendo com que regiões da solda fiquem sem preenchimento adequado. Este defeito é apresentado na Figura 23.



Figura 23: Ilustração do canal partindo do centro.

A Tabela 1 apresenta as possíveis causas e soluções para este tipo de defeito em ordem de prioridade.

Tabela 1 : Causas e soluções para bolha.

Bolha ou Canal	Possíveis causas	Possíveis soluções
1 ^a	Espessura da parede da caixa acima do especificado	Verificar espessura da parede da caixa
2 ^a	Eletrodos desgastados ou mal dimensionados	Verificar desgaste de eletrodo e referência
3 ^a	Pressão mecânica insuficiente	Verificar pressão mecânica

3.3.2 MEIA-LUA OU ARCO

Corrente de solda fluindo antes que tenha sido feita área de contato suficiente entre os *straps*. O calor gerado para efetuação da solda não foi suficiente para que houvesse o preenchimento total da região da solda. Uma solda com meia-lua é apresentada na Figura 24.



Figura 24: Ilustração da meia-lua na parte superior da solda.

A Tabela 2 apresenta possíveis causas e soluções de meia-lua em ordem de prioridade.

Tabela 2: Causas e soluções para meia-lua

Meia-lua ou Arco	Possíveis causas	Possíveis soluções
1ª	Desgaste de eletrodos	Verificar desgaste de eletrodo e referência
2ª	Pressão mecânica insuficiente	Aumentar pressão mecânica
3ª	Tempo de aperto curto	Aumentar tempo de aperto
4ª	Solda em parede da caixa incorreta	Verificar espessura da parede da caixa

3.3.3 ESPIRRO

A expulsão de material é ocasionado quando a quantidade de chumbo ou energia fornecida para a formação da solda é excessiva, expulsando o material da região de solda. A Figura 25 ilustra o defeito tipo espirro.



Figura 25: Ilustração do espiro na parte inferior da solda.

A Tabela 3 apresenta possíveis causas e soluções de espiros em ordem de prioridade.

Tabela 3: Causas e soluções para espiro.

Espiro	Possíveis causas	Possíveis soluções
1ª	Dimensionamento do eletrodo	Verificar desgaste e referência do eletrodo
2ª	Nível de corrente elevado	Diminuir nível de corrente
3ª	Tempo de solda elevado	Diminuir tempo de solda

3.3.4 ATRASO

O defeito tipo Atraso ocorre quando a área de contato entre os *straps* é muito grande no momento inicial de fluxo de corrente, resultando em uma solda fria. Quando superfície de contato entre os *straps* é muito grande, a resistência elétrica se torna pequena, tornando a energia aplicada na solda insuficiente para formá-la. A Figura 26 ilustra este conceito.



Figura 26: Ilustração do atraso no centro da solda.

A Tabela 4 apresenta possíveis causas e soluções de atraso em ordem de prioridade.

Tabela 4: Causas e soluções para atraso.

Atraso	Possíveis causas	Possíveis soluções
1ª	Avanço excessivo do porta eletrodo	Verificar avanço do porta eletrodo
2ª	Nível de corrente baixo	Aumentar nível de corrente
3ª	Tempo de solda baixo	Aumentar tempo de solda

3.3.5 REBARBA

A rebarba ocorre quando a máquina que realiza os furos na caixa (furador de caixa) encontra-se defeituosa, deixando pequenos pedaços de plástico presos no furo, como ilustrado na Figura 27. Estes pedaços de plástico penetram na solda e causam a rebarba (Figura 28). Algumas vezes, o calor da solda vaporiza este material externo encontrados no furo, porém, mesmo com a vaporização do plástico, é formado um canal.



Figura 27: Imagem da rebarba na parede da caixa.



Figura 28: Ilustração da rebarba de plástico dentro da solda.

A Tabela 5 apresenta possíveis causas e soluções de rebarba em ordem de prioridade.

Tabela 5: Causas e soluções para rebarba.

Atraso	Possíveis causas	Possíveis soluções
1ª	Furador de caixa com defeito	Verificar pressão ou desgaste do furador de caixa

4 EXPERIMENTO

As maiores dificuldades na verificação da qualidade da solda por resistência estão relacionados com a complexidade do processo e suas iterações. Além disso, variações no material, como composição e revestimento, e condições do processo, como desgaste de eletrodo, alinhamento das peças, resfriamento, condições da máquina, assim como outros, também influenciam no monitoramento da solda. Corrente elétrica, tensão, força, deslocamento e resistência dinâmica são os sinais mais usados para monitoramento e controle do sistema. Foi realizado um experimento com intuito de medir sinais de corrente, tensão, resistência, potência e deslocamento para que, a partir da análise dos sinais, fosse possível a determinação da qualidade da solda. E, como objetivo final, obter uma metodologia capaz de determinar automaticamente a qualidade da solda.

Para a realização do experimento foi usado o verificador de solda Miyachi MM-370B. O principal objetivo é encontrar limites de parâmetros que possam determinar com confiança a qualidade da solda intercell sem que haja necessidade de inspeção destrutiva, ou seja, um método de análise automática de todas as soldas que são realizadas no processo. O experimento foi dividido em 7 etapas:

- 1ª) Conexão do verificador de solda Miyachi MM-370B com a máquina Sovema;
- 2ª) Limpeza dos eletrodos para realização da solda;
- 3ª) Coleta e análise de dados do processo;
- 4ª) Inserção de limites e análise das soldas;
- 5ª) Análise de outras variáveis;
- 6ª) Receita para o processo;
- 7ª) Conexão do verificador de solda Miyachi com a Sovema através do CLP para rejeição de solda.

4.1 CONEXÃO DO VERIFICADOR DE SOLDA MIYACHI MM-370B COM A MÁQUINA SOVEMA

Para a realização da aquisição de dados durante o processo produtivo, os sensores de corrente, tensão e deslocamento foram conectados a máquina Sovema. Com a medição de tensão e corrente pode-se obter a resistência da solda e a partir da análise das variáveis coletadas, pode-se, também, determinar a consistência da mesma. As conexões são ilustradas nas Figuras 29 e 30.

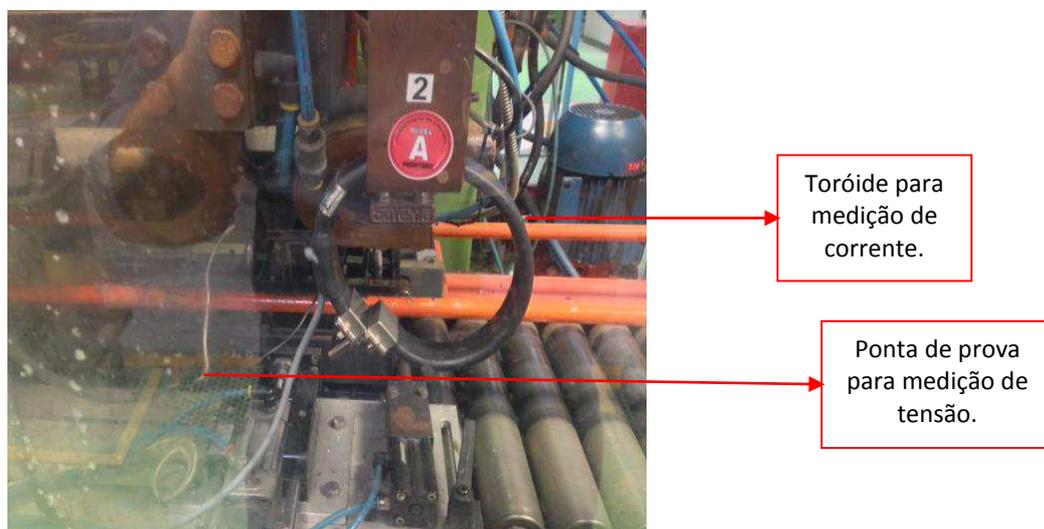


Figura 29: Imagem do posicionamento dos sensores de corrente e tensão.

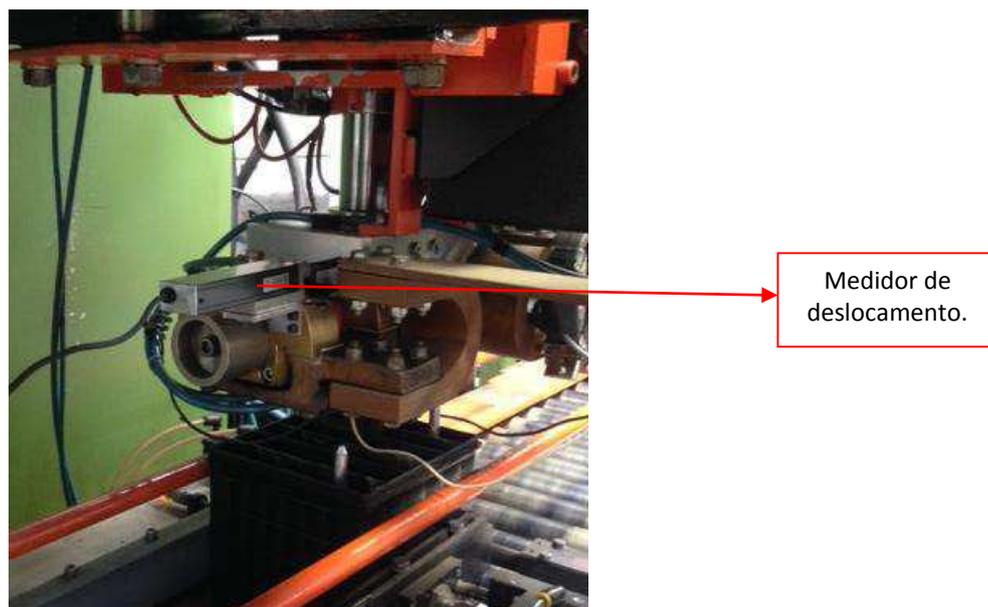


Figura 30: Ilustração do posicionamento do sensor de deslocamento.

Através do posicionamento adequado dos sensores, as primeiras medições puderam ser iniciadas.

4.2 LIMPEZA DOS ELETRODOS PARA REALIZAÇÃO DA SOLDA

Como descrito anteriormente, existem outras resistências além daquela do material a ser soldado, uma delas é influenciada pela sujeira incrustada nas conexões. Estas resistências, apesar de pequenas, influenciam no processo uma vez que o material a ser soldado é um bom condutor, por isso deve-se fazer a limpeza das conexões para a obtenção resultados satisfatórios.

Para a limpeza do eletrodo foi usada uma manta abrasiva. Na Figura 31 pode-se observar o eletrodo de solda intercell.



Figura 31: Eletrodo usado na solda intercell.

Vale lembrar que uma bateria é formada por 5 pontos de solda e que uma medição foi feita para cada ponto de solda, ou seja, para cada bateria foram realizadas 5 medições. Além disso, os parâmetros definidos para um ponto de solda, são replicados para os demais, ou seja, os valores para cada variável, corrente por exemplo, deveriam apresentar o mesmo comportamento em cada uma das soldas.

Os pontos de solda foram enumerados como apresentado na Figura 12 e as Figuras 32, 33, 34 e 35 representam o comportamento da tensão, resistência, corrente e potência, respectivamente. Os valores de cada ponto de solda foram sobrepostos para representar uma bateria.

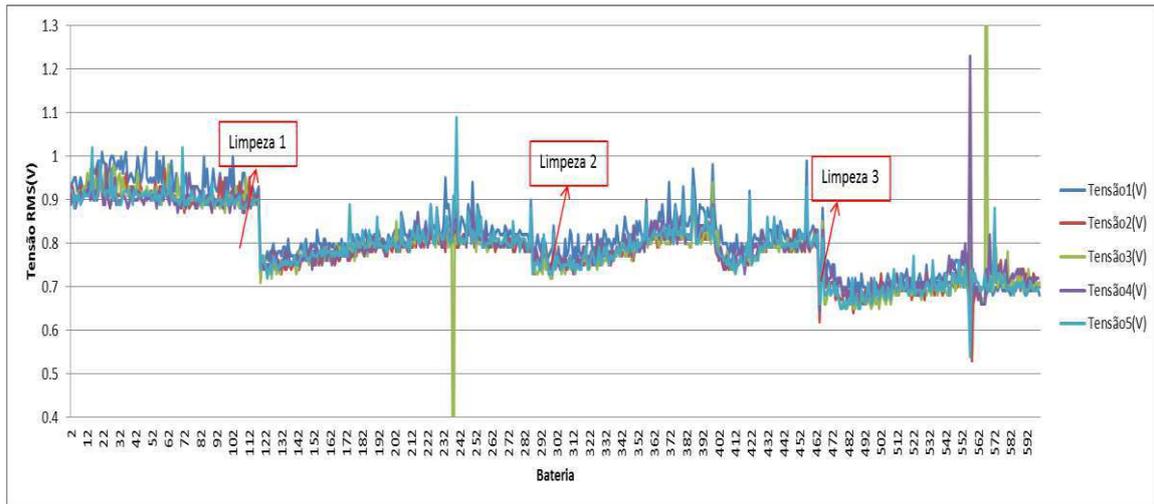


Figura 32: Característica da tensão com a limpeza do eletrodo.

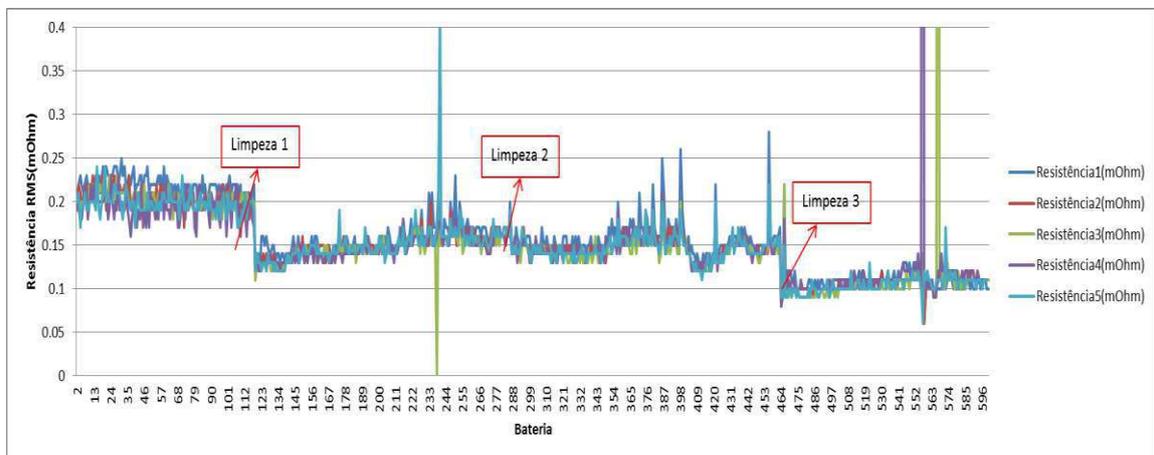


Figura 33: Característica da resistência com a limpeza do eletrodo.

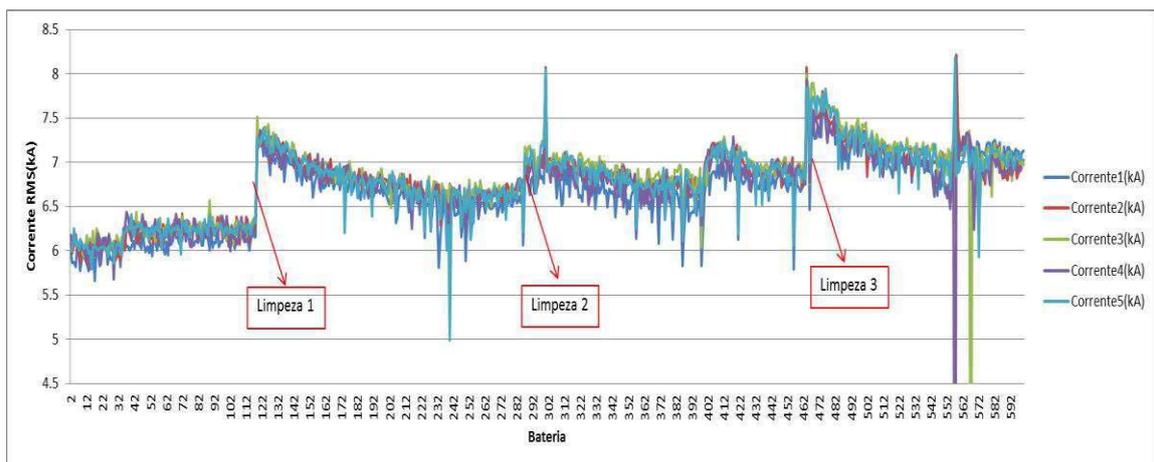


Figura 34: Característica da corrente com a limpeza do eletrodo.

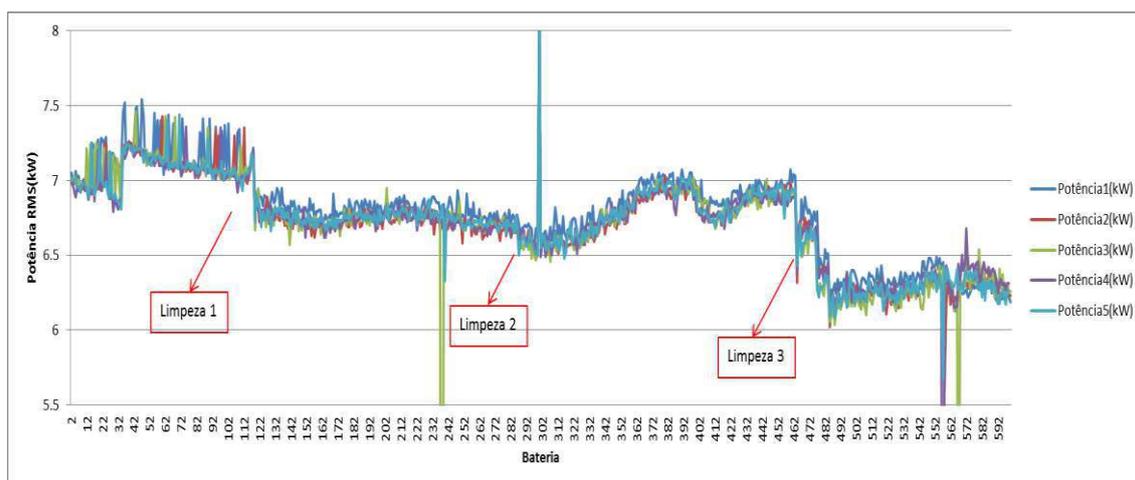


Figura 35: Característica da potência com a limpeza do eletrodo.

Ao analisar as Figuras 32, 33, 34 e 35, pode-se perceber que, apesar de apresentarem a mesma configuração para os parâmetros, o comportamento de cada sinal não é igual para cada ponto de solda devido à pequenas variações no material a ser soldado ou até mesmo na caixa da bateria. Houve queda na resistência com a limpeza do eletrodo, assim como esperado, uma vez que a área de contato entre as partes condutoras se tornou maior (Figura 33). Por consequência, houve também uma queda de tensão (Figura 32) já que a resistência à condução de corrente era menor. E, por fim, observa-se que a potência caiu uma vez que as perdas no sistema tornaram-se menores (Figura 35).

Assim, a limpeza do eletrodo de solda intercell trouxe ganhos para o processo já que a qualidade da solda pôde ser mantida e as perdas no sistema se tornaram menores.

4.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

O armazenamento dos dados necessários para determinação da qualidade da solda nunca havia sido feito, por isso mostrou-se necessário uma coleta extensa de valores, servindo como base de comparação para as informações que seriam coletadas futuramente. Para isso, o verificador de solda ficou ligado à máquina Sovema coletando dados de 3500 soldas (700 baterias) fornecendo, assim, uma base de valores. As medições realizadas para tensão, resistência, corrente e potência estão apresentadas nas Figuras 36, 37, 38 e 39, respectivamente.

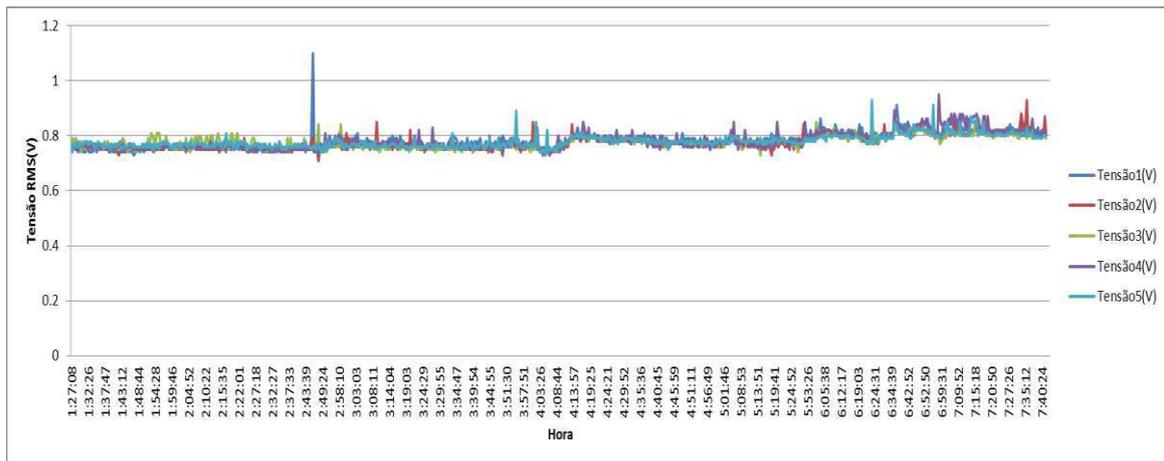


Figura 36: Característica da tensão.

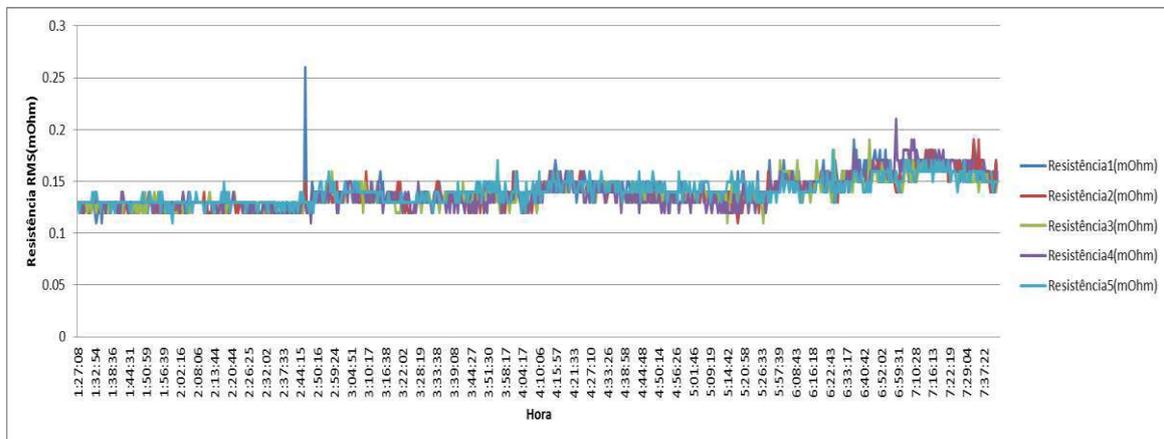


Figura 37: Característica da resistência.

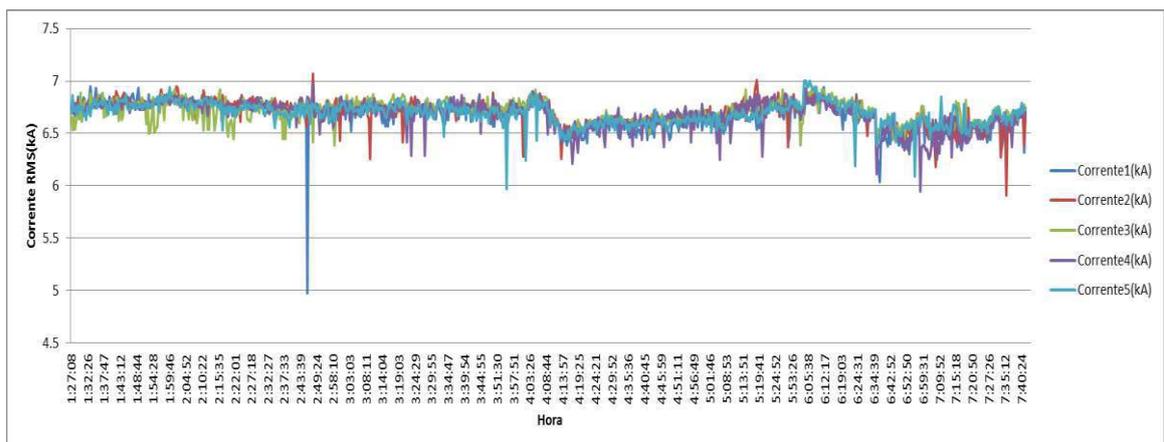


Figura 38: Característica da corrente.

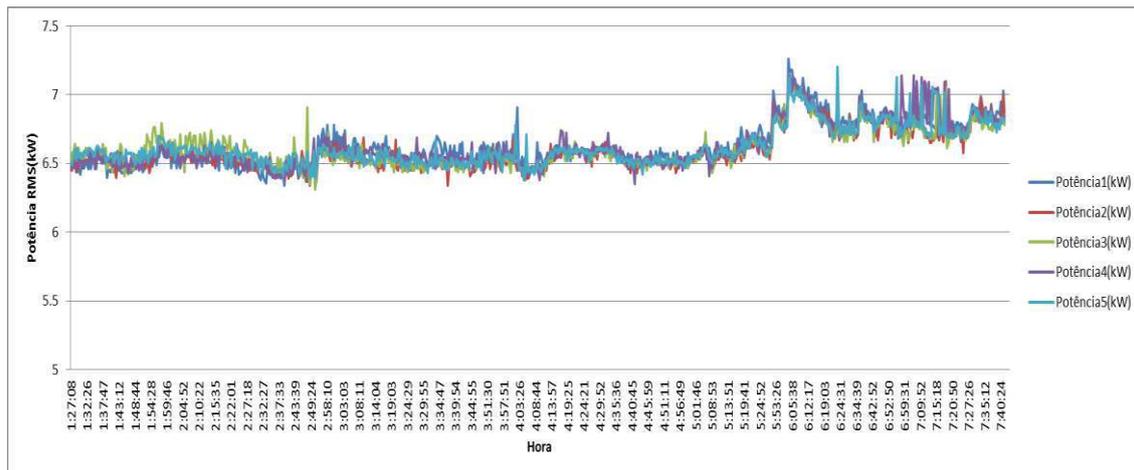


Figura 39: Característica da potência.

Os dados coletados foram analisados e foi possível visualizar como se comportava em um período de aproximadamente 7 horas. Foi detectado que a corrente, por exemplo, caía de um patamar de 6,75 kA para 5,00 kA em um determinado ponto de solda. Foi percebido, também, que a variação de corrente afeta a tensão e resistência porém realiza pequena influência na potência. Com a análise deste comportamento foi possível, então, inserir limites para a rejeição de solda a partir do seguinte questionamento: Correntes abaixo de 6,00 kA representam uma solda fria? Com isso em foco, seguiu-se para o próximo passo do experimento.

4.4 INSERÇÃO DE LIMITES E ANÁLISE DAS SOLDAS

A etapa anterior forneceu o comportamento das variáveis ao longo do tempo. Pode-se perceber que durante o período produtivo, em algumas amostras, o valor da corrente atingia um patamar inferior àquele especificado para ela. Assim, foram inseridos limites no verificador para coletar as soldas que foram realizadas com um baixo nível de corrente. Quando o verificador identificava uma solda abaixo do limite permitido, era emitido um alarme visual e a bateria, na qual a solda estava sendo efetuada, era retirada da linha de produção para análise. Foram definidos 3 passos para esta etapa do experimento:

- 1ª) Coletar baterias com queda de corrente natural do sistema;
- 2ª) Simular queda de corrente na região de 6,5 kA e analisar a solda;

- 3ª) Simular queda de corrente na região de 6,0 kA e analisar a solda;

Um total de 995 amostras de solda representando 199 baterias foram coletadas, cujos gráficos da corrente e potência são apresentados nas Figuras 40 e 41, respectivamente.

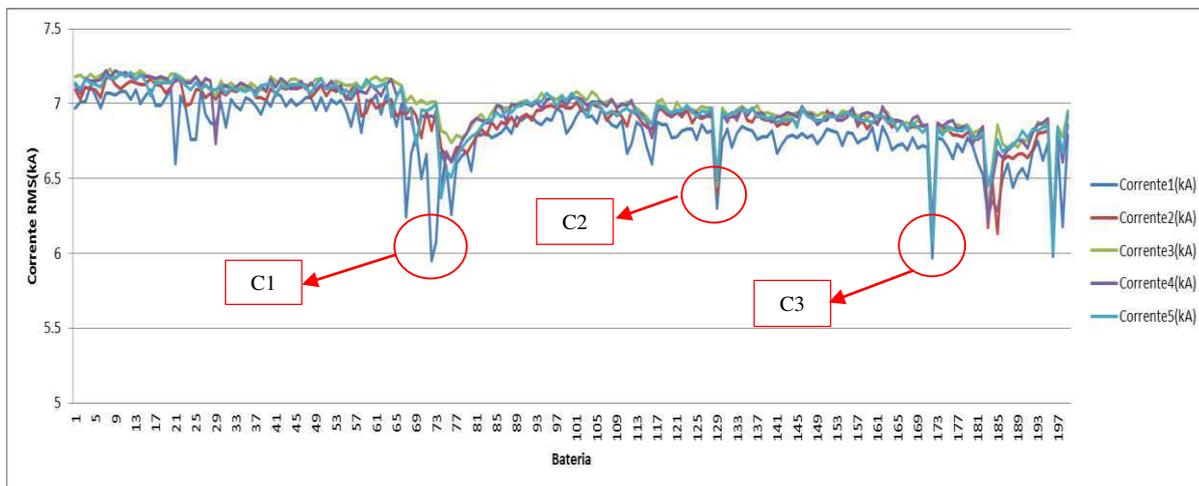


Figura 40: Característica da corrente.

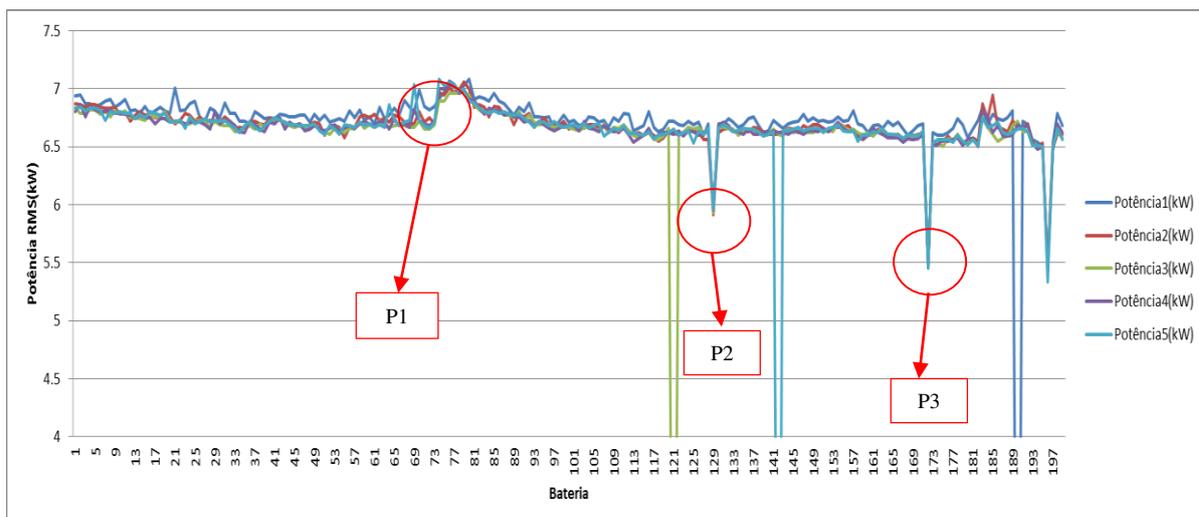


Figura 41: Característica da potência.

Inicialmente foi inserido um limite mínimo de corrente de 6,5 kA para que quando uma solda abaixo desse limite fosse detectada, o verificador emitisse um alarme visual e a solda pudesse ser coletada para análise. No ponto C1 da Figura 40, houve uma queda natural do sistema suficiente para ultrapassar o limite mínimo de corrente e, então, a bateria, na qual a solda estava sendo efetuada, foi coletada e a imagem da solda é apresentada na Figura 42.



Figura 42: Imagem da solda abaixo limite de corrente.

A Figura 42 mostra que, apesar da queda de corrente abaixo dos limites especificados, a solda manteve-se com boa qualidade visual. Isto se justifica pois a potência não seguiu a queda de corrente e, por isso, a energia aplicada para formação da solda ainda foi suficiente para manter a qualidade. O comportamento da potência como reflexo de C1 é apresentado pelo ponto P1 da Figura 41.

Em C2 houve uma simulação de defeito. A corrente foi reduzida propositalmente para a região de limite mínimo de corrente (6,5 kA) e, da mesma forma, a bateria foi coletada e a solda analisada. P2 representa a queda na potência aplicada na solda como reflexo da redução efetuada em C2. Como pode ser visto na Figura 43, a solda foi afetada com a queda de potência, mostrando que a qualidade da solda está relacionada com a energia aplicada (potência). A Figura 43 apresenta uma solda de menor qualidade como reflexo da queda na potência, mas ainda dentro dos limites exigidos pelo controle de qualidade. Por isto, o nível de corrente foi reduzido para a região de 6 kA com o intuito de analisar a qualidade da solda neste ponto.

O ponto C3 representa esta redução e o ponto P3 o reflexo desta redução na potência. As soldas realizadas com o nível de corrente representado pelo ponto C3 são apresentadas na Figura 44.



Figura 43: Imagem da solda com defeito simulado.

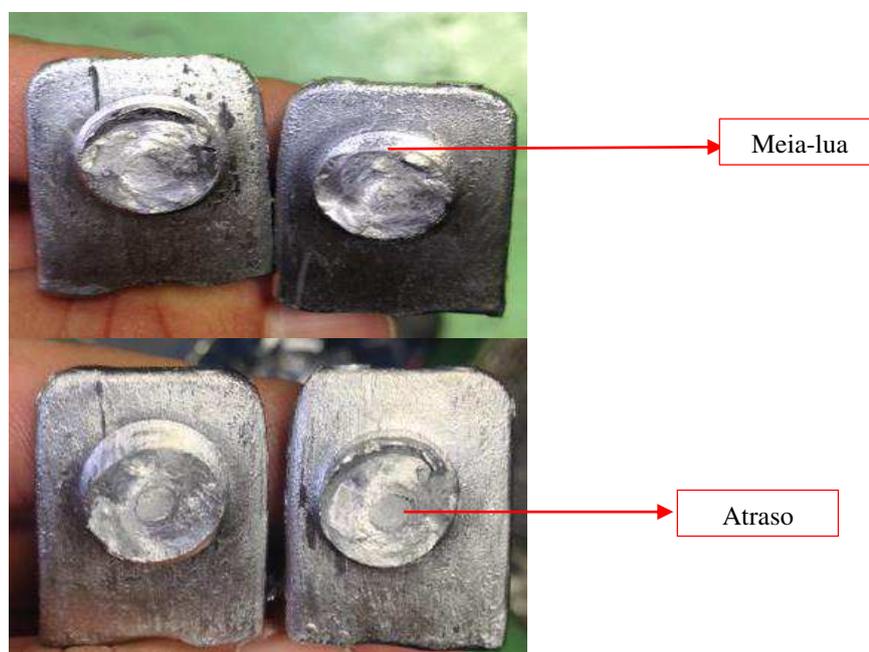


Figura 44: Imagem da solda na segunda simulação de defeito.

Assim como esperado, quanto menores os níveis de potência pior será a qualidade da solda, como pode ser visto na Figura 44. A solda apresenta defeitos graves e suficientes para reprovação pelo controle de qualidade.

4.5 ANÁLISE DE OUTRAS VARIÁVEIS

O excesso de energia na solda também pode causar outro defeito, conhecido como espirro. O espirro ocorre quando a quantidade de material inserido para formação da solda é maior do que o espaço destinado para ela e é um dos defeitos mais difíceis de se detectar uma vez que depende tanto de parâmetros elétricos como mecânicos. Uma das técnicas

usadas para detecção deste defeito usa um sensor de deslocamento que mede o posicionamento do porta eletrodo que, na ocasião de um espirro, movimentar-se acima dos limites predefinidos. Isto acontece pois o *strap* está sob pressão do porta eletrodos, fazendo com que ele avance no momento da expulsão de material (espirro).

As medições para o defeito são apresentadas na Figura 45.

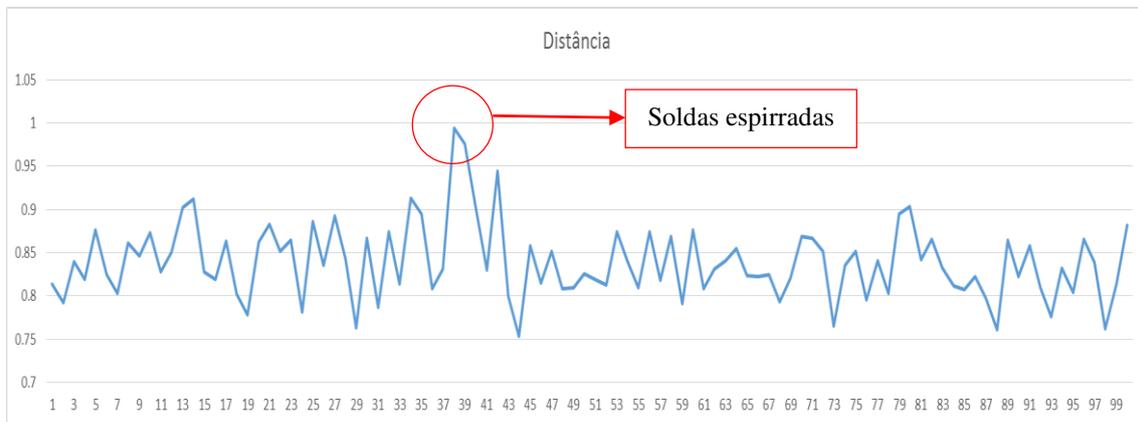


Figura 45: Análise do deslocamento do porta eletrodos.

Como observado na Figura 45, quando o porta eletrodos apresentou um deslocamento maior que 0,95 mm foi detectado que a solda apresentava expulsão de material.

4.6 RECEITA PARA O PROCESSO

Com análise dos dados do estudo, pode-se concluir que um limite para a rejeição de baterias seria uma potência de 5 kW e cada bateria encontrada abaixo disso deve ser analisada para a comprovação do estudo. Caso o valor de 5 kW mostre-se um limite muito aberto, deve-se estreitá-lo até que se encontre o valor ideal para rejeição.

Observando a Figura 46, percebe-se que em um espaço amostral de 199 baterias, 3 estavam abaixo do limite de 5 kW de potência, ou seja, 1,5% das baterias produzidas neste período apresentavam pelo menos uma das soldas com qualidade duvidosa.



Figura 46: Limite para potência.

4.7 CONEXÃO DO MIYACHI COM A SOVEMA

Esta parte do estudo, infelizmente, não pode ser realizada por falta de tempo mas as informações obtidas a partir do estudo foram compartilhadas e a conexão das máquinas para rejeição automática de defeito será efetuado em uma oportunidade futura.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi detectar soldas defeituosas em baterias, no processo de solda intercell. Os defeitos pesquisados são caracterizados por não visíveis e as baterias devem ser rejeitadas para que não sigam na linha de produção, evitando assim, novos investimentos em um produto com taxa de falha alta. E, caso o produto fosse disponibilizado para o mercado, seriam gerados danos significativos para a imagem da organização, além da alocação inadequada de valores.

Os estudos mostraram que durante um turno de produção existem variações nos parâmetros elétricos da máquina de solda que podem ser resultado da queda de tensão na rede de alimentação da mesma. A alta demanda de potência do processo de solda intercell, aliado ao número de soldas que são feitas simultaneamente na planta industrial (um total de 13), podem justificar as possíveis quedas de tensão apresentadas no estudo. Uma das soldas que foram formadas no momento de uma queda de tensão pode ter se apresentado de má qualidade, porém ela não foi detectada pois não havia rejeição automática para este tipo de defeito. A peça, com a solda defeituosa, pode ter prosseguido no processo produtivo e, por fim, chegar a um cliente causando, assim, maiores prejuízos.

Então, deve-se, a partir do valor inicial de 5 kW de potência, conectar o verificador de solda Miyachi MM-370B com a máquina de solda Sovema, através do CLP, para que então seja possível analisar todas as baterias abaixo de 5 kW e, finalmente, determinar o estreitamento ou ampliação desse valor de acordo com as necessidades.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABNT. (2002). NBR 10520 - Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (p. 7). ABNT.
- ABNT. (2002). NBR 6023 - Informação e documentação - Referências - Elaboração. *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (p. 24). ABNT.
- ABNT. (2003). NBR 6028 - Informação e documentação - Resumo - Apresentação. (p. 2). Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (30 de 12 de 2005). NBR 14724 - Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (p. 9). ABNT.
- Acumuladores Moura S/A*. Página virtual Moura, 2014. Disponível em: <<http://www.moura.com.br/>>. Acesso em: 10 de jun. 2014.
- BRACARENSE, D. A. (s.d.). *Processo de Soldagem por Resistência Elétrica*. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufmg.br/lrсс/ProcessosSoldagem_Pos/TEXTOS/07TextoRW.pdf>. Acesso em: 29 de maio 2014.
- COPORATION, M. (s.d.). *Weld Checker MM-370B Operation Manual*. Miyachi.
- CORPORATION, U. M. (2009). *Operator Manual for the ISA-500CR Inverter Power Supply*. MIYACHI.
- KOU, S. (2003). *Welding Metallurgy*. Hoboken: Wiley-Interscience.
- PAVLOV, D. (2011). *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. ELSEVIER.
- PENTEADO, F. *Processo de Soldagem por Resistência Elétrica*. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/19658861/1677151160/name/SOLDA_2_4.pdf>. Acesso em: 1 de jun. 2014.
- PEREIRA, A., & ALVES, M. (2006). *Baterias Automotivas*. Acumuladores Moura SA, Belo Jardim.
- SANTOS, D. A. (2001). *União de Componentes Metálicos por Soldagem*. São Paulo: Unicamp.
- SCHROER, T., & SNELL, R. J. (s.d.). *Testing and Verification of Intercell Welds*. Digatron/Firing Circuits. Disponível em: <http://www.digatron.com/fileadmin/pdf/Testing_Welds.pdf>. Acesso em: 15 de fev. 2014.
- TSAI, C. L., DAI, W. L., DICKSON, D. W., & PAPRITAN, J. C. (1991). *Analyses and Development of a Real-Time Control Methodology in Resistance Spot Welding*.
- VAN RYMENANT, P.. *Mechanical Characterisation and Modelling of Resistance Welding*. Dissertação. Cranfield University, julho de 2011.
- ZHANG, H. (2006). *Resistance Welding Fundamentals and Applications*. Boca Raton: Taylor & Francis.

