

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE VISANDO A MELHORIA DA ESTABILIDADE DO ARCO NA SOLDAGEM MOLHADA COM ELETRODO TUBULAR

- (1) Erwin Werner Teichmann**
(2) Carlos Eduardo Iconomos Baixo
(3) Jair Carlos Dutra
(4) Alexandre Pope
(5) José Claudio Teixeira

RESUMO

Com a evolução da eletrônica surgiu a possibilidade de dotar as fontes de soldagem de circuitos dedicados a um controle mais apurado da corrente de soldagem. A utilização desta tecnologia já vem sendo aplicada a vários anos para reproduzir uma corrente com forma de onda retangular (corrente pulsada), tanto na soldagem em corrente contínua, quanto em alternada. Mais recentemente, formas mais complexas têm sido propostas para minimizar a produção de salpicos na soldagem com transferência por curto-circuito. Além deste recurso, a incorporação de uma eletrônica embarcada permitiu desenvolver circuitos analógico-digitais para emular respostas antes obtidas somente através da mudança da característica de resposta do transformador. Estes circuitos permitem a modificação das características de resposta estática e dinâmica das fontes de soldagem sem alterações no transformador, aumentando a flexibilidade dos equipamentos. Neste trabalho são apresentados alguns resultados decorrentes da aplicação, na soldagem molhada com eletrodo tubular, de um sistema de controle das características de resposta da fonte de energia. **Palavras-chave:** Soldagem Subaquática; Soldagem Submarina; Fontes e Sensores para Soldagem.

ABSTRACT

The availability of new electronic technologies allowed the use of special current control of welding sources. One example of this applications is the rectangular waveform used in the DC and AC pulsed arc welding since the 1980's. Recently, the complexity of this waveforms increased in order to promote spatter free welding beads on short-circuit transfer mode. In addition to this, the development of new analogic-digital circuits permitted to emulate transformer responses that previously were possible only with physical changes at the transformer. This allowed changes in the static and dynamic characteristic response from welding sources simply through software modifications, improving the flexibility of those equipments. In this work, some results of the characteristic control, applied to the underwater flux cored arc wet welding, are shown.

Key-Words: Underwater Welding, Wet Welding, Welding Sensors and Sources.

-
- (1)Eng. Mecânico, Mestrando LABSOLDA/UFSC
(2)Eng. Mecânico, Doutorando LABSOLDA/UFSC
(3)Prof. Dr. Eng. LABSOLDA/UFSC
(4)Eng. CENPES /PETROBRAS
(5)Eng. CENPES /PETROBRAS

LABSOLDA – Laboratório de Soldagem e Mecatrônica do Depto. de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. Cp. 476, CEP 88040-900,
Fax: (048) 234-6516, e-mail: labsolda@emc.ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

A técnica da soldagem molhada vem sendo aplicada em reparos de estruturas *off-shore* por dispensar o emprego de habitat seco, o que implica em uma redução significativa dos custos de execução. Atualmente, para a aplicação desta técnica, o processo que ainda vem sendo empregado com maior frequência é o que utiliza eletrodos revestidos. Isto se deve a confiabilidade, simplicidade e a possibilidade de se produzir diferentes formulações de fluxo, de forma a combinar boa estabilidade do arco e microestruturas mais favoráveis. Mais recentemente, vem sendo testada a utilização de eletrodos tubulares na soldagem molhada. Além de apresentar as mesmas vantagens oferecidas pelos eletrodos revestidos, a soldagem com eletrodos tubulares permite uma alta taxa de deposição e a possibilidade de automação das operações de soldagem, vantagens estas características dos processos contínuos.

Apesar de todos os aspectos favoráveis à utilização da soldagem molhada, o contato direto do arco voltaico e metal fundido com a água pode induzir uma baixa tenacidade nas juntas soldadas. Esta maior fragilidade pode ser resultante da presença de microestruturas frágeis, decorrentes de altas taxas de resfriamento, do alto teor de hidrogênio residual no metal de solda ou da presença de defeitos, que tendem a ocorrer devido a maior instabilidade do arco. Com relação à tenacidade da microestrutura, esta pode ser melhorada, para alguns tipos de aço, mediante a utilização de um fluxo com composição química apropriada [1].

Muito embora não seja um fator usualmente considerado, a estabilidade do arco também exerce influência sobre o aspecto dos cordões e sobre a incidência de defeitos. Estas características contribuem diretamente para a aprovação ou rejeição dos depósitos soldados. Assim como nos eletrodos revestidos, na soldagem com arames tubulares o incremento da estabilidade do arco pode ser obtido, tanto pela inserção de elementos estabilizadores na composição do fluxo, quanto pela atuação nas características de resposta estática e dinâmica da fonte de energia [2]. Os primeiros ensaios envolvendo a soldagem molhada com arames tubulares no LABSOLDA foram conduzidos com uma fonte de soldagem convencional operando com característica estática de tensão constante. Naquela oportunidade, esta característica estática já se mostrou pouco eficiente, devido a instabilidades associadas à ocorrência de picos de corrente elevados. Nos ensaios realizados nestas condições, tornaram-se frequentes a ocorrência de falhas na alimentação do arame, devido a soldagem deste no bico de contato induzida pelos altos picos de corrente [3]. Com a utilização de fontes com modulação de corrente, o que resultou na eliminação das falhas na alimentação do arame, o foco das pesquisas foi então concentrado na redução da ocorrência de extinções do arco [4].

Para atingir a este objetivo, inicialmente as pesquisas foram conduzidas utilizando uma modulação mista, obtida através da alternância entre as modulações de tensão e de corrente, alternância esta definida em função do nível de tensão atingido durante a soldagem. Posteriormente, esta técnica foi substituída pela utilização única de modulação de corrente, mas empregando fonte de soldagem com tensão em vazio mais elevada (130 V). Muito embora os resultados advindos desta última técnica tenham permitido melhorar, e muito, a estabilidade da soldagem, os resultados ainda foram considerados insuficientes, em especial na execução de soldagem mecanizada. Como forma de reduzir ainda mais a ocorrência de extinções do arco, iniciou-se um novo programa de desenvolvimento utilizando uma tecnologia de controle desenvolvida para a soldagem MIG/MAG em ambiente hiperbárico.

Este trabalho têm por objetivo descrever os últimos avanços obtidos na soldagem pela técnica molhada com eletrodos tubulares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo uma linha de trabalho que visa agilizar o processo de desenvolvimento, foi criado um programa computacional para o controle da fonte de energia durante a soldagem. Através do sinal de tensão, o programa identifica e classifica o estado da soldagem em duas situações: curto-circuito e arco aberto. No caso da identificação de um estado de ocorrência de curto-circuito, um surto de corrente é comandado com o objetivo de reduzir o tempo de duração dos curto-circuitos. Ensaios conduzidos com eletrodos revestidos permitiram identificar que a imposição destes surtos de corrente melhoram a estabilidade da soldagem [5]. A característica maior deste controle, e que o distingue das versões desenvolvidas anteriormente, está na forma de controlar a corrente de soldagem durante o estado de arco aberto. Neste estado, o controle emula uma característica que permite a corrente de soldagem variar segundo os valores de tensão do arco. Como parâmetro de entrada para o controle foi especificada uma corrente de referência (I_{ref}), a qual tende a ser mantida ao longo dos períodos de arco aberto.

Nestes ensaios foi utilizada uma fonte de soldagem transistorizada acoplada em série a um retificador, permitindo a obtenção de 130 V de tensão em vazio. O controle desta fonte foi realizado através de uma placa de aquisição e controle de dados, conectada ao barramento do microcomputador. O consumível utilizado foi um arame tubular, rutilico, auto-protegido, de 1,6 mm de diâmetro de fabricante nacional. Os cordões foram produzidos por deposição sobre chapas de 10 mm de espessura. A corrente média medida para a faixa de velocidade do arame utilizada variou entre 125 A e 180 A .

A aquisição e análise dos parâmetros elétricos é fundamental para avaliar a estabilidade de qualquer processo de soldagem a arco. Na soldagem molhada, a importância da aquisição destes sinais é reforçada pela dificuldade de observação do arco. Para atender a esta necessidade, durante os ensaios foram feitas aquisições dos sinais de tensão (U) e de corrente (I), por períodos de 10 e 15 segundos, por meio de um programa instalado em um segundo computador. Com base nestes sinais foram gerados oscilogramas e calculado o desvio-padrão da tensão, elementos que serviram de base para a análise da estabilidade da soldagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerado um valor de corrente de referência (I_{ref} : 125 A), o principal fator limitador da velocidade do arame foi a ocorrência de extinções do arco. Estas foram observadas, tanto para valores de velocidade do arame menores do que 2,2 m/min, quanto maiores do que 3,0 m/min (fig. 1). Analisando os dados de tensão e de corrente obtidos durante os ensaios, verificou-se a existência de mecanismos diferenciados de extinção do arco nos dois limites. Para as velocidades de alimentação do arame menores do que 2,2 m/min, os períodos de extinção foram relacionados a uma incompatibilidade entre a corrente de soldagem e a velocidade do arame, gerando um arco longo e de difícil manutenção. A baixa frequência de ocorrência e a curta duração dos curto-circuitos sugerem que, abaixo de 2,2 m/min, a transferência se processe em vôo livre. À medida que é aumentada a velocidade de alimentação do arame, observou-se uma elevação, tanto do número, quanto do tempo

médio de duração dos curto-circuitos, indicando a existência de uma mudança no modo de transferência metálica (fig. 2). Para as velocidades de arame superiores a 3 m/min, as extinções foram precedidas de curto-circuitos de longa duração (fig. 3). A ocorrência de curto-circuitos desta natureza resultaram em um grande aquecimento do arame próximo ao bico de contato e o seu rompimento nesta região.

Tomando o desvio-padrão da tensão como parâmetro indicativo da estabilidade, somente para velocidades do arame inferiores a 2,2 m/min observou-se um incremento acentuado na magnitude do mesmo (fig. 4). Mesmo para valores de velocidade de alimentação do arame relativamente elevados para a corrente de referência especificada, observou-se que o desvio-padrão da tensão não sofreu alterações significativas em sua magnitude. Uma vez que, nestas situações já se observou a ocorrência de curto-circuitos de longa duração, concluiu-se que, somente o desvio-padrão da tensão não se constitui em parâmetro adequado para a seleção da velocidade do arame. Para esta determinação torna-se necessário considerar, também, a duração média de curto-circuitos. Períodos superiores a 2 ms já devem ser considerados indicativos de uma tendência a ocorrência de contato direto entre a ponta do arame e o fundo da poça de fusão. Conforme descrito anteriormente, o surgimento deste contato resulta em extinções do arco devido ao rompimento do arame próximo ao bico de contato. A existência de uma faixa de valores de maior estabilidade, definida pela associação entre o desvio-padrão da tensão e a duração dos curto-circuitos (fig. 5), se traduziu na boa formação geométrica dos depósitos. A combinação dos parâmetros (V_a) e (I_{ref}) que resultou na produção de depósitos com bom aspecto superficial se encontra na faixa onde, tanto o desvio-padrão, quanto a duração dos períodos de curto-circuito estão nos valores mínimos. Nas figuras 6 e 7 são apresentadas uma macrografia e oscilogramas de corrente e de tensão representativos dos depósitos produzidos com parâmetros na faixa de ocorrência mínima de extinções. Fora desta faixa, todos os depósitos foram reprovados por apresentarem defeitos superficiais, seja pela convexidade excessiva ($V_a > 3,0$ m/min), seja pela formação de depósitos descontínuos devido à excessiva extinção do arco ($V_a < 2,2$ m/min).

Nas soldagens realizadas com fonte de corrente constante convencional, o tempo de extinção do arco oscila entre 3% e 14% do tempo total de soldagem [2]. A ocorrência destas extinções influencia fortemente o aspecto dos cordões. O reacendimento do arco também contribui para a instabilização do processo e ocorrência de vazios nos cordões de solda. Com a utilização do programa para controle das características estáticas e dinâmicas da fonte de soldagem, obteve-se uma ampla faixa de velocidades de arame onde não se observam as extinções do arco (fig. 1).

4. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios conduzidos concluiu-se que, somente o desvio-padrão não se constitui em parâmetro adequado para a seleção da velocidade do arame ideal para a corrente de referência escolhida, no caso I_{ref} : 125 A. Para esta determinação torna-se necessário considerar, também, a duração média de curto-circuitos. Períodos superiores a 2 ms já devem ser considerados indicativos de uma tendência a ocorrência de contato entre a ponta do arame e o fundo da poça de fusão. A associação dos valores mínimos entre as curvas de desvio padrão e de duração média dos curto-circuitos, delimitou uma área que coincide com o valor de velocidade de arame utilizado na obtenção dos melhores resultados de aspecto superficial de cordão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à FINEP e ao PADCT pela concessão de bolsas e financiamento e ao CENPES/ PETROBRAS, pelo apoio técnico e financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] POPE A.M., TEIXEIRA J.C.G., PAES M.T.P., SANTOS V.R., Soldagem Submarina Molhada: Desenvolvimentos Recentes e Perspectivas de Aplicações em Reparos Submarinos. Anais do XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, ABS, Blumenau – SC, V. 2, p. 707-716, 1996.
- [2] TEICHMANN E.W., BAIXO C.E.I., DUTRA J.C., POPE A.M., TEIXEIRA J.C.G., Influência de Parâmetros e Variáveis Sobre a Deposição com Eletrodos Tubulares pela Técnica da Soldagem Molhada. Anais do XXIV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, ABS, Fortaleza – CE, CD-ROM, 1998.
- [3] ANDRADE L.P.C.S., Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular. Florianópolis – SC. 124 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- [4] TEICHMANN E.W., BAIXO C.E.I., DUTRA J.C., POPE A.M., TEIXEIRA J.C.G., Desenvolvimento de Equipamentos para Incrementar a Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular. Anais do XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Blumenau – SC, V. 2, p. 717-727, 1996.
- [5] POPE A.M., TEIXEIRA J.C.G., BAIXO C.E.I., TEICHMANN E.W. and DUTRA J.C., Influence of Power Source Dynamic Response on Underwater Welding Stability. 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE-98, paper 2201, Lisbon, Portugal, 1998.

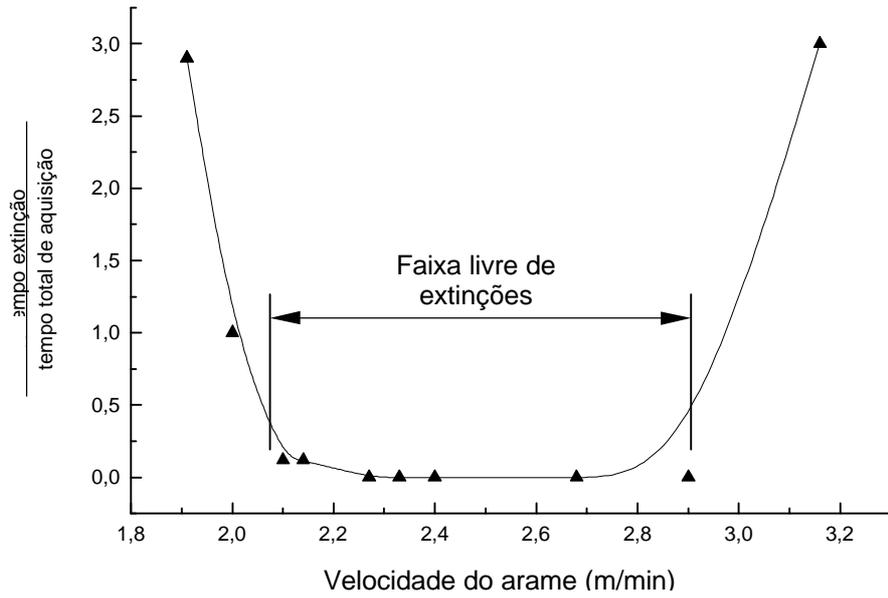


Figura 1: Gráfico da fração de tempo de arco extinto em função da velocidade do arame.

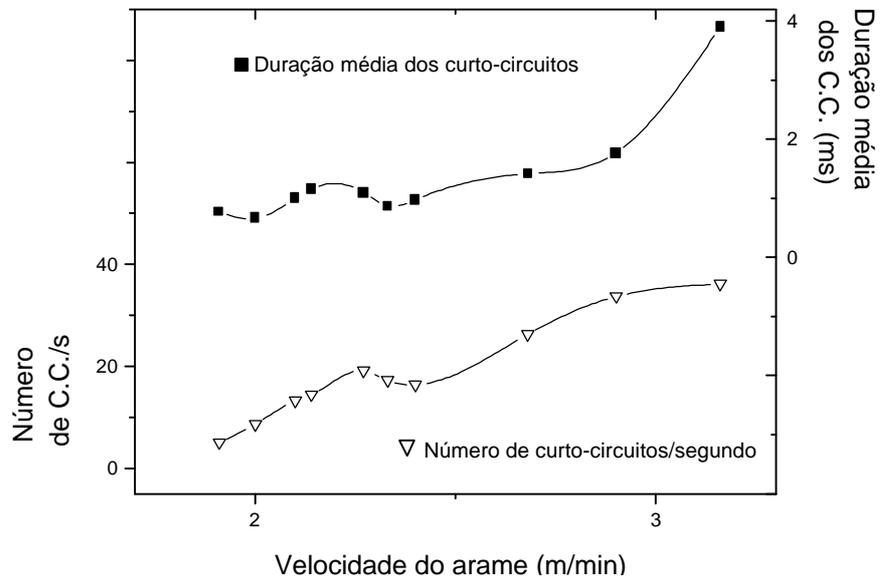


Figura 2: Gráfico mostrando o comportamento dos curto circuitos em função da velocidade do arame.

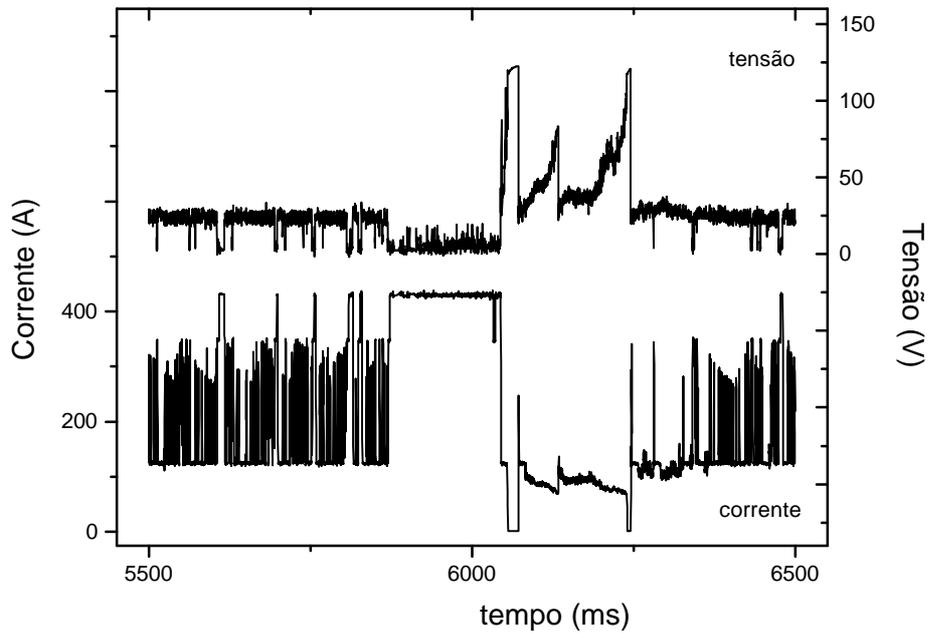


Figura 3: Oscilograma de corrente e tensão, mostrando os curtos circuitos seguidos de extinção do arco.

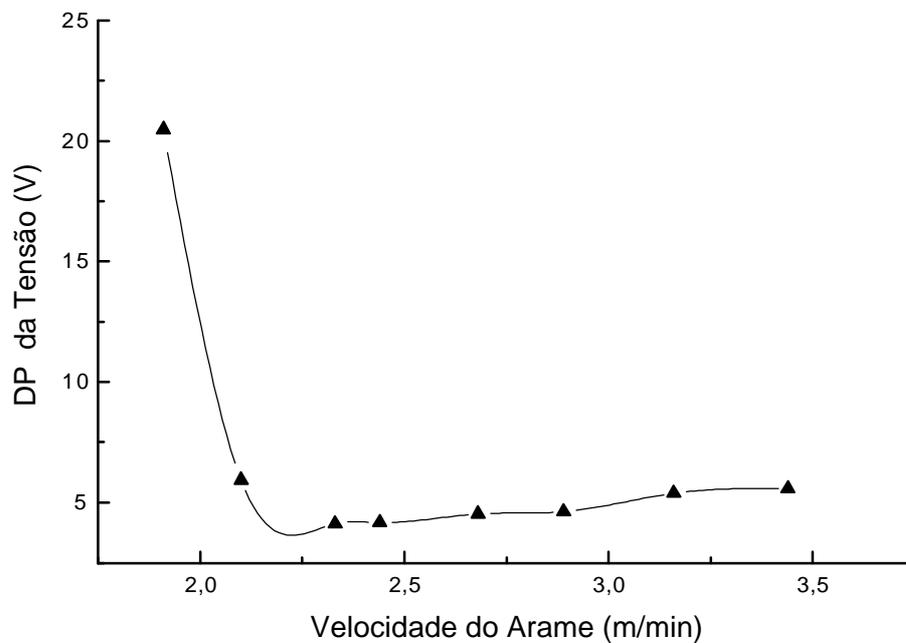


Figura 4: Gráfico do desvio padrão da tensão em função da velocidade do arame.

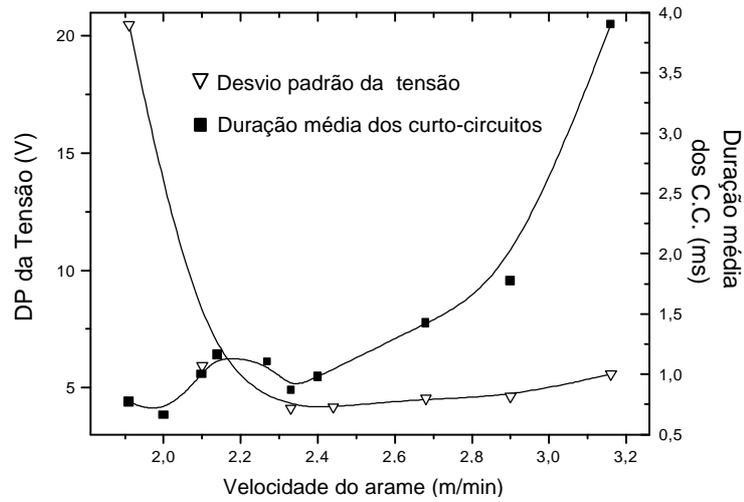


Figura 5: Gráfico do desvio padrão da tensão e do tempo médio de duração dos curto-circuitos em função da velocidade do arame.



Figura 6: Aspecto superficial do cordão.

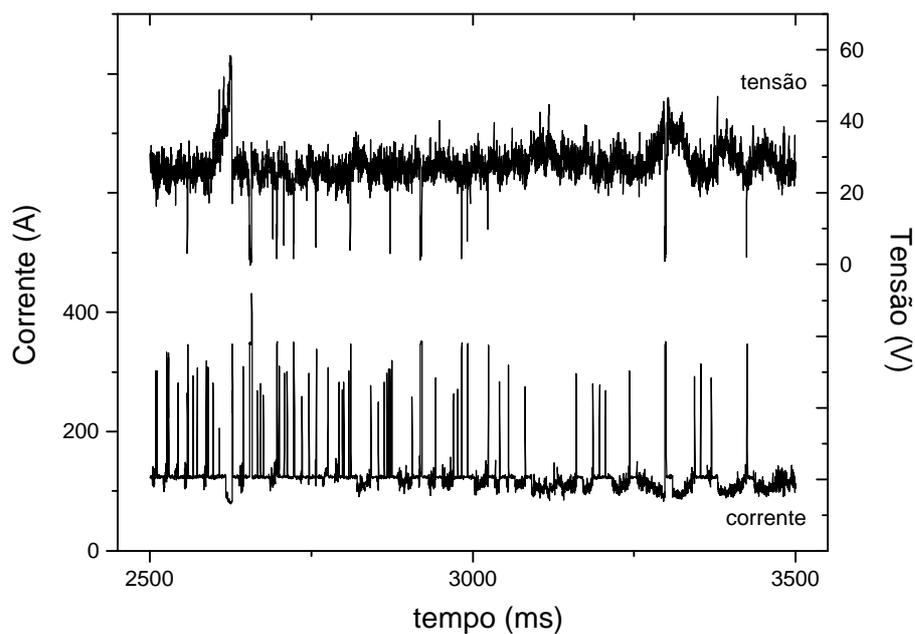


Figura 7: Oscilograma de corrente e tensão de soldagem realizada com corrente de referência de 125 A e velocidade do arame de 2,33 m/min.