



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020024012-9 A2



(22) Data do Depósito: 25/11/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 07/06/2022

(54) **Título:** ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO

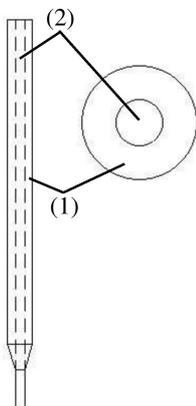
(51) **Int. Cl.:** B23K 35/36.

(52) **CPC:** B23K 35/36.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** IGOR JORDÃO MARQUES; KÉLITON GOMES DE SOUZA CRUZ; ARTHUR FELIPE DE FARIAS MONTEIRO; BRÁULIO SILVA BARROS; TIAGO FELIPE DE ABREU SANTOS.

(57) **Resumo:** ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO. O presente invento é proposto para aplicação na área de soldagem e revestimento por solda a arco. A invenção proposta é a adição de óxido de grafeno na composição do revestimento de eletrodos revestidos para soldagem. Desde os primórdios da solda elétrica a utilização de revestimento multicomponente se mostrou eficaz para otimizar as propriedades das juntas soldadas e promover melhorias no processo. A produção e caracterização do grafeno em 2004 por Novoselov e Geim despertou interesse da comunidade científica devido às propriedades impressionantes deste material. Não apenas o grafeno, mas também alguns materiais com estruturas análogas passaram a ser objeto de diversos estudos. Dentre esses materiais, o óxido de grafeno se destaca por sua facilidade de síntese com precursores de fácil disponibilidade comercial. Foi verificado que a adição de óxido de grafeno em eletrodos revestidos ER 6013 promoveu redução substancial da taxa de corrosão no metal de solda, em relação a soldas obtidas pelos eletrodos ER6013 convencionais, e em relação ao próprio metal de base, cuja taxa de corrosão foi diminuída em torno de 20 vezes. As juntas soldadas são componentes críticos em estruturas metálicas, devido à não uniformidade de propriedades (...).



# ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO

## RELATÓRIO DESCRITIVO

### **Campo da invenção**

[001] Este invento diz respeito ao desenvolvimento de um eletrodo consumível para soldagem com adição de óxido de grafeno, particularmente relacionado ao processo de soldagem por eletrodo revestido, descreve novas possibilidades de composição de eletrodos revestidos aplicados para união e revestimento de peças metálicas de aços-carbono e outros materiais em que o processo e o arame o fizerem pertinentes, bem como uniões dissimilares de materiais.

### **Fundamentos da invenção (descrição do estado da técnica)**

[002] A aplicação da soldagem é indispensável no ramo da engenharia. Dentre os processos de soldagem, os mais utilizados são os processos de soldagem por arco elétrico. O processo de soldagem por eletrodo revestido é o processo por arco elétrico mais antigo ainda em uso, sendo que no Brasil ainda responde por 60% da aplicação e 40% nos EUA. A origem desse processo remete a 1890, ano em que Coffin patenteou um processo de soldagem com fusão de um eletrodo metálico que era depositado na região da junta soldada, se misturando com o metal fundido (US428459). O fundamento do processo patenteado por Coffin é a base dos processos de soldagem contemporâneos, porém, as juntas soldadas obtidas com essa tecnologia apresentaram, em geral, baixa qualidade, uma consequência da reação dos gases atmosféricos com o metal fundido. Em 1907, Oscar Kjellberg patenteou um processo de soldagem utilizando um metal de adição que era fundido durante o processo, como o de Coffin, porém, com o recobrimento do metal de adição com uma camada de óxidos (US948764). A invenção proposta por Oscar Kjellberg é o que hoje denominamos soldagem por eletrodo revestido.

[003] O revestimento do eletrodo, proposto por Oscar Kjellberg, promoveu melhoria significativa na qualidade da solda em relação ao processo idealizado por

Coffin. Durante a soldagem, o revestimento do eletrodo é decomposto. A decomposição do eletrodo resulta em: desprendimento de gases que estabilizam o arco elétrico ao disponibilizar portadores de carga para este; formação de uma escória de baixa densidade (em relação ao metal de adição) que promove reações químicas que ajustam a composição química do metal de solda e protege o metal fundido da ação da atmosférica durante seu ciclo de solidificação e diminui a taxa de resfriamento. Com o passar dos anos, diversos materiais foram propostos para composição dos revestimentos dos eletrodos, a fim de conferir melhorias no processo e desempenho das juntas. Dentre as melhorias promovidas pelas diversas composições de revestimentos do eletrodo podemos destacar: mitigação de problemas típicos da soldagem (como as trincas a frio), melhoria da taxa de deposição de metal durante a soldagem, o fornecimento de elementos de liga específicos para um determinado material e condição de soldagem.

[004] A soldagem por eletrodo revestido hoje em dia se destaca por: baixos custos dos equipamentos e consumíveis; alta portabilidade do equipamento de soldagem; possibilidade de soldagem em todas as posições, isto é, versatilidade do processo; possibilidade de aplicação para solda subaquática; dispensa uso de gás de proteção. A principal característica deste processo de soldagem é a utilização de eletrodos consumíveis compostos por dois elementos: alma metálica e revestimento composto por óxidos e materiais orgânicos. A alma metálica do eletrodo revestido é a principal fonte de elementos de liga para o metal de solda e adição de material na região da junta. O revestimento do eletrodo é responsável por: estabilização do arco elétrico, permitindo uma operação de soldagem eficiente; proteção da poça de fusão; melhoria da taxa de deposição de metal de adição; controle da taxa de resfriamento do metal de solda. Além de desempenhar várias funções durante a soldagem, as posições de soldagem e os tipos e intensidade de corrente recomendados para aplicação do eletrodo são definidos pela composição de seu revestimento.

[005] Atualmente, os revestimentos dos eletrodos podem apresentar em sua composição:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ , celulose, pó de ferro, ferro-manganês, talco, dentre

outros componentes. Na soldagem por eletrodo revestido, os eletrodos são tipicamente classificados a partir dos principais componentes do revestimento. Os eletrodos revestidos são tipicamente classificados em: celulósicos, rútilicos e básicos. As composições de eletrodo vão proporcionar diferentes características no armazenamento dos eletrodos, operação de soldagem e desempenho do metal de solda.

[006] Em 2004, Novosolev e Geim conseguiram obter uma única camada de carbonos em hibridização  $sp^2$  a partir da estrutura do grafite, obtendo experimentalmente pela primeira vez o grafeno. Desde então, o grafeno vem sendo objeto de estudos e proposto para aplicações em diversas áreas, principalmente devido a suas propriedades elétricas e mecânicas. A emergência dos estudos sobre o grafeno promoveu ainda destaque para diversos tipos de materiais com estruturas correlatas, como o óxido de grafeno, o óxido de grafeno reduzido, o grafano, o óxido de grafeno funcionalizado, dentre outros. Estes materiais apresentam variações substanciais de suas propriedades em relação às do grafeno propriamente dito, entretanto, para diversas aplicações as propriedades destes são adequadas e, em geral, estes materiais apresentam rota de obtenção mais fácil e versátil que o grafeno. O óxido de grafeno é um material com estrutura análoga à do grafeno, porém, apresentando acentuado número de defeitos, bem como a incorporação de diversos grupos funcionais oxigenados, tais como álcoois, éteres e ésteres. Este material passou a ser objeto de diversos estudos por apresentar uma rota de síntese relativamente simples e possibilitar a obtenção do óxido de grafeno reduzido após uma etapa de redução. A síntese do óxido de grafeno é tipicamente realizada utilizando rotas derivadas do “método de Hummers e Offeman” proposto em 1958 (HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. **Journal of the American Chemical Society**, v. 80, n. 6, p. 1339–1339, 1958). A redução do óxido de grafeno pode ser realizada por rotas químicas, utilizando diversos tipos de agentes redutores, ou físicas, com aquecimento em atmosfera controlada ou alta taxa de aquecimento, dentre outros métodos. O óxido de grafeno reduzido apresenta estrutura análoga à do grafeno, assim como o óxido de grafeno, porém, com menor

número de grupos funcionais residuais e menor espaçamento interplanar. A síntese de óxido de grafeno reduzido tem rendimento significativamente superior à do grafeno, fazendo com que este material, mesmo apresentando propriedades mecânicas, elétricas e magnéticas não adequadas para algumas das aplicações do grafeno, tenha seu destaque devido a maior facilidade de obtenção.

[007] Dentre as aplicações emergentes do grafeno, alguns pesquisadores propuseram a aplicação em processos de soldagem, visando obter melhoria nas propriedades das juntas soldadas. Diversos estudos analisaram o efeito da adição de materiais carbonáceos, dentre eles o grafeno, na soldagem. Na maioria dos estudos citados, os materiais de base eram ligas de baixo ponto de fusão (ligas de Al e Mg) (KHODABAKHSHI, F.; NOSKO, M.; GERLICH, A. P. Effects of graphene nanoplatelets (GNPs) on the microstructural characteristics and textural development of an Al-Mg alloy during friction-stir processing. **Surface and Coatings Technology**, v. 335, p. 288–305, fev. 2018.; ZHANG, T. et al. Effects of graphene nanoplates on microstructures and mechanical properties of NSA-TIG welded AZ31 magnesium alloy joints. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 27, n. 6, p. 1285–1293, jun. 2017.) e uma variedade limitada de processos de soldagem foi aplicada (GTAW, FSW) (FATTAHI, M. et al. Improved microstructure and mechanical properties in gas tungsten arc welded aluminum joints by using graphene nanosheets/aluminum composite filler wires. **Micron**, v. 64, p. 20–27, set. 2014.; MAURYA, R. et al. Effect of carbonaceous reinforcements on the mechanical and tribological properties of friction stir processed Al6061 alloy. **Materials & Design**, v. 98, p. 155–166, maio 2016.). Para aplicação em aços, entretanto, há escassez de registros anteriores, apesar de resultados promissores já reportados. Dentre estes, pode-se destacar aumento significativo no limite de escoamento de juntas de aço baixo-carbono soldadas por eletrodos revestidos 6010 com adições de grafeno comercial (Jarfalou, H. *et al.* Enhancement of mechanical properties of low carbon steel joints via graphene addition. **Materials Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 455–467, 2018). Os autores reportaram a melhoria das propriedades mecânicas por adição de grafeno por meio de ensaios uniaxiais de tração transversais à junta

soldada (qualitativos). Recentemente foi relatado o uso de óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido para melhoria da dureza do metal de solda. No referido trabalho foram constatados aumentos de dureza média de 180 para 240 HV (KHOSRAVI, M. et al. Effect of graphene oxide and reduced graphene oxide nanosheets on the microstructure and mechanical properties of mild steel jointing by flux-cored arc welding. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, v. 27, n. 4, p. 505–514, abr. 2020). No relato em questão, foram formuladas pastas com óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido, as quais foram aplicadas nos chanfros de chapas antes da soldagem, que utilizou o processo de soldagem FCAW. Vale destacar que nesta última referência não foi desenvolvido nenhum tipo de arame-eletrodo com adição de material de grafeno, além da aplicação de uma tecnologia de soldagem diferente. Uma outra aplicação de materiais de grafeno em consumíveis de soldagem é proposta no documento de patente CN107553012. No referido documento é proposta a aplicação superficial de óxido de grafeno reduzido como alternativa à aplicação de cobre em arames-eletrodos de soldagem, visando mitigar a corrosão destes arames quando expostos ao ambiente, o que difere significativamente da presente reivindicação por propor a aplicação de óxido de grafeno, e posteriormente reduzir o mesmo, sobre arames para tecnologias como GMAW e FCAW, de forma que o referido invento consiste em arames para soldagem com aplicação de óxido de grafeno reduzido. Vale salientar ainda que, já existe alternativa à aplicação de cobre com baixo custo e já implementada em processo fabril.

[008] Desde a primeira proposta de aplicação, os revestimentos dos eletrodos de soldagem apresentaram importância tecnológica indubitável e, com o passar dos anos, novas composições de revestimentos permitiram maior versatilidade ao processo de soldagem por eletrodo revestido. No trabalho apresentado por Jarfalou *et al.* a aplicação de grafeno, para melhoria de propriedades da junta soldada, se mostrou mais eficiente quando feita sobre o eletrodo revestido, evidenciando potencial de melhoria deste produto. A aplicação de óxido de grafeno em eletrodos revestidos para soldagem e revestimento de aços carbono não foi relatada em

documentos anteriores, sendo, portanto, uma alternativa para melhoria dos produtos conhecidos até o momento. Com essa aplicação se espera, além do efeito nas propriedades da junta soldada, melhoria na estabilidade do arco elétrico, devido a óxidos em geral fornecerem uma grande quantidade de portadores de carga.

### **Objetivo**

[009] As juntas soldadas são regiões críticas em estruturas metálicas, devido ao ciclo térmico pelo qual são submetidos promovendo alterações microestruturais que podem resultar em mudança local nas propriedades do material. Além disso, nos aços carbono a ação corrosiva tende a ser acentuada em juntas soldadas do que em seus respectivos materiais de base, tornando essas regiões mais suscetíveis a falhas. Por isso, há uma contínua demanda por soluções tecnológicas que minimizem estes riscos associados às juntas soldadas. Tipicamente, uma alternativa para evitar esse problema é a aplicação de materiais mais nobres durante a soldagem. Materiais nobres, com resistência à corrosão mais elevada, apresentam custos mais elevados, além de exigirem cuidados específicos na operação de soldagem. Considerando este cenário, um eletrodo de soldagem que apresente: propriedades mecânicas compatíveis ou superiores às do material de base, maior compatibilidade composicional e baixo custo, se apresenta como uma interessante alternativa tecnológica e, de fato, é como os cientistas e engenheiros têm desenvolvido de eletrodos desde a invenção do eletrodo revestido. Foi verificado experimentalmente pelos autores deste documento que: a deposição de óxido de grafeno em eletrodos revestidos para soldagem de aços carbono promoveu obtenção de juntas soldadas com resistência à corrosão substancialmente superior à de juntas obtidas com eletrodos sem a adição do óxido de grafeno. Além disso, a avaliação experimental indicou que não há variação significativa nas propriedades mecânicas da junta soldada obtida com eletrodos contendo adição de óxido de grafeno, em relação às juntas obtidas com eletrodos convencionais. Considerando essa observação experimental, os eletrodos revestidos com deposição superficial de óxido de grafeno

se mostram como uma alternativa de resolução ao problema tecnológico da corrosão ambiental intensificada em juntas soldadas de aço carbono.

### **Breve descrição dos desenhos**

A Figura 1 apresenta o desenho técnico de um eletrodo revestido usado em soldagem destacando os seguintes elementos: (1) alma metálica; (2) revestimento do eletrodo.

A Figura 2 apresenta os gráficos de potencial aplicado versus corrente obtidos em ensaios de polarização potenciodinâmica em meio corrosivo de  $H_2SO_4$  do metal de base e dos metais de solda obtidos utilizando os eletrodos ER6013 convencional e ER6013 com deposição de óxido de grafeno.

A Figura 3 apresenta os perfis de microdureza Vickers, aferidos por séries de indentações na direção transversal à direção de soldagem, medidos no topo das juntas soldadas obtidas utilizando os eletrodos ER6013 convencional e ER6013 com deposição de óxido de grafeno.

A Tabela 1 apresenta os valores de potencial de corrosão, corrente de corrosão e taxa de corrosão calculados a partir dos resultados dos ensaios de polarização potenciodinâmica.

A Tabela 2 apresenta os resultados de propriedades mecânicas (ductilidade, limite de escoamento, limite de resistência à tração e tenacidade relativa, em relação ao material de base) calculados a partir dos resultados dos ensaios de tração uniaxial.

### **Descrição (detalhada) da invenção**

[010] Os ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO são eletrodos revestidos para soldagem com incorporação de óxido de grafeno na composição dos revestimentos. O óxido de grafeno pode ser adicionado no volume do revestimento do eletrodo, durante seu processo de fabricação (com a adição do óxido de grafeno na massa de constituintes do revestimento), ou na superfície do mesmo por meio de quaisquer técnicas de deposição (*dip coating*, *physical vapour deposition*, *spray coating*, dentre outras). O presente invento admite qualquer composição da alma

metálica (1) do eletrodo revestido e qualquer composição do revestimento do eletrodo (2) que apresente óxido de grafeno dentre seus constituintes. Os ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO podem ser produzidos para qualquer diâmetro e comprimento de eletrodo revestido. O invento veiculado neste documento trata ainda dos eletrodos com composições comerciais com adição superficial posterior de óxido de grafeno.

### **Exemplos de concretizações da invenção**

[011] Foram avaliados metais de solda obtidos com eletrodos revestidos comerciais ER6013 com e sem a deposição superficial de óxido de grafeno, podendo ser aplicados outras composições comerciais de eletrodos revestidos. Nos eletrodos com deposição, esta foi realizada por *dip coating* em solução aquosa de óxido de grafeno com concentração 5,5 g/L, sendo outras concentrações possíveis. Os metais de solda obtidos com ambas composições foram submetidos a ensaio de polarização potenciodinâmica em ácido sulfúrico. A Figura 2 apresenta os gráficos potencial versus corrente obtidos com este ensaio. A Tabela 1 apresenta os valores de potencial de corrosão, corrente de corrosão e taxa de corrosão calculados a partir dos resultados do ensaio de polarização potenciodinâmica. Os resultados de polarização potenciodinâmica indicaram que: o metal de solda obtido utilizando eletrodos com adição de óxido de grafeno apresentou taxa de corrosão 20 vezes inferior à taxa de corrosão do metal de base, enquanto o metal de solda obtido utilizando eletrodos convencionais (sem adição de óxido de grafeno) apresentaram acréscimo da taxa de corrosão em aproximadamente 2,5 vezes em relação ao metal de base. O metal de solda resultante da aplicação de eletrodos com adição de óxido de grafeno apresentou, portanto, taxa de corrosão cerca de 50 vezes inferior à taxa de corrosão dos eletrodos convencionais (sem adição de óxido de grafeno). Além da avaliação de desempenho de resistência à corrosão, também foi realizada avaliação de propriedades mecânicas medindo perfis de microdureza das juntas e por ensaios uniaxiais de tração em corpos de prova colhidos com orientação longitudinal em

relação à junta soldada, portanto, dados quantitativos, ao contrário do reportado por Jarfalou et al. (2017). A Figura 3 apresenta os perfis de microdureza Vickers obtidos nas juntas soldadas obtidas utilizando eletrodos revestidos com e sem adição de óxido de grafeno. As médias de microdureza medidas nos cordões de solda obtidas utilizando os eletrodos revestidos com e sem a adição de óxido de grafeno foram de  $(195\pm 15)$  e  $(212\pm 11)$   $HV_{0,3/15}$ , respectivamente. Como os resultados apresentaram equivalência estatística, é possível afirmar que a adição de grafeno na concentração testada não apresentou modificação significativa na microdureza das juntas soldadas, o que é um resultado positivo. A Tabela 2 apresenta os resultados das propriedades mecânicas medidas com ensaios de tração uniaxial. O limite de escoamento considerado foi o limite inferior (característico de materiais com escoamento descontínuo, como o aço) e a ductilidade foi aferida pela redução de área útil medida após ruptura dos corpos de prova. As medidas de todas as propriedades mecânicas aferidas das juntas soldadas com os eletrodos ER6013 convencional e ER6013 com adição de óxido de grafeno apresentaram equivalência estatística, indicando que a adição de óxido de grafeno não modificou significativamente as propriedades mecânicas medidas. Pode-se destacar, entretanto, que a adição de óxido de grafeno promoveu aumento na tendência central de limite de escoamento e limite de resistência à tração, enquanto promoveu redução nas tendências centrais de ductilidade e tenacidade.

## REIVINDICAÇÕES

- 1) Eletrodos revestidos para soldagem e revestimento, **caracterizados por** adição de óxido de grafeno ou óxido de grafeno reduzido na composição do revestimento do eletrodo, quaisquer que sejam as características geométricas e variedade de componentes além do óxido de grafeno ou óxido de grafeno no revestimento do eletrodo.
- 2) Eletrodos revestidos, apresentados na Reivindicação 1, **caracterizados pela** incorporação de óxido de grafeno ser realizada durante o processo de fabricação do eletrodo, qualquer que seja a região que suporte o óxido de grafeno ou óxido de grafeno, interior do revestimento ou na superfície do revestimento.
- 3) Eletrodos revestidos, apresentados na Reivindicação 1, **caracterizados pela** incorporação de óxido de grafeno ter sido realizada após a fabricação do eletrodo por meio de deposição superficial do óxido de grafeno ou óxido de grafeno sobre o revestimento do eletrodo.

**DESENHOS**

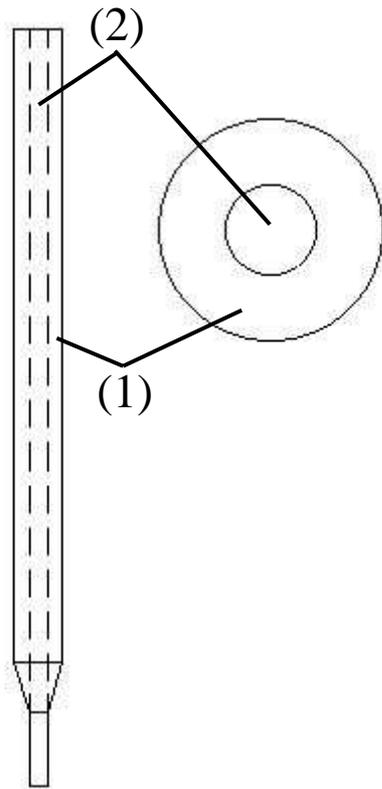


Figura 1

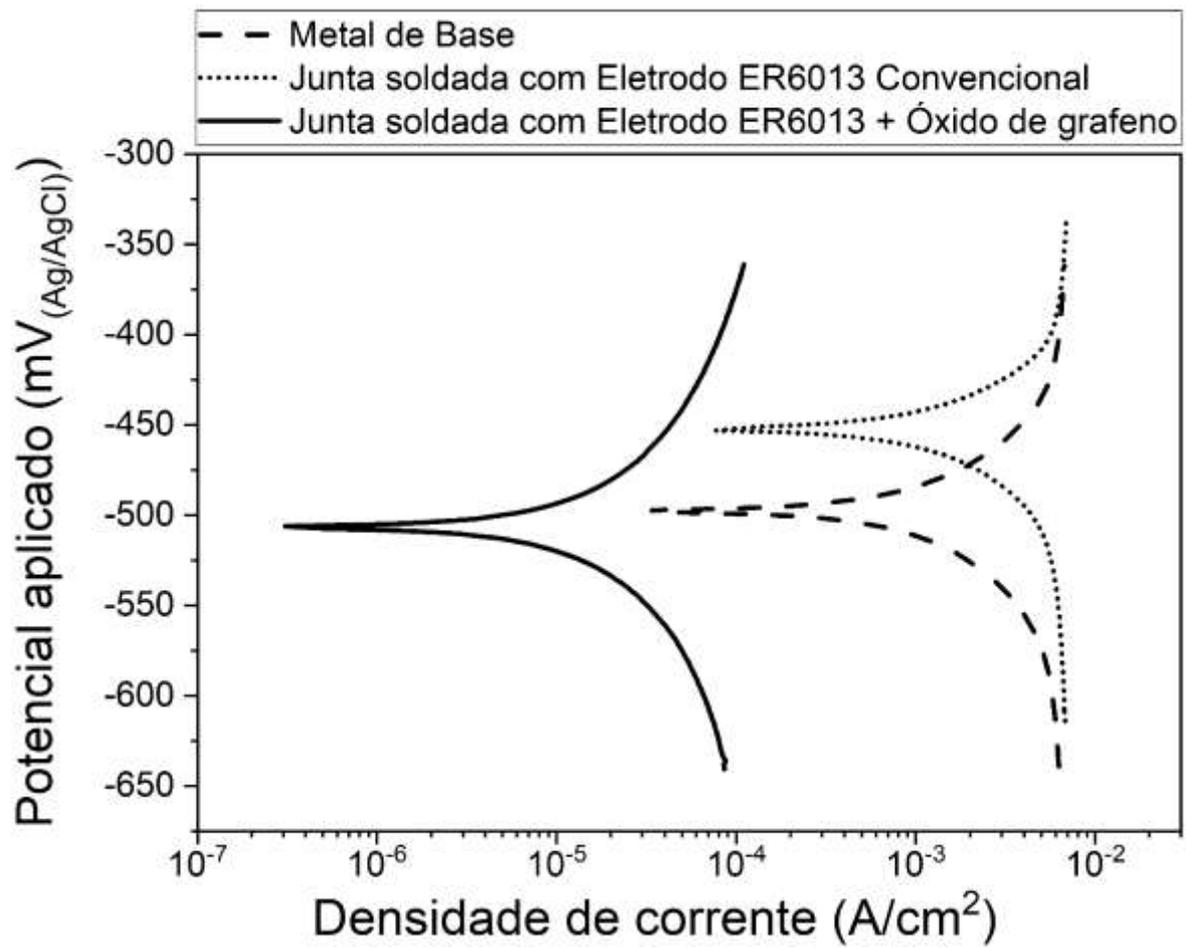


Figura 2

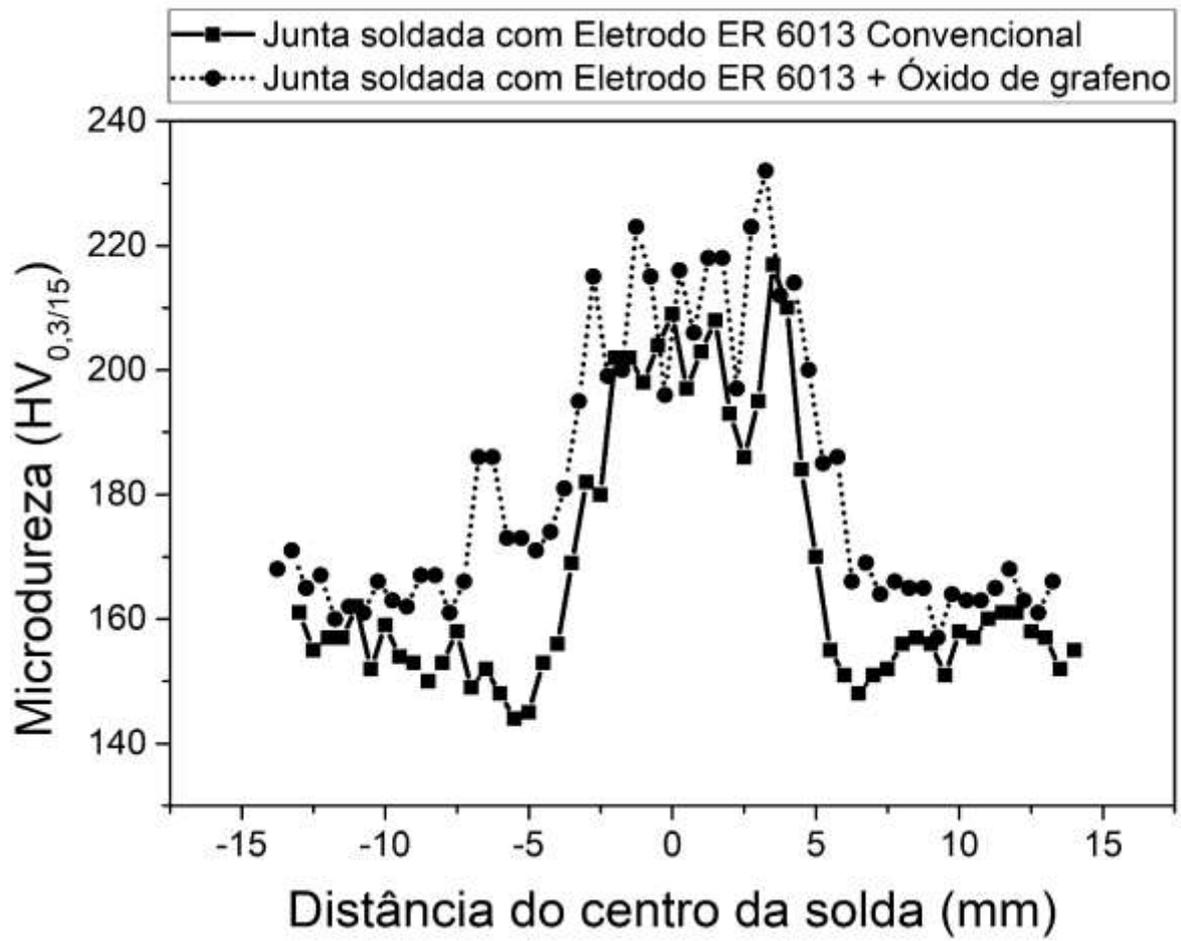


Figura 3

Tipo de material aplicado	Resultado experimental		
	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Taxa de Corrosão (mm/ano)
<b>Metal de base</b>	$(-504) \pm 7$	$1,2 \pm 0,34$	$14 \pm 4$
<b>Eletrodo revestido</b>	$(-476) \pm 44$	$2,9 \pm 0,32$	$34 \pm 4$
<b>Eletrodo revestido com óxido de grafeno</b>	$(-477) \pm 83$	$0,06 \pm 0,06$	$0,65 \pm 0,85$

Tabela 1

<b>Condição</b>	<b>Propriedade</b>			
	Ductilidade (%)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Tenacidade relativa (%)
<b>Metal de base</b>	57,4 ± 0,9	342 ± 6	485 ± 3	100
<b>Metal de solda (ER6013 Convencional)</b>	47 ± 16	373 ± 28	502 ± 37	85 ± 14
<b>Metal de solda (ER6013 com óxido de grafeno)</b>	41 ± 11	392 ± 14	515 ± 9	80 ± 10

Tabela 2

**RESUMO****ELETRODOS REVESTIDOS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA SOLDAGEM E REVESTIMENTO**

O presente invento é proposto para aplicação na área de soldagem e revestimento por solda a arco. A invenção proposta é a adição de óxido de grafeno na composição do revestimento de eletrodos revestidos para soldagem. Desde os primórdios da solda elétrica a utilização de revestimento multicomponente se mostrou eficaz para otimizar as propriedades das juntas soldadas e promover melhorias no processo. A produção e caracterização do grafeno em 2004 por Novoselov e Geim despertou interesse da comunidade científica devido às propriedades impressionantes deste material. Não apenas o grafeno, mas também alguns materiais com estruturas análogas passaram a ser objeto de diversos estudos. Dentre esses materiais, o óxido de grafeno se destaca por sua facilidade de síntese com precursores de fácil disponibilidade comercial. Foi verificado que a adição de óxido de grafeno em eletrodos revestidos ER 6013 promoveu redução substancial da taxa de corrosão no metal de solda, em relação a soldas obtidas pelos eletrodos ER6013 convencionais, e em relação ao próprio metal de base, cuja taxa de corrosão foi diminuída em torno de 20 vezes. As juntas soldadas são componentes críticos em estruturas metálicas, devido à não uniformidade de propriedades em relação ao metal de base e a impossibilidade de se construir estruturas de grandes dimensões sem o processo de soldagem e por apresentarem maiores taxas de corrosão. Considerando este cenário, é reivindicada, neste documento, a propriedade industrial dos eletrodos de soldagem com adição de óxido de grafeno na composição do revestimento do eletrodo. Este invento admite variações na proporção dos demais componentes do eletrodo e nas características geométricas do eletrodo. Tanto os eletrodos com adição de óxido de grafeno no interior do revestimento quanto eletrodos com deposição do óxido de grafeno na superfície do revestimento são englobados por este documento.