

# PROPOSTA DA OTIMIZAÇÃO DIDÁTICA DE AULAS PRÁTICAS EM DISCIPLINAS DE SOLDAGEM

**Diego de Mendonça Fernandes**

Universidade Federal de Uberlândia, fmdiegobr@yahoo.com.br

**Leonardo Pereira da Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, leonardopsilva@yahoo.com.br

**Thales Andrade Pereira**

Universidade Federal de Uberlândia, thalesandrade@yahoo.com

**Américo Scotti**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG, ascotti@mecanica.ufu.br

**Resumo:** *Este trabalho teve por objetivo desenvolver um método de otimização de aulas práticas em disciplinas de Soldagem em nível de graduação e pós-graduação, tornando-as menos trabalhosas e onerosas para os ministrantes e mais atrativas e eficazes aos alunos. Perseguiu-se a otimização de tempo e recursos, mas ao mesmo tempo tentou-se garantir ao estudante uma ação ativa durante a execução dos experimentos (não ficar passivamente assistindo). Para tal, aplicou-se a utilização de recursos audiovisuais para substituir somente as atividades repetitivas e/ou passivas. São apresentados exemplos da metodologia aplicada sobre alguns temas, com ênfase ao caráter formativo (comprovação de fenômenos físicos e conceitos teóricos) e informativo (apresentação das técnicas e processos). Propõe-se ao final avaliar a eficácia desta metodologia, assim como meios de ampliar sua aplicação.*

*Palavras-chave:* Soldagem, ensino, aulas práticas.

## 1. INTRODUÇÃO

As aulas práticas têm fundamental importância no auxílio ao aprendizado das disciplinas do curso de Engenharia, envolvendo os alunos numa esfera de conhecimento incapaz de ser alcançada somente durante as aulas teóricas. A tecnologia da soldagem é uma matéria de conhecimentos interdisciplinares, passando por eletricidade, condução de calor, física do plasma, metalurgia, etc. Por isto, a visualização prática dos fenômenos é de extrema importância para agregar conhecimentos. Menções sobre tais fenômenos, como a característica do arco e o efeito dos agentes de controle no processo de soldagem podem ser encontrados em inúmeros livros, mas a sua confirmação prática é mais trabalhosa, porém exequível. Por exemplo, sabe-se que a transferência metálica afeta muitos aspectos do processo de soldagem, inclusive o tamanho, a forma e a profundidade de penetração da poça de fusão (Murray & Scotti, 1999) [1]. Este fenômeno pode ser comprovado executando-se uma soldagem MIG/MAG com variação das transferências metálicas e observando-se as características geométricas resultantes do cordão.

Da mesma forma, sabe-se que o arco de soldagem é uma forma de descarga elétrica reversível estabelecida entre dois eletrodos, e que se auto mantém (Richardson - 1991) [2], e que pode ser considerado um condutor gasoso que transforma energia elétrica em calor (AWS - 1987) [3]. Pode-

se demonstrar estes fenômenos executando-se um processo de soldagem com eletrodos consumíveis e observando-se a transformação de energia elétrica em calor.

Entretanto, apesar das tentativas de se fazer aulas práticas nas disciplinas de Soldagem, inúmeras limitações têm sido apontadas, dentre elas se destacam: a) Insuficiência de espaço físico dedicado a aulas práticas; b) alto custo do material de consumo; c) baixa disponibilidade de carga horária por parte dos alunos; d) excessivo número de alunos por aula; e) Inexistência de equipamentos didáticos comerciais nesta área; f) Falta de professores (ou soluções mais criativas como instrutores contratados e treinados sem a necessidade da mesma qualificação de um docente do quadro) para que se possa planejar e implementar melhorias de ensino. Mas, exatamente devido a estas dificuldades, torna-se imperativo a busca por idéias inovadoras que possam, se não superar estas dificuldades, pelo menos contorná-las, de modo a aumentar a eficiência das aulas práticas desta disciplina.

Neste contexto, este trabalho objetiva elaborar uma metodologia didática que permita passar uma maior quantidade de tópicos aos alunos, sem acréscimo de carga horária, mas otimizando tempo e recursos. Propõe-se também permitir aos alunos uma ação ativa durante a execução dos experimentos (não ficar passivamente observando sua realização).

## **2. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE TRABALHO**

A provável originalidade desta proposta está na forma de otimização dos recursos, ao se propor usar recursos audiovisuais apenas para substituir as atividades repetitivas e/ou passivas. Melhor explicando, para cada aula prática, o aluno participará no laboratório da montagem e execução dos experimentos, quando serão explicados o objetivo, o funcionamento do equipamento e o tipo e forma de sinais que serão monitorados (garantindo a atividade do aluno). Em seguida, ao invés de repetir o experimento diversas vezes para que o aluno observe o fenômeno frente a variações de parâmetros, o mesmo irá assistir (em vídeo), sob a orientação do docente, novas rodadas dos experimentos. Nos vídeos mencionados na etapa anterior, o aluno colherá dados experimentais o tempo todo, como se estivesse no próprio laboratório. Planilhas fornecidas deverão ser preenchidas e usadas como base para elaboração do relatório final.

Como nos vídeos estará se mostrando não somente os experimentos (no caso, as soldagens), mas também os equipamentos de monitoração e peças ou fotos resultantes dos experimentos, os alunos (individualmente ou em grupos) terão de observar o que está acontecendo e anotar em planilhas o tempo todo, o que garantirá a não passividade dos mesmos. Com os recursos audiovisuais, a qualidade do experimento poderá ainda ser intensificada com a edição e colocação de imagens em câmara lenta ou fenômenos impossíveis de serem visualizadas a olho nu.

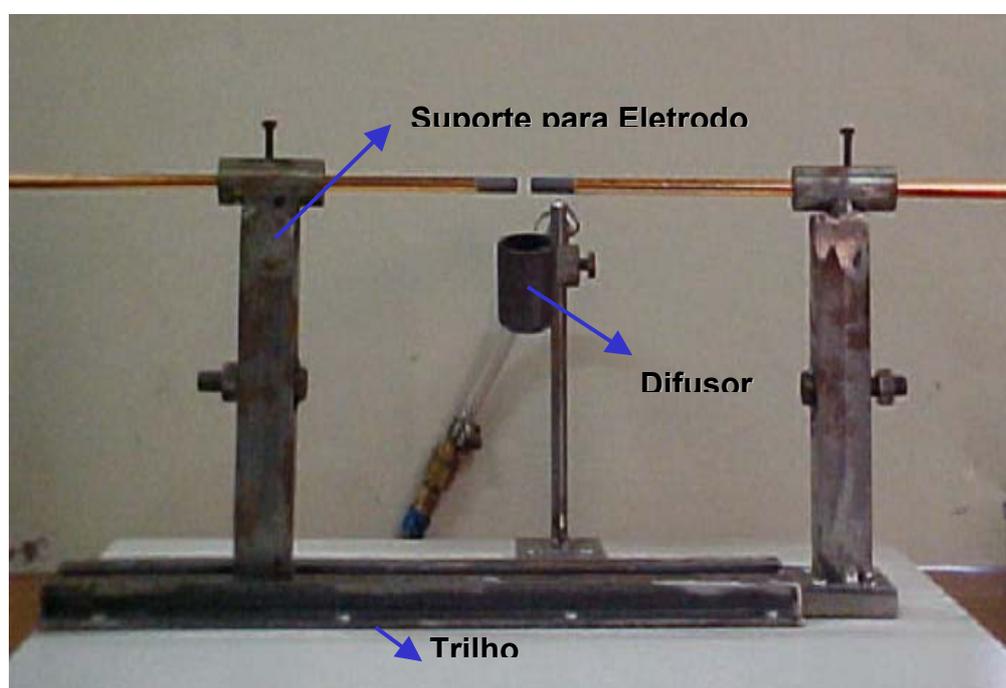
Inicialmente procurou-se levantar as possibilidades de se criar um maior número de atividades experimentais que pudessem cobrir de uma forma mais abrangente todos conceitos apresentados nas aulas teóricas da disciplina. Em seguida foi verificada a possibilidade do uso de recursos audiovisuais em cada uma das atividades experimentais e elaborado um “script” para realização dos experimentos (fases teórica e experimental). Os experimentos foram, então, executados e a mídia desenvolvida (mesmo que de forma amadora, através de filmadora e placa de aquisição e programa de edição de imagens não profissionais). Foi elaborado para cada experimento um “Manual do Professor”, contendo todos os procedimentos a serem executados, a relação de insumos e equipamentos, “kits” de corpos de prova a serem utilizados, dados, amostras, filmes, etc, e um “Guia para o Aluno”, contendo os procedimentos a serem executados, porém enfatizando as aplicações e objetivos do experimento, bem como os fundamentos dos fenômenos apresentados, funcionamento dos equipamentos, tipo e forma dos sinais monitorados, dados suplementares para elaboração de planilhas e roteiro para avaliação (relatório e/ou exercícios).

## **3. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

Mesmo ainda se tratando da fase inicial do projeto, para exemplificar serão apresentados quatro casos de experimentos otimizados já realizados e que estão em fase de teste:

### 3.1 - A formação de um arco

Com este experimento, procurou-se demonstrar a influência da polaridade, da corrente e do uso do gás de proteção sobre o desgaste de eletrodos não consumíveis e sobre a potência elétrica demandada para manter cada arco. Foi construída uma bancada experimental (Figura 1) que permite uma fixação eficiente de eletrodos de grafite e o controle da distância entre os mesmos. Os cabos do pólo positivo e negativo de uma fonte de soldagem do tipo corrente constante são conectados por parafusos nos suportes dos grafites. Esta bancada também permite a utilização ou não de gás de proteção. O sistema para injeção do gás de proteção é composto de uma haste cilíndrica vertical e outra haste tubular horizontal (acoplada a haste vertical), podendo assim obter a melhor posição de injeção do gás para o arco voltaico aberto. O gás é injetado diretamente do cilindro na haste tubular que leva ao difusor. Este difusor nada mais é que um recipiente conectado a haste tubular preenchido com palha de aço, que visa reduzir a velocidade com que o gás chega ao arco voltaico, aspergindo este gás por uma maior área.



*Figura 1 – Vista frontal da bancada construída.*

Durante a aula em laboratório, após uma breve descrição dos fenômenos a serem observados e dos equipamentos e insumos a serem utilizados, será realizado apenas um experimento, sem necessidade do aluno medir qualquer parâmetro (só observar o experimento).

Após a aula, os alunos, em grupo, assistirão em um terminal de computador ou em um monitor de TV a realização de 3 experimentos. As Figuras 2 e 3 ilustram o vídeo. No primeiro, haveria a abertura do arco com uma mistura de Ar + CO<sub>2</sub> como gás de proteção. Num segundo experimento, esta experiência seria repetida com uma corrente mais alta, enquanto num terceiro experimento a repetição do primeiro se daria com a eliminação da proteção gasosa. Na visualização da mídia, além do arco, é mostrado ao mesmo tempo um multímetro e um amperímetro, de tal forma que os alunos possam anotar os valores médios destes parâmetros de soldagem. Estes valores serão repassados para uma planilha previamente elaborada, que já contém os pesos dos eletrodos dos pólos positivo e negativo de cada experimento (ver Figura 4).

Durante a confecção do relatório, além de escrever sobre os fenômenos observados, o aluno também deverá usar informações da literatura para ressaltar a formação de um arco em soldagem, com ênfase para o meio ionizante e formas de abertura. Atenção especial deverá ser dada ao

desequilíbrio energético devido à polaridade, citando o que acontece com o eletrodo do processo TIG quando é invertida a polaridade. Quando discutindo os resultados, o aluno deverá justificar o porquê de possíveis variações da tensão média e do desgaste dos eletrodos quando é invertida a polaridade, quando a corrente é aumentada e quando não é utilizado o gás de proteção

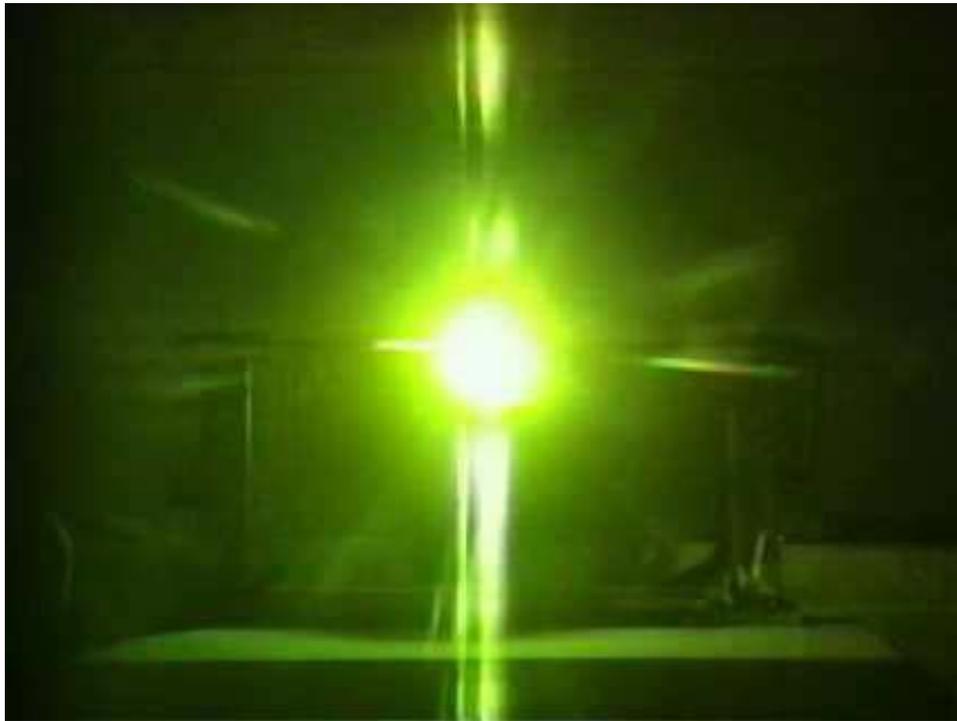


Figura 2 – Ilustração do vídeo mostrando o arco voltaico aberto entre os dois eletrodos de grafite.



Figura 3 – Ilustração do vídeo mostrando os parâmetros a serem medidos pelos alunos.



*Figura 4 – Medição da massa do eletrodo de grafite após o experimento.*

### **3.2 - Efeito da Corrente na constrição e expansão de um arco**

Com este experimento procura-se demonstrar o efeito da intensidade da corrente nas dimensões de um arco voltaico, ou seja, busca-se mostrar de uma forma indireta como o aumento da corrente dilata o volume do arco. A uma fonte de soldagem preparada para o processo TIG com corrente contínua (eletrodo W-Th2%, polaridade negativa e proteção com Argônio), é conectada uma interface de comando (Figura 5), e a esta interface de comando é conectado um equipamento de som. A interface de comando tem a função de converter o sinal sonoro do equipamento de som em sinal de corrente para a fonte de soldagem, ou seja, faz com que a combinação harmônica das frequências com que varia o sinal sonoro seja transformada, em mesma frequência, em variações de amplitude da corrente produzida pela fonte, originando constrições e expansões do arco voltaico. Este processo de constrição e expansão, na mesma frequência do som a ser reproduzido, movimentam as partículas do ar em redor, da mesma forma como a membrana de um alto-falante, reproduzindo os sons. O volume do som pode ser ajustado pelo módulo de controle da mesma forma que em um aparelho de som convencional, bastando que seja ajustada a sua amplitude (conseqüentemente, a amplitude da corrente).

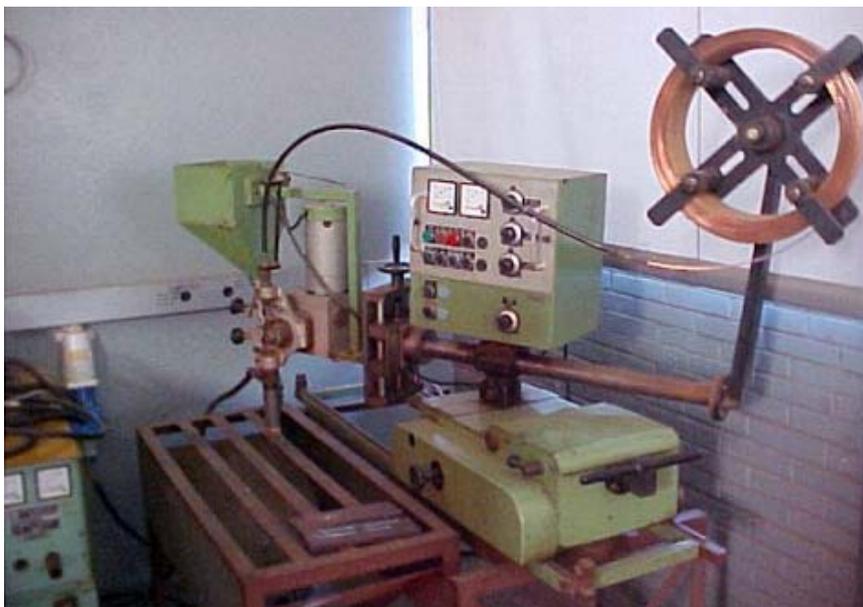


*Figura 5 – Interface de comando da corrente.*

Na aula prática os alunos irão assistir ao experimento e ouvir uma gravação, contendo, em uma forma mais atrativa, a explicação para o fenômeno observado. Após a aula, os alunos, em grupo, assistirão ao vídeo outras cenas desta soldagem, nas quais na gravação também constam algumas questões pertinentes ao assunto, como a importância da variação da corrente em uma operação de soldagem. Também é mostrado o arco em câmara lenta (através de filmagem em alta velocidade, 2000 qps, foi possível reproduzir as expansões e contrações do mesmo). Estas perguntas deverão ser respondidas num relatório, onde os alunos também deverão utilizar informações da literatura para discutir a formação de um arco de soldagem, enfatizando a influência da intensidade da corrente na formação do mesmo e propor uma justificativa para a reprodução de sons utilizando o arco de soldagem.

### **3.3 - Efeito da Corrente de Soldagem, da Tensão de Arco e da Distância Bico de Contato-Peça sobre o Consumo de Eletrodo**

O objetivo deste experimento é apresentar operacionalmente o processo Arco Submerso e verificar experimentalmente como as intensidades da corrente média de soldagem ( $I_m$ ) e da tensão média de arco ( $U_m$ ) e a distância bico de contato-peça (DBCP) afetam o consumo em um processo de soldagem com alimentação contínua de eletrodo. A Figura 6 ilustra o equipamento em que são realizadas a soldagem com Arco Submerso.



*Figura 6 – Equipamento utilizado para a soldagem em Arco Submerso*

Na preparação do vídeo, utilizando-se uma DBCP e uma velocidade de soldagem constante, variou-se a  $V_{alim}$  para se conseguir três níveis diferenciados de correntes e regulou-se a tensão em vazio (regulagem do borne e ajuste fino) da fonte para proporcionar aproximadamente o mesmo comprimento do arco (aumento da tensão para compensar a redução natural do comprimento do arco quando se aumenta a  $V_{alim}$ ). Com este propósito, o aluno poderá verificar a influência da corrente sobre o consumo no processo de soldagem.

Já com a mesma velocidade de soldagem, variou-se a DBCP em três valores diferenciados e regulou-se a  $V_{alim}$  para produzir uma  $I_m$  também constante para os mesmos. Em todos os experimentos a tensão em vazio (regulagem do borne e ajuste fino) foi ajustada para proporcionar aproximadamente o mesmo comprimento do arco (aumento da tensão para compensar a redução natural do comprimento do arco quando se aumenta a DBCP). Tendo o mesmo propósito do experimento acima, o educando poderá observar o efeito da DBCP (distância bico contato-peça).

A uma velocidade de soldagem constante novamente e uma  $V_{alim}$ , variou-se a regulagem da tensão em vazio (regulagem do borne e ajuste fino) em 3 valores distintos e regulou-se a DBCP em

torno de valores próximos que produzam uma corrente constante, permitindo ao aluno observar também a influência da tensão sobre a taxa de fusão do arame-eletrodo.

Após uma apresentação do processo e da montagem experimental em aula prática, os alunos irão assistir ao vídeo, o qual apresenta as soldagens e as medições da corrente e da tensão médias, referentes aos experimentos descritos acima. Através de uma planilha onde são compilados os valores dos parâmetros que se modificaram ao longo dos experimentos, os alunos poderão avaliar a relação entre os parâmetros variados e o consumo.

### 3.4 - Efeito da energia de soldagem sobre a geometria do cordão

Este experimento tem por objetivo verificar em aula prática como a energia de soldagem e os parâmetros de soldagem correlatos afetam a geometria de um cordão de solda (largura, penetração, reforço e área fundida), mantendo-se fixa a velocidade de soldagem.

Os alunos assistirão em vídeo a realização de outras soldagens além daquela ilustrativa em laboratório, agora com variação planejada dos parâmetros corrente ( $I_m$ ), tensão ( $U_m$ ) e distância bico de contato-peça (DBCP), observando a monitoração dos parâmetros. Em seguida, serão entregues aos alunos fotos das seções transversais de cada uma das soldas realizadas, com uma escala auxiliar afixada na foto, para que sejam tiradas as medidas geométricas lineares do cordão: penetração, largura e reforço (Figura 7).

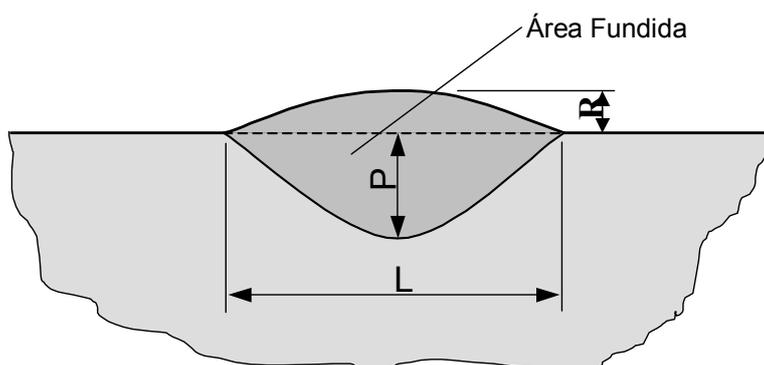


Figura 7 – Configuração esquemática do cordão de solda e parâmetros que serão medidos pelos alunos: reforço (R), largura (L) e penetração (P)

Os valores medidos deverão ser anotados em tabelas padrão para cada experimento, juntamente com os valores médios dos sinais de corrente ( $I_m$ ), tensão ( $U_m$ ), distância bico de contato-peça (DBCP) e velocidade de alimentação média ( $V_{alim}$ ). Os alunos irão, então, traçar gráficos para correlacionar os parâmetros de soldagem com a geometria dos cordões.

## 4. DISCUSSÃO

Como visto nos experimentos já elaborados, houve uma aparente otimização da aula prática do ponto de vista metodológico e operacional. Houve com certeza uma redução sensível do tempo e de recursos para realizar os mesmos experimentos se comprados com o método convencional, o que vai permitir aumentar o conteúdo programático das aulas práticas da disciplina. Na verdade, a presente proposta é, num primeiro momento do projeto como um todo, aplicar esta metodologia em um número de experimentos suficiente para cumprir todo o planejamento de aulas práticas e fazer uma avaliação (no semestre letivo seguinte ao do início do projeto), incluindo um questionário de aprendizagem. Caso o objetivo seja comprovadamente atingido, planeja-se ainda disponibilizar o material em rede de computadores, para que os alunos possam assistir estas etapas das aulas práticas quando da conveniência deles, e quantas vezes quiserem. Entretanto, esta abordagem seria seguida de uma avaliação e classificação dos alunos em equipes, conforme seus estilos particulares de

aprendizado (preferências e métodos com os quais eles absorvem e processam as informações). Por exemplo, aqueles alunos com preferência de aprendizado introspectivo e individual poderiam assistir os vídeos isoladamente e sem a presença do instrutor, ao contrario daqueles alunos que têm maior facilidade de aprendizado por ações interativas continuariam passando inicialmente pela aula de vídeo com a tutela do instrutor.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar de ainda não avaliada, com certeza esta metodologia permitirá uma grande redução de recursos laboratoriais, pois o número de experimentos em laboratório será bem menor. Além disto, acredita-se que haverá uma grande economia de tempo para se fazer uma prática, já que o tempo morto de regulagem dos equipamentos para variações de parâmetros será suplantado, até pela questão corriqueira de experimentos que não funcionam como o esperado. Esta economia de tempo permitirá uma maior número de experimentos para uma mesma carga horária..

## 6. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Uberlândia, através do PIBEG (Programa Institucional de Bolsas de Melhoria de Ensino de Graduação), pelo fornecimento de bolsas de iniciação científica, e ao LAPROSOLDA (Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem) pela disponibilização e investimento em infraestrutura e custeio dos insumos para realização do projeto.

## 7. REFERÊNCIAS

- 1-Murray, P. E. & Scotti, A.. **Depth of penetration in gas metal arc welding**. 1999. Science and Technology of Welding and Joining, 4 (2), p. 112 – 117.
- 2-Richardson, I. M.. **Hyperbaric Plasma Welding**. 1991. Cranfield Institute of Techonology. p. 42.
- 3-AWS. **Welding Handbook**. 1987. Vol. 1. Ed. 8. p. 638.

## PROPOSAL OF LAB CLASSES OPTIMIZATION IN WELDING DISCIPLINES

**Diego de Mendonça Fernandes**

Universidade Federal de Uberlândia, fmdiegobr@yahoo.com.br

**Leonardo Pereira da Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, leonardopsilva@yahoo.com.br

**Thales Andrade Pereira**

Universidade Federal de Uberlândia, thalesandrade@yahoo.com

**Américo Scotti**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG, ascotti@mecanica.ufu.br

**Abstract:** *This paper had the objective of developing a method for optimization of lab classes on welding disciplines applied to under-graduation and graduated students. The goal was a cheaper and less time consuming class for the instructors and more attractive and efficient one to the students. It was pursued the optimization of time and resources, yet trying at the same time to warrant to the students an active posture during the execution of the experiments (they do more than watching and listening). Thus, it was applied audiovisual resources to substitute the repetitive*

*and/or passive activities. Examples of the methodology applied on some topics are presented, with emphasis on formative character (evidence of physics phenomena and theoretical concepts) and informative character (presentation of techniques and processes). In the end, it is proposed to evaluate the effectiveness of this methodology, as well as to find means of broaden its application.*

*Key Words: Welding, education, lab classes.*