

Avaliação da usabilidade de um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem robotizada

(Usability evaluation of an interactive system for the robotic welding implementation)

Marcelo Pompermaier Okuyama¹, Eugênio Andrés Diaz Merino¹, Renon Steinbach Carvalho², Régis Henrique Gonçalves e Silva²

¹UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, PPGEP – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
(marcelo@labsolda.ufsc.br)

²UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, EMC - Departamento de Engenharia Mecânica / LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Resumo

No campo da soldagem, a preocupação com fatores ergonômicos e de usabilidade deve-se à revolução decorrente da incorporação de tecnologias computacionais e à conseqüente transformação das atividades executadas pelos soldadores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a usabilidade de um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem robotizada. Para tanto foi montada em laboratório uma bancada para simular atividades típicas, envolvendo a configuração de parâmetros e processos de soldagem. A amostra da pesquisa foi constituída por treze participantes, graduandos e pós-graduandos envolvidos em atividades de pesquisa na área de soldagem, que foram orientados empregar o equipamento para realizar uma série de tarefas específicas. Então, para a coleta de dados foram utilizados dois questionários que avaliaram características e componentes de usabilidade. Dessa forma, verificou-se que o sistema de interação atendeu ou superou as expectativas dos usuários quanto à utilidade, facilidade de uso, facilidade de aprendizado e qualidade da interface gráfica. Além disso, a avaliação de usabilidade forneceu um diagnóstico dos pontos que representaram obstáculos para os usuários, bem como, informações que poderão ser usadas no aprimoramento das próximas gerações do equipamento.

Palavras-chave: Automação da soldagem; interação homem-máquina; avaliação de interface; ergonomia.

Abstract: In the field of welding, the concern with ergonomic and usability factors due to the revolution arising from the merger of computer technologies and the consequent transformation of the activities performed by welders. Therefore, the objective of this study was to evaluate the usability of an interactive system for the application of robotic welding. For that was mounted a lab bench to simulate typical activities, involving the setting of parameters and welding processes. The research sample consisted of thirteen participants, undergraduate and graduate students involved in research activities in the welding area, who were instructed to employ the equipment to perform a series of specific tasks. So, the collect data was performed with two questionnaires who evaluated the characteristics and components of usability. Thus, it was found that the interaction system met or exceeded the expectations of users regarding the usefulness, ease of use, ease of learning and quality of the graphical interface. In addition, the usability evaluation supplied a diagnosis of the points that represent obstacles for users, as well as information that can be used in the improvement the of equipment.

Key-words: Automation of welding; human-computer interaction, interface evaluation, ergonomics.

1 Introdução

Atualmente, com o avanço das tecnologias informatizadas, modificaram-se não só os meios de produção e a organização do trabalho, mas também, os requisitos de formação dos trabalhadores. Assim, a partir da automação dos setores industriais e de serviços, as relações entre os trabalhadores e os meios de produção alteraram-se substancialmente [1]. Isso tem ocorrido, também, no campo da soldagem devido à crescente demanda e aplicação de sistemas automatizados. Contudo, a expansão destas tecnologias tem sido limitada em conseqüência das dificuldades em se

obter profissionais capacitados para operar estes sistemas, pois são tecnologias que requerem operadores com conhecimento tanto em soldagem, quanto em programação e planejamento da produção [2]. Sendo assim, constata-se que os recursos humanos estão se tornando cada vez mais importantes para a indústria nos novos paradigmas da produção aonde o equipamento automatizado é a ferramenta do operador [3] [4].

Diante disso, acredita-se que uma alternativa para que as empresas consigam manter sua produção em um mercado cada vez mais competitivo e com dificuldades de encontrar e manter profissionais qualificados é o desenvolvimento e aplicação de tecnologias mais eficientes, e que sejam ao mesmo tempo fáceis de aprender e de usar. Assim, diante da atual necessidade de se incorporar fatores ergonômicos e de usabilidade no desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à soldagem, o presente trabalho se encaixa no contexto evolutivo de pesquisas e desenvolvimentos (P&D) do LABSOLDA¹, aonde esforços para melhorar a tecnologia relacionada à automação da soldagem já vêm sendo realizados a mais de 20 anos. Dessa forma, presente estudo aborda a aplicação de métodos e técnicas de engenharia de usabilidade com o objetivo de promover melhorias no desempenho global do sistema produtivo e na satisfação do operador. Essa abordagem privilegia o desempenho do usuário buscando adequar o sistema interativo as suas características e seus objetivos. Sendo assim, inicialmente, buscaram-se, por meio de pesquisas bibliográficas os conhecimentos específicos de engenharia de usabilidade para projetar e avaliar, segundo a lógica de operação, um sistema interativo destinado a soldagem robotizada [5] [6].

Dessa forma, constatou-se que, em atividades que envolvem sistemas interativos, os problemas de usabilidade são observados em determinadas circunstâncias como, por exemplo, quando uma característica do sistema ocasiona a perda de tempo, compromete a qualidade da tarefa ou mesmo inviabiliza sua realização. As conseqüências de um problema de usabilidade afetam diretamente o usuário e indiretamente sua tarefa. Assim, os problemas que afetam ao usuário como a sobrecarga perceptiva (devido a dificuldades de leitura), a sobrecarga cognitiva (devido à desorientação) ou sobrecarga física (devido a dificuldades de acionamento) têm conseqüências sobre sua tarefa, como perda de tempo, perda de dados, retrabalho, repetição da tarefa etc. [6]. Sendo assim, os conhecimentos adquiridos foram aplicados no desenvolvimento da Interface Homem-Máquina (IHM) de um sistema robótico destinado a soldagem visando a incorporação de fatores ergonômicos, tais como: facilidade de manuseio, adequação antropométrica, fornecimento claro de informações, facilidade de aprendizado e demais itens de conforto e segurança [7].

Então, o objetivo do presente artigo foi avaliar usabilidade de um protótipo de alta-fidelidade do Tartilope V4 para se obterem dados que demonstrem em que medida o sistema é usável em relação às metas de usabilidade, assim como, fornecer informações úteis para melhorar as futuras versões do equipamento. Contudo, medir a usabilidade é particularmente difícil porque a usabilidade não é uma característica unidimensional de um produto ou do usuário, mas sim uma característica multidimensional [8]. Dessa forma, as avaliações de usabilidade constituem-se, geralmente, por um conjunto de tarefas nas quais o usuário emprega um produto para alcançar um objetivo em um contexto específico de operação [9]. Entretanto, os métodos de medição adequados para a avaliação de usabilidade não são óbvios, e são uma preocupação constante de projetistas envolvidos no desenvolvimento de sistemas interativos [10] [11].

2 Materiais e Métodos

Neste estudo as medidas de usabilidade foram obtidas considerando-se uma variável subjetiva: a opinião dos participantes após utilizarem um equipamento robótico destinado à soldagem. Para tanto, aplicou-se um teste de usabilidade em um processo interativo no qual, um protótipo de alta fidelidade do equipamento foi submetido à avaliação dos participantes. Esta avaliação ocorreu em um cenário realista de uso que incluiu a realização de tarefas como, por exemplo: montar o equipamento; programar trajetórias; salvar, abrir e executar arquivos pré-definidos.

As opiniões dos participantes foram coletadas, utilizando-se questionários, com a finalidade de identificar suas percepções quantitativas e qualitativas decorrentes do uso do equipamento. Desta forma, foram avaliados os atributos de um sistema interativo de soldagem quanto a: utilidade (de fato, seus usuários o consideram útil); facilidade de uso (o equipamento possui uma interface fácil de usar tanto para usuários sem experiência quanto para os usuários com experiência no uso de sistemas

¹ LABSOLDA – Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina - dedica-se ao ensino, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias em soldagem, tais como: processos, procedimentos, equipamentos e instrumentação.

similares); funcionalidade (o equipamento contém todas as características e funções requeridas pelos usuários aos quais se destina); informações fornecidas (o sistema ofereceu informações claras como a ajuda na tela, mensagens de erro e material de apoio), e interface gráfica (a interface apresenta elementos gráficos adequados e claros na organização das telas).

2.1 Características do Equipamento

A avaliação foi realizada com um protótipo de alta-fidelidade do Tartilope V4, um sistema robótico para o deslocamento da tocha de soldagem, que possibilita a programação e realização de soldas de forma automatizada. O sistema é constituído por uma unidade de controle, um manipulador robótico, um monitor sensível ao toque, um trilho ou cinta para fixação e diversos cabos para interconectar os componentes. Este equipamento está sendo desenvolvido como parte integrante de pesquisas que buscam soluções integradas (processo, procedimento e equipamento) para atender uma grande diversidade de aplicações de soldagem. Suas principais funcionalidades são:

- Possibilitar a execução de diferentes tarefas de soldagem;
- Possibilitar a configuração das variáveis de soldagem (p.ex. corrente e tensão);
- Possibilitar a programação da trajetória de soldagem utilizando até quatro eixos de deslocamento para o posicionamento e deslocamento da tocha;
- Realizar soldagem orbital;
- Realizar soldagem com deslocamento contínuo.
- Realizar soldagem com deslocamento segmentado.
- Realizar soldagem automatizada a partir de variáveis e parâmetros pré-configurados.

O equipamento possui sistema interativo que permite sua operação, programação e configuração por meio de um monitor gráfico sensível ao toque. Esse dispositivo é responsável ainda, pelo fornecimento de informações referentes ao andamento dos processos em execução, bem como por apresentar eventuais avisos do sistema e mensagens direcionadas aos usuários.

2.2 Características dos Participantes

Os participantes da pesquisa foram selecionados entre indivíduos representativos dos usuários finais do sistema de soldagem que incluem usuários especializados, como engenheiros, técnicos e soldadores, bem como usuários ocasionais e estudantes. Assim, para os testes de usabilidade foram selecionados treze indivíduos, por amostragem intencional não probabilística, entre os integrantes da equipe do LABSOLDA². Do total de 54 membros do laboratório, a amostra do estudo foi composta por um estudante de curso técnico, oito graduandos e quatro pós-graduandos envolvidos em atividades de pesquisa e desenvolvimento na área de soldagem. Todos os participantes eram do gênero masculino com idade entre 19 e 37 anos (Média = 25 e DP = 5,3). Outras características da amostra foram:

- Experiência no uso de sistemas automatizados para soldagem: este foi o principal divisor entre o grupo, sendo sete (54%) dos participantes sem experiência anterior e seis (46%) dos participantes com experiência no uso de sistemas robotizados e/ou com as versões anteriores do equipamento.
- Experiência em atividades de soldagem: Em relação ao grau de conhecimentos em atividades envolvendo soldagem, a amostra foi constituída por um participante (8%) com experiência em soldagem manual, seis participantes (46%) com experiência em soldagem utilizando sistemas automáticos de deslocamento de tocha e seis (46%) novatos nessa área.
- Habilidade/conhecimento em informática: Todos os participantes possuíam experiência no uso de sistemas informatizados, dos quais cinco (38%) usavam de forma intermitente (com intervalo entre o uso, desigual e/ou superior a 48h) e oito (62%) usavam frequentemente (com intervalo entre o uso, inferior a 48h).

2.3 Contexto da Avaliação

² LABSOLDA – O Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina dedica-se ao ensino, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias em Soldagem, tais como processos, procedimentos, equipamentos e instrumentação.

O estudo de usabilidade foi realizado em Florianópolis, no Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLDA/UFSC) em uma área de 20 m² restrita para realização dos testes. O local apresentava boas condições ambientais como iluminação, ventilação e temperatura; baixos níveis de ruído e baixa circulação de pessoas.

No local foi montada uma bancada multitarefa (Figura 1) para atender aos cenários de uso pré-definidos e proporcionar as mesmas condições aos participantes do estudo. Assim, para realização das tarefas com simulação de soldagem foi utilizado, além do Tartilope V4, uma tocha de soldagem e peças de trabalho com indicações específicas para cada tarefa. Como peças de trabalho foram utilizadas uma amostra de parede de caldeira (aplicada na geração de energia termoelétrica) e um segmento de duto (aplicado no transporte de petróleo/gás). Ainda, foi utilizada uma estrutura metálica para fixação das peças de trabalho, duas mesas e uma cadeira.

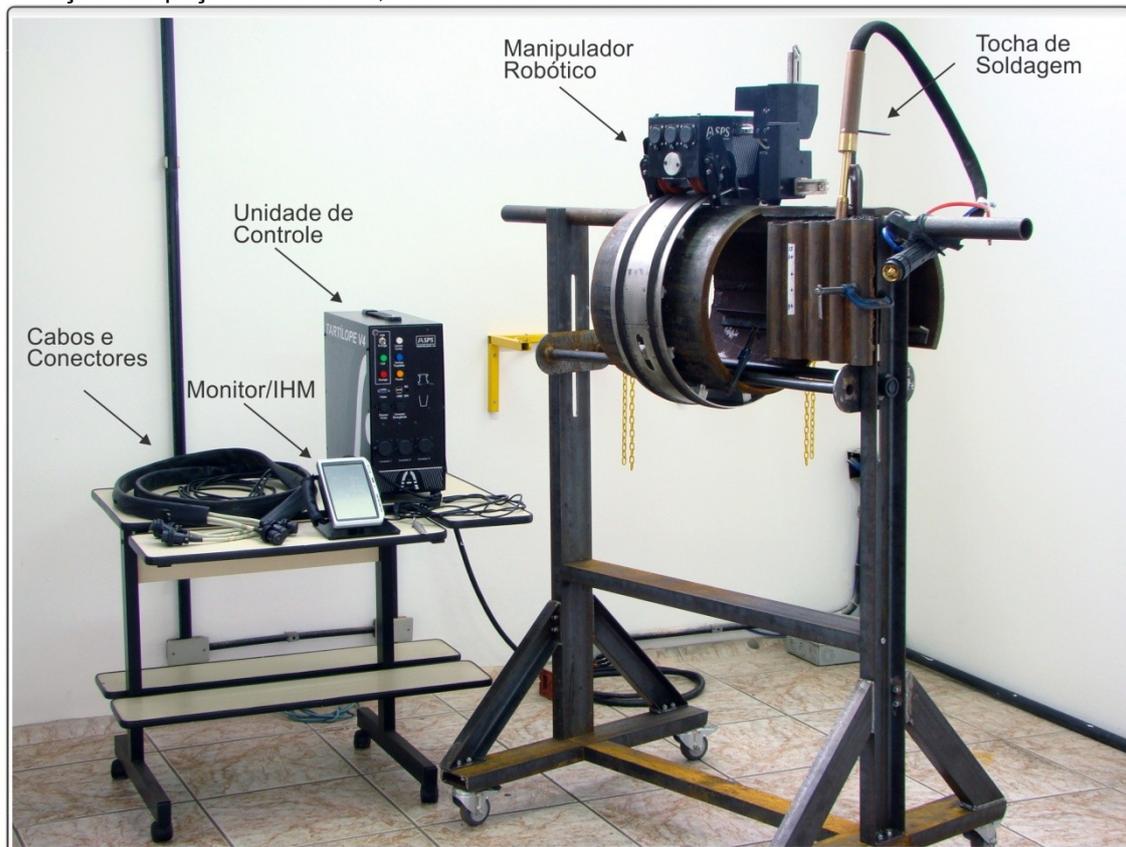


Figura 1 – Bancada multitarefa para teste de usabilidade

2.4 Procedimentos de Teste

O teste de usabilidade do equipamento foi realizado individualmente em três sessões consecutivas (pré-teste, teste e pós-teste), com duração média de 40 minutos no total. O teste foi conduzido por um monitor com o auxílio de uma câmera filmadora e um cronômetro.

Inicialmente, na sessão pré-teste o participante era recebido com uma breve explicação sobre o equipamento Tartilope V4 e a natureza das atividades que seriam realizadas. Em seguida, recebia um documento descrevendo a finalidade e as condições do estudo. Assim, após concordar com o propósito do estudo o participante assinava um Termo de Livre Consentimento autorizando a utilização dos dados obtidos. Além disso, na etapa inicial, o participante forneceu informações pessoais em relação à idade, nível de instrução; experiência em atividades com sistemas automatizados para soldagem; habilidade/conhecimento em soldagem e, habilidade/conhecimento em informática. Entretanto, para preservar a segurança das informações, nenhum dos documentos utilizados no teste apresentava o nome do participante, sendo utilizada somente uma identificação numérica para que se pudessem analisar os resultados.

Após a etapa inicial, na sessão de testes de usabilidade foram propostos quatro cenários de uso do equipamento. Para cada cenário foi fornecido ao participante um documento contendo as instruções referentes à tarefa a ser realizada, e um manual de operação do sistema.

As tarefas executadas em cada cenário foram: (01) Preparar o equipamento para uso, (02) Posicionar o equipamento de acordo com as especificações fornecidas e executar uma trajetória linear simples, (03) Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida, (04) Programar e executar uma trajetória complexa de acordo com as especificações fornecidas. Assim, após a conclusão de cada tarefa foi fornecido um questionário para que o participante avaliasse a sua experiência decorrente do uso. Na Tabela 1 são apresentadas as especificações fornecidas para realização das tarefas incluindo uma breve descrição dos cenários de uso.

Tabela 1 – Especificações fornecidas para realização das tarefas do teste de usabilidade

Cenário	Tarefa	Instruções da tarefa	Suporte
1. Preparar o equipamento para uso	- Conectar corretamente: tocha de soldagem, controle de parada de emergência, monitor e manipulador; - Ligar o sistema.	- Iniciar com o equipamento desconectado e desligado	Nenhum suporte ou ferramenta serão fornecidos
2. Executar trajetória linear simples	- Executar uma soldagem linear contínua entre os pontos A-01 e B-01.	- Iniciar com a tocha posicionada no ponto marcado como Início; - Utilizar os seguintes valores: • Distância bocal/peça: 15 mm • Velocidade de soldagem: 40 cm/min; • Sentido da soldagem: +; • Tempo de disparo da fonte: 0 s de espera.	Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa; Gabarito para ajuste de distâncias DBCP.
3. Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida	- Carregar arquivo v4_teste_02.txt; - Executar a soldagem no trecho determinado, iniciando em A-02.	- Iniciar com a tocha posicionada no ponto marcado como Início; - Utilizar os seguintes valores: • Arquivo v4_teste_02.txt; • Endereço do arquivo: C:\Desktop	Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa
4. Programar e executar uma trajetória complexa	- Executar uma soldagem com tecimento triangular no trecho determinado, iniciando no ponto A-03 e passando pelos pontos intermediários e terminando em B-03.	- Iniciar com a tocha posicionada no ponto marcado como Início; - Utilizar os seguintes valores: • Distância bocal/peça: 23 mm • Velocidade de soldagem: 30 cm/min; • Amplitude de tecimento: entre 5 e 7; • Frequência: entre 1 Hz e 1,5 Hz; • Tempo de disparo da fonte: entre 3 s e 5 s.	Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa; Gabarito para ajuste de distâncias DBCP.

Na sessão pós-teste, o participante forneceu uma avaliação geral de satisfação quanto à usabilidade do sistema interativo. Assim, ele pode expressar suas opiniões em relação a 19 itens que abordavam características específicas e componentes de usabilidade do equipamento. Após a conclusão do questionário, o monitor do teste verificou as respostas, nas quais o participante havia fornecido livres comentários, para saber mais detalhes.

2.5 Medidas e Instrumentos para Coleta de Dados

As medidas de usabilidade do protótipo do Tartilope V4 foram obtidas a partir de testes de interação fundamentados em cenários de uso. Dessa forma, foram utilizados como instrumentos para coleta de dados dois questionários adaptados de LEWIS *After-Scenario Questionnaire* (ASQ) [12] e *Post-Study System Usability Questionnaire* (PSSUQ) [13]. Especialmente por fornecerem medidas padronizadas, estes questionários são amplamente utilizados para medir a satisfação do usuário com produtos interativos. Além disso, no presente estudo, eles foram aplicados por possuírem propriedades psicométricas válidas e adequadas para o teste de usabilidade [11].

O ASQ é um questionário destinado ao uso em testes de usabilidade baseados em cenários. Assim, ele foi adaptado e aplicado após a realização de cada um dos quatro cenários de uso com o objetivo de medir a satisfação relativa a cada tarefa. Ele possuía três itens que abordaram importantes componentes da usabilidade: (1) facilidade de conclusão da tarefa, (2) tempo necessário para completar uma tarefa e, (3) a adequação das instruções e/ou material de apoio fornecido, para os quais apresentava cinco opções de resposta. Além disso, cada item possuía um campo destinado a comentários livres, caso o participante desejasse complementar sua resposta.

Já o PSSUQ foi aplicado após a conclusão de todos os cenários com o propósito de fornecer uma avaliação geral da usabilidade do sistema. Este questionário possuía 19 afirmações e uma escala *Likert* com sete pontos, ancorada nos extremos com os termos "Concordo totalmente" e "Discordo totalmente". Além disso, para cada item havia um campo destinado a comentários, caso o participante desejasse complementar sua resposta. Na Tabela 2 são apresentados alguns itens do questionário. Nos dois questionários, se o participante não respondesse um item ou marcasse "Não

se Aplica (N/A)", o cálculo da média incluía a pontuação dos itens restantes.

Tabela 2 - Exemplos de itens abordados no questionário adaptado do PSSUQ [13]

7. Foi fácil aprender a usar este sistema.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
8. Penso que poderia me tornar produtivo rapidamente utilizando este sistema.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
9. O sistema forneceu mensagens de erro que me disseram claramente como corrigir problemas.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
13. As informações fornecidas pelo o sistema foram fáceis de compreender.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
17. Gostei de usar a interface do sistema.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
18. Este sistema tem todas as funções e capacidades que espero que tenha.	Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente

3. Resultados e Discussão

3.1 Cenários de Uso

Ao final de cada tarefa, os participantes preenchiam um questionário subjetivo elaborado especificamente para avaliar a satisfação do usuário quanto ao tempo para completar as tarefas, facilidade de execução das tarefas e instruções e/ou material de apoio fornecido. Assim, para cada um dos itens avaliados foi solicitado ao participante que marcasse a resposta que melhor descrevesse a sua experiência com o equipamento. No primeiro cenário não foi avaliada a satisfação com o material de apoio, pois intencionalmente esse não foi fornecido.

Em relação ao tempo necessário para execução das tarefas, 90% dos participantes consideraram aceitável como está e 10% consideraram que o sistema necessita de melhorias. Ainda, e em relação à facilidade na execução das tarefas as avaliações foram: 79% para aceitável como está e 21% para necessita de pequenas melhorias. Já, em relação aos materiais de apoio e instruções fornecidas, as respostas ficaram em 81% para aceitável como está e 29% para necessita de melhorias. Na Figura 2, são apresentados os resultados gerais para satisfação dos usuários quanto aos fatores avaliados.

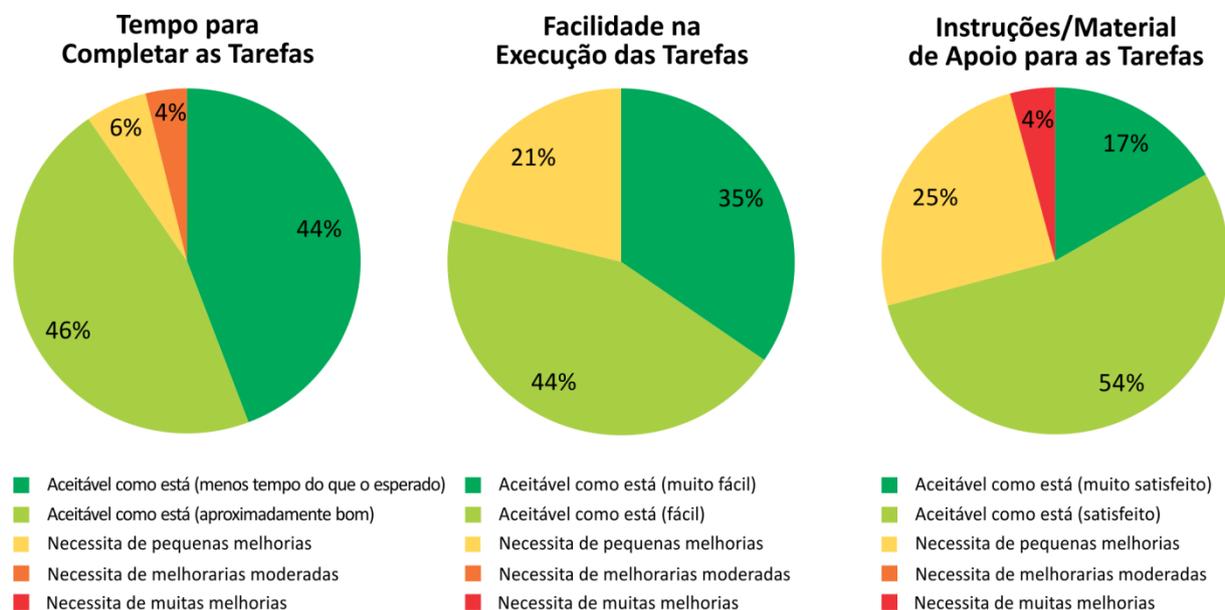


Figura 2 – Resultados gerais das avaliações, incluindo os quatro cenários de uso, considerando a percepção dos usuários quanto ao (a) tempo para completar as tarefas, (b) facilidade de execução das tarefas e (c) instruções e/ou material de apoio fornecido.

Percebe-se, dessa forma, que a grande maioria dos participantes considerou que o uso do equipamento, em tarefas típicas de soldagem, correspondeu ou superou suas expectativas. Ainda, constatou-se que todos os participantes atingiram um nível razoável de proficiência no uso do

equipamento dentro de um curto período de tempo. Este fato merece destaque considerando-se que 54% dos participantes eram novatos no uso de sistemas automatizados e, principalmente, que todos os participantes realizaram as tarefas, nas condições propostas, pela primeira vez.

Estes resultados fornecem indícios de que o sistema interativo é fácil de aprender e de usar. Entretanto, a generalização desses resultados é limitada não permitindo que se considere o uso do equipamento intuitivo. Sendo que, por definição, "um sistema técnico é, no contexto de uma determinada tarefa, intuitivamente utilizável quando um usuário em particular é capaz de interagir de forma eficaz, usando o conhecimento anterior de forma inconsciente [14]". Dessa forma, a utilização intuitiva só pode ser atribuída à interação homem-máquina em um determinado contexto, para a realização dos objetivos, mas não para um sistema técnico, em si.

3.2 Comentários dos Participantes

Além de responder aos questionários, os participantes puderam expressar suas opiniões por escrito, pois, em cada item do questionário havia um campo "comentários" para que o participante complementasse sua resposta. Desta forma, o item que apresentou o maior número de reclamações foi o eventual travamento do sistema que ocorria ao se atingir um ponto máximo de deslocamento de um eixo, sendo que, neste caso, a interface não informava a causa do travamento ou os procedimentos necessários para destravar o equipamento. Outros comentários fornecidos pelos participantes foram:

- "Falta sinalizar melhor as conexões para agilizar a montagem";
- "Não conhecia a interface, mas por intuição pude deduzir os comandos";
- "O display indicando o ponto marcado foi uma informação muito útil";
- "Chegou ao final de curso de um dos eixos, e não teve indicação para a solução";
- "Melhorar a identificação dos eixos";
- "Necessita de um manual completo";
- "Sinal de Emergência ativado não avisa como corrigir";
- "Braço do sistema colidiu com a peça, pois não possui uma função que impeça isso".

Todos os comentários foram tabulados juntamente com as observações anotadas pelo monitor dos testes referentes aos pontos em que os usuários apresentaram dificuldades. Com isso, foi gerada uma lista de itens de demanda para futuras correções e melhoramentos do sistema.

3.3 Avaliação Geral de Usabilidade

Após o participante completar todos os cenários do teste de usabilidade, foi fornecido um questionário para avaliar a satisfação global do usuário com a usabilidade do sistema. O questionário aplicado apresentava 19 itens selecionados para avaliar fatores de usabilidade interessantes tanto para as organizações, quanto para os usuários. Na Figura 3 são apresentados os resultados para os 19 itens avaliados em relação à usabilidade do protótipo do Tartilope V4. É importante salientar que as pontuações baixas são melhores do que pontuações mais altas devido as âncoras usadas na escala *Likert* com 7 pontos, 1 = concordo totalmente, 7 = discordo totalmente. Assim, pode-se considerar que, quanto menor o valor resultante, maior a satisfação com a usabilidade do sistema.



Figura 3 - Resultados das avaliações de satisfação para a usabilidade do protótipo do Tartilope V4.

A partir do adequado agrupamento dos itens foi possível obter quatro sub-escalas derivadas da satisfação dos usuários com a usabilidade do sistema interativo: satisfação geral (itens 1 a 19), utilidade do sistema (itens 1 a 8), qualidade das informações (itens 9 a 15) e qualidade da interface (itens 16 a 19). Além disso, estes resultados foram analisados considerando-se o perfil dos participantes quanto à experiência no uso de sistemas automatizados para soldagem (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados da satisfação dos usuários com a usabilidade do sistema interativo

Fatores de Usabilidade	Pontuação* Média (Desvio Padrão)		
	Usuários com experiência	Usuários sem experiência	Geral
Satisfação geral	1,68 (1,17)	2,03 (1,18)	1,87 (1,19)
Utilidade do sistema	1,35 (0,64)	1,80 (0,88)	1,60 (0,81)
Qualidade das informações	2,07 (1,57)	3,08 (1,57)	2,27 (1,57)
Qualidade da interface	1,67 (1,05)	1,79 (0,69)	1,73 (0,87)

*Nota: Usando uma escala Likert com 7 pontos, sendo 1 - concordo totalmente e 7- discordo totalmente

Merece destaque, o fato de que entre os três conjuntos de dados, o item que recebeu a pontuação média mais desfavorável (4,55) sendo 2,23 acima da média do respectivo conjunto foi o Item 9 ("O sistema forneceu mensagens de erro que me disseram claramente como corrigir problemas."). Entretanto, esse fato foi verificado em diversos outros estudos, podendo ser considerado padrão nas avaliações de usabilidade com o PSSUQ [11] [13]. Dessa forma, as médias consistentemente desfavoráveis para o Item 9 podem indicar que não há nada de surpreendente nos dados obtidos, pois, é realmente difícil fornecer mensagens de erro úteis em todo o sistema. Entretanto, a baixa satisfação e a grande frequência de reclamações quanto a esse item, indicam que pode valer à pena direcionar os esforços para fornecer mensagens de erro úteis ao usuário.

Outro padrão consistente sugere que a avaliação média para a Qualidade das Informações tende a ser mais alta (mais desfavorável), do que a avaliação média para a Qualidade da Interface. Assim, as avaliações mais desfavoráveis para Qualidade da Informação em comparação a Qualidade da Interface não significam, necessariamente, que o sistema possui uma documentação deficiente ou uma ótima interface. Porém, considerando-se que mais da metade dos participantes eram novatos e/ou inexperientes nas tarefas propostas, já era esperado que eles apresentassem maiores exigências tanto em relação às informações fornecidas pelo sistema, quanto à condução da interface [6].

Em termos gerais, verificou-se que o sistema de interação Homem-Máquina foi considerado satisfatório pelos usuários. Contudo, acredita-se que maiores níveis de usabilidade poderiam ser obtidos se algumas falhas fossem corrigidas, principalmente aquelas relacionadas à exibição das informações na tela, como a visibilidade do estado do sistema (o que está sendo executado), a condução ou orientação da interface (o que o sistema está esperando para poder prosseguir), e a retro alimentação do sistema (o *feedback* claro das ações do usuário).

4. Conclusões

Neste trabalho foram abordados os benefícios esperados, bem como, os resultados obtidos com a aplicação de métodos e técnicas da engenharia de usabilidade no desenvolvimento de tecnologias visando à adequação de um sistema interativo ao seu operador humano. Dessa forma, um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem robotizada foi avaliado quanto sua usabilidade, por meio de um conjunto de medidas de satisfação (tempo para completar as tarefas, facilidade na execução das tarefas, utilidade do sistema, qualidade das informações fornecidas, qualidade da interface e satisfação geral) decorrentes da percepção dos usuários.

O processo de avaliação foi fundamentado em cenários de uso, nos quais os participantes da pesquisa usaram um protótipo do equipamento para realizar uma série de tarefas. Os procedimentos adotados para os testes de usabilidade foram descritos em detalhes e envolveram cinco componentes: (1) indivíduos representativos dos usuários finais do equipamento, (2) protótipo do equipamento, (3) tarefas específicas, (4) contexto específico de uso e (5) ferramentas para avaliação.

O teste de usabilidade aplicado no estudo mostrou-se eficaz, pois, forneceu dados que permitiram tanto identificar os potenciais problemas de usabilidade no protótipo, quanto elaborar um conjunto de recomendações para melhorar de forma sistemática a usabilidade do equipamento. Os resultados apresentados não podem ser generalizados devido ao tamanho relativamente pequeno da amostra do estudo. Por outro lado, levando-se em conta os perfis dos participantes do estudo, a usabilidade resultante foi considerada de modo geral altamente satisfatória quanto à utilidade do sistema, facilidade de uso, facilidade de aprendizado e qualidade da interface gráfica. Entretanto, esta versão do sistema interativo obteve baixos índices de satisfação relacionados com a qualidade das informações fornecidas. Esse fato é particularmente relevante, tendo em vista que as avaliações mais desfavoráveis foram registradas pelos participantes que mais necessitaram da ajuda/orientação do sistema, ou seja, aqueles que precisaram aprender como usar o equipamento durante os testes, pois não possuíam experiência no uso de sistemas similares. Assim, acredita-se que a incorporação no sistema interativo de maior suporte para o usuário novato, informando a eles claramente como reconhecer, diagnosticar e corrigir os erros ocorridos durante o uso poderia facilitar o aprendizado, e por conseqüência, aumentar o desempenho do sistema produtivo e a satisfação geral dos usuários com a usabilidade do equipamento.

Para validar as atuais recomendações de melhorias para o sistema interativo será necessário um estudo adicional. Assim, quando um novo protótipo corrigido estiver disponível, os mesmo procedimentos deste teste podem ser empregados para verificar se a usabilidade do equipamento aumentou.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe do LABSOLDA pelo suporte técnico e viabilização dos testes. Assim como, a FINEP e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro. Agradecem ainda, ao PPGEP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e, ao POSMEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, ambos da UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

6. Referências Bibliográficas

- [1] IIDA, Itiro. Ergonomia – Projeto e Produção. 2 Ed. São Paulo : Edgar Blücher, 2005.
- [2] KADEFORS, Roland. The Welder as a Strategic Resource: Preservation of Health and Productivity. Lisbon: s.n., 1999. INTERNATIONAL CONFERENCE THE HUMAN FACTOR. p. 10.
- [3] BOEKHOLT, Richard. The welding workplace: technology change and work management for a global welding industry. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000. p. 207.
- [4] KADEFORS, Roland. A Human Resource Perspective on Technological Change: The Case of the European Welding Industry. [A. do livro] Arne WENNERBERG. Scientific Reports from the Workshops. Work Life 2000. Sweden : Quality in Work, 2001, pp. 160-166.
- [5] ISO. ISO 13407 Human-Centred Design process for interactive systems. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999.
- [6] CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações. Novatec, 2007.
- [7] OKUYAMA, Marcelo P., et al. Engenharia de Usabilidade Aplicada no Desenvolvimento da

Interface Homem-Máquina para um Sistema Interativo de Soldagem Robotizada. XXXVI CONSOLDA. Out. de 2010.

[8] BEVAN, N.; KIRAKOWSKI, J.; MAISSELA, J. What is usability? Proceedings of the Fourth International Conference on Human Computer Interaction, Stuttgart, Germany, 1991. 651-655.

[9] ABNT. NBR 9241-11. Requisitos ergonômicos para trabalho de escritório com computadores: Parte 11 — Orientação sobre usabilidade. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro : s.n., 2002. p. 21.

[10] NIELSEN, Jakob. Usability Engineering. 1st edition. San Francisco, CA : Morgan Kaufmann, 1993.

[11] LEWIS, J. R. Psychometric Evaluation of the PSSUQ Using Data from Five Years of Usability Studies. International Journal of Human-Computer Interaction, v. 14, n. 3-4, p. 463 - 488, 2002.

[12] LEWIS, J. R. An after-scenario questionnaire for usability studies: psychometric evaluation over three trials. SIGCHI Bulletin. 1991, Vol. Vol. 23.

[13] LEWIS, J. R. IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. Technical Report 54.786. Boca Raton, Flórida : Human Factors Group., 1993.

[14] NAUMANN, A. et al. Intuitive Use of User Interfaces: Defining a Vague Concept. In: HARRIS, D. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Springer Berlin / Heidelberg, v. 4562, 2007. p. 128-136.