

# Engenharia de Usabilidade Aplicada no Desenvolvimento de um Sistema Interativo para Soldagem Robotizada

## (Usability Engineering Applied in Development of an Interactive System for Robotic Welding)

Marcelo Pompermaier Okuyama, Eugênio Andrés Diaz Merino<sup>1</sup>, Jair Carlos Dutra<sup>2</sup>, Renon Steinbach Carvalho<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>UFSC - 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 crescente 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 à soldagem robotizada aplicando-se métodos e técnicas de engenharia de usabilidade. Assim, foram realizados, em laboratório, testes de interação com o equipamento em uma bancada especialmente construída para simular atividades típicas envolvendo a configuração de parâmetros e processos de soldagem. A amostra da pesquisa foi constituída por treze participantes envolvidos em atividades de pesquisa em soldagem. Para a coleta de dados foram utilizados questionários específicos para avaliar a satisfação dos participantes com a usabilidade do sistema. Ainda, para avaliar o desempenho dos participantes durante a realização das tarefas foram registrados os tempos e as taxas de conclusão. Dessa forma, verificou-se que o sistema interativo atendeu ou superou as expectativas dos usuários quanto à utilidade, facilidade de uso, facilidade de aprendizado e qualidade da interface. Por fim, a avaliação de usabilidade forneceu um diagnóstico dos fatores que representaram obstáculos para os usuários, e informações que poderão ser usadas no aprimoramento das próximas versões do equipamento.

**Palavras-chave:** Automação da soldagem; interação homem-máquina; interface do usuário; ergonomia.

**Abstract:** In the field of welding, the concern with ergonomic and usability factors due to the increasing incorporation 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 robotic welding by applying methods and techniques of usability engineering. So were performed in the laboratory tests of interaction with the equipment in a specially constructed bench to simulate typical activities involving the configuration parameters and welding processes. The survey sample consisted of thirteen participants involved in welding research. To collect data specific questionnaires were used to assess participants' satisfaction with the usability of the system. Yet, to evaluate the performance of participants during the tasks were recorded times and completion rates. Thus, it was found that the interactive system met or exceeded the expectations of users regarding the usefulness, ease of use, ease of learning and quality of the interface. Finally, the usability evaluation has provided a diagnosis of the factors that represent obstacles for users, and information that may be used in improving future versions of the equipment.

**Key-words:** Automation of welding; human-computer interaction, user interface, 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]. Dessa forma, verifica-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

---

(Recebido em 09/11/2011; Texto final em 15/06/2012).

de tecnologias e sistemas automatizados eficientes, 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 LABSOLDA, aonde esforços para melhorar a tecnologia relacionada à automação da soldagem já vêm sendo realizados há 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 às 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 à 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 à 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 e 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

### 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. velocidade de deslocamento, corrente e tensão);
- Possibilitar a programação da trajetória de soldagem utilizando até quatro eixos para o posicionamento e deslocamento da tocha;

O equipamento possui uma IHM que permite sua operação, programação e configuração por meio de um monitor gráfico sensível ao toque. Além disso, a IHM é responsável pelo fornecimento de informações referentes ao andamento dos processos em execução, assim 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 inclui 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 LABSOLDA. 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 dos participantes sem experiência anterior e seis com experiência no uso de sistemas robotizados e/ou com 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 com experiência em soldagem manual, seis participantes com experiência em soldagem utilizando sistemas automatizados para o deslocamento da tocha e seis novatos nessa área.
- Experiência no uso de sistemas informatizados: todos os participantes possuíam conhecimentos em informática, contudo, apresentaram diferenças entre a freqüência de uso. Assim, cinco dos participantes usavam de forma intermitente (com intervalos entre os períodos de uso desiguais e/ou superiores a 48h) e oito usavam freqüentemente (com intervalo inferior a 48h).

### 2.3. Contexto da Avaliação

O estudo de usabilidade foi realizado em Florianópolis, no Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina em uma área de 20 m<sup>2</sup> 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.

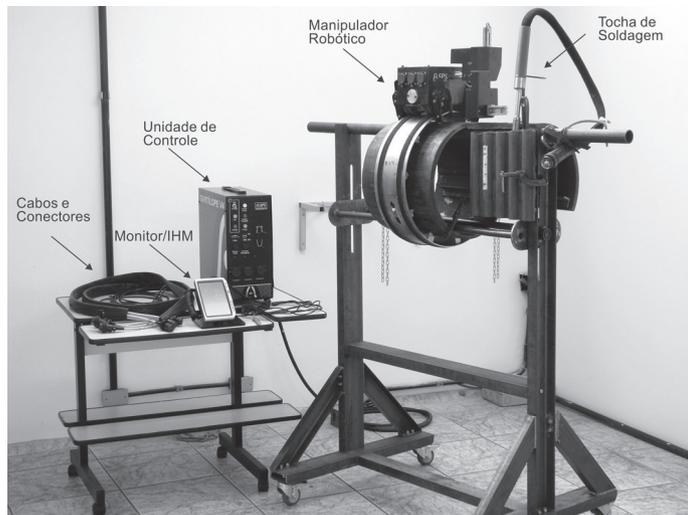


Figura 1. Bancada multitarefa para teste de usabilidade.

### 2.4. Métricas de usabilidade

Neste estudo as medidas de usabilidade do sistema foram obtidas considerando-se três fatores: eficácia, eficiência e satisfação dos usuários. Para tanto, aplicou-se um método de avaliação denominado teste de usabilidade no qual, um protótipo de alta fidelidade do equipamento foi empregado

pelos participantes para executar uma série de tarefas, tais como: montar o equipamento, programar trajetórias e simular a aplicação de processos de soldagem.

Dessa forma, avaliação de usabilidade coletou tanto dados subjetivos quanto objetivos em um cenário realista de uso. Os dados subjetivos consistem nas opiniões dos participantes e seus comentários em relação usabilidade do equipamento. Já os dados objetivos consistem nas medidas de tempo e desempenho dos participantes. Além disso, foram observados e descritos os problemas que os participantes tiveram ao realizar as tarefas propostas. A Tabela 1 apresenta a síntese dos dados coletados com o objetivo de medir a usabilidade do sistema.

### 2.5. 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, um cronômetro e um *checklist*.

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, era fornecido ao participante um documento que descrevia 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 necessárias para se compor o perfil da amostra.

Na sessão de testes de usabilidade foram propostos quatro cenários de uso do equipamento. Para cada cenário foi fornecido ao participante um documento contendo instruções referentes à tarefa que deveria ser realizada e um manual de operação do sistema. Durante a realização de cada tarefa, o monitor do teste acompanhou o desempenho do participante com o auxílio de um *checklist*, dessa forma, ele verificava a correta realização de cada item especificado nas instruções fornecidas. Também, foram registrados os tempos de conclusão das tarefas, e a ocorrência ou não de erros.

Ainda, durante a execução das tarefas foi permitido ao usuário solicitar a assistência do monitor do teste caso desejasse. A assistência foi definida como uma ajuda verbal dada pelo monitor para orientar o participante no próximo passo na direção de completar a tarefa. Assim, se o participante não conseguiu realizar uma parte da tarefa e solicitou assistência, o monitor do teste verificou se o mesmo já havia tentado localizar a informação

Tabela 1. Medidas consideradas para determinar a usabilidade geral do sistema

Métricas	Medidas de Eficácia	Medidas de Eficiência	Medidas de Satisfação
Usabilidade geral	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de objetivos alcançados;</li> <li>- Taxa de conclusão;</li> <li>- Taxa de conclusão sem erros ou correções;</li> <li>- Eficácia relativa comparada entre usuários com e sem experiência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantidade de tempo para completar cada tarefa;</li> <li>- Taxa média de conclusão/Tempo;</li> <li>- Eficiência relativa comparada entre usuários com e sem experiência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escala de satisfação;</li> <li>- Escala de satisfação com características importantes;</li> <li>- Reclamações frequentes.</li> </ul>

necessária no material de apoio. Então, se o usuário não tivesse tentado localizar a informação ele era orientado a proceder dessa forma, e não se registrava o pedido de assistência. Contudo, se o participante já tivesse tentado localizar a informação, mas não conseguiu encontrá-la ou mesmo com o material de apoio não conseguiu concluir a tarefa, o monitor auxiliava o participante a localizar as informações necessárias e registrava o pedido de assistência.

Imediatamente após a conclusão de cada tarefa foi fornecido um questionário ao participante para que este fornecesse uma avaliação subjetiva da usabilidade do sistema, bem como, comentários e sugestões para melhoria do equipamento. Na sessão pós-teste, foi fornecido um questionário ao participante para que este pudesse expressar suas opiniões em relação a 19 itens que abordavam características gerais da usabilidade do equipamento. Após a conclusão do questionário, o monitor do teste verificou as respostas, nas quais o participante havia

fornecido comentários adicionais, para saber mais informações.

## 2.6. Instruções fornecidas aos participantes

Para cada cenário de uso foram fornecidas instruções específicas em relação aos principais itens envolvidos na realização das tarefas, tais como: distância do bocal da tocha até a peça, a velocidade de deslocamento, pontos de início e fim da trajetória etc. Na Figura 2 são ilustrados os estados do sistema de interação HM no início das atividades e durante a realização das tarefas. Além disso, na Tabela 2 são apresentadas as especificações fornecidas para cada um dos quatro cenários: (1) Preparar o equipamento para uso, (2) Executar uma trajetória orbital simples, (3) Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida, (4) Programar e executar uma trajetória complexa de acordo com as especificações fornecidas.

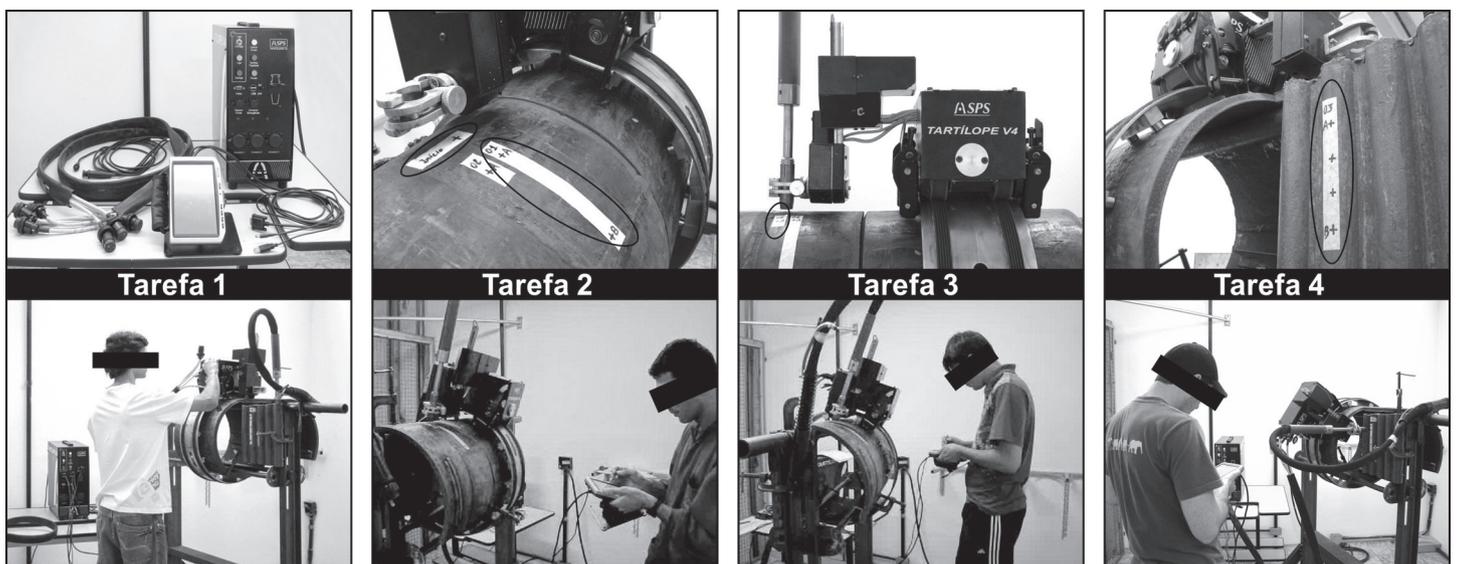


Figura 2. Estados do sistema de interação HM no início das atividades e durante a realização das tarefas.

Tabela 2. 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 orbital simples	- Posicionar o equipamento de acordo com as especificações fornecidas e simular a execução de 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 sequência 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 sequencia 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: • Distancia 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 sequencia passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa; Gabarito para ajuste de distâncias DBCP.

Tabela 3. 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

## 2.7. 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 validas 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 3 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.

## 2.8. Análise dos dados

Para efeito de redução, os dados coletados individualmente em cada tarefa foram analisados separadamente e resumidos em categorias condizentes com as métricas de usabilidade avaliadas. Além disso, os dados foram separados em dois grupos de acordo

com o perfil dos participantes com e sem experiência anterior no uso de equipamentos automatizados para soldagem. Também foram aplicadas funções estatísticas que incluíram: média, desvio-padrão, valores máximos e mínimos.

### 3. Resultados e Discussão

Os participantes foram instruídos a executar quatro tarefas de acordo com as especificações fornecidas. Dessa forma, as medidas de desempenho e satisfação foram registradas durante e após a conclusão de cada tarefa. Os resultados gerais incluindo os quatro cenários de uso são apresentados a seguir.

#### 3.1. Desempenho

A taxa média geral de participantes que foram capazes de completar as tarefas propostas foi de 100%. Destes, 60%

concluíram as tarefas sem erros/correções (ações executadas que poderiam levar a não completude da tarefa caso não fossem corrigidas). Ainda, considerando-se as médias entre os perfis dos participantes, a taxa de conclusão sem erros ou correções foi de 79% para aqueles com experiência no uso de equipamentos automatizados, e de 46% para aqueles sem experiência. O tempo médio total para concluir as quatro tarefas foi de 14 min 49 s. Sendo que a diferença entre as médias de desempenho dos usuários com e sem experiência foi de 3 min 33 s. Ainda, as taxas médias de eficiência, comparando-se estes dois perfis de usuário, apresentaram grandes variações especialmente nas condições de alta e baixa eficiência (Tabela 4). Os baixos resultados quanto à eficiência devem-se, em parte, ao constante uso do material de apoio pelos participantes que não possuíam experiência no uso de equipamentos similares, os quais liam o manual de instruções antes de executar cada tarefa e retornavam a este em casos de dúvidas.

Tabela 4. Resumo dos resultados de desempenho dos participantes no teste de usabilidade do Tartilope V4

Participante	Soma dos tempos médios para concluir as tarefas (min:s)	Eficácia		Eficiência <sup>(1)</sup>		
		Taxa de conclusão	Taxa de conclusão sem erros/correções <sup>(2)</sup>	Baixa	Aceitável	Alta
COM experiência <sup>(3)</sup>	12:35	100%	79%	-	67%	33%
SEM experiência <sup>(3)</sup>	16:08	100%	46%	57%	43%	-
Geral	14:49	100%	60%	31%	54%	15%
Desvio Padrão	04:20					

Nota 1: Taxa média de conclusão/intervalos de tempo (Baixa: acima de 16 min; Aceitável: entre 10 e 16 min; Alta: abaixo de 10 min).

Nota 2: Foram considerados erros/correções, as ações executadas que poderiam levar a não completude da tarefa caso não fossem corrigidas.

Nota 3: De acordo com o perfil dos participantes quanto à experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem.

#### 3.2. Satisfação

Ao final de cada tarefa, os participantes preenchem 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 31% 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 3, são apresentados os resultados gerais para satisfação dos usuários quanto aos fatores avaliados.

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 para qualquer contexto. Pois, 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]”, Sendo assim, 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.

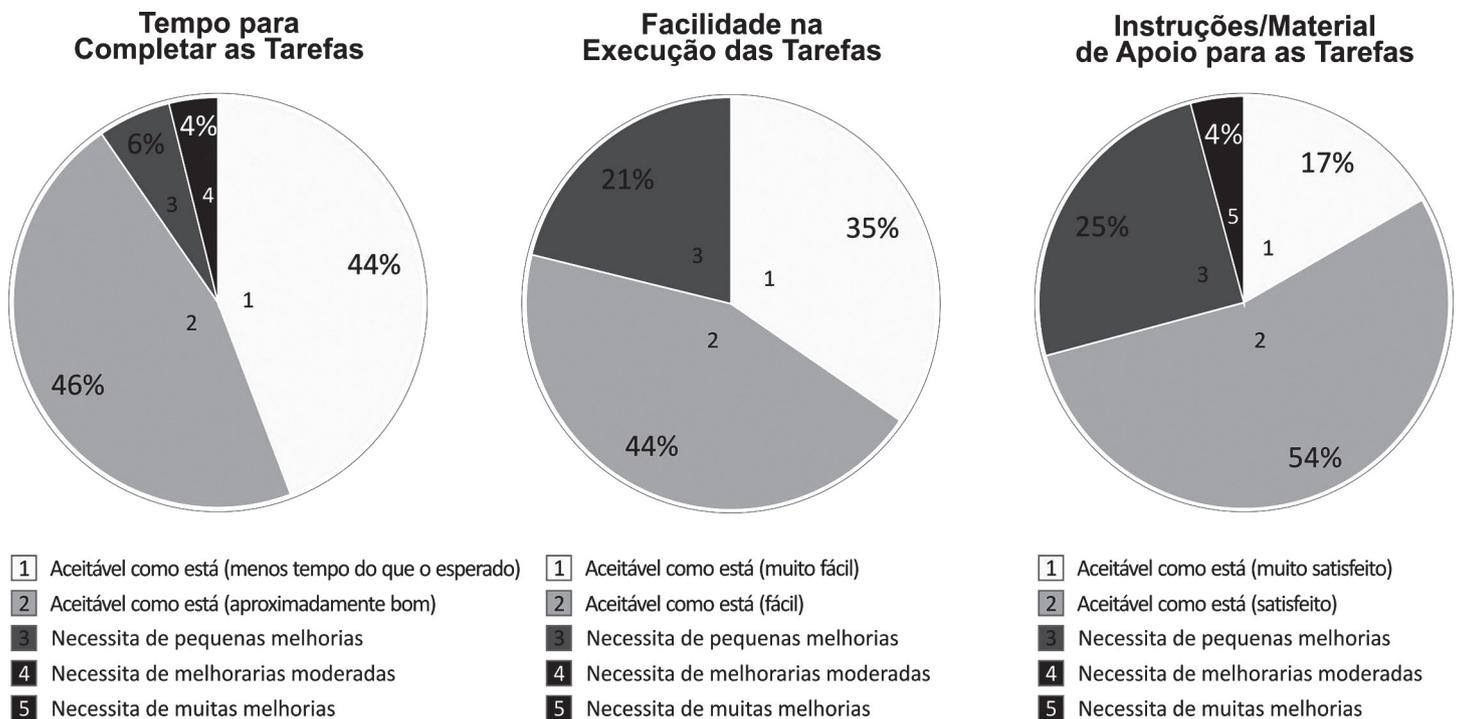


Figura 3. Resultados gerais das avaliações considerando a opinião dos usuários quanto ao tempo para completar as tarefas, facilidade de execução das tarefas e material de apoio fornecido

### 3.3. 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, o sistema 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 digitalizados e tabulados juntamente com as respostas fornecidas pelo participante para cada item avaliado do PSSUQ. E, com isso, foi possível gerar uma lista de reclamações frequentes que podem ser usadas como itens de demanda para futuras correções e melhoramentos do sistema. Na Tabela 5, são apresentados os valores gerais que representam a soma do número de ocorrência de reclamações

por fator de usabilidade avaliado, assim como, o número de reclamações relativas considerando-se o perfil dos participantes quanto à experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem.

Tabela 5. Percentual do número de reclamações em função dos fatores de usabilidade

Fator de Usabilidade	Itens <sup>(1)</sup>	Número de reclamações			Porcentagem de reclamações <sup>(2)</sup>
		Usuários Com experiência <sup>(3)</sup>	Usuários Sem experiência <sup>(3)</sup>	Geral	
Utilidade do sistema	1 a 8	4	4	8	7,7 %
Qualidade das informações	9 a 15	12	9	21	23,1 %
Qualidade da interface	16 a 19	3	1	4	7,7 %
Global	1 a 19	19	14	33	13,4 %

**Nota 1: Itens considerados a partir do questionário PSSUQ .**  
**Nota 2: Em relação ao número total de reclamações possíveis, considerando-se o número de participantes (n=13) multiplicado pelo número de itens referentes ao fator de usabilidade.**

**Nota 3: De acordo com o perfil dos participantes quanto à experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem.**

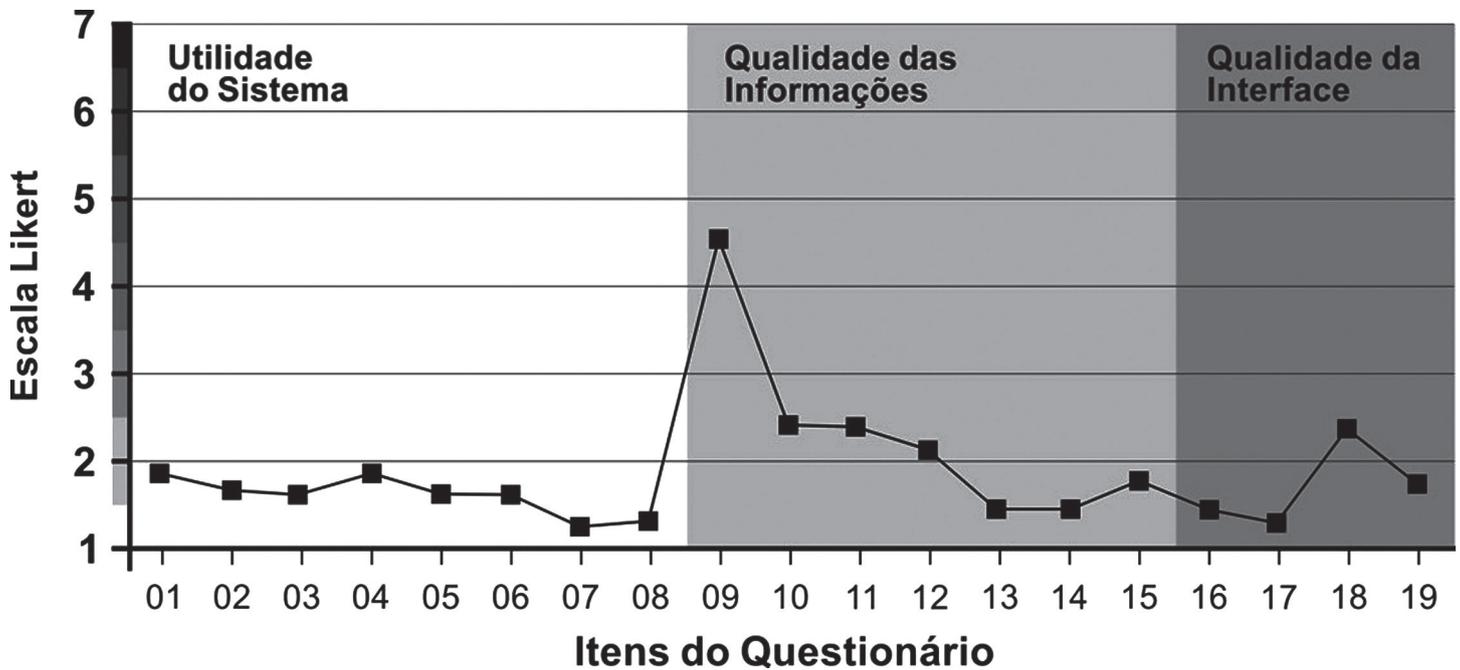


Figura 4. Resultados das avaliações de satisfação para a usabilidade do protótipo do Tartilope V4

Pode-se ver na Tabela 5 que o maior número de reclamações estão relacionadas com a qualidade das informações fornecidas pelo sistema interativo. Esse fato é particularmente relevante, tendo em vista que estas foram as maiores reclamações registradas, tanto pelos usuários que já possuíam experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem, quanto pelos participantes que não possuíam experiência nessa área. Contudo, é importante destacar, também, que a porcentagem global de reclamações foi baixa (13,4%), considerando-se a opinião de todos os participantes e o total de itens avaliados.

### 3.4. Avaliação Global 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 4 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.

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 6).

Tabela 6. Resumo dos resultados de 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 (*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 desenvolvido e avaliado quanto à eficácia, eficiência e satisfação 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 do 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 elevados índices de eficácia e eficiência obtidos, a usabilidade resultante foi considerada 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 pelo sistema. Assim, acredita-se que a incorporação no sistema interativo de maior suporte para o usuário, informando claramente como reconhecer, diagnosticar e corrigir os erros ocorridos durante o uso poderia aumentar a satisfação geral, tanto dos usuários com experiência no uso de sistemas automatizados, quanto para os novatos nessa área. Além disso, ao reduzir ou evitar a ocorrência de erros operacionais, o sistema interativo poderia contribuir para melhorar o desempenho do usuário com o equipamento e conseqüentemente com todo o sistema produtivo.

Por fim, convém ressaltar que, os resultados apresentados aqui não podem ser generalizados para outros contextos que possam ter diferenças significativas de tipos de usuários, tarefas ou ambientes. Assim, para validar as atuais recomendações de melhorias sugeridas para o sistema interativo será necessário um estudo adicional. Deste modo, 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 inter-

active 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.