

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Marcelo Pompermaier Okuyama

**ERGONOMIA E ENGENHARIA DE USABILIDADE
APLICADAS NO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE
HOMEM-MÁQUINA PARA UM SISTEMA INTERATIVO DE
SOLDAGEM AUTOMATIZADA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Andrés Diaz Merino

Co-orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Dutra

Florianópolis
2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da
Universidade Federal de Santa Catarina

O41e Okuyama, Marcelo Pompermaier
Ergonomia e engenharia de usabilidade aplicadas no desenvolvimento da interface homem-máquina para um sistema interativo de soldagem automatizada [dissertação] / Marcelo Pompermaier Okuyama ; orientador, Eugenio Andrés Diaz Merino. - Florianópolis, SC, 2012.
158 p.: il., graf., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de produção. 2. Ergonomia. 3. Usabilidade. 4. Soldagem. I. Merino, Eugenio Andrés Diaz. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

CDU 658.5

Marcelo Pompermaier Okuyama

**ERGONOMIA E ENGENHARIA DE USABILIDADE
APLICADAS NO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE
HOMEM-MÁQUINA PARA UM SISTEMA INTERATIVO DE
SOLDAGEM AUTOMATIZADA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2012.

Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Dr. Eugênio Andrés Diaz Merino,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Jair Carlos Dutra,
Co-Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Nelso Gauze Bonacorso,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Dr. Régis Henrique Gonçalves e Silva,
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha linda Michele, a minha mãe Cleonice e a meu pai Lauro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram de alguma forma para a realização desse trabalho:

Ao Prof. Eugênio Merino pela orientação, persistência e disposição para compartilhar conhecimentos e experiências.

Ao Prof. Jair Carlos Dutra, co-orientador, pelo suporte organizacional e infra-estrutura disponibilizada e, principalmente pelo exemplo de dedicação e vocação ao trabalho científico-tecnológico;

À equipe do LABSOLDA, em especial à Renon Steinbach Carvalho, Régis Henrique Gonçalves e Silva, Márcia Paula Thiel, Tiago Vieira da Cunha e, aos demais companheiros dedicados ao desenvolvimento científico e tecnológico, Guilherme Locatelli, Raul Gohr Junior, Nelso Gauze Bonacorso, Mateus Barancelli Schwedersky, Fernando Costenaro, Eduardo Bidese Puhl, Jônathas Alves, Rafael Polezi Lucas e Ricardo Campagnin;

Aos estagiários, bolsistas e colaboradores do LABSOLDA, João Facco de Andrade, Cleber Guedes, Marcus Barnetche, Paulo Pereira, Ivan Olszanski Pigozzo, Ramon Meller, Alexandre Furstenberger, Henrique Lautert de Azambuja e Luciani Maria Kunz Vogt;

Aos meus pais, Cleonice e Lauro, à minha esposa Michele e ao meu "brother" Carlos pela paciência, incentivo e apoio incondicional;

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção pelo suporte acadêmico e pela oportunidade de desenvolver este trabalho;

À FINEP, CNPq, LABSOLDA e TRACTEBEL ENERGIA, pelo suporte em forma de bolsas e financiamento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento, que tornaram possível a realização deste trabalho.

"Se você quer os acertos, esteja preparado para os erros."

(Carl Yastrzemski).

“A sua melhor tentativa não é suficiente!”
“A razão básica para a existência da engenharia de usabilidade é a impossibilidade de se projetar uma interface de usuário otimizada sem trabalhar com base na compreensão dos usuários e suas tarefas.”

(Jakob Nielsen)

RESUMO

Devido à crescente demanda e aplicação de sistemas automatizados no campo da soldagem, as relações entre os trabalhadores e os meios de produção alteraram-se substancialmente modificando a forma como as tarefas são realizadas. Entretanto, percebe-se que a integração da automação e computação não tem sido acompanhada pela integração de pessoas e processos. Diante disso, este trabalho buscou adequar o uso de um equipamento computadorizado às características e limitações do operador humano. Para tanto, foram abordados os benefícios esperados bem como os resultados obtidos com a aplicação de métodos e técnicas de ergonomia e engenharia de usabilidade no desenvolvimento de novas tecnologias destinadas à automação da soldagem. O objeto de estudo foi um equipamento compacto e versátil que permite a realização de diferentes tarefas de soldagem, para o qual foi desenvolvida uma Interface Homem-Máquina (IHM). Assim, o estudo foi conduzido de acordo com o ciclo de desenvolvimento de engenharia de usabilidade, dividido em quatro etapas: (1) análise do contexto de operação, (2) especificação das exigências, (3) produção de soluções e (4) avaliação do produto em relação às exigências. Dessa forma, nas três primeiras etapas de desenvolvimento foram aplicados os princípios de design centrado no usuário, visando à incorporação de fatores ergonômicos, tais como: adequação antropométrica, facilidade de uso, facilidade de aprendizado e demais itens de conforto e segurança. Na quarta etapa, o processo de avaliação foi fundamentado em cenários de uso, nos quais os participantes da pesquisa utilizaram um protótipo do equipamento para realizar uma série de tarefas. Os procedimentos adotados para os testes de interação envolveram cinco componentes: (1) indivíduos representativos dos usuários finais do equipamento, (2) protótipo funcional, (3) tarefas específicas, (4) contexto específico de uso e (5) ferramentas para avaliação. A pesquisa foi realizada no LABSOLDA/UFSC, em Florianópolis (SC), com 13 indivíduos, incluindo usuários especializados como engenheiros, técnicos e soldadores, bem como usuários ocasionais e estudantes. Com isso, foram obtidas as medidas de usabilidade referentes à eficácia, eficiência e satisfação dos usuários. Ainda, o paradigma de avaliação aplicado mostrou-se eficaz, pois forneceu dados que permitiram tanto identificar os potenciais problemas de usabilidade, quanto elaborar um conjunto de recomendações para melhorar de forma sistemática a usabilidade do equipamento. Por fim, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atingido, pois os processos e procedimentos adotados para desenvolver a

IHM, assim como os resultados obtidos na avaliação, foram consistentes e satisfatórios em relação aos princípios de ergonomia e engenharia de usabilidade. Além disso, este trabalho contribuiu para o desenvolvimento de novas tecnologias, destinadas à automação da soldagem, adequadas ao componente humano do sistema produtivo.

Palavras-chave: Projeto Ergonômico; Design de Interface; IHM; Soldagem Automática; Teste de Usabilidade.

ABSTRACT

Due to growing demand and application of automated systems in the field of welding, the relations between workers and the means of production changed significantly, changing the way tasks are performed. However, it is clear that the integration of automation and computing has not been accompanied by the integration of people and processes. Thus, this study aimed to adapt the use of computer equipment to characteristics and limitations of the human operator. For this, the expected benefits were addressed as well as the results obtained from the application of methods and techniques of ergonomics and usability engineering in new technologies development for welding automation. The object of study was a compact and versatile equipment for the application of several welding tasks, for which a human-machine interface was developed in order to tailor the equipment use to the human operator characteristics and limitations. Thus, the study was conducted in accordance with the development cycle of usability engineering, divided into four steps: (1) analysis of the operation context, (2) requirements specification, (3) design of solutions and (4) product evaluation against the requirements. So, in the first three development stages were applied the principles of user-centered design, aiming the incorporation of human factors, such as anthropometric suitability, ease of use, ease of learning and other items of comfort and security. In the fourth step, the evaluation process was based on usage scenarios, in which the research participants used a prototype of the equipment to perform a series of tasks. The procedures adopted in the interaction tests involved five components: (1) individuals representing the end users of equipment, (2) working prototype, (3) specific tasks, (4) specific context of use and (5) tools for evaluation. The survey was conducted in LABSOLDA / UFSC, Florianópolis (SC), with 13 individuals, including specialist users such as engineers, technicians and welders, as well as casual users and students. With this, measures of usability were taken concerning the effectiveness, efficiency and user satisfaction. Still, the method of evaluation applied was considered effective because it provided data that allowed both to identify potential usability problems, and develop a set of recommendations for systematically improving the equipment usability. Finally, it was concluded that the objective of the work was achieved, since the processes and procedures adopted to develop the HMI, as well as the results of the assessment, were consistent and satisfactory in relation to the principles of ergonomics and usability engineering. In addition, this

work has contributed the development of new technologies for welding automation, suitable for the human component of the production system.

Keywords: User-centered Design; Human Factors; HMI; Automatic Welding; Usability Testing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interdependência entre as atividades de projeto centrado no ser humano.	27
Figura 2 - Representação esquemática das interações entre os elementos de um sistema Homem-Máquina-Ambiente	33
Figura 3 - Robô antropomórfico de 6 graus (X, Y, Z, A, B, C) de liberdade para posicionar/deslocar a tocha de soldagem.	35
Figura 4 - GO-FER III: Manipulador para soldagem da empresa BUG-O com um grau de liberdade (X) para posicionar/deslocar a tocha de soldagem.	36
Figura 5 - TARTÍLOPE V2F: Manipulador para soldagem da empresa SPS com dois graus (X,Y) de liberdade para posicionar/deslocar a tocha de soldagem. .	37
Figura 6 - Equipamentos envolvidos no processo de soldagem MIG/MAG.....	42
Figura 7 - Intersecções de conhecimentos que envolvem a engenharia de usabilidade.	43
Figura 8 - Representação esquemática dos elementos envolvidos em um sistema de Interação Homem-Máquina	46
Figura 9 - Estrutura de usabilidade	47
Figura 10 - Modelo de design de interação	50
Figura 11 - As duas dimensões de prototipagem: prototipagem horizontal e prototipagem vertical.	58
Figura 12 - Tartílope V4, manipulador robótico com quatro graus de liberdade, três prismáticos e um rotacional, [a] vista traseira, [b] vista frontal	84
Figura 13 - Equipamento de soldagem automatizada instalado no interior de uma caldeira de termelétrica, [a] operador configurando o equipamento, [b] ambiente de trabalho	85
Figura 14 - Estrutura do sistema adotado para o design da IHM	86
Figura 15 - Cenário representando o contexto de uso do sistema robótico	88
Figura 16 – Fluxograma da programação do Tartílope V4	95
Figura 17 – Versão anterior do sistema de soldagem Tartílope V4	96
Figura 18 - IHM genérica para Mach3.....	97
Figura 19 – Monitor sensível ao toque modelo XENARC 700TSV	98
Figura 20 - Monitor adaptado (a), estrutura de suporte (b) e, em operação (c). 98	
Figura 21- Estrutura conceitual da interface	99
Figura 22- Tela inicial.....	101
Figura 23 - Tela para definição do tipo de trajetória a ser executada.....	102
Figura 24 - Tela para programar uma trajetória por pontos específicos	104
Figura 25 - Tela para configuração dos parâmetros de soldagem	105
Figura 26 - Tela para execução e acompanhamento do processo de soldagem	106
Figura 27 - Estrutura padrão e exemplos das variações no layout de diagramação da interface	110
Figura 28 - Bancada multitarefa para teste de usabilidade.....	117
Figura 29 – Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 01 - Preparar o equipamento para uso	117

Figura 30 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 02 - Executar trajetória linear simples.....	118
Figura 31 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 03 - Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida.....	118
Figura 32 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 04 - Programar e executar uma trajetória complexa..	118
Figura 33 - Conjunto de ferramentas utilizadas para medir o desempenho e a satisfação do usuário (a), e contexto de aplicação (b).....	119
Figura 34 – Resultados gerais das avaliações considerando a percepção dos usuários quanto (a) ao tempo para completar as tarefas, (b) facilidade de execução das tarefas e (c) instruções e/ou material de apoio fornecidos	124
Figura 35 - Resultados das avaliações de satisfação para a usabilidade do protótipo do Tartilope V4.....	125
Figura 36 - Curvas de aprendizado de um sistema hipotético com enfoque no usuário iniciante, sendo fácil de aprender, mas menos eficiente para uso, bem como aquele que é difícil de aprender, mas altamente eficiente para usuários experientes.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis consideradas para determinar a usabilidade em relação às propriedades desejáveis do sistema interativo.	32
Tabela 2 - Eficácia relativa para aplicação de recursos em protótipos de Baixa VS. Alta fidelidade	60
Tabela 3 - Características dos testes de usabilidade.....	62
Tabela 4 - Fatores abordados e métodos aplicados no desenvolvimento da IHM	66
Tabela 5 – Especificações fornecidas para realização das tarefas do teste de usabilidade.....	71
Tabela 6 - Principais de itens abordados no questionário Pós-Teste de Usabilidade.....	74
Tabela 7 - Variáveis relacionadas às características dos perfis dos participantes, suas definições e indicadores.	78
Tabela 8 - Variáveis empregadas para determinar a usabilidade do sistema interativo, suas definições e indicadores.	79
Tabela 9 - Variáveis empregadas para determinar a satisfação do usuário ao executar as tarefas propostas, suas definições e indicadores.....	80
Tabela 10 - Variáveis empregadas para determinar a satisfação dos usuários com a usabilidade da IHM, suas definições e indicadores.	81
Tabela 11 - Características dos usuários	89
Tabela 12 – Descrição dos atributos do equipamento.....	89
Tabela 13 – Descrição dos atributos dos cenários de uso	91
Tabela 14 – Descrição dos atributos do ambiente físico	92
Tabela 15 – Prioridade dos requisitos para o projeto da IHM.....	93
Tabela 16 - Medidas consideradas para determinar a usabilidade do sistema interativo em função das variáveis eficácia, eficiência e satisfação.	120
Tabela 17 - Resumo dos resultados de desempenho dos participantes no teste de usabilidade do Tartilope V4.....	122
Tabela 18 - Resumo dos resultados de satisfação dos usuários com a usabilidade do sistema interativo	126
Tabela 19- Percentual do número de reclamações em função dos fatores de usabilidade.....	128
Tabela 20 - Técnicas de coleta de dados utilizadas na atividade de identificação de requisitos.	159
Tabela 21 - Exemplo de medidas para propriedades desejáveis do produto	161
Tabela 22 - Características dos diferentes paradigmas de avaliação	163

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Junta rotacional
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASQ - After-Scenario Questionnaire
B - Junta rotacional
C - Junta rotacional
CNC - Computer Numeric Control
CVEU - Ciclo de Vida da Engenharia de Usabilidade
DBCP - Distância entre o Bico de Contato e a Peça
DP - Desvio Padrão
GMAW - Gas Metal Welding
HM - Homem-Máquina
HMA - Homem-Máquina-Ambiente
IHC - Interface Homem-Computador
IHM - Interface Homem-Máquina
ISO - International Organization for Standardization
IU - Interface de Usuário
MAG - Metal Active Gas
MIG - Metal Inert Gas
N/A - Não se Aplica
NBR - Norma Brasileira
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PSSUQ - Post-Study System Usability Questionnaire
SC - Santa Catarina
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
VS. - Versus
WIMP - Windows, Icons, Menus e Pointers
X - Junta prismática
Y - Junta prismática
Z - Junta prismática

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 OBJETIVOS	28
1.1.1 Tema	28
1.1.2 Delimitação do tema	28
1.1.3 Objetivo geral.....	28
1.1.3 Objetivos específicos	28
1.2 JUSTIFICATIVA.....	29
1.3 OBJETO.....	30
1.3.1 Problema.....	30
1.3.2 Hipótese básica.....	30
1.3.3 Variáveis	31
1.3.3.1 Independente	31
1.3.3.2 Dependentes	31
1.3.4 Relação entre variáveis.....	31
2 SISTEMA INTERATIVO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA	33
2.1 EQUIPAMENTOS ROBÓTICOS DESTINADOS À SOLDAGEM	34
2.1.1 Equipamentos industriais.....	34
2.1.2 Manipuladores compactos.....	36
2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRABALHO DO SOLDADOR	38
2.3 O PROCESSO DE SOLDAGEM	40
3 INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA	43
3.1 DESIGN DE INTERAÇÃO	44
3.2 INTERFACE COM USUÁRIO	44
3.3 ERGONOMIA	46
3.4 USABILIDADE.....	47
3.5 ENGENHARIA DE USABILIDADE	48
3.5.1 Etapa 1 - Identificar Necessidades e Estabelecer Requisitos	50
3.5.2 Etapa 2 - Design de interface	52
3.5.2.1 The bridge - projeto de interface orientado a objetos.....	53
3.5.2.2 Projeto de IHC centrado no uso (Usage-centered design)	54
3.5.3 Etapa 3 - Construção do modelo interativo	56
3.5.3.1 Protótipos de Baixa Fidelidade.....	56
3.5.3.2 Prototipagem de Alta Fidelidade.....	58
3.5.3.3 Baixa VS. Alta Fidelidade	59
3.5.4 Etapa 4 - Avaliação de usabilidade.....	60
4 METODOLOGIA GERAL	63
4.1 MÉTODO DE ABORDAGEM.....	63
4.1.1 Método Hipotético-Dedutivo.....	63

4.2 MÉTODOS DE PROCEDIMENTO	64
4.2.1 Caracterização do estudo	64
4.2.2 Construção do referencial teórico	65
4.3 ETAPAS DA PESQUISA	65
4.4 PROCEDIMENTOS DO TESTE DE USABILIDADE	69
4.5 INSTRUÇÕES FORNECIDAS AOS PARTICIPANTES	71
4.6 INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS	73
4.7 DELIMITAÇÃO DO UNIVERSO	74
4.8 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	75
4.9 PROCEDIMENTOS ÉTICOS DA PESQUISA	76
4.11 CONCEITOS OPERACIONAIS E INDICADORES	77
4.11.1 Modelo de análise.....	77
4.11.2 Definição das variáveis e indicadores.....	77
4.12 DEFINIÇÃO DOS TERMOS RELEVANTES PARA A PESQUISA	81
5 APLICAÇÃO DA TEORIA DE BASE	83
5.1 INTRODUÇÃO	83
5.1.1 Histórico e Contextualização do Desenvolvimento da IHM.....	83
5.2 DESENVOLVIMENTO DA IHM	85
5.2.1 Análise do Contexto de Operação	85
5.2.2 Método de Desenvolvimento da Interface.....	86
5.2.2.1 Especificação do contexto de uso	87
5.2.2.2 Especificação dos requisitos de usabilidade	92
5.2.2.3 Definição da nova arquitetura de informação do sistema	94
5.2.3 Design da Interface Gráfica	96
5.2.3.1 Tela Inicial	100
5.2.3.2 Tela para definição do tipo de trajetória a ser executada	102
5.2.3.3 Tela para programar uma trajetória por pontos específicos	103
5.2.3.4 Tela para configuração dos parâmetros de soldagem	104
5.2.3.5 Tela para execução e acompanhamento do processo de soldagem	105
5.2.4 Guias de Design.....	107
5.2.4.1 Perfis dos usuários	107
5.2.4.2 Usabilidade para telas touchscreen	108
5.2.4.2.1 Feedback dos toques na tela	108
5.2.4.2.2 Estado do sistema	108
5.2.4.2.3 Coerência e Consistência	108
5.2.4.3 Organização das Tarefas	109
5.2.4.4 Layout das telas	109
5.2.4.4.1 Grade de diagramação	109
5.2.4.4.2 A distribuição de elementos de tela	110
5.2.4.4.3 Agrupamento de elementos da tela	110
5.2.4.5 Navegação	111
5.2.4.6 Botões	112
5.2.4.7 Iconografia e Tipografia	112
5.2.4.8 Uso de cores	113

5.2.4.9 Interação	113
5.3 CONCLUSÃO	113
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	115
6.1 INTRODUÇÃO	115
6.2 CONTEXTO DA AVALIAÇÃO	116
6.3 MÉTRICAS DE USABILIDADE	119
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
6.4.1 Desempenho	121
6.4.2 Satisfação	122
6.4.3 Avaliação global do sistema após teste de usabilidade	125
6.4.4 Comentários adicionais fornecidos pelos participantes do teste de usabilidade	127
6.4.5 Análise e Interpretação geral dos Resultados	129
7 CONCLUSÕES	133
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	135
9 REFERÊNCIAS	137
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO	141
APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	143
APÊNDICE C – <i>CHECKLIST</i> PARA AVALIAÇÃO DOS OBJETIVOS ATINGIDOS DURANTE A EXECUÇÃO DAS TAREFAS	145
APÊNDICE D – MANUAL DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO	147
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO APÓS-CENÁRIO	153
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE DE USABILIDADE	155
ANEXO A – TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE REQUISITOS DE USABILIDADE	159
ANEXO B – EXEMPLOS DE MEDIDAS PARA USABILIDADE	161
ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DOS DIFERENTES PARADIGMAS DE AVALIAÇÃO	163

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 (IIDA, 2005). Isso tem ocorrido também no campo da soldagem devido à crescente demanda e aplicação de sistemas automatizados. Contudo, a expansão das novas tecnologias tem sido limitada em consequência das dificuldades em se obter profissionais capacitados para operar estes sistemas automatizados, pois são tecnologias que requerem operadores com conhecimento tanto em soldagem, quanto em programação e planejamento da produção (KADEFORS, 1999). 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 (BOEKHOLT, 2000) (KADEFORS, 2001).

Neste contexto, o presente trabalho aborda o desenvolvimento de um projeto ergonômico ao buscar promover melhorias no desempenho e na satisfação do usuário com um sistema interativo¹ que envolve um equipamento robótico para soldagem e seu operador. 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 de tecnologias nacionais 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 LABSOLDA², onde esforços para melhorar a tecnologia relacionada à automação da soldagem já vêm sendo realizados à mais de 20 anos.

Até o início desta pesquisa, os equipamentos destinados à automação da soldagem desenvolvidos no LABSOLDA como, por

¹ Um sistema interativo é composto basicamente por três subsistemas: o homem, a máquina e o ambiente, que interagem continuamente entre si, com intensa troca de informações.

² 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.

exemplo, os Tartilope³ V1, V2 e V2F utilizavam interfaces com o usuário do tipo painel-teclado com mostradores digitais e botões analógicos, o que possibilita a configuração do equipamento por meio de menus, mas com limitações de espaço para texto e ausência de recursos gráficos. Contudo, essas limitações só foram percebidas como um problema quando se buscou incorporar a um novo equipamento novas funcionalidades e fatores ergonômicos, tais como: facilidade de manuseio, adequação antropométrica, fornecimento claro de informações, facilidade de aprendizado e demais itens de conforto e segurança.

Assim, partindo-se desses requisitos para o desenvolvimento da Interface Homem-Máquina (IHM) do novo equipamento denominado Tartilope V4, buscou-se, inicialmente, identificar quais os conhecimentos seriam necessários para se desenvolver o sistema de interação considerando-se também a necessidade de integrar os componentes mecânico (*hardware*⁴), lógico (*software*⁵) e humano (*peopleware*⁶). Esta busca resultou na identificação de uma área de conhecimento que apresenta ferramentas, métodos e técnicas específicas para o desenvolvimento de sistemas interativos, conhecida como engenharia de usabilidade.

Seguindo a lógica de operação, a engenharia de usabilidade tem como propósito tornar o sistema interativo eficiente, seguro e agradável para o usuário. Essa abordagem privilegia o desempenho do usuário concebendo sistemas adequados as suas características e seus objetivos. Ainda, em essência, a engenharia de usabilidade compartilha a mesma estrutura de um projeto centrado no ser humano apresentado na parte 210 da norma ABNT NBR ISO 9241 (2011) que aborda a ergonomia da interação humano-sistema. A Figura 1 ilustra a interdependência entre as atividades dentro do modelo de processo não linear, sendo que, cada atividade do projeto centrado no ser humano utiliza os resultados de outras atividades.

³ Sistemas mecanizados para o deslocamento da tocha de soldagem, que possibilitam a programação e realização de soldas e cortes automatizados.

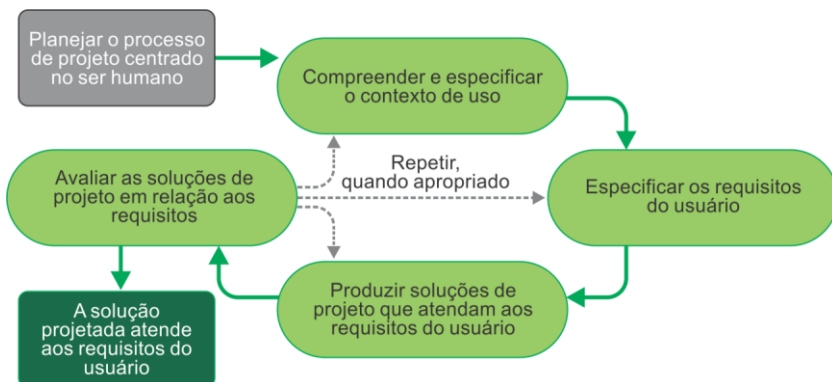
⁴ Hardware é o conjunto de unidades físicas, componentes, circuitos integrados, discos e mecanismos que compõem o sistema.

⁵ Software é um programa de computador ou grupo de programas que instrui o hardware sobre a maneira como ele deve executar uma tarefa.

⁶ Peopleware pode se referir a qualquer coisa que tenha relação com o papel das pessoas no desenvolvimento ou uso de software e sistemas de hardware, incluindo questões como a gestão de projetos, fatores organizacionais, design da interface do usuário e interação homem-máquina.

Dessa forma, o processo de desenvolvimento envolve o usuário desde o início como fonte de informação, como colaborador durante o desenvolvimento e, por fim, como avaliador das soluções produzidas (CYBIS, BETIOL, & FAUST, 2007).

Figura 1 - Interdependência entre as atividades de projeto centrado no ser humano.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 9241-210 (2011), p.12.

Deste modo, tendo como referência a estrutura de atividades de projeto centrado no ser humano, a presente pesquisa se caracteriza pela aplicação de métodos e técnicas de ergonomia e engenharia de usabilidade nas diversas fases do ciclo no desenvolvimento de um sistema interativo destinado a soldagem robotizada. Entretanto, sabendo-se que o processo de desenvolvimento não se limita à duração de um ciclo, neste trabalho, para efeito de delimitação, será apresentada a metodologia aplicada em um ciclo envolvendo análise do contexto de uso, a definição dos requisitos, a produção e implementação de soluções, a aplicação de testes de usabilidade e, por fim, apresentação e análise dos resultados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Tema

Desenvolvimento de projeto ergonômico.

1.1.2 Delimitação do tema

Desenvolvimento de projeto ergonômico para um sistema interativo destinado a soldagem robotizada.

1.1.3 Objetivo geral

Desenvolver e avaliar com foco na ergonomia e engenharia de usabilidade uma Interface Homem-Máquina para um sistema interativo de soldagem robotizada.

1.1.3 Objetivos específicos

- Definir um sistema interativo de soldagem robotizada;
- Identificar os componentes e processos envolvidos em um projeto de engenharia de usabilidade;
- Apresentar diferentes métodos para design de interação homem-máquina;
- Desenvolver e aplicar um método de acordo com os conhecimentos específicos da engenharia de usabilidade na produção da IHM.
- Definir critérios para avaliar a usabilidade do sistema interativo proposto;
- Estruturar e aplicar testes de interação para avaliar a usabilidade da IHM produzida;
- Produzir um diagnóstico do sistema interativo em relação aos fatores de usabilidade avaliados.

1.2 JUSTIFICATIVA

A introdução de um sistema interativo em um ambiente de trabalho modifica a forma como as tarefas são realizadas pelos operadores e condiciona o desempenho deles aos erros e acertos da equipe de desenvolvimento (CYBIS, BETIOL, & FAUST, 2007).

Assim sendo, este trabalho partiu do pressuposto de que a introdução de um sistema interativo pode trazer benefícios mútuos, tanto para o componente humano quanto para o sistema produtivo, pois acredita-se que a aplicação de métodos de desenvolvimento focados na engenharia de usabilidade produzem sistemas interativos eficientes, eficazes, fáceis de aprender e agradáveis aos usuários.

A presente pesquisa teve como objeto de estudo o desenvolvimento da Interface Homem-Máquina para um equipamento robótico destinado a aplicação de processos de soldagem. É importante salientar que as aplicações de soldagem consistem de um conjunto complexo de fatores que contribuem para formação de um ambiente hostil para os soldadores. Sendo assim, um dos objetivos foi incorporar fatores ergonômicos e de usabilidade no processo de desenvolvimento da IHM visando potencializar as qualidades que cada componente do sistema interativo (interface, homem e máquina) tem a oferecer.

Sabe-se que robôs podem realizar a soldagem por longos períodos de tempo, bem como proporcionar maior repetitividade e melhor condição de trabalho ao soldador, uma vez que esse passa a não mais atuar diretamente em um ambiente altamente insalubre. Já o operador, dispõe da capacidade de captar informações por meios de seus órgãos sensoriais, processar essas informações e agir. Assim, a partir de suas experiências ele pode solucionar problemas e gerar novos conhecimentos.

Contudo, mesmo com o conhecimento de suas vantagens, não se encontram disponíveis no mercado brasileiro sistemas robóticos dedicados a soldagem com tecnologia nacional. Esse fato torna o custo de aquisição de sistemas importados extremamente elevado e pouco atrativo (CARVALHO, 2009). Além disso, a adequação de equipamentos robóticos ao operador humano apresenta muitos desafios que constituem uma vasta área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Um destes desafios é a necessidade de se desenvolver a IHM adequada ao operador humano, ou seja, tornar o sistema de interação simples, fácil de aprender, seguro e agradável (PIRES, Os Desafios da Robótica Industrial: Da interdisciplinaridade às vantagens da cooperação entre empresas e universidades, 2003).

Enfim, partindo-se da necessidade de resolver um problema com aplicação prática, este trabalho visa colaborar para o fortalecimento de estudos voltados à interação homem-máquina tendo como objeto de trabalho o desenvolvimento da IHM para uma nova geração de produtos destinados à automação da soldagem com tecnologia nacional.

Ainda, além da aplicação prática de conhecimentos na resolução de um problema específico, este trabalho pretende contribuir ao criar subsídios científicos e tecnológicos para novos desenvolvimentos, frente a novas necessidades, podendo servir como referência para as próximas gerações de equipamentos nacionais destinados à soldagem e para futuros trabalhos acadêmicos dentro e fora da UFSC.

1.3 OBJETO

1.3.1 Problema

O problema para o qual este trabalho buscou soluções foi: como desenvolver com foco na ergonomia e usabilidade uma Interface Homem-Máquina (IHM) para um sistema interativo de soldagem robotizada.

1.3.2 Hipótese básica

A adoção de métodos de desenvolvimento de IHM de acordo com a engenharia de usabilidade pode contribuir para aumentar a produtividade dos usuários e a eficiência operacional das organizações. Dessa forma, espera-se que a IHM resultante da aplicação dos conceitos e técnicas ergonômicas e de usabilidade seja fácil de aprender e de utilizar, reduzindo assim a necessidade de treinamento e suporte.

1.3.3 Variáveis

1.3.3.1 Independente

Método adotado para o desenvolvimento e avaliação da IHM.

1.3.3.2 Dependentes

Variáveis relativas a cada fase do desenvolvimento:

- Análise do contexto de uso - Informações
- Requisitos de usabilidade - Informações
- Produção de soluções – Decisões
- Implementação – Processamento
- Avaliação - Informações
 - Eficácia
 - Eficiência
 - Satisfação

1.3.4 Relação entre variáveis

Para avaliar a usabilidade da IHM produzida foram coletados dados gerais e medidas específicas relacionadas aos requisitos pretendidos para o sistema. Na Tabela 1 são apresentados os principais requisitos abordados, bem como, os critérios adotados para medir as variáveis eficácia, eficiência e a satisfação.

Tabela 1 - Variáveis consideradas para determinar a usabilidade em relação às propriedades desejáveis do sistema interativo.

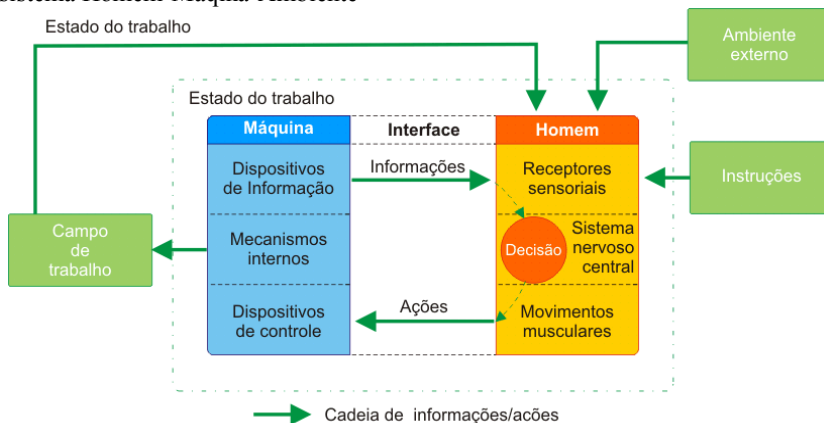
Variável / Requisito	Eficácia	Eficiência	Satisfação
Usabilidade global do sistema interativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de objetivos alcançados; ▪ Taxa de conclusão; ▪ Taxa de conclusão sem erros ou correções; ▪ Eficácia relativa entre usuários com e sem experiência. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de tempo para completar cada tarefa; ▪ Taxa média de conclusão por tempo; ▪ Eficiência relativa entre usuários com e sem experiência. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação para características gerais do sistema; ▪ Reclamações frequentes.
Adequado às necessidades para usar facilmente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de tarefas completadas com sucesso na primeira tentativa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo gasto na primeira tentativa; ▪ Eficiência relativa na primeira tentativa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação para facilidade de uso.
Facilidade de Aprender	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de funções aprendidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiência relativa durante o aprendizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para satisfação com material de apoio.

2 SISTEMA INTERATIVO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA

Um sistema interativo é composto basicamente por três subsistemas: o homem, a máquina e o ambiente, que interagem continuamente entre si, com intensa troca de informações. Na Figura 2 é apresentado um esquema das interações que ocorrem em um sistema Homem-Máquina-Ambiente (HMA).

Nestes sistemas, o homem, para atuar, precisa das informações fornecidas pela máquina que são captadas por meio dos órgãos sensoriais, principalmente visão, audição, tato e senso cinestésico, e então são processadas no sistema nervoso central gerando uma decisão. Esta se converte em movimentos musculares que se manifestam na forma de comandos por meio de ações de controle que transmitem uma nova informação a máquina. Então, a máquina gera uma reação atuando sobre o ambiente externo (IIDA, 2005).

Figura 2 - Representação esquemática das interações entre os elementos de um sistema Homem-Máquina-Ambiente



Fonte: Adaptado de IIDA (2005) p.28.

A partir deste esquema, Figura 2, pode-se perceber que a interface homem-máquina é responsável por tornar a troca de informações evidentes e perceptíveis, assim como, permitir que as ações de controle sejam executadas. Assim, após apresentados os principais componentes e a dinâmica de funcionamento de um sistema interativo, serão apresentados a seguir os componentes associados a um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem robotizada.

2.1 EQUIPAMENTOS ROBÓTICOS DESTINADOS À SOLDAGEM

Sistemas robóticos são interações complexas da eletrônica, mecânica e sistemas de controle. O termo robô é definido pela *Robotic Industries Association* (RIA)⁷ como "um manipulador multifuncional programável em três ou mais eixos controlados automaticamente e pode ser fixado ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial." Os robôs de soldagem incluem muitas formas de manipuladores servo-controlados que estão equipados com *software* que lhes permitem executar processos de soldagem contínuos e complexos. Assim, pode-se alterar o programa de soldagem para utilizar o manipulador em novas peças de trabalho, em variações de peças já programadas, ou apenas modificar a junta de soldagem (AWS - American Welding Society, 2001).

Robôs são adequados para soldagem, pois permitem que as pessoas sejam poupadas das situações perigosas ou insalubres comuns em ambientes de soldagem. Isto não só melhora as condições de trabalho, como também pode aumentar a produtividade pela eliminação de paradas para repouso e recuperação que são requeridas frequentemente. Do mesmo modo, os robôs são usados em trabalhos altamente repetitivos onde é difícil manter a concentração e eficiência. Contudo, a maior virtude de um robô é que ele suporta as condições adversas típicas do ambiente de soldagem como o calor intenso, as radiações e os gases metálicos (PIRES, LOUREIRO, & BOLMSJÖ, 2006).

Atualmente, o equipamento mais empregado para a automação da soldagem é o robô industrial ou antropomórficos (que possuem características humanas). Entretanto, manipuladores também são utilizados quando se necessita de equipamentos robustos e compactos destinados a soldagem em campo ou com maior mobilidade e flexibilidade de adaptação a novas aplicações (CARVALHO, 2009).

2.1.1 Equipamentos industriais

Mundialmente, a soldagem aparece como o processo de fabricação que mais emprega robôs industriais (KLAFTER,

⁷ Robotic Industries Association (RIA), 1999, American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems – Safety Requirements, ANSI/RIA R15.06-1999, Ann Arbor, Michigan: Robotic Industries Association, p.4.

CHMIELEWSKI, & NEGIN, 1989). Na Alemanha, por exemplo, no final de 2003 cerca de 30% dos 34.700 robôs em operação na indústria eram voltados à soldagem. Este número salta para aproximadamente 55% quando analisado isoladamente a fabricação de motores para o setor automobilístico (UNECE, 2004). No Brasil, há aproximadamente 8.000 robôs instalados na indústria e, assim como na Alemanha, a maioria é aplicada no setor automotivo (BRACARENSE & FELIZARDO, 2007; MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE, 2007).

Uma característica interessante relativa à aplicação de robôs na soldagem é a flexibilidade de alteração do equipamento, pois em um robô é factível e rápida a alteração das configurações do software para proporcionar a execução de tarefas distintas. Logo, além de ter maior produtividade comparada ao processo manual, atua em diferentes tarefas, seja no processo de fabricação de peças ou na manutenção, fato que não ocorre na automação dedicada (SCIAVICCO & SICILIANO, 2004). Um exemplo de robô industrial com diversas articulações semelhante a um braço humano é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Robô antropomórfico de 6 graus (X, Y, Z, A, B, C) de liberdade para posicionar/deslocar a tocha de soldagem.



Fonte: (MOTOMAN, 2005)

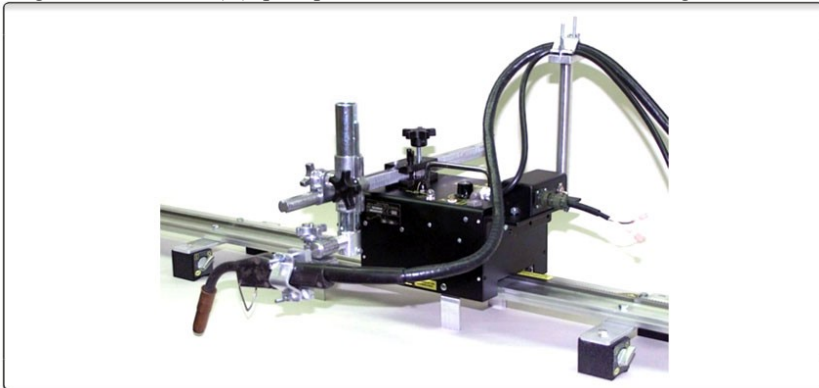
Estes robôs industriais possuem uma base fortemente fixada ao chão ou em trilhos que determinam e delimitam sua área de atuação. Entretanto, para atender aos casos em que há necessidade de deslocamento do sistema de soldagem por longas extensões ou para operações em campo, existe outra categoria de manipuladores compactos a qual será apresentada a seguir.

2.1.2 Manipuladores compactos

Diferentemente dos robôs antropomórficos utilizados industrialmente, o mercado de equipamentos destinados a aplicação de soldagem em campo é reduzido. Mundialmente, é encontrada uma pequena variedade de fabricantes de equipamentos robustos e compactos.

Dentre os principais fabricantes, merece destaque a empresa americana BUG-O SYSTEMS, a qual possui soluções para diversas aplicações. Um de seus equipamentos mais simples é o manipulador GO-FER III que apresenta um grau de liberdade automatizado deslocando-se sobre um trilho, sendo destinado ao corte térmico e a soldagem em linha reta. Na Figura 4 é possível identificar o sistema de deslocamento no qual se encontram os manípulos que permitem ajustes no posicionamento da tocha de soldagem, e o trilho sobre o qual o equipamento se movimenta.

Figura 4 - GO-FER III: Manipulador para soldagem da empresa BUG-O com um grau de liberdade (X) para posicionar/deslocar a tocha de soldagem.



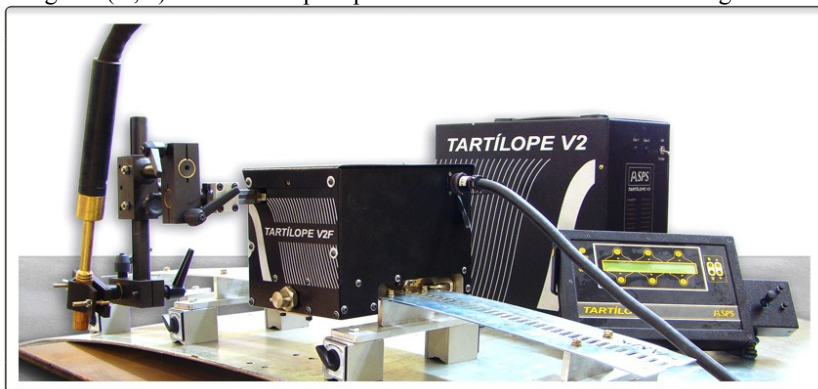
Fonte: (BUG-O SYSTEMS, 2008)

No Brasil, ainda nesta área de atuação, a empresa brasileira SPS (Sistemas e Processos de Soldagem) realiza pesquisas e desenvolve equipamentos que buscam fornecer ao mercado produtos de qualidade e com tecnologia nacional. Um dos produtos que ela oferece é um sistema de deslocamento de tocha com dois graus de liberdade automatizado, o TARTÍLOPE V2. Assim, com dois eixos para o deslocamento, a tocha

pode ser movimentada simultaneamente tanto no sentido do trilho como lateralmente. O objetivo do segundo eixo é a realização de soldas utilizando o movimento de tecimento, bem como, permitir que sejam realizadas correções na trajetória da tocha durante o processo de soldagem (BROERING, 2005; FILHO, 2003).

Em comparação ao sistema GO-FER III que possui somente um dispositivo mecânico e um trilho, o sistema TARTÍLOPE V2F (Figura 5) é composto por quatro componentes: (1) unidade de controle, (2) módulo eletrônico e (3) dispositivo mecânico e (4) trilho flexível. A unidade de controle possui a função de interface do sistema com o usuário, sendo composta por um display de cristal líquido onde são apresentadas as informações e por doze teclas com as quais o operador pode controlar e programar o equipamento. Já o módulo eletrônico é responsável por processar e controlar os movimentos dos motores e o dispositivo mecânico é composto por um carro móvel que contém dois motores e se desloca sobre um trilho. Por fim, o trilho flexível que mede 1,18 m de comprimento, pode ser encadeado de forma a permitir soldagem ou cortes de grandes extensões (SPS, 2008).

Figura 5 - TARTÍLOPE V2F: Manipulador para soldagem da empresa SPS com dois graus (X,Y) de liberdade para posicionar/deslocar a tocha de soldagem.



Fonte: (SPS, 2008)

Especificamente para a soldagem em campo são aplicados manipuladores com uma concepção mecânica diferenciada que visa suprir os requisitos de robustez, facilidade de transporte e instalação. Contudo, os equipamentos disponíveis no mercado são destinados a atender aplicações particulares e não apresentam flexibilidade de adaptação a outras tarefas.

Além disto, os manipuladores mais simples apresentam apenas 2 ou 3 graus de liberdade automatizados para o posicionamento da tocha de soldagem e com estas limitações, não viabilizam o correto posicionamento da tocha durante operações mais complexas. Para resolver esses problemas, podem-se utilizar manipuladores robóticos com quatro ou mais graus de liberdade e que sejam versáteis, permitindo com poucas mudanças mecânicas e de software sua adaptação para a realização de diferentes tarefas de soldagem (CARVALHO, 2009).

No entanto, o sucesso deste tipo de sistemas tem-se revelado inferior ao esperado. Isto porque a integração de automação e computação não tem sido acompanhada pela integração de pessoas e processos. Para Pires (2010), isso é um erro, porque cria resistências desnecessárias e não potencializa a contribuição humana.

As fábricas do futuro não eliminam as pessoas, só lhes atribuem tarefas diferentes mais adequadas às suas capacidades, isso significa utilizar essas tecnologias para potencializar a intervenção humana. Enfim, seguindo essa linha de pensamento, serão apresentadas a seguir algumas considerações sobre o componente humano em um sistema de soldagem.

2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRABALHO DO SOLDADOR

Soldar é uma atividade que frequentemente combina altas demandas de força muscular e de precisão manual. Além disso, o posto de trabalho do soldador é composto de uma relação complexa de elementos, que inclui as posturas adotadas, os equipamentos empregados e as condições ambientais. O ambiente de trabalho geralmente é insalubre, com uma diversidade de situações que expõem o soldador a altos níveis de ruído, respingos de metal fundido, fumaça e radiação (KADEFORS, 1998).

Entretanto, se um posto de trabalho é adequado, isso favorece não apenas a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, mas também a produtividade e a qualidade dos produtos. De modo contrário, o posto de trabalho inadequado é provavelmente a causa ou contribui para o desenvolvimento de doenças ocupacionais crônicas, assim como, problemas com a manutenção da qualidade do produto e da produtividade em níveis prescritos (KADEFORS, 1998).

Na indústria, o reconhecimento dos problemas graves ocorre pela identificação dos postos de trabalho que apresentam sintomas como alto índice de erros, acidentes, doenças, absenteísmos e rotatividade dos

empregados. Por trás dessas evidências podem estar ocorrendo uma inadaptação das máquinas, falhas na organização do trabalho ou deficiências ambientais, que provocam dores musculares e tensões psíquicas nos trabalhadores, resultando nos sintomas mencionados (IIDA, 2005).

Nos países industrializados, com economia forte e estável, a oferta de profissionais de soldagem qualificados tem-se reduzido, pois a profissão de soldador é considerada de baixo status, para a qual são apresentados ambientes pouco saudáveis, especialmente pelas gerações mais jovens. Sendo assim, podem-se considerar dois pontos de vista sobre o futuro da profissão de soldador: o primeiro, de que o trabalho manual esta se tornando obsoleto a partir das estratégias de racionalização da indústria; e o segundo, que o recurso humano se torna cada vez mais importante para a indústria nos novos paradigmas da produção (KADEFORS, 2001).

Apesar da intenção inicial da indústria de ter o trabalho humano totalmente substituído pela produção automatizada, o que tem sido constatado é que a automação não substitui completamente a necessidade de um ser humano no chão de fábrica. Assim, considera-se fundamental incluir o fator humano como parte integrante do sistema de produção, aonde o equipamento automatizado é a ferramenta do operador (BOEKHOLT, 2000).

Entretanto, no Brasil e nos demais países em desenvolvimento, existe o receio do desemprego que a robotização dos processos de soldagem possa causar. Este temor aumenta, pois o grau de escolaridade da população ainda é baixo, dificilmente permitindo que um trabalhador tenha acesso aos conhecimentos necessários para a programação de um robô (McMILLAN, 1999).

Diante disso, uma alternativa para que as empresas consigam manter sua produção em um mercado com dificuldades de encontrar e manter profissionais qualificados seria a adoção de medidas ergonômicas⁸ que minimizem a exposição do soldador aos fatores ambientais⁹ insalubres e proporcionam a sensação de segurança e bem-estar ao trabalhador.

Outra alternativa é a adoção de equipamentos adequados, ou seja, equipamentos projetados e adaptados às características físicas e cognitivas dos trabalhadores. As características físicas relacionam-se a

⁸ De maneira geral, os domínios de especialização da ergonomia são: Ergonomia física, Ergonomia cognitiva e Ergonomia organizacional.

⁹ Alguns fatores ambientais que influenciam no ambiente de trabalho são: ruído, vibração, iluminação ou radiação, climatização e os efeitos de contaminadores biológicos e químicos.

anatomia humana como antropometria, fisiologia e biomecânica envolvida na atividade física. Os tópicos relevantes em atividades de trabalho incluem o estudo da postura, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde. Já as características cognitivas referem-se aos processos mentais que afetam as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem-máquina, stress e treinamento (IEA, 2000).

Estes fatores podem contribuir para o aumento da qualidade do trabalho, da produtividade, além de melhorar a possibilidade do recrutamento de novos soldadores, e aumentar a chance de manter soldadores qualificados. Contudo, a ação em prol do bem-estar do trabalhador se mostrou mais eficiente quando incorporada à cultura da empresa. Em um estudo realizado com soldadores no qual o objetivo era definir as demandas ergonômicas para o projeto de seus postos de trabalho, foi verificado que a opinião dos soldadores, na maioria dos casos, sofria influência da empresa em que trabalhava, e esta se sobrepõe à influência de fatores individuais. Portanto, a cultura da empresa mostrou-se como sendo o fator mais forte a influenciar a opinião dos soldadores, expondo a importância que a organização, como um todo, representa para seus trabalhadores (SILVA, 2003).

2.3 O PROCESSO DE SOLDAGEM

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente. O termo soldagem abrange um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Classicamente, a soldagem é considerada como um processo de união, porém, na atualidade, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para formação de um revestimento com características mecânicas e químicas especiais (MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE, 2007).

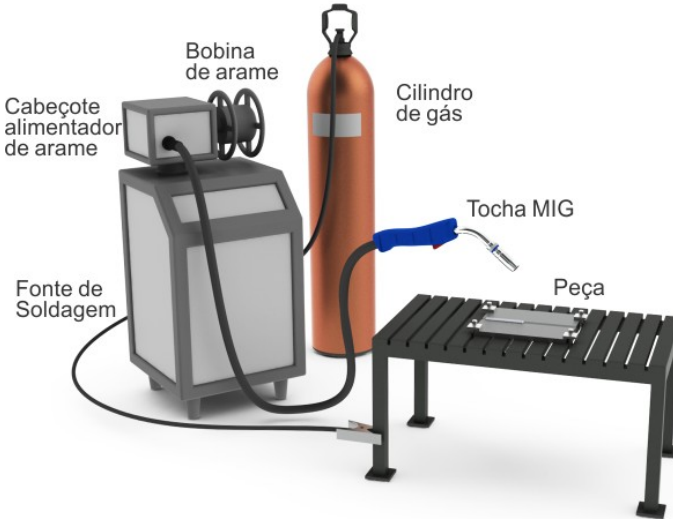
Em um posto de trabalho com solda, o processo de soldagem aplicado é o principal fator que determina as condições ambientais tais

como os níveis de radiação, a ocorrência de respingos de metal fundido, o ruído e fumaça ou gases presentes no ar.

No sistema abordado no presente estudo, utiliza-se um processo de soldagem a arco elétrico com proteção por gás e eletrodo consumível GMAW (*Gas Metal Welding*), podendo variar o tipo de proteção por gás inerte, cujo processo é conhecido como MIG (*Metal Inert Gas*); ou a proteção por gás ativo (oxidante), cujo processo é conhecido como MAG (*Metal Active Gas*). Em geral, nos processos MIG/MAG, a soldagem é realizada por um arco elétrico, estabelecido entre um arame nu, continuamente alimentado, e a peça. A proteção do mesmo e da poça de fusão é realizada por um gás que flui pelo bocal, tendo o arame no centro do fluxo. Geralmente, os gases utilizados são inertes, como Argônio e Hélio, ou do tipo ativo, como o Dióxido de Carbono, ou misturas e combinação destes três gases. Além da escolha do eletrodo e da composição do gás de proteção, outros parâmetros determinantes para o processo de soldagem são a tensão, e o tipo de corrente elétrica, que pode ser contínua ou pulsada. Dessa forma, os processos MIG/MAG ou permitem que sejam soldadas tanto ligas ferrosas como o aço, quanto não ferrosas como o alumínio (MACHADO, 1996).

Os equipamentos básicos para aplicação do processo de soldagem GMAW, observados na Figura 6, consistem em uma tocha de soldagem, uma fonte de energia, um sistema de suprimento de gás e um alimentador do arame-eletrodo. É importante destacar que este processo pode ser aplicado tanto de forma manual, na qual o soldador manipula a tocha, quanto de forma automática, na qual são usados manipuladores automáticos.

Figura 6 - Equipamentos envolvidos no processo de soldagem MIG/MAG



A aplicação do processo de soldagem MIG/MAG de forma manual ainda é uma atividade comum, mesmo em indústrias que apresentam alto índice de automação. Isso ocorre devido à dificuldade de se obter profissionais capacitados para operar sistemas automatizados, pois são tecnologias que requerem operadores com conhecimento tanto em soldagem, quanto em programação e planejamento da produção (KADEFORS, 1999).

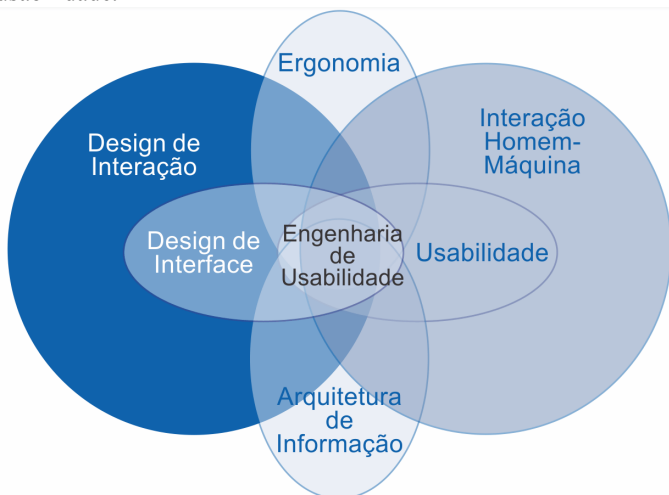
Enfim, com a descrição do processo de soldagem MIG/MAG conclui-se a apresentação dos principais elementos que compõem um sistema Homem-Máquina-Ambiente para aplicação de soldagem automatizada. A seguir, serão apresentadas as áreas de conhecimento cujo foco é o processo de interação entre os humanos e as máquinas.

3 INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

A preocupação com a interação homem-máquina (HM) deve-se à influência que esta exerce na realização das atividades produtivas. Entretanto, as pesquisas e desenvolvimentos relacionados à interação homem-máquina estão inseridos em diversas áreas de conhecimento as quais abrangem, tanto atividades cotidianas e de lazer, quanto atividades de trabalho.

Então, considerando-se que o campo da interação HM abrange conhecimentos multidisciplinares e interdisciplinares. Para efeito de delimitação, serão apresentadas nos próximos itens, as principais disciplinas que se relacionam especificamente com a engenharia de usabilidade. Assim, para ilustrar a convergência das disciplinas abordadas é apresentado um esquema na Figura 7, dessa forma, pode-se notar que, embora estas disciplinas sejam distintas, elas se sobrepõem em grande parte.

Figura 7 - Intersecções de conhecimentos que envolvem a engenharia de usabilidade.



Fonte: Adaptado de (SAFFER, 2010) p. 21

O designer de interação Dan Saffer (2010) apresenta um glossário para explicar de forma simplificada as diversas áreas de conhecimento envolvidas no universo da interação HM:

Interação homem-máquina: É uma disciplina muito próxima do “design de interação”, mas com métodos mais quantitativos. Ao

invés de questionar como os homens se relacionam entre si, investiga a relação dos homens com as máquinas.

Design de interface: É uma subcategoria tanto do “design de interação” quanto da “interação homem-máquina” que foca nos elementos que permitem essa interação.

Arquitetura de informação: Estruturação e categorização de conteúdos de forma que eles sejam “encontráveis”.

Ergonomia: Tem por objetivo fazer com que os “objetos” se adaptem às limitações do corpo humano, tanto física quanto psicologicamente.

Engenharia de usabilidade: Projeta e testa os produtos de forma que eles façam sentido para seus usuários.

A seguir, serão apresentados os conhecimentos científicos relacionados à engenharia de usabilidade, com o objetivo de compor a base técnico-teórica que será utilizada na etapa de desenvolvimento deste trabalho.

3.1 DESIGN DE INTERAÇÃO

O design de interação tem por objetivo, projetar produtos interativos que forneçam suporte às atividades cotidianas das pessoas seja no lar ou no trabalho. Especificamente, significa criar experiências que melhorem e ampliem a maneira como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005).

Como disciplina formal, o design de interação tem aproximadamente duas décadas de existência. Dessa forma, é um campo ainda em definição e o seu posicionamento figura entre as disciplinas irmãs como arquitetura de informação, usabilidade, design de interface, ergonomia e interação homem-máquina. Além disso, algumas destas disciplinas também são novas e ainda em fase de descobrimento de suas fronteiras, ou estão mudando radicalmente para se adequar às mudanças no campo do design (SAFFER, 2010).

3.2 INTERFACE COM USUÁRIO

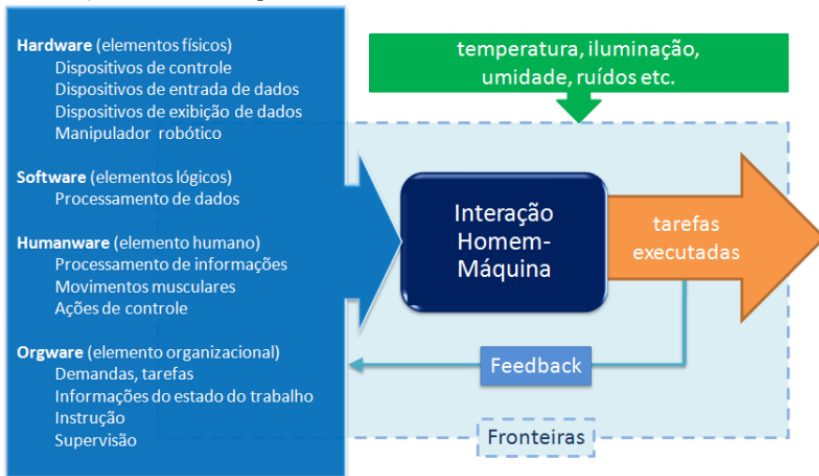
Para o usuário, a interface é o sistema, portanto uma interface mal projetada pode prejudicar todas as funcionalidades de um sistema. Isto é justificável, pois, toda a experiência com o produto é a experiência com

a interface. Assim, uma interface concebida, de acordo com orientações ergonômicas, agrega valores funcionais e qualidades referentes às experiências práticas do usuário como conforto e satisfação (HIX & HARTSON, 1993) (SCAPIN, 1993).

Para Cybis, Betiol e Faust (2007), é por meio da interface que os usuários têm acesso às funções da aplicação. Fatores de satisfação subjetiva, de eficiência, de segurança, de custo de treinamento, de retorno de investimento, todos, dependem de um bom design de interface. Além disso, Moran (1981) propôs uma das definições mais duráveis de interface, dizendo que a interface de usuário (IU) deve ser entendida como a parte de um sistema com a qual uma pessoa entra em contato fisicamente e conceitualmente. Esta definição caracteriza uma perspectiva para a interface de usuário como tendo um componente físico, que o usuário percebe e manipula, e outro conceitual, que o usuário interpreta, processa e raciocina.

Sendo assim, para melhor entender a interface é necessário conhecer o sistema no qual ela está inserida. A interface é o elemento que proporciona o processo de interação homem-máquina, sendo o componente central de um sistema que envolve diversos elementos, como mostra a Figura 8. De maneira resumida, este sistema apresenta elementos de entrada (hardware, software, humanware e orgware), a transformação dos elementos de entradas (processo de interação) e os resultados ou produtos (tarefas executadas) e como todo sistema aberto, está sujeito às influências ambientais. No decorrer deste capítulo serão esclarecidos em detalhes os componentes deste sistema e a dinâmica de seu funcionamento.

Figura 8 - Representação esquemática dos elementos envolvidos em um sistema de Interação Homem-Máquina



A seguir serão apresentados os principais conceitos relacionados à ergonomia e usabilidade, que compõem as bases teóricas fundamentais para produção de um sistema interativo.

3.3 ERGONOMIA

Ergonomia é uma ciência relativamente recente, formalizada em 1949, que estuda as relações entre o homem e seu ambiente de trabalho. A Organização Internacional do Trabalho (IEA, 2000) a define como:

“A aplicação das ciências biológicas humanas em conjunto com os recursos e técnicas da engenharia para alcançar o ajustamento mútuo, ideal entre o homem e o seu trabalho, e cujos resultados se medem em termos de eficiência humana e bem-estar no trabalho”.

Ainda, para Wisner (1987), a ergonomia pode ser definida como o conjunto dos conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos, bem como o projeto do trabalho, que possam ser utilizados com o máximo de conforto, de segurança e eficácia. Também, conforme o autor pode-se classificar a ergonomia de acordo com o momento em que ela é aplicada, podendo ser de concepção, correção e conscientização.

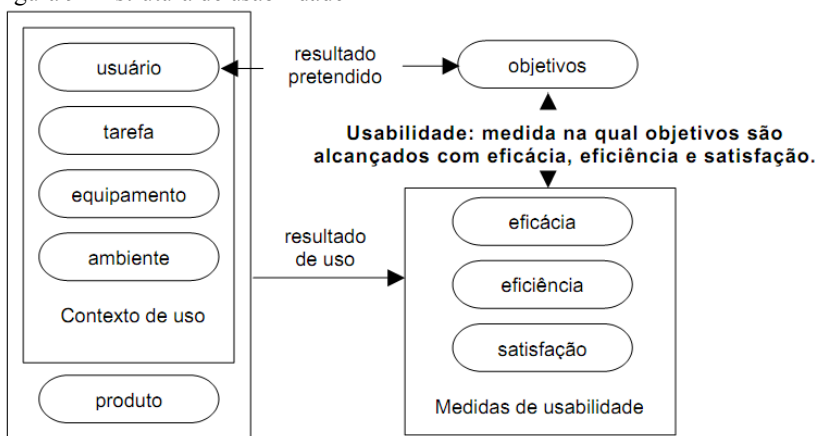
Atualmente, soma-se a estas, uma nova classificação que é a ergonomia de participação.

A ergonomia de participação procura envolver o próprio usuário do sistema na solução de problemas ergonômicos. Esse princípio é baseado na crença de que eles possuem um conhecimento prático, cujos detalhes podem passar despercebidos ao analista ou projetista. Assim, procura-se envolver o usuário de forma ativa, fazendo a realimentação de informações para as fases de concepção, correção e conscientização (IIDA, 2005).

3.4 USABILIDADE

Tratando-se de trabalhos que envolvem sistemas computacionais interativos, soma-se à ergonomia uma medida da qualidade dos produtos chamada usabilidade. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 9241-11, usabilidade é definida como “a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso”. Dessa forma, para especificar ou medir usabilidade, é necessário identificar os objetivos e decompor eficácia, eficiência e satisfação e os componentes do contexto do uso em subcomponentes com atributos mensuráveis e verificáveis. Os componentes e o relacionamento entre eles são ilustrados na Figura 9.

Figura 9 - Estrutura de usabilidade



Fonte: ABNT NBR ISO 9241-11(2011) p. 4.

Em função dos componentes envolvidos nesta estrutura, nota-se que a medida de usabilidade é diretamente relacionada à qualidade ergonômica de um produto, a qual, de acordo com Iida (2005), é a qualidade que garante uma interação adequada do produto com o usuário. Incluindo a facilidade de manuseio, adequação antropométrica, fornecimento claro de informações, facilidades de navegação, compatibilidade de movimentos e demais itens de conforto e segurança.

Ainda, ao tratar-se do desenvolvimento de sistemas interativos visando a usabilidade, a norma ABNT NBR ISO 9241-210 (2011) propõe uma abordagem metodológica, a qual fornece orientações sobre as atividades e os processos envolvidos em um projeto centrado no usuário. Essa norma recomenda a realização de sucessivos ciclos de análise-concepção-testes e sua estrutura básica descreve as atividades essenciais centrados no usuário, que devem ocorrer durante o processo de design da interação humano-sistema (Figura 1). De acordo com essa norma, o desenvolvimento centrado no ser humano visando tornar os sistemas interativos mais usáveis traz importantes vantagens econômicas e sociais que afetam tanto aos usuários quanto às organizações, pois proporcionam os seguintes benefícios:

- São mais fáceis de aprender e usar, reduzindo com isso, os custos de treinamento e suporte;
- Melhoram a satisfação do usuário e reduzem o desconforto e o estresse;
- Melhoram a produtividade dos usuários e a eficiência operacional das organizações;
- Melhoram a qualidade do produto, tornando-os mais atrativos para os usuários e com isso podem proporcionar uma vantagem competitiva.

Além disso, a extensão dos benefícios relacionados à usabilidade pode ser verificada considerando-se os custos totais do ciclo de vida do sistema, incluindo a concepção, projeto, implementação, uso, suporte e manutenção.

3.5 ENGENHARIA DE USABILIDADE

De acordo com Jakob Nielsen a razão básica para a existência da engenharia de usabilidade é a impossibilidade de se projetar uma interface de usuário otimizada sem trabalhar com base na compreensão dos usuários e suas tarefas pois, conforme o autor, os usuários têm um

potencial infinito para fazer interpretações inesperadas de elementos de interface e para realizarem seus trabalhos de uma maneira diferente do que os projetistas imaginam (NIELSEN, 1993).

As primeiras abordagens metodológicas para a disciplina de Engenharia de Usabilidade foram introduzidas a partir da década de 1970. Dentre elas, destaca-se a abordagem proposta por Gould e Lewis (1983) que determina três estratégias globais (GOULD & LEWIS, 1983):

- Foco inicial nos usuários e suas tarefas;
- Medição empírica;
- Design interativo.

Posteriormente, foram propostos diversos modelos metodológicos a fim de gerenciar e ordenar as estratégias envolvidas na Engenharia de Usabilidade. Assim, baseada nos ciclos de vida tradicionais de desenvolvimento de softwares Deborah Mayhew (MAYHEW, 1999) propôs o Ciclo de Vida da Engenharia de Usabilidade (CVEU). Este consiste em um conjunto de tarefas e decisões de engenharia de usabilidade aplicadas em uma ordem particular em pontos específicos de um ciclo de vida geral de desenvolvimento. Fundamentalmente, o CVEU é composto por três fases: análise dos requisitos, projeto/teste/desenvolvimento e instalação, sendo que cada uma delas envolve uma série de atividades e processos específicos.

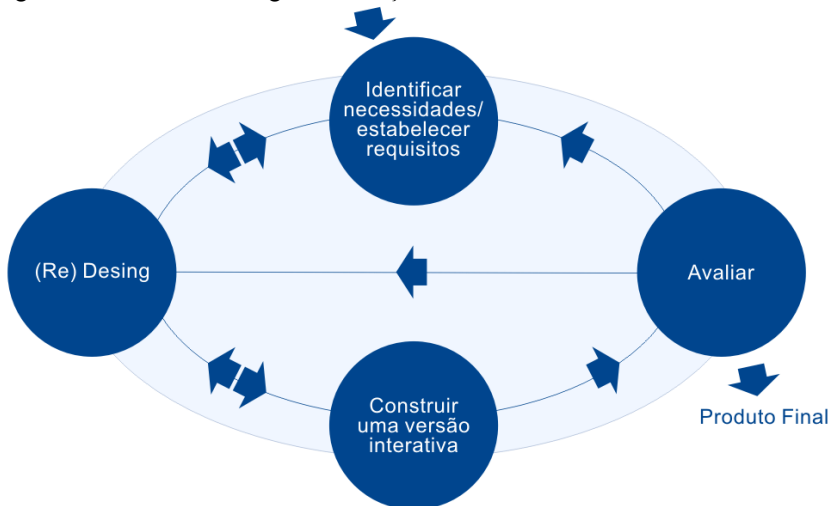
Atualmente, os modelos de design de interação possuem uma estrutura fundamentada tanto no ciclo de vida de engenharia de usabilidade quanto nos novos modelos de engenharia de software. Um modelo simplificado, focado no design de interação e que incorpora o usuário no processo foi proposto por Preece, Rogers e Sharp (2005). Este modelo representa aquilo que as autoras acreditam ser prática comum na área (Figura 10).

Assim, o projeto tem início com a identificação de necessidades e definição dos requisitos e, a partir dessa atividade, são geradas algumas soluções de design buscando-se atender às necessidades e requisitos identificados. Então, as versões interativas dos designs são desenvolvidas e submetidas à avaliação dos usuários.

Com base no *feedback* das avaliações, é possível que a equipe de desenvolvimento precise retornar e identificar necessidades ou refinar os requisitos, ou então seguir diretamente para o “redesign”. Esse processo ocorre até a obtenção de um produto que atenda aos requisitos prescritos. Assim, o produto final é resultado da evolução de uma idéia inicial bruta. Entretanto, a maneira como essa evolução ocorre pode

variar de projeto para projeto, sendo que, o único fator que limita o número de vezes desse ciclo são os recursos disponíveis.

Figura 10 - Modelo de design de interação



Fonte: (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005) p. 206

A seguir, serão apresentados alguns dos conhecimentos técnico-teóricos envolvidos em cada uma das quatro etapas do processo de design de interação. Estas informações foram selecionadas devido à sua relevância como base teórica e metodológica para o desenvolvimento deste trabalho.

3.5.1 Etapa 1 - Identificar Necessidades e Estabelecer Requisitos

A conversão das necessidades em requisitos e a definição das metas de usabilidade têm aplicação em dois momentos do projeto. No início do ciclo, as necessidades dos usuários-alvo constituem a base dos requisitos do produto, dessa forma, sustentam e direcionam os esforços de design. Já, no final do ciclo, as metas definidas servem como parâmetros para testar e avaliar o produto (ABNT NBR ISO 9241-11, 2011).

Nesta etapa do desenvolvimento, os projetistas especificam todos os atores e o contexto relacionado ao uso pretendido do produto, definindo também as exigências quantitativas e qualitativas quanto à

usabilidade. Para isso, Cybis (2007) descreve um conjunto de procedimentos para estabelecer os requisitos e as metas de usabilidade a partir da análise da atividade do usuário. Dessa forma, com a decomposição da atividade em tarefas específicas podem-se estabelecer as metas relativas para eficácia, eficiência e satisfação esperadas em relação ao uso do sistema. O processo pode iniciar com uma reunião, entre os desenvolvedores e usuários do produto, na qual se devem incluir as seguintes tarefas:

- Revisar cada tarefa definida no documento de especificação do contexto de uso, para confirmar sua relevância;
- Definir uma lista de tarefas e de categorias de usuários para os quais é necessário definir metas específicas de usabilidade como, por exemplo:
 - O tempo aceitável e o tempo ótimo para a tarefa;
 - A forma de avaliar a eficácia do usuário no desempenho de cada tarefa (medida da eficácia na tarefa);
 - O nível mínimo aceitável para a medida de eficácia na tarefa;
 - A forma de avaliar a eficiência do usuário no desempenho de cada tarefa (medida de eficiência na tarefa);
 - O nível mínimo aceitável para a medida de eficiência na tarefa;
 - A forma de quantificar satisfação do usuário na realização de cada tarefa (medida da satisfação do usuário);
 - O nível mínimo aceitável para a medida da satisfação do usuário.

Ainda, dependendo das necessidades e características do produto, pode-se utilizar uma combinação de técnicas para especificar os requisitos de usabilidade. A combinação de técnicas se mostra interessante, pois possibilita a obtenção de uma maior variedade de dados. As técnicas para coleta de dados são compostas basicamente por questionários, entrevistas, workshops, observação natural e estudo da documentação. Um resumo destas técnicas, juntamente com suas principais características, é apresentado no ANEXO A – Técnicas para identificação de requisitos de usabilidade (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005).

Enfim, isoladas ou em conjunto, essas técnicas podem ser aplicadas em diferentes fases do projeto, para se obter os dados necessários para definir ou verificar os requisitos de usabilidade. Estes por sua vez servem para delimitar a abrangência tanto do desenvolvimento quanto da avaliação de um produto.

3.5.2 Etapa 2 - Design de interface

Nesta fase de desenvolvimento são aplicados métodos e técnicas de design com o objetivo de produzir soluções que atendam aos requisitos e metas definidos na fase anterior. Contudo, existe uma grande variedade de técnicas disponível para se realizar qualquer tarefa específica, e esta disponibilidade de técnicas alternativas é de acordo com Mayhew (1999) o que torna o Ciclo de Vida de Engenharia de Usabilidade flexível e adaptável. Além disso, a distinção entre as tarefas e técnicas é uma questão importante em todos os tipos de projetos de desenvolvimento, de pequeno a grande, simples ou complexos, independentemente da plataforma e da metodologia de desenvolvimento.

Sendo assim, nos próximos itens serão apresentadas breves descrições e referências à literatura sobre duas técnicas alternativas para o design de Interface Homem-Computador (IHC). Estas duas abordagens *The Bridge* (DAYTON, MCFARLAND, & KRAMER, 1998) e *Usage-Centered Design* (CONSTANTINE&LOCKWOOD, 1999) são destinadas a implementar a estrutura, o conteúdo e o comportamento da interface. Além disso, visam explicitar as tarefas e formalismos necessários para implementar um processo destinado a transformar requisitos de usabilidade em uma maquete ou protótipo simplificado.

Em essência, tais abordagens propõem um conjunto de etapas para a definição de elementos concretos, como as principais telas, componentes e caminhos da interface, partindo de elementos abstratos, como a especificação dos requisitos estabelecidos para o contexto de uso, para a usabilidade e para a própria interface. Assim, a evolução nesse tipo de abordagem é caracterizada pela elaboração de representações de interfaces em diferentes níveis de abstração e pelo seu mapeamento em direção às representações cada vez mais concretas. Entretanto, as características dessas abordagens são distintas no que se refere à própria natureza do processo de modelagem. A abordagem *The Bridge* é mais direta e econômica propondo poucas transformações, por

meio das quais o modelo conceitual é definido a partir dos grandes componentes. Já, *Usage-Centered Design* é mais detalhada propondo um número maior de transformações e um estilo de concepção partindo dos pequenos componentes (HOELZEL, 2004) (CYBIS, BETIOL, & FAUST, 2007).

3.5.2.1 *The bridge* - projeto de interface orientado a objetos

Tom Dayton e seus colegas de Bellcore propuseram uma abordagem para o projeto de IHC com base em sua longa experiência no envolvimento de usuários nesse tipo de atividade. A abordagem, chamada *The bridge*, baseia-se em uma sequência de sessões de projeto participativo, envolvendo usuários, engenheiros de usabilidade, engenheiros de software e programadores (DAYTON, MCFARLAND, & KRAMER, 1998).

O trabalho todo deve ser realizado em um ou dois dias de reuniões em salas equipadas apenas com mesas, cadeiras, lápis, papel, cartões, adesivos e desenhos de janelas pré-impresos. Nelas, projetistas e usuários realizarão a passagem (*The bridge*) entre os requisitos de usabilidade e o projeto de uma interface.

A abordagem envolve três passagens principais:

- Expressar requisitos do usuário em termos de um fluxo de tarefas;
- Mapear os fluxos da tarefa em objetos da tarefa;
- Mapear objetos da tarefa em objetos de interface.

Na primeira etapa da abordagem, os projetistas e usuários realizam a definição de um novo fluxo de trabalho para o usuário do novo sistema. Este é descrito por um fluxograma apresentando blocos para o início, para os processos e decisões e para o resultado esperado do trabalho. As descrições nos blocos devem conter nomes, associados a objetos e atributos manipulados pelos usuários e verbos associados às ações realizadas pelos usuários sobre tais objetos. É importante observar que as descrições nesta etapa se fazem em um alto nível de abstração: elas se referem aos objetivos dos usuários e não entram em detalhes sobre o sistema ou a interface.

Na segunda etapa, os fluxos de tarefa devem ser analisados, de maneira análoga ao que se passa em abordagens orientadas a objetos, visando à definição de classes de objetos de tarefa. Estas correspondem a classes de informação por meio das quais os usuários realizam suas

tarefas. As definições das classes dos objetos relacionados às tarefas devem ser representadas em blocos, porém elas não se referem ainda a funções do novo sistema.

Com o conjunto de classes de objetos de tarefas definidos, já é possível testar sua utilidade para o usuário em relação aos fluxos de trabalho definidos na etapa anterior. Isso pode ser feito em uma reunião na qual elas são apresentadas aos usuários que julgam sua pertinência para a realização das tarefas.

Na terceira e última etapa, os projetistas devem mapear as classes de objetos de tarefa em classes de objetos gráficos de interface com o usuário, como janelas, caixas de diálogo, formulário, painéis de menus, barras de ferramentas, botões etc. Por fim, as maquetes ou protótipos de interface definidos nesta etapa devem ter sua usabilidade testada pelos usuários participantes das sessões de projeto.

3.5.2.2 Projeto de IHC centrado no uso (Usage-centered design)

A abordagem de projeto proposta por Constantine e Lockwood (1999) privilegia o uso do sistema e o desempenho do usuário na tarefa. No projeto centrado no uso, as decisões de projeto são baseadas em análises objetivas de modelos de usuários, de tarefas, de conteúdos de interfaces, entre outros. Aqui, a participação do usuário tende a ser mais seletiva, e as decisões de projeto priorizam a eficácia e eficiência na interação.

Conforme Constantine e Lockwood (1999), o modelo centrado no uso, apresenta um grupo de questões sucessivas necessárias:

- Quem são os usuários e como eles querem relacionar-se com o sistema?
- Que tarefas os usuários tentarão realizar no sistema a ser projetado?
- O que eles necessitam do sistema e em que ordem para realizar suas tarefas, e como isso deve ser organizado?
- Quais são as condições operacionais sob as quais o sistema será usado?
- Que aspecto a interface deve apresentar e como isso deve comportar-se?

A abordagem está organizada em três fases de modelagem, a primeira está relacionada às questões do usuário; a segunda ao uso e a terceira à arquitetura do sistema.

Na primeira fase, busca-se definir os Papéis do Usuário, para compreender que tipo de usuário fará uso do sistema, elaborando um modelo do ator. Este é estruturado na forma de uma coleção de papéis do usuário e um mapeamento dos seus papéis, definindo suas inter-relações. O papel de usuário é definido como um tipo de usuário que apresenta necessidades, interesses, expectativas, comportamentos ou responsabilidades específicas em relação ao sistema. Cada papel é descrito:

- Pelas condições típicas do contexto em que eles são desempenhados;
- Pelas características típicas do desempenho da tarefa;
- Por critérios para satisfação dessas pessoas em relação a sua interação com o programa.

Na segunda fase, para se entender o que os usuários vão executar com o sistema, é feito o modelo da tarefa através de casos essenciais de uso e mapeamento dos casos de usos em tarefas. Os casos de uso são expressos em linguagem direta e correspondem às sequências de associações entre as intenções dos usuários e as responsabilidades do programa. Os casos de tarefas previstos para o sistema podem ser ligados, em mapas de casos de tarefas, por relações de especialização, extensão, composição e afinidade.

Na terceira e última fase é empregado um modelo contextual da interface no qual um mapa de navegação define a interconexão entre os vários espaços de interação da arquitetura da interface. As regras gerais de mapeamento são as seguintes:

- Os casos de tarefa correspondem a espaços de trabalho;
- As ferramentas representam as funções que processam dados e informações;
- Os materiais representam esses dados e informações.

Assim, para representar quais ferramentas e materiais serão suficientes para dar suporte aos casos de uso, cada espaço de interação se tornará uma tela, janela ou caixa de diálogo. E para finalizar, um mapa de navegação completa a representação da estrutura de conteúdos da interface, mostrando as transições entre esses espaços abstratos e os eventos que as dispõem.

3.5.3 Etapa 3 - Construção do modelo interativo

Esta etapa de desenvolvimento consiste na construção de um modelo interativo a partir de uma ou mais versões produzidas na etapa de design. Sendo assim, os modelos ou protótipos são construídos com base nos requisitos e características definidas nas fases anteriores. Entretanto, dependendo de diversos fatores incluindo os resultados esperados o protótipo pode apresentar diferentes formas e níveis de interação, podendo ser tão simples como um desenho a lápis em papel ou tão complexo como uma simulação em computador idêntica ao produto real.

Em processos centrados no usuário, os protótipos não servem apenas para apresentar uma pré-visualização do produto, eles são usados principalmente para coletar o *feedback* dos usuários. Assim, de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 9241-210 (2011) um protótipo é uma representação de todo ou parte de um produto ou sistema que, embora limitada de alguma forma, pode ser utilizado para a avaliação. Entretanto, como não há consenso sobre qual a melhor forma ou técnica de prototipagem deve-se usar, serão apresentados a seguir alguns dos principais tipos de protótipos, bem como, métodos de construção e técnicas de aplicação amplamente utilizadas.

3.5.3.1 Protótipos de Baixa Fidelidade

São considerados protótipos de baixa-fidelidade aqueles que não se assemelham muito ao produto final, pois são construídos a partir de materiais muito diferentes da versão pretendida, como por exemplo, papel e cartolina, no lugar de telas eletrônicas e polímeros. Os protótipos de baixa-fidelidade geralmente são simples, baratos e de rápida produção. Assim, a principal vantagem desse tipo de protótipo é que ele pode ser facilmente modificado para fornecer suporte à exploração de designs e ideias alternativas. Essa flexibilidade característica é particularmente importante nas fases iniciais do ciclo de design, quando o objetivo é testar as ideias iniciais e incentivar a exploração de novos conceitos (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005).

Prototipagem em papel: Este método apresenta o uso de materiais simples para criar uma simulação em papel de uma interface ou um sistema com o objetivo de explorar as necessidades dos utilizadores. O método tem larga aplicação, no entanto, é mais adequado

em contextos onde é fácil simular o comportamento do sistema ou quando a avaliação detalhada dos elementos da tela não é necessária. A técnica funciona da seguinte maneira: primeiramente são definidas as tarefas que o usuário deverá realizar. Em seguida, são impressas a partir de capturas de tela ou desenhadas à mão os esboços das janelas, menus, caixas de diálogo, páginas, mensagens *pop-up*, etc., que são necessários para executar as tarefas. Então se realiza um teste de usabilidade, no qual, o processo de interação é mediado por uma ou mais pessoas que desempenham o papel do “computador”. Assim, o usuário fica dependente de um facilitador que conduz a sessão e realiza a troca dos cartões ou telas a fim de simular o comportamento da interface ou o fluxo da aplicação, enquanto os outros membros da equipe de desenvolvimento observam e tomam notas. O “computador” não explica como a interface supostamente funciona, mas apenas simula o que a interface iria fazer em resposta às ações ou comandos do participante. Desta forma, podem-se identificar quais partes da interface são autoexplicativas e quais são confusas. Como o protótipo é estruturado em papel, pode-se modificá-lo facilmente para consertar os problemas encontrados (SNYDER, 2003).

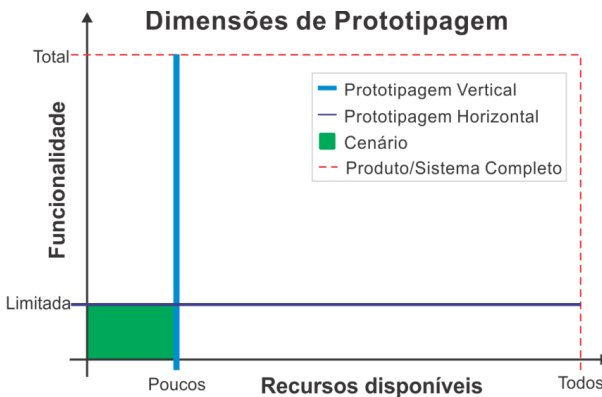
Prototipagem rápida: Este método consiste no desenvolvimento e avaliação de diferentes conceitos por meio de protótipos de software ou hardware. A prototipagem rápida é descrita como um método baseado em computador que visa reduzir o ciclo de desenvolvimento interativo. Dessa forma, o objetivo é desenvolver protótipos que podem ser rapidamente substituídos ou alterados. Eles podem ser usados tanto nas etapas iniciais do desenvolvimento, para esclarecer as necessidades dos usuários, quanto mais tarde no ciclo de vida, para especificar os detalhes da interface que serão incluídos no futuro sistema. Para a produção de protótipos rápidos existem diversas ferramentas que vão desde uma sequência de telas do Microsoft PowerPoint, até sistemas de escrita com base de programação, como HyperCard e ToolBook que podem ajudar a criar um protótipo de software. Em comparação com o método de prototipagem estruturado em papel, este método exige recursos técnicos mais sofisticados, assim como, membros da equipe com domínio das ferramentas de desenvolvimento e suporte. Entretanto, o processo de interação dispensa o facilitador, pois o sistema reage diretamente aos comandos do usuário, sendo necessário apenas um membro da equipe para orientar os usuários quando o protótipo é formalmente avaliado (MAGUIRE, KIRAKOWSKI, & VEREKER, 1998).

3.5.3.2 Prototipagem de Alta Fidelidade

Em contraste aos protótipos de baixa-fidelidade, os protótipos de alta fidelidade perdem em velocidade para ganhar em precisão. Assim, eles não são tão rápidos e fáceis de criar como os protótipos de baixa fidelidade, mas representam fielmente a interface a ser implementada no produto final. Com isso, os usuários podem inserir dados em campos de entrada, responder às mensagens, selecionar ícones nas janelas abertas e, em geral, interagir com a interface do usuário como se fosse um produto real. Protótipos de alta fidelidade são geralmente construídos com ferramentas de quarta geração de programação, como Smalltalk ou Visual Basic, e podem ser programados para simular grande parte das funções do produto final. Esta técnica de prototipagem é particularmente útil como ferramenta de marketing para vender ideias e para testar questões técnicas (RUDD, STERN, & ISENSEE, 1996).

No entanto, para se obter a economia de tempo e custo de desenvolvimento, pode-se considerar a redução de algumas características do protótipo em relação ao sistema completo. Esta contenção pode ser obtida reduzindo-se tanto o nível da funcionalidade, quanto o número de recursos disponíveis no protótipo. Os métodos que envolvem estas duas dimensões (amplitude e profundidade) da prototipagem são conhecidos como protótipo horizontal ou vertical e são ilustrados na Figura 11.

Figura 11 - As duas dimensões de prototipagem: prototipagem horizontal e prototipagem vertical



Fonte: Adaptado de (NIELSEN, 1993) p.94

Os protótipos verticais são aqueles nos quais os recursos disponíveis foram reduzidos, dessa forma, o resultado é um sistema estreito que inclui as funcionalidades apenas para os recursos selecionados. Um protótipo vertical pode, portanto, testar apenas uma parte definida do sistema completo, mas ela vai ser testada num contexto realista com tarefas reais do usuário. Já os protótipos horizontais são aqueles nos quais o nível de funcionalidade é reduzido, dessa forma, o resultado é uma camada superficial que abrange toda interface do sistema completo, mas com a funcionalidade limitada. Um protótipo horizontal é uma simulação da interface, com a qual nenhum trabalho real pode ser realizado. Assim, eles são úteis para avaliar o quão bem toda a interface se encaixa e se percebe como um todo. Por fim, pode-se reduzir tanto o número de recursos quanto o nível de funcionalidade para se chegar a um cenário que só é capaz de simular a interface enquanto o usuário segue um caminho previamente planejado (NIELSEN, 1993).

3.5.3.3 Baixa VS. Alta Fidelidade

Como síntese dos conteúdos expostos, conclui-se que embora limitados de alguma forma, todos os tipos de protótipos apresentados são úteis em algum momento do ciclo de desenvolvimento, dependendo do objetivo pretendido e dos recursos disponíveis. Assim, visando comparar as características entre protótipos de Baixa Vs. Alta fidelidade, na Tabela 2, são apresentadas suas vantagens e desvantagens relativas.

Tabela 2 - Eficácia relativa para aplicação de recursos em protótipos de Baixa VS. Alta fidelidade

Tipo de Protótipo	Vantagem	Desvantagem
Baixa-Fidelidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo mais baixo de desenvolvimento; ▪ Avalia múltiplos conceitos de design; ▪ Instrumento de comunicação útil; ▪ Aborda questões de leiaute de tela; ▪ Útil para identificação de requisitos de mercado; ▪ <i>Proof-of-concept</i> (demonstrações de que o conceito funciona). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificação limitada de erros; ▪ Especificação pobre em detalhe para codificação; ▪ Uso conduzido pelo facilitador; ▪ Utilidade limitada após estabelecimento dos requisitos; ▪ Utilidade limitada para testes de usabilidade; ▪ Limitações de fluxo e navegação.
Alta-Fidelidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funcionalidade completa; ▪ Totalmente interativo; ▪ Uso conduzido pelo usuário; ▪ Define claramente o esquema de navegação; ▪ Uso para exploração e teste; ▪ Mesmo <i>look and feel</i> do produto final; ▪ Serve como uma especificação viva; ▪ Ferramenta de venda e marketing. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento mais caro; ▪ Sua criação demanda tempo; ▪ Ineficiente para designs <i>proof-of-concept</i> (demonstrações de que o conceito funciona); ▪ Não serve para coleta de requisitos.

Fonte: (RUDD, STERN, & ISENSEE, 1996).

3.5.4 Etapa 4 - Avaliação de usabilidade

As avaliações de usabilidade para sistemas interativos geralmente são constituídas por um conjunto de tarefas nas quais os usuários devem resolver problemas, tais como criar e imprimir um documento ou produzir e enviar um correio eletrônico. Com as tarefas apropriadas para a avaliação, os pesquisadores podem medir a usabilidade, tanto por meio

de variáveis objetivas quanto subjetivas. A definição entre quais medidas são mais adequadas depende do propósito da avaliação (LEWIS, 1993).

Assim, em função dos objetivos globais ou específicos que se pretendem avaliar, são utilizados diferentes critérios para especificar ou medir usabilidade. Exemplos de critérios para se obter dados mensuráveis e verificáveis, referentes a atributos desejáveis em produtos são apresentados no ANEXO B – Exemplos de medidas para usabilidade.

Após a identificação dos objetivos devem-se determinar os resultados pretendidos para eficácia, eficiência e satisfação, os quais serão utilizados como parâmetros em relação aos resultados decorrentes do uso. Entretanto, recomenda-se, ainda, que o contexto de uso e seus componentes sejam definidos, incluindo usuários, tarefas, equipamento e ambiente, pois um produto pode apresentar medidas de usabilidade diferentes quando usado em diferentes contextos (ABNT NBR ISO 9241-11, 2011).

A definição dos objetivos de usabilidade constitui a fase inicial de um paradigma de avaliação conhecido como Testes de Usabilidade, o qual envolve, na seqüência, a avaliação do desempenho de usuários típicos durante a realização de tarefas em condições controladas. O objetivo é obter dados a fim de mostrar em que medida um produto ou sistema é usável em relação às metas de usabilidade. Os Testes de Usabilidade são considerados fundamentais, pois fornecem informações diretas sobre como as pessoas usam um produto e que seus problemas são especificamente com a interface que está sendo testada (NIELSEN, 1993).

Entretanto, outros métodos de avaliação podem servir para coletar informações adicionais ou para obter *insights* de usabilidade. Preece, Rogers e Sharp (2005) descrevem, além dos testes de usabilidade, outros três paradigmas de avaliação, a saber: avaliações rápidas e sujas; estudos de campo e avaliação preditiva. Na Tabela 3 são apresentadas as principais características referentes aos testes de usabilidade, devido à sua importância em relação ao presente trabalho, contudo, as informações referentes aos demais paradigmas de avaliação podem ser encontradas no ANEXO C – Características dos diferentes paradigmas de avaliação.

Tabela 3 - Características dos testes de usabilidade

Paradigma de avaliação	Testes de usabilidade
Papel dos usuários	Realizar um conjunto de tarefas
Quem controla	Muito controle dos avaliadores
Local	Laboratório
Quando é utilizado	Com um protótipo ou produto
Tipo de dados	Quantitativos; Algumas vezes, validados estatisticamente; As opiniões dos usuários são coletadas por meio de questionários ou entrevistas
Como retornam para o design	Relatório de desempenho, erros, etc.; As descobertas fornecem um parâmetro para as versões futuras.
Filosofia	Abordagem aplicada, baseada em experimentação, isto é, engenharia de usabilidade.

Fonte: Adaptado de (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005) p. 364

Por fim, os dados obtidos com a avaliação de usabilidade podem ser apresentados tanto na forma de relatório de desempenho, erros, reclamações etc., quanto, na forma de uma especificação de usabilidade contendo os problemas encontrados e/ou sugestões de soluções. Dessa forma, os desenvolvedores podem encerrar o ciclo de desenvolvimento ao confirmar os resultados esperados, ou utilizar as informações apresentadas como guias para realizar mudanças no design, ou ainda, como parâmetros para avaliar futuras versões do produto.

No capítulo seguinte será apresentada a metodologia geral aplicada no desenvolvimento deste trabalho acadêmico, sendo apresentado, inicialmente, o método adotado no desenvolvimento da pesquisa científica e, em seguida, os métodos específicos relacionados a produção do objeto de estudo.

4 METODOLOGIA GERAL

Neste item, é apresentado o percurso metodológico geral do trabalho, abrangendo o método de abordagem, o método de procedimento, a caracterização do estudo; a definição de termos relevantes para a pesquisa; a construção do referencial teórico; as etapas da pesquisa; a delimitação do universo e amostra; os métodos e técnicas aplicadas no desenvolvimento do objeto de estudo; os instrumentos e as técnicas de coleta de dados; assim como a sistematização dos dados e o tratamento estatístico.

4.1 MÉTODO DE ABORDAGEM

4.1.1 Método Hipotético-Dedutivo

De acordo com Lakatos & Marconi (2010), o método hipotético-dedutivo se caracteriza por uma abordagem dos fenômenos da natureza e da sociedade em um nível de abstração mais elevado, iniciando pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca da qual formulam-se hipóteses e, assim, busca-se pelo processo de inferência dedutiva, testar a predição da ocorrência dos fenômenos abrangidos pela hipótese elaborada. Ainda, para Souza et al. (1976, p. 80) o método hipotético-dedutivo compreende as seguintes etapas:

- Formulação da(s) hipótese(s), a partir de um fato-problema;
- Inferência das conseqüências preditivas da(s) hipótese(s);
- Teste das conseqüências preditivas, por meio da experimentação, a fim de confirmar ou refutar a(s) hipótese(s).

Assim, no presente estudo, a abordagem adotada foi baseada em um argumento condicional do tipo "afirmação do antecedente", dessa forma a conclusão (C1) foi formada pelas seguintes premissas (P):

- P1) Se forem aplicados conhecimentos, métodos e técnicas de engenharia de usabilidade no desenvolvimento de um sistema interativo, logo o sistema resultante apresentará boa usabilidade
- P2) Serão aplicados conhecimentos, métodos e técnicas de engenharia de usabilidade no desenvolvimento de um sistema interativo

- C1) Logo, o sistema interativo desenvolvido apresentará boa usabilidade

A interpretação dos argumentos dedutivos advém a partir das seguintes características básicas:

- Se todas as premissas são verdadeiras, a conclusão deve ser verdadeira.
- Toda a informação ou conteúdo fatural da conclusão já estava, pelo menos implicitamente, nas premissas.

Dessa forma, considerou-se, o método hipotético-dedutivo por este ser condizente com os princípios da engenharia de usabilidade, ou seja, ser fundamentado na construção de hipóteses (soluções de design) que devem ser submetidas a testes experimentais.

4.2 MÉTODOS DE PROCEDIMENTO

4.2.1 Caracterização do estudo

Inicialmente, este estudo buscou uma solução metodológica para a necessidade de incorporar fatores ergonômicos e de usabilidade no desenvolvimento de uma IHM para um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem automatizada. Assim, em função das características da pesquisa adotou-se uma abordagem participativa tendo em vista a necessidade de atuação ativa do pesquisador na busca e desenvolvimento das soluções para o problema. Sendo assim, o trabalho pode ser classificado de acordo com Thiollent, (1996) apud Ilda, (2007) como uma Pesquisa-Ação, por tratar-se de um método em que os pesquisadores e os participantes da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo, tanto no equacionamento do problema, quanto no desenvolvimento das ações que levem a sua solução.

Além disso, a presente pesquisa pode ser classificada, de acordo com sua natureza, como qualitativa em relação à forma como as características do objeto de estudo foram medidas (GODOY, 1995). Ainda, ao utilizar técnicas para revelar as relações entre os elementos do objeto de estudo a investigação pode ser definida como descritiva. E, por fim, considerando-se a estratégia adotada para estudar um fenômeno atual dentro de seu contexto pode-se classificar o trabalho como sendo um estudo de caso (YIN, 1981).

4.2.2 Construção do referencial teórico

Para construção de um referencial teórico que suportasse as áreas de ergonomia, usabilidade e Interação Homem-Máquina foi realizada uma pesquisa bibliográfica incluindo documentos oficiais, anais de congressos, periódicos científicos, bases de dados eletrônicas, livros, dissertações e teses, que abordavam os seguintes tópicos: equipamentos de soldagem robotizada, trabalho do soldador, projeto ergonômico, design de interação e usabilidade.

4.3 ETAPAS DA PESQUISA

Diferente da concepção convencional de pesquisa, que normalmente requer grande quantidade de análises estatísticas, este estudo foi fundamentado na análise qualitativa dos resultados gerados em cada etapa de desenvolvimento. Sendo assim, buscou-se priorizar a seqüência metodológica aplicada, bem como, os fatores ergonômicos, os componentes de usabilidade e as técnicas específicas aplicadas em cada etapa.

Fundamentalmente, o processo de desenvolvimento da IHM foi guiado pelo modelo de projeto centrado no usuário proposto na norma ABNT NBR ISO 9241-210 (2011). Assim, a estrutura adotada pode ser dividida em quatro etapas: (1) Análise do contexto de operação, (2) Especificação das exigências, (3) Produção de soluções e, (4) Avaliação do produto em relação às exigências. Na Tabela 4 são apresentados os fatores considerados e métodos aplicados em cada etapa do processo de desenvolvimento da IHM.

Tabela 4 - Fatores abordados e métodos aplicados no desenvolvimento da IHM

Etapa	Elementos	Métodos aplicados	Fatores abordados
Análise do contexto de operação	Usuários	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Questionário ▪ Análise de perfil dos usuários 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Idade ▪ Gênero ▪ Nível de instrução ▪ Experiência em atividades de soldagem ▪ Habilidade e conhecimento no uso de sistemas automatizados para soldagem ▪ Habilidade e conhecimento em informática
	Tarefas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Casos de uso ▪ Análise do fluxo de execução das tarefas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exemplos de operação passo-a-passo ▪ Ambiente de trabalho
	Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudo detalhado do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informações gerais do sistema ▪ Principais áreas de aplicação ▪ Funções principais ▪ Unidade mecânica ▪ Unidade lógica ▪ Dispositivo de interação homem-máquina
Especificação das exigências	Metas de usabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reuniões com membros da equipe de desenvolvimento⁽¹⁾ ▪ Questionário destinado aos usuários 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produtividade ▪ Prevenção de erros ▪ Satisfação ▪ Aprendizado ▪ Retenção-memória ▪ Uso intuitivo

Produção de soluções	Arquitetura de informação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reuniões com membros da equipe de desenvolvimento⁽¹⁾ ▪ Análise hierárquica de tarefas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluxograma geral das atividades suportadas pelo sistema ▪ Estrutura funcional do sistema
	Design ergonômico da interface	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Design centrado no usuário ▪ Prototipagem de alta fidelidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Suporte físico da IHM ▪ Display gráfico ▪ Cores ▪ Tipografia ▪ Estruturas de menus ▪ Ícones ▪ Janelas ▪ <i>Layout</i> das telas ▪ Arranjos das informações ▪ Carga cognitiva ▪ Condução e orientação do usuário dentro do sistema
Avaliação do produto em relação às exigências	Medidas de eficácia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teste de usabilidade ▪ Ensaio de interação ▪ <i>Checklist</i> ▪ Tabulação dos dados ▪ Sistematização e análise estatística dos dados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de objetivos alcançados ▪ Taxa de conclusão ▪ Taxa de conclusão sem erros ou correções ▪ Eficácia relativa comparada entre usuários com e sem experiência
	Medidas de eficiência	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Checklist</i> ▪ Sistematização e análise estatística dos dados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de tempo para completar cada tarefa ▪ Taxa média de conclusão por tempo

			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiência relativa comparada entre usuários com e sem experiência
	Medidas de satisfação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Questionários de satisfação ▪ Sistematização e análise estatística dos dados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação ▪ Escala para satisfação com características importantes ▪ Comentários adicionais ▪ Frequência de reclamações

Nota 1: A equipe de desenvolvimento do sistema robótico era composta por aproximadamente doze integrantes, que reuniam competências e perspectivas multidisciplinares, entre as quais: professores doutores, engenheiros mecânicos, tecnólogos da área da automação e mecatrônica, designer de interação, graduandos em eng. elétrica e eng. de automação, técnicos em mecânica e elétrica entre outros.

A seguir serão abordadas, de maneira resumida, cada etapa do processo de desenvolvimento da IHM, estes tópicos serão retomados com mais informações nos capítulos seguintes.

Análise do contexto de operação: na etapa de análise do contexto de operação buscou-se compreender as necessidades, tanto dos usuários quanto da equipe projetistas do equipamento, para isso adotou-se uma metodologia que privilegia o uso do sistema e o desempenho do usuário na realização de tarefas conhecido como *Usage-Centered Design* (CONSTANTINE & LOCKWOOD, 1999). Dessa forma, foram abordados três elementos fundamentais para determinar o contexto de uso: usuários, equipamentos e tarefas. Assim, as decisões de projeto foram estabelecidas em reuniões entre os membros da equipe de desenvolvimento, e fundamentadas em análises objetivas dos casos de uso e tarefas suportadas pelo equipamento.

Especificação das exigências: essa etapa iniciou com a pesquisa de informações técnicas na literatura especializada. Dessa forma, foram selecionados seis fatores de usabilidade como possíveis metas para o design da IHM, sendo eles: Produtividade, Prevenção de erros, Satisfação, Aprendizado, Retenção-memória e Uso intuitivo. Em seguida, esses fatores foram analisados em reuniões com a equipe de desenvolvimento para determinar os fatores que eles consideravam

fundamentais. Além disso, alguns representantes dos usuários finais do sistema foram consultados por meio de formulários para determinar a ordem de importância atribuída por eles a cada um dos seis fatores, sendo assim estabelecidas as prioridades em relação aos fatores de usabilidade do projeto da IHM.

Produção de soluções: na etapa de produção das soluções de design foi necessário que se adotassem técnicas flexíveis para conciliar a construção da IHM à dinâmica de desenvolvimento do equipamento, que incluía além do sistema de interação H-M os componentes mecânicos (*hardware*), lógicos (*software*) e organizacionais (*orgware*).

Avaliação do produto em relação às exigências: para avaliar a IHM em relação às exigências, as medidas de usabilidade do equipamento Tartilope V4 foram obtidas a partir de testes de interação fundamentados em cenários de uso. Esta etapa envolveu a construção de uma bancada experimental, a definição dos procedimentos metodológicos, a seleção de ferramentas padronizadas para avaliação, bem como a seleção da amostra de participantes e dos critérios para análise dos resultados obtidos.

Na presente pesquisa, 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 como 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 foram obtidos por meio de variáveis como o tempo necessário para concluir as tarefas e o número de erros cometidos. Além disso, foram observados e classificados as reclamações e os problemas mais frequentes que os participantes encontraram ao realizar as tarefas propostas.

4.4 PROCEDIMENTOS DO TESTE DE USABILIDADE

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 pesquisador 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, para se compor o perfil da amostra foi solicitado ao participante que completasse um formulário com informações pessoais.

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 pesquisador acompanhou o desempenho do participante com o auxílio de um *checklist*, dessa forma, ele verificava a correta realização de cada objetivo 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 assistência ao pesquisador, caso desejasse. A assistência foi definida como uma ajuda verbal dada 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 pesquisador verificou se o mesmo já havia tentado localizar a informação 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 pesquisador 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 aos 19 itens que abordavam características gerais da usabilidade do equipamento. E,

após a conclusão do questionário, o pesquisador verificou as respostas, nas quais o participante havia fornecido comentários adicionais, para saber mais informações.

4.5 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, os pontos de início e fim da trajetória, etc. Na Tabela 5 são apresentadas as especificações fornecidas para cada um dos quatro cenários: (01) Preparar o equipamento para uso, (02) Executar uma trajetória orbital 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.

Tabela 5 – Especificações fornecidas para realização das tarefas do teste de usabilidade

Cenário	Tarefa	Instruções da tarefa	Suporte
Preparar o equipamento para uso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conectar corretamente: tocha de soldagem, controle de parada de emergência, monitor e manipulador ▪ Ligar o sistema 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciar com o equipamento desconectado e desligado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nenhum suporte ou ferramenta serão fornecidos
Executar trajetória orbital simples	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a sequência passo-a-passo para realizar a tarefa; ▪ Gabarito para

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sentido da soldagem: +; ▪ Tempo de disparo da fonte: 0 s de espera. 	ajuste de distâncias DBCP*.
Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carregar arquivo v4_teste_02.txt ▪ Simular a execução de uma soldagem no trecho determinado, iniciando em A-02 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciar com a tocha posicionada no ponto marcado como Início; ▪ Utilizar os seguintes valores: ▪ Arquivo v4_teste_02.txt; ▪ Endereço do arquivo: C:\Desktop 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a sequencia passo-a-passo para realizar a tarefa
Programar e executar uma trajetória complexa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Simular a execução de uma soldagem com tecimento triangular no trecho determinado, iniciando no ponto A-03, passando pelos 2 pontos intermediários e terminando no ponto B-03 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foi fornecido um tutorial impresso com imagens das telas e a sequencia passo-a-passo para realizar a tarefa; ▪ Gabarito para ajuste de distâncias DBCP*.

* Distâncias DBPC: é a distância entre o bico de contato da tocha de soldagem e a peça a ser soldada.

4.6 INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada entre os dias 23 e 28 de setembro de 2009, e iniciou com a obtenção de informações pessoais dos participantes da pesquisa por meio do preenchimento de um formulário padronizado (APÊNDICE A – Termo de Consentimento).

Em seguida, 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, o primeiro é apresentado no APÊNDICE E – Questionário Após-Cenário e foi adaptado do *After-Scenario Questionnaire* (ASQ) (LEWIS, 1991), já o segundo é apresentado no APÊNDICE F – Questionário Pós-Teste de Usabilidade e foi adaptado do *Post-Study System Usability Questionnaire* (PSSUQ) (LEWIS, 1993). Estes questionários são amplamente utilizados para medir a satisfação do usuário com produtos interativos, especialmente por fornecerem medidas padronizadas, além disso, neste trabalho, eles foram aplicados por possuírem propriedades psicométricas válidas e adequadas para os testes de usabilidade (LEWIS, 2002).

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. 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. Na Tabela 6 são apresentados alguns itens do questionário.

Tabela 6 - Principais de itens abordados no questionário Pós-Teste de Usabilidade

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	

Fonte: Adaptado do PSSUQ (LEWIS, 1993)

Ainda, com a finalidade de verificar a eficiência e eficácia durante o processo de interação foram avaliados os desempenhos dos usuários durante a realização de cada tarefa específica. Assim, os dados foram coletados por meio da medição (com um cronômetro) dos tempos gastos para completar as tarefas e pelo número de objetivos atingidos em cada uma delas (ver APÊNDICE C – *Checklist* para avaliação dos objetivos atingidos durante a execução das tarefas).

Por fim, como material de apoio, foi fornecido aos participantes um manual de operação contendo instruções, na forma de tutorial passo-a-passo, para execução de cada tarefa proposta no teste de usabilidade (ver APÊNDICE D – Manual de operação do equipamento).

4.7 DELIMITAÇÃO DO UNIVERSO

O universo da pesquisa é formado por estudantes de cursos técnicos, graduação e pós-graduação em áreas tecnológicas que utilizam sistemas robóticos para realizar atividades de pesquisa e desenvolvimento na área de soldagem.

4.8 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Devido às características desta pesquisa-ação, optou-se pela realização dos testes de interação em laboratório para garantir as mesmas condições para todos os usuários. Sendo assim, os participantes da fase de avaliação de usabilidade 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 proporcional estratificada¹⁰, 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 consideradas para seleção 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 frequência 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 frequentemente (com intervalo inferior a 48h).

¹⁰ Amostragem proporcional estratificada – feita de acordo com uma classificação prévia dos sujeitos e certas características que podem influir nos resultados, considerando a proporcionalidade do aparecimento dessas características na população – ex.: sexo, grau de instrução e experiência no uso de equipamentos similares.

4.9 PROCEDIMENTOS ÉTICOS DA PESQUISA

Na presente pesquisa foram empregados esforços para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir com o desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Portanto, todos os participantes foram voluntários, estando cientes dos objetivos do estudo e tendo garantida a total liberdade para questionar, interromper ou abandonar o teste de usabilidade se assim o quisessem.

O propósito do Termo de Consentimento (APÊNDICE A – Termo de Consentimento)¹¹ era esclarecer os objetivos da pesquisa e informar aos participantes sobre o uso dos dados obtidos. Assim, o documento certificava aos voluntários que seus dados pessoais não seriam publicados e que os dados de desempenho seriam utilizados apenas para os propósitos especificados. Dessa forma, para preservar a segurança das informações, nenhum dos documentos da pesquisa continha o nome do participante, apenas uma identificação numérica para que fosse possível a tabulação dos dados.

4.10 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

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 no uso de equipamentos automatizados para soldagem. Também foram aplicadas funções estatísticas que incluíram: média, desvio-padrão, valores máximos e mínimos.

Além disso, para o tratamento descritivo das questões abertas, utilizou-se a análise de informações por meio da transcrição dos dados obtidos que foram posteriormente categorizados em temas (RICHARDSON, 1999) mais frequentes.

¹¹ Adaptado de COGDILL, K. MEDLINEplus Interface Evaluation: Final Report. College Park, MD: College of Information Studies, University of Maryland. 1999

4.11 CONCEITOS OPERACIONAIS E INDICADORES

4.11.1 Modelo de análise

A presente dissertação utilizou como definição do modelo de análise:

O modelo de análise é o prolongamento natural da problemática, articulando de forma operacional os marcos e as pistas que serão finalmente retidos para orientar o trabalho de observação e de análise. É composto por conceitos e hipóteses estreitamente articulados entre si para, em conjunto, formarem um quadro de análise coerente (QUIVY & CAMPENHOUDT, 1992, p. 151).

4.11.2 Definição das variáveis e indicadores

A definição das variáveis objetivou a relação da pergunta de partida com os objetivos específicos. Portanto, elas foram selecionadas em função do método de desenvolvimento adotado, e, tendo em vista os objetivos definidos na fase de especificação das exigências. As variáveis apresentadas nas tabelas abaixo sintetizam os componentes de usabilidade abordados na etapa de avaliação do sistema interativo.

Tabela 7 - Variáveis relacionadas às características dos perfis dos participantes, suas definições e indicadores.

Variáveis	Definição	Indicadores
Experiência em atividades de soldagem	Nível de conhecimentos em atividades envolvendo soldagem.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Com experiência em soldagem manual ▪ Com experiência em soldagem utilizando sistemas automatizados ▪ Sem experiência (novatos nessa área)
Experiência no uso de sistemas automatizados para soldagem	Nível de conhecimentos em atividades envolvendo soldagem automatizada.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Com experiência no uso de sistemas robotizados e/ou com versões anteriores do equipamento avaliado ▪ Sem experiência anterior
Experiência no uso de sistemas informatizados	Nível de conhecimento em informática e frequência de uso declarado pelos participantes.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso intermitente (com intervalos entre os períodos de uso desiguais e/ou superiores à 48h) ▪ Uso frequentemente (com intervalo inferior à 48h) ▪ Sem experiência (novatos nessa área)

Tabela 8 - Variáveis empregadas para determinar a usabilidade do sistema interativo, suas definições e indicadores.

Variáveis	Definição	Indicadores
Eficácia	Acurácia e completude com as quais usuários alcançam objetivos específicos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de objetivos alcançados; ▪ Taxa de conclusão; ▪ Taxa de conclusão sem erros ou correções; ▪ Eficácia relativa entre usuários com e sem experiência. ▪ Porcentagem de tarefas completadas com sucesso na primeira tentativa ▪ Número de funções aprendidas;
Eficiência	Recursos gastos em relação à acurácia e abrangência com as quais usuários atingem objetivos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de tempo para completar cada tarefa; ▪ Taxa média de conclusão/Tempo; ▪ Eficiência relativa entre usuários com e sem experiência. ▪ Tempo gasto na primeira tentativa; ▪ Eficiência relativa na primeira tentativa ▪ Eficiência relativa durante o aprendizado
Satisfação	Ausência do desconforto e presença de atitudes positivas para com o uso de um produto.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação para características gerais do sistema; ▪ Reclamações frequentes; ▪ Escala de satisfação para facilidade de uso; ▪ Escala de satisfação para facilidade de uso.

Tabela 9 - Variáveis empregadas para determinar a satisfação do usuário ao executar as tarefas propostas, suas definições e indicadores.

Variáveis	Definição	Indicadores
Tempo para completar a tarefa	Indica a opinião do participante em relação ao tempo necessário para completar cada tarefa.	1 = Aceitável como está – menos tempo do que o esperado 2 = Aceitável como está – aproximadamente bom 3 = Necessita de pequenas melhorias 4 = Necessita de melhorias moderadas 5 = Necessita de muitas melhorias - = Impossível avaliar --- Comentários
Facilidade de execução da tarefa	Indica a opinião do participante em relação a facilidade de execução de cada tarefa.	1 = Aceitável como está - muito fácil 2 = Aceitável como está - fácil 3 = Necessita de pequenas melhorias 4 = Necessita de melhorias moderadas 5 = Necessita de muitas melhorias - = Impossível avaliar --- Comentários
Instruções e/ou material de apoio fornecido	Indica a opinião do participante em relação as instruções e/ou material de apoio fornecido para cada tarefa.	1 = Aceitável como está - muito satisfeito 2 = Aceitável como está - satisfeito 3 = Necessita de pequenas melhorias 4 = Necessita de melhorias moderadas 5 = Necessita de muitas melhorias - = Impossível avaliar --- Comentários

Tabela 10 - Variáveis empregadas para determinar a satisfação dos usuários com a usabilidade da IHM, suas definições e indicadores.

Variáveis	Definição	Indicadores
Satisfação geral	Indica a opinião do participante em relação a satisfação geral com a usabilidade do sistema interativo. O valor final é obtido por meio da média das respostas fornecidas no questionário Pós-Teste de Usabilidade.	Valores atribuídos pelos participantes nos itens 1 a 19.
Utilidade do sistema	Indica a opinião do participante em relação a utilidade do sistema interativo. O valor é obtido por meio da média das respostas fornecidas para itens específicos do questionário Pós-Teste de Usabilidade.	Valores atribuídos pelos participantes nos itens 1 a 8.
Qualidade das informações	Indica a opinião do participante em relação a qualidade das informações fornecidas pelo sistema interativo. O valor é obtido por meio da média das respostas fornecidas para itens específicos do questionário Pós-Teste de Usabilidade.	Valores atribuídos pelos participantes nos itens 9 a 15.
Qualidade da interface	Indica a opinião do participante em relação a utilidade do sistema interativo. O valor é obtido por meio da média das respostas fornecidas para itens específicos do questionário Pós-Teste de Usabilidade.	Valores atribuídos pelos participantes nos itens 16 a 19.

4.12 DEFINIÇÃO DOS TERMOS RELEVANTES PARA A PESQUISA

Para melhor compreensão do presente estudo, a seguir são apresentadas as definições dos principais termos utilizados (ABNT NBR ISO 9241-11, 2011) p.3.

- a) **Contexto de uso:** Usuários, tarefas, equipamento (hardware, software e materiais), e o ambiente físico e social no qual um produto é usado.
- b) **Eficácia:** Acurácia e completude com as quais usuários alcançam objetivos específicos.

- c) **Eficiência:** Recursos gastos em relação à acurácia e abrangência com as quais usuários atingem objetivos.
- d) **Medida** (substantivo): Valor resultante da medição e o processo usado para obter tal valor.
- e) **Objetivo:** Resultado pretendido.
- f) **Produto:** Parte do equipamento (hardware, software e materiais) para o qual a usabilidade é especificada ou avaliada.
- g) **Satisfação:** Ausência do desconforto e presença de atitudes positivas para com o uso de um produto.
- h) **Sistema interativo:** combinação de componentes de hardware e software que recebem dados de entrada e comunicam as saídas ao usuário humano, a fim de auxiliar seu desempenho durante a execução de uma tarefa.
NOTA: O termo "sistema" é usado frequentemente no lugar de "sistema interativo".
- i) **Sistema de trabalho:** Sistema, composto de usuários, equipamento, tarefas e o ambiente físico e social, com o propósito de alcançar objetivos específicos.
- j) **Tarefa:** Conjunto de ações necessárias para alcançar um objetivo.
- k) **Usabilidade:** Medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso.
- l) **Usuário:** Pessoa que interage com o produto.
- m) **Produtividade:** Capacidade do produto de software de permitir que seus usuários empreguem quantidade apropriada de recursos em relação à eficácia obtida, em um contexto de uso especificado. (NBR ISO-IEC 9126-1, 2003)

5 APLICAÇÃO DA TEORIA DE BASE

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da IHM. Evidenciando e justificando as ações adotadas nas etapas de identificação de requisitos, design da interface e implementação de um protótipo interativo.

5.1 INTRODUÇÃO

O presente estudo abordou a aplicação de métodos e técnicas de engenharia de usabilidade no desenvolvimento de uma IHM para o Tartilope V4, tendo por objetivo promover melhorias no desempenho global do sistema produtivo e na satisfação do operador. Contudo, de acordo com IIDA (2007), a adequação de sistemas robóticos ao operador humano apresenta muitos desafios, pois o problema da adaptação do trabalho ao homem nem sempre tem uma solução trivial, que possa ser resolvido na primeira tentativa. Ao contrário, geralmente é um problema complexo, com diversas idas e vindas, para o qual não existe resposta pronta.

Entretanto, a partir da pesquisa bibliográfica realizada foi possível reunir uma grande quantidade de informações técnicas, científicas e orientações metodológicas para o desenvolvimento de sistemas interativos. Então, tendo como base, os conhecimentos obtidos na literatura especializada e muito entusiasmo para aplicar estes conhecimentos, partiu-se para o desenvolvimento da IHM.

É importante ressaltar, ainda, que em uma situação ideal envolvendo o projeto de uma máquina, sistema ou posto de trabalho os princípios ergonômicos e de usabilidade deveriam ser aplicados desde as etapas iniciais até a conclusão, de modo que, as características do usuário sejam consideradas conjuntamente com as características funcionais, organizacionais e ambientais, para que se ajustassem mutuamente umas às outras. Porém, neste trabalho, por tratar-se de em uma situação real, buscou-se aplicar os conhecimentos teóricos da melhor forma possível, dentro das restrições existentes, mesmo não sendo a alternativa ideal ou desejada.

5.1.1 Histórico e Contextualização do Desenvolvimento da IHM

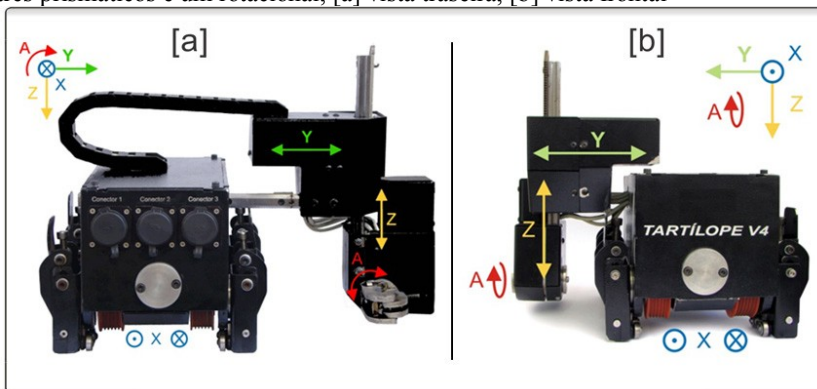
Mundialmente, o que se verifica é a pequena variedade de fabricantes de equipamentos robustos e compactos destinados a soldagem em campo. Sendo assim, o LABSOLDA realiza pesquisas que

buscam fornecer ao mercado produtos de qualidade e com avançada tecnologia. O primeiro dispositivo desenvolvido possuía um grau de liberdade e a finalidade de controlar a velocidade de deslocamento durante a trajetória de soldagem. Tal equipamento foi denominado de SDP. Entretanto, este apresentava muitas limitações, em geral, relacionadas com a estrutura mecânica (BROERING, 2005).

Visando solucionar os problemas do SDP, foi desenvolvido um novo equipamento, Tartilope V1, com uma concepção mecânica completamente nova, mas manteve-se basicamente a mesma unidade de controle. Com os conhecimentos adquiridos, tanto no SDP, quanto no Tartilope V1, o LABSOLDA iniciou a pesquisa de um sistema de deslocamento com dois graus de liberdade o Tartilope V2. O objetivo de tal desenvolvimento era a realização de soldas utilizando o movimento de tecimento, aliado a um sistema de seguimento de junta (BROERING, 2005; FILHO, 2003).

Atualmente, busca-se desenvolver equipamentos especificamente para a soldagem em campo, e estes manipuladores necessitam de uma concepção mecânica diferenciada com requisitos de robustez, facilidade de transporte e instalação. Contudo, a maioria dos equipamentos voltados a uma determinada aplicação não apresentam flexibilidade de adaptação a outras tarefas além daquela para a qual foram projetados. Assim, para suprir essa necessidade, foi desenvolvido no LABSOLDA um manipulador robótico versátil (Figura 12) que poderá ser facilmente adaptado com pequenas mudanças mecânicas para a realização de diferentes tarefas de soldagem (CARVALHO, 2009).

Figura 12 - Tartilope V4, manipulador robótico com quatro graus de liberdade, três prismáticos e um rotacional, [a] vista traseira, [b] vista frontal



Fonte: (LABSOLDA, 2009)

5.2 DESENVOLVIMENTO DA IHM

5.2.1 Análise do Contexto de Operação

No sistema homem-máquina-ambiente em estudo, o homem recebe informações do equipamento por meio da interface gráfica que exhibe o estado do trabalho e a programação por ele configurada, também por meio dos ruídos emitidos pelos motores e pelas características do processo de soldagem. Ainda, recebe informações do ambiente como temperatura, iluminação, ruídos e eventos que estejam ocorrendo nas proximidades do seu local de trabalho. Além disso, o homem pode receber instruções como o trajeto que o equipamento deve executar, a velocidade de deslocamento e os demais parâmetros de soldagem, um exemplo deste sistema de interação pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Equipamento de soldagem automatizada instalado no interior de uma caldeira de termelétrica, [a] operador configurando o equipamento, [b] ambiente de trabalho



Com todas essas informações, ele opera o equipamento atuando nos dispositivos disponíveis na interface de controle como botões, menus e campos de entrada de dados. Finalmente, a saída ou produto do sistema é o deslocamento do manipulador, que executa uma determinada trajetória. Durante a execução da tarefa, ele recebe continuamente as

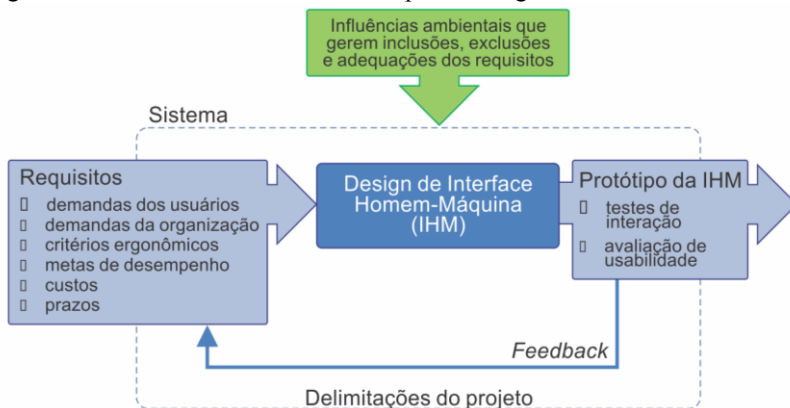
informações do equipamento e do ambiente, podendo assim executar ajustes no sistema até concluir a tarefa.

5.2.2 Método de Desenvolvimento da Interface

O método aplicado para o desenvolvimento da interface do manipulador robótico apresenta uma abordagem que visa atender as necessidades tanto dos usuários quanto da performance do equipamento. Para isso, buscou-se uma estrutura mista que utilizasse tanto procedimentos centrados no uso, quanto no usuário, deste modo foi adotada uma abordagem de natureza sistêmica. Entendendo-se por sistema, o conjunto de elementos interdependentes e interagentes que formam um todo organizado, e que concorrem para o alcance de objetivos (PACHECO JÚNIOR, PEREIRA FILHO, & PEREIRA, 2007).

Assim, no sistema adotado (Figura 14), o processo de design de interfaces HM, demanda, inicialmente, a análise dos requisitos tanto dos usuários quanto do projeto; envolve a concepção de soluções e, resulta na especificação e prototipação da IHM. Então, após a implementação da interface, é realizada a avaliação do protótipo por meio de testes interativos. E por fim, comparando-se os resultados obtidos com requisitos predeterminados. Além disso, a partir de fatores externos ao sistema de design podem ser geradas novas inclusões, exclusões ou adequações nos requisitos do projeto. As fronteiras do sistema correspondem às delimitações na abrangência do projeto.

Figura 14 - Estrutura do sistema adotado para o design da IHM



De acordo com Shneiderman (2005), os métodos de concepção que permitem os primeiros testes em protótipos de baixa-fidelidade, revisões com base no *feedback*, e refinamentos sugeridos por testes de usabilidade são catalisadores para sistemas de alta qualidade (SHNEIDERMAN & PLAISANT, 2005).

Sendo assim, o método adotado no desenvolvimento da interface foi baseado em prototipação. Dessa forma, partindo-se dos requisitos do projeto, foram produzidas soluções de baixa-fidelidade (imagens e esboços das telas), as quais, foram revisadas e modificadas com base no *feedback* da equipe de desenvolvimento. Esse processo foi repetido até que se chegasse a uma concepção de design considerado satisfatório. E, com a especificação do design da IHM foi produzido um protótipo funcional de alta-fidelidade, o qual foi submetido à avaliação dos usuários nos testes de usabilidade.

Enfim, este método resultou em uma seqüência lógica de etapas. Assim, as soluções de design, a partir do qual a IHM evoluiu, foram produzidas seguindo a seguinte estrutura de atividades:

1. Especificação do contexto de uso para o qual a interface será desenvolvida;
2. Especificação dos requisitos, em termos de usabilidade, que a interface deverá alcançar;
3. Definição da arquitetura de informação do sistema;
4. Elaboração do projeto da interface;
5. Especificação das guias de design
6. Produção de um protótipo funcional da IHM

Estas atividades adotadas no desenvolvimento da IHM, assim como, os procedimentos realizados e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

5.2.2.1 Especificação do contexto de uso

O estudo foi realizado em um contexto de uso composto basicamente por três subsistemas: o homem, a máquina e o ambiente (Figura 15). Esses subsistemas interagem continuamente entre si, com intensa troca de informações. Por esse motivo, buscou-se tornar essa troca de informações mais evidentes e perceptíveis, facilitando o processo de interação entre o homem e a máquina.

Figura 15 - Cenário representando o contexto de uso do sistema robótico



Para atuar neste contexto, o usuário precisa das informações fornecidas pela máquina que são captadas por meio dos órgãos sensoriais, principalmente visão, audição, tato e senso cinestésico, então, as informações são processadas no sistema nervoso central gerando uma decisão. Esta se converte em movimentos musculares que se manifestam na forma de comandos que transmitem uma nova informação a máquina. Por fim, a máquina gera uma reação atuando sobre o ambiente externo (IIDA, 2005).

A especificação detalhada do contexto de uso será apresentada a seguir e consiste em uma descrição das características dos usuários, dos equipamentos (hardware e software) e dos fatores ambientais. Assim, os principais atributos referentes aos elementos que compõem o contexto de uso foram analisados e tabulados de acordo com as características dos usuários (Tabela 11); os atributos do equipamento (Tabela 12) e os atributos do ambiente físico (Tabela 13).

Tabela 11 - Características dos usuários

Atributos	Requisitos
Habilidades e conhecimentos	
Nível de instrução e conhecimentos gerais	usuários especializados, como engenheiros, técnicos e soldadores, bem como usuários ocasionais e estudantes envolvidos com atividades de soldagem.
Experiência com sistemas semelhantes ao produto testado	uso de equipamentos automatizados que permitam a programação do deslocamento da tocha de soldagem
Conhecimento do sistema testado	não necessário
Experiência em atividades de soldagem	desejável mas não obrigatório
Conhecimentos em informática	uso básico do sistema operacional Windows para encontrar e abrir arquivos
Experiência nas tarefas	não necessário
Treinamento	não necessário
Habilidade no uso de teclado <i>touchscreen</i>	não necessário
Atributos Físicos	
Visão	visão normal (corrigida) para leitura de ajuda e outras informações no monitor
Destreza manual	uma das mãos com destreza normal (a IHM pode ser operada com uma das mãos)

Tabela 12 – Descrição dos atributos do equipamento

Descrição geral	O Tartilope - V4 é uma alternativa para soldagem de dutos e tubulações, ou para situações que necessitem de um equipamento compacto e versátil para todas as posições de soldagem. A flexibilidade do Tartilope V4 é assegurada, pois, além dos quatro eixos de liberdade (três prismáticos e um rotacional), o equipamento pode ser fixado sobre um trilho flexível que se adapta as superfícies curvas ou irregulares.
Principais áreas de aplicação	O produto está sendo desenvolvido como parte integrante de pesquisas que buscam soluções para soldagem nos setores petrolífero, petroquímico e energético, como por exemplo, na soldagem de tubos de caldeiras de termoelétricas, assim como, para atender a grande diversidade de aplicações de processos de soldagem na

	indústria naval.
Funções principais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Versatilidade para executar diferentes tarefas de soldagem; ▪ Realiza soldagem orbital para construção de linhas dutoviárias; ▪ Realiza soldagem simples ou com tecimento (trapezoidal, triangular e retangular). ▪ Possibilita a programação das variáveis para diversos processos de soldagem; ▪ Possibilita a programação das trajetórias de soldagem utilizando até quatro eixos para posicionamento e deslocamento da tocha; ▪ Executa soldagem pré-definida a partir de arquivo contendo os parâmetros e a trajetória.
Especificação Hardware	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O equipamento é constituído por uma unidade de controle CNC, um manipulador robótico, um monitor <i>touchscreen</i>, um trilho ou cinta para fixação e diversos cabos para efetuar as conexões entre os componentes. ▪ O TARTÍLOPE V4 é um manipulador robótico dedicado à soldagem e constituído por três juntas prismáticas e uma rotacional. Cada uma destas juntas tem função específica: ▪ Junta prismática X: realiza o deslocamento no sentido da soldagem com velocidade especificada; ▪ Junta prismática Y: responsável pelo seguimento e tecimento do cordão de solda; ▪ Junta prismática Z: ajuste da DBCP (distância entre o bico de contato da tocha e a peça de trabalho) ; ▪ Junta rotacional A: deslocamento angular em torno da junta prismática X ou Y, com o objetivo de definir o ângulo entre a tocha de soldagem e a superfície da peça a ser soldada.
Equipamentos de entrada de dados	O elemento que proporciona a entrada de dados no sistema é um monitor <i>touchscreen</i> com sete polegadas, o qual foi adaptado (com suporte e alça) para funcionar de forma estática, posicionado sobre uma superfície plana, ou móvel, podendo ser manipulado e deslocado de forma a acompanhar o usuário.
Software	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O equipamento é controlado pelo software Mach3 CNC da empresa Artsoft. ▪ A interface do usuário foi produzida com o software Adobe Flash e integrada ao Mach3. ▪ Atualmente, o sistema é executado sobre a plataforma operacional Microsoft Windows XP.

Tabela 13 – Descrição dos atributos dos cenários de uso

Cenário	01 Preparar o equipamento para uso	02 Executar trajetória orbital simples	03 Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida	04 Programar e executar uma trajetória complexa
Tarefa	Ver Tabela 5			
Instruções	Ver Tabela 5			
Suporte	Ver Tabela 5			
Frequência de execução	Baixa	Alta	Média	Baixa
Duração da tarefa	Aprox. 4 min.	Aprox. 3 min.	Aprox. 1 min.	Aprox. 5 min.
Demanda física e mental	Física: média Mental: baixa	Física: baixa Mental:média	Física: baixa Mental: baixa	Física: baixa Mental: alta
Resultado da tarefa	O equipamento está pronto para operar e aguardando instruções	O equipamento se movimenta conforme trajetória desejada simulando a execução da soldagem	O equipamento se movimenta conforme trajetória desejada simulando a execução da soldagem	O equipamento se movimenta conforme trajetória desejada simulando a execução da soldagem
Risco resultante de erro	Os riscos abrangem desde o não funcionamento momentâneo do equipamento por falha na instalação dos conectores, até a total inoperância do	Os riscos abrangem desde a impossibilidade de execução ou conclusão da tarefa, incluindo todos os problemas decorrentes da realização incorreta das	Os riscos abrangem desde a impossibilidade de execução ou conclusão da tarefa, incluindo todos os problemas decorrentes da realização incorreta das	Os riscos abrangem desde a impossibilidade de execução ou conclusão da tarefa, incluindo todos os problemas decorrentes da realização incorreta das

	sistema caso algum conector importante não tenha sido devidamente instalado ou, por falha no processo de inicialização do sistema na unidade de controle.	instruções fornecidas, até a ocorrência de danos no equipamento, ou na peça de trabalho.	instruções fornecidas, até a ocorrência de danos no equipamento, ou na peça de trabalho.	instruções fornecidas, até a ocorrência de danos no equipamento, ou na peça de trabalho.
--	---	--	--	--

Tabela 14 – Descrição dos atributos do ambiente físico

Atributos	Requisitos
Condições gerais do local de trabalho	De forma ideal, o local de trabalho deve apresentar boas condições ambientais. Entretanto, por tratar-se de um equipamento versátil destinado a aplicação em campo espera-se que o mesmo seja utilizado nos mais diversos ambientes de trabalho.
Iluminação,	adequada para leitura
Ventilação	não especificada
Temperatura	não especificada
Níveis de ruído	baixos
Circulação de pessoas	pequena circulação
Espaço físico	não especificado

5.2.2.2 Especificação dos requisitos de usabilidade

Essa etapa do trabalho iniciou com a pesquisa de informações técnicas na literatura especializada sobre os requisitos e as métricas de usabilidade, com isso verificou-se que, embora a nomenclatura e a quantidade de critérios empregados para avaliar a usabilidade sejam diferentes, existem fatores que apresentam uma equivalência de conceito. Dentre esses, cinco requisitos de usabilidade foram pré-selecionados como possíveis metas para o design da IHM. São eles (NIELSEN, 1993):

Facilidade de aprendizagem: o sistema deve ser fácil de utilizar, permitindo que mesmo utilizadores inexperientes executem rapidamente as tarefas suportadas;

Eficiência/Produtividade: o sistema deve ser eficiente na sua utilização de forma que, uma vez aprendido, o sistema permita que um alto nível de produtividade seja atingido;

Memorabilidade/Retenção-memória: o sistema deve ser fácil de recordar, permitindo que os usuários casuais reutilizem o sistema sem terem que reaprender a sua utilização;

Prevenção de erros: o sistema deve prevenir os usuários de executarem erros, em particular erros que provoquem danos ao trabalho em execução. Além disso, o sistema deve permitir que os usuários reestabeçam o curso normal de operação caso ocorra um erro;

Satisfação: o sistema deve ser agradável de ser usado, permitindo uma satisfação subjetiva ao usuário.

Esses cinco fatores foram apresentados e analisados em reuniões com a equipe de desenvolvimento para que, então, fossem definidos os requisitos fundamentais para o projeto da IHM. Além disso, alguns representantes dos usuários do sistema foram consultados, por meio de formulários, para determinar a ordem de importância atribuída por eles para os fatores apresentados. Os resultados gerais são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Prioridade dos requisitos para o projeto da IHM

Prioridade	Para os usuários	Para a equipe de desenvolvimento
1	Produtividade	Facilidade de aprendizado
2	Prevenção de erros	Facilidade de uso
3	Satisfação	
4	Aprendizado	
5	Retenção-memória	

Sendo assim, o principal requisito apontado pelos os usuários foi a produtividade e a equipe de desenvolvimento definiu como principal objetivo desenvolver uma IHM que fosse intuitiva, ou seja, fácil de aprender e de usar.

5.2.2.3 Definição da nova arquitetura de informação do sistema

O propósito da nova arquitetura de informação foi adequar a estrutura funcional do sistema Mach3 à forma como as tarefas de soldagem são executadas. Para isso, foi criado um fluxograma, tendo como referência as tarefas a serem executadas e os conteúdos a serem disponibilizados. Assim, um fluxograma foi elaborado para guiar tanto o desenvolvimento da IHM e como a programação do software, apresentando os caminhos para navegação associados às rotinas envolvidas na programação do equipamento (Figura 16).

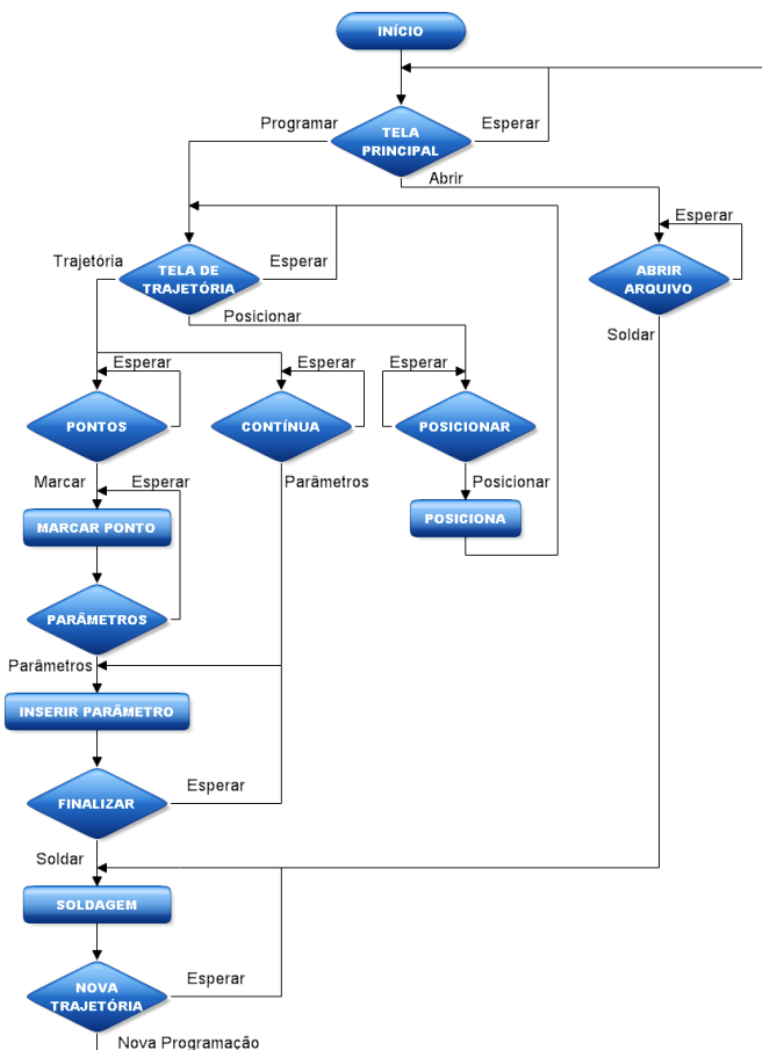
De acordo com o fluxograma, foi criada uma tela inicial (Figura 22) que apresenta duas alternativas, sendo uma para a criação de trajetória e outra que possibilitava ao usuário abrir arquivos salvos anteriormente na memória do equipamento. Assim, caso a opção escolhida fosse carregar um arquivo previamente configurado, a IHM exibe a tela final do sistema denominada Executar Soldagem (Figura 26). Entretanto, se o objetivo for criar uma nova trajetória de soldagem a IHM seguirá para a tela de seleção de trajetória (Figura 23).

Na tela para definição do tipo de trajetória a ser executada o operador possui sete alternativas. Na primeira opção, o usuário pode posicionar o manipulador na posição desejada para início da soldagem. Como segunda opção, pode-se selecionar uma trajetória de forma contínua ou por pontos, estas duas opções estão habilitadas para as três formas de trajetória (linear, tecimento triangular ou tecimento trapezoidal). Na opção “contínua” o manipulador quando acionado, inicia a trajetória a partir de sua posição atual finalizando somente após receber do operador a ordem para parar ou pausar. Ainda, na opção “por pontos” o operador tem a opção de criar uma sequencia de pontos, com início e fim, que determinarão a trajetória a ser executada.

Na tela para marcação de pontos (Figura 24), o usuário posiciona o manipulador nos locais e na ordem em que deseja realizar a trajetória e confirma a marcação de cada ponto acionando o botão “marcar ponto”. Quando a marcação de pontos é finalizada, o usuário deve acionar o botão “Parâmetros”, assim a IHM segue para uma tela de configuração dos parâmetros de deslocamentos.

A tela de configuração dos parâmetros de deslocamento (Figura 25) é idêntica tanto para o deslocamento por pontos quanto para o deslocamento contínuo, e fornece as opções referentes à velocidade de soldagem e as características da trajetória. Com a determinação das variáveis, o sistema segue para a tela de soldagem.

Figura 16 – Fluxograma da programação do Tartilope V4



Fonte: (CARVALHO, 2009)

A tela de soldagem (Figura 26) é a tela final de programação do manipulador. Nesta, o operador tem a possibilidade de executar e acompanhar o deslocamento configurado ou então abrir uma programação predeterminada.

Ao término da soldagem, caso o usuário necessite executar uma nova programação ele deve acionar o botão “início”, fazendo com que o sistema retorne à tela inicial.

5.2.3 Design da Interface Gráfica

Inicialmente, o sistema de soldagem Tartilope V4 (Figura 17) possuía uma interface disponibilizada pela fabricante do software Mach3 que é uma IHM funcional genérica e destinada às operações de fresamento ou torneamento (Figura 18). Sendo assim, para que o operador pudesse usar e compreender a IHM era necessário que o mesmo possuísse conhecimentos especializados em equipamentos do tipo CNC¹².

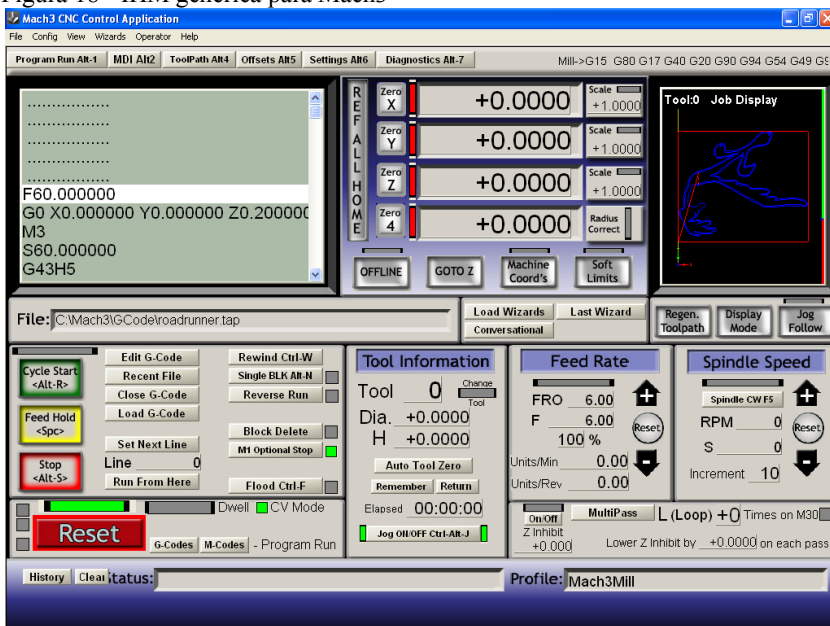
Figura 17 – Versão anterior do sistema de soldagem Tartilope V4



Fonte: (CARVALHO, 2009)

¹² CNC são as iniciais de Computer Numeric Control ou em Português Controle Numérico Computadorizado. Trata-se de um controlador numérico que permite o controle computadorizado de máquinas e é utilizado principalmente em centros de usinagem. Permite o controle simultâneo de vários eixos, por meio de uma lista de movimentos escrita num código específico.

Figura 18 - IHM genérica para Mach3



Fonte: <http://www.machsupport.com>

Deste modo, o desafio foi criar uma nova interface gráfica para atuar em conjunto com o Mach3 e que fosse simples e intuitiva para o operador em um contexto de soldagem. Para isso, optou-se pelo desenvolvimento em Adobe Flash, um software compatível com a tecnologia do Mach3 e que permitiu total liberdade para criação da interface gráfica.

Entretanto, antes do desenvolvimento da interface gráfica buscou-se atender a necessidade de integração com o dispositivo físico com o qual o usuário iria manipular, inserir e receber dados. Para isso, foi selecionado um modelo de display comercial (Figura 19) que foi adequado para atender às necessidades de uso como pode ser visto na Figura 20. Além disso, a escolha de um modelo com tela sensível ao toque justificou-se pela sua facilidade de uso devido à redução no número de periféricos como mouse e teclado. Ainda, optou-se por um display com tela de sete polegadas e peso reduzido para evitar a sobrecarga física e esforço visual do operador, isso possibilitou que a IHM fosse operada remotamente, ou seja, permitindo que o usuário se deslocasse nas proximidades do equipamento buscando o melhor

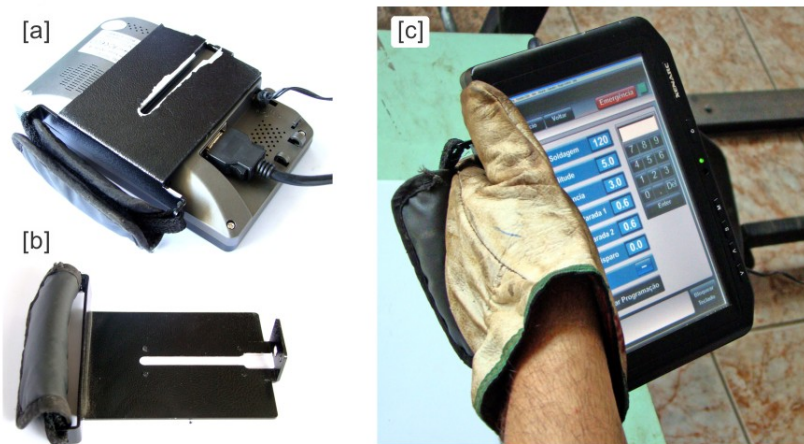
posicionamento tanto para programar, quanto para acompanhar o processo de soldagem.

Figura 19 – Monitor sensível ao toque modelo XENARC 700TSV



Fonte: <http://www.xenarc.com/product/700yh.html>

Figura 20 - Monitor adaptado (a), estrutura de suporte (b) e, em operação (c)



Em seguida, foram criados os primeiros esboços da interface seguindo o paradigma de interação WIMP (do inglês Windows, Icons, Menus e Pointers), utilizando diferentes estruturas de menus, ícones, janelas e arranjos de tela. Os comandos disponíveis foram agrupados em menus ou botões acionados por meio do toque na tela sobre a opção desejada. Este estilo de interação destina-se a reduzir a carga cognitiva necessária para lembrar as possibilidades disponíveis, reduzindo ainda os tempos de aprendizagem.

Outros benefícios deste estilo é facilidade de uso por pessoas não técnicas, tanto para usuários inexperientes quanto os avançados. E por

fim, buscou-se que a experiência do usuário fosse transferida positivamente durante o avanço de uma tela para a outra, aumentando a complexidade gradativamente e mantendo a consistência entre as telas.

Então, após definidos os requisitos de usabilidade, a arquitetura de informação e o suporte físico para IHM partiu-se para o design da interface gráfica. A seguir serão apresentadas as principais telas que constituem o modelo de interação desenvolvido para o sistema. Inicialmente, na Figura 21 é apresentada a estrutura conceitual da interface, os botões básicos e as áreas fixas que são exibidas em todas as telas. As cinco telas principais são: Tela inicial (Figura 22), Tela para definição do tipo de trajetória a ser executada (Figura 23), Tela para programar uma trajetória por pontos específicos (Figura 24), Tela para configuração dos parâmetros de soldagem (Figura 25) e Tela para execução e acompanhamento do processo de soldagem (Figura 26).

Figura 21- Estrutura conceitual da interface



Todas as telas apresentam a seguinte estrutura:

1. Barra de identificação;
2. Barra de navegação;
3. Barra de localização;
4. Área de conteúdos;
5. Barras de status do sistema;
6. Botão que habilita ou desabilita a função de teclado do monitor.

Os elementos padrões da interface possuem as seguintes funções:

Barra de identificação: sua função é proporcionar um espaço dedicado para identidade visual do sistema e informar se ele está operacional ou não.

Barra de navegação: controla a navegação abrigando os botões Voltar, Início e parada de Emergência.

Barra de localização: indica o caminho percorrido até a tela atual e exibe a sequência de retorno até o ponto de início.

Área de conteúdos: é o espaço onde são exibidos os conteúdos específicos de cada tela, como por exemplo, as ações, as propriedades e as funções disponíveis.

Barras de status do sistema: áreas da tela dedicada à exibição de notificações, comunicação do estado do dispositivo e notificações pendentes. As notificações são mensagens breves que fornecem atualizações, lembretes, ou as informações que são importantes, mas não críticas o suficiente para justificar uma interrupção do usuário.

Início: direciona o sistema ao ponto de início e exibe a Tela Inicial.

Voltar: retorna à tela anterior, podendo interromper algumas atividades.

Emergência: botão de segurança, ao ser tocado ele interrompe todos os processos do sistema instantaneamente sem a necessidade de confirmação.

Bloquear Teclado: impedirá o acionamento de qualquer botão, menos dos botões “Emergência” e “Desbloquear Teclado”. Possui as duas funções bloquear ou desbloquear o funcionamento do teclado as quais são alternadas a cada toque.

Desbloquear Teclado: permitirá o acionamento de qualquer botão na tela.

5.2.3.1 Tela Inicial

O Tartilope V4 é um manipulador para soldagem que possibilita a programação das variáveis para diversos processos de soldagem, assim como, a programação das trajetórias de deslocamento utilizando até quatro eixos com movimentação automática. Essas características permitem que o equipamento realize os movimentos necessários para executar tarefas de soldagem de elevada complexidade.

Contudo, uma das principais funções do Tartilope V4 é proporcionar a repetibilidade dos processos de soldagem, ou seja, o movimento executado uma vez poderá ser repetido com fidelidade quantas vezes forem necessárias. Isto é possível, porque o equipamento pode executar a soldagem a partir de arquivos, previamente configurados e armazenados, contendo os parâmetros de soldagem e a

trajetória de deslocamento. Devido à importância desta função, buscou-se facilitar seu acesso, bem como, proporcionar uma operação simples e rápida.

Na tela inicial, Figura 22, as opções foram reduzidas para não intimidar o operador novato, assim ele pode gradativamente “se aprofundar” no sistema explorando as opções e funcionalidades desejadas.

Figura 22- Tela inicial



1. Ícones representativos das possíveis formas da trajetória para deslocamento da tocha de soldagem;
2. Botão de acesso às funcionalidades do sistema;
3. Ícone representativo dos arquivos com a programação pré-estabelecida;
4. Botão para especificar o arquivo contendo a programação desejada.

Na Figura 22 é possível visualizar as opções Programar trajetória e Carregar Arquivo, suas funções são:

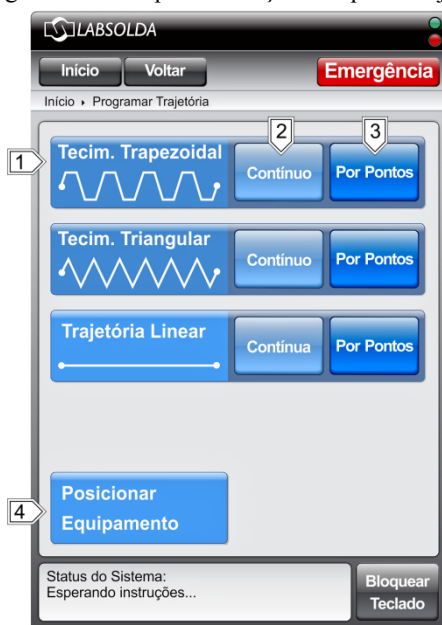
Programar trajetória: sua função é permitir o posicionamento e deslocamento do manipulador, bem como programar a trajetória da tocha de soldagem e demais parâmetros para execução da soldagem.

Carregar Arquivo: ao clicar neste botão será exibida a tela final do sistema que permite ao usuário especificar um arquivo, previamente configurado e salvo, aonde se encontram as configurações para execução da soldagem.

5.2.3.2 Tela para definição do tipo de trajetória a ser executada

Para manter a navegação simples e consistente, as ações mais importantes foram agrupadas de forma hierárquica numa sequência previsível de acordo com a tarefa a ser executada. Dessa maneira, o usuário pode visualizar claramente as mudanças das seções ou subtarefas dentro do aplicativo. Então, na tela de definição do tipo de trajetória, Figura 23, são exibidas apenas as opções referentes à movimentação do equipamento.

Figura 23 - Tela para definição do tipo de trajetória a ser executada



1. Ícones representativos das possíveis formas de trajetória para deslocamento da tocha de soldagem;
2. Botão de seleção da trajetória do tipo contínua;
3. Botão de seleção da trajetória do tipo por pontos;
4. Botão de acesso às opções para posicionamento do equipamento.

Na Figura 23 é possível ver as opções de trajetória, movimentação e posicionamento do equipamento, suas funções são:

Tecim. Trapezoidal, Triangular e Trajetória Linear: indicam as possíveis formas de deslocamento da tocha de soldagem;

Contínuo: se esta opção for selecionada, no momento em que receber o comando para iniciar sua movimentação, o manipulador irá se deslocar continuamente, executando a trajetória conforme as demais configurações, até que seja pressionado outro botão para pausar ou parar o deslocamento.

Por Pontos: se esta opção for selecionada, o sistema irá exibir outra tela aonde o usuário deverá programar a trajetória de deslocamento indicando os locais e a sequência a ser percorrida. Neste caso, no momento em que receber o comando para iniciar sua movimentação o equipamento irá executar automaticamente a trajetória configurada parando no final da mesma.

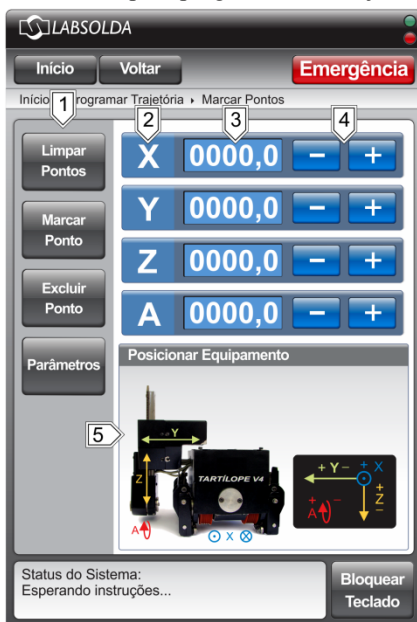
Posicionar Equipamento: A operação de posicionar o equipamento consiste em configurar manualmente, aumentando ou diminuindo os valores das coordenadas de cada eixo do Tartilope V4 até atingir a posição desejada.

5.2.3.3 Tela para programar uma trajetória por pontos específicos

Nesta tela, o usuário tem acesso às funções necessárias para programar o deslocamento automático do equipamento. Por tratar-se da função mais complexa do sistema, buscou-se, por meio da organização dos elementos da interface e separação da sequência de ações, fornecer um maior suporte para orientação e condução do usuário. Assim, as tarefas complexas foram quebradas em passos menores que podem ser facilmente realizados.

Para ajudar os usuários a discernirem as diferenças funcionais, as opções de comando e controle foram agrupadas por similaridade e de forma consistente, tornando-as visualmente distintas como pode ser observado na Figura 24. Assim criou-se uma barra de ação lateral que abriga as ações mais importantes necessárias para programar a trajetória desejada. Além disso, as ações mais frequentes, que neste caso são aquelas responsáveis por posicionar o equipamento nos pontos específicos foram agrupadas para facilitar seu acesso, visualização e aumentar sua precisão. Por fim, foi acrescentado um elemento gráfico para orientar o usuário em relação à localização no manipulador de cada eixo (X, Y, Z e A) e suas respectivas referências quanto ao sentido de movimentação positivo (+) e negativo (-).

Figura 24 - Tela para programar uma trajetória por pontos específicos



1. Barra de ação lateral;
2. Áreas de identificação dos eixos de deslocamento;
3. Campo de exibição dos valores correspondentes à posição de cada eixo;
4. Botões para movimentar os eixos na direção positiva (+) ou negativa (-);
5. Ilustração que indica a localização de cada eixo e seus respectivos referenciais para movimentação (+) ou (-).

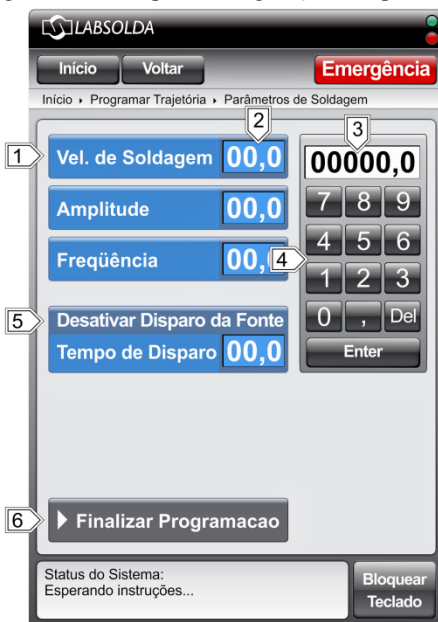
No Tartilope V4, o eixo designado como X corresponde ao deslocamento do manipulador sobre um trilho e indica o sentido de soldagem. O eixo designado como Y é responsável pelo movimento de tecimento com formas pré-definidas, podendo ser do tipo trapezoidal, triangular e triangular. O eixo designado como Z é fundamentalmente utilizado para ajustar a distância entre a tocha de soldagem e a peça. O eixo rotacional, designado como A, pode ser montado em duas configurações diferentes dependendo da aplicação, este eixo impõe o ângulo de ataque da tocha. Além disso, o manipulador permite a interpolação dos quatro eixos, que se movimentam simultaneamente para descrever trajetórias complexas.

5.2.3.4 Tela para configuração dos parâmetros de soldagem

Após definidos os parâmetros de deslocamento do Tartilope V4 é necessário configurar os parâmetros do processo de soldagem, os quais podem variar de acordo com o tipo de trajetória selecionada. A Figura 25 demonstra a tela na qual o usuário tem acesso às funções necessárias

para configurar os parâmetros de movimentação de uma trajetória com tecimento.

Figura 25 - Tela para configuração dos parâmetros de soldagem



1. Áreas de identificação dos parâmetros relativos ao manipulador a serem configurados;
2. Campo de exibição dos valores correspondentes a cada parâmetro;
3. Campo de exibição dos valores de entrada;
4. Teclado numérico para entrada de dados;
5. Áreas de identificação dos parâmetros relativos a fonte de soldagem a serem configurados;
6. Botão para finalizar a etapa de programação.

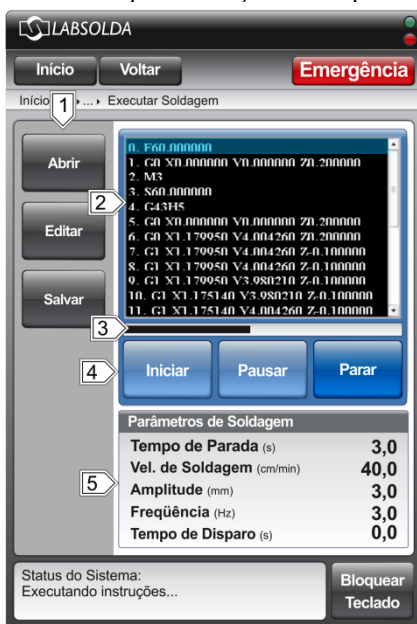
Para trajetórias com tecimento, é necessário definir uma velocidade de soldagem, configurada em cm/min, amplitude de tecimento, em mm, frequência de tecimento, em Hz, e o sentido de movimentação, que pode ser positivo ou negativo. A opção Disparo da Fonte permite que o software do Tartilope V4 acione a fonte de energia para iniciar a soldagem depois do tempo de disparo definido, em segundos. Por fim, ao pressionar o botão Finalizar Programação será exibida a tela que permite ao operador iniciar o processo de soldagem, a qual será descrita a seguir.

5.2.3.5 Tela para execução e acompanhamento do processo de soldagem

Esta tela, Figura 26, permite ao operador, de maneira simples e rápida, carregar, editar ou armazenar os parâmetros que serão usados para soldagem. Além disso, é possível iniciar, pausar ou parar a execução da programação definida.

Para se chegar à tela de execução da soldagem existem duas possibilidades: na primeira o operador deve seguir todo o percurso necessário para programar a trajetória de deslocamento e configurar os parâmetros de soldagem; a segunda forma de acesso, quando o operador já possui um arquivo contendo a programação a ser executada, consiste em clicar na opção Carregar Arquivo diretamente na tela inicial do sistema.

Figura 26 - Tela para execução e acompanhamento do processo de soldagem



1. Barra de ação lateral;
2. Campo de exibição das linhas de programação em código G;
3. Barra de progresso da programação;
4. Botões para controle da movimentação;
5. Campo de exibição dos parâmetros configurados para movimentação do equipamento.

Ainda nesta tela o operador pode visualizar os parâmetros que serão utilizados e, caso seja necessário, efetuar modificações antes de iniciar o processo de soldagem. Já, durante a soldagem, o operador pode acompanhar o progresso da tarefa por meio de um campo de exibição das linhas de código executadas bem como, pela barra de progresso que exhibe graficamente a taxa de conclusão da tarefa.

5.2.4 Guias de Design

Nesta seção serão apresentadas as diretrizes e os princípios de design aplicados no desenvolvimento da IHM. Estes conhecimentos foram obtidos a partir de orientações retiradas da literatura especializada, bem como, das próprias experiências no design de sistemas interativos. Sendo assim, serão apresentados tanto dados técnico-teóricos quanto definições e justificativas para as soluções de design propostas.

5.2.4.1 Perfis dos usuários

As categorias de usuários e suas diferenças individuais são fatores de grande importância que devem ser considerados em projetos de sistemas interativos. De acordo com Nielsen (1993), existem três dimensões fundamentais que distinguem o usuário quanto a suas habilidades sendo (1) com o sistema, (2) com a informática em geral e, (3) com o domínio da tarefa.

Assim, quando se busca determinar a habilidade do usuário, deve-se levar em consideração a experiência deste em relação a uma interface específica e, normalmente, são classificados em novatos ou experientes ou se localizam em algum lugar entre ambos.

Outro fator que pode influenciar no desenvolvimento de interfaces é o nível de domínio do usuário na utilização de um determinado sistema para realizar uma tarefa. Se o domínio do usuário for extenso pode-se usar terminologias específicas e uma alta densidade de informação na tela. Nos casos em que o conhecimento do domínio da tarefa é baixo, se faz necessário o desenvolvimento de interfaces mais explicativas e com terminologias menos densas.

Além disso, deve-se levar em consideração o fator de aceitação/rejeição da informática por parte dos usuários. Existem usuários que dedicam uma grande parcela de tempo no aprendizado total de seu sistema buscando o domínio amplo do conhecimento em todos os seus níveis. Em posição contrária, alguns usuários são extremamente avessos ao computador e seus recursos, podendo gerar processos de rejeição em diversos níveis de intensidade, para estes usuários a interface deve ser projetada para apresentar um ambiente o mais amigável possível, objetivando minimizar ou reverter tais processos.

5.2.4.2 Usabilidade para telas *touchscreen*

O monitor empregado como suporte para IHM possui um tela sensível ao toque (*touchscreen*) que permite a operação com um dedo ou caneta. Assim, se as aplicações são projetadas de forma adequada esse tipo de tela pode fornecer uma interação simples, rápida e direta mesmo para usuários com pouco ou nenhum treinamento.

5.2.4.2.1 *Feedback dos toques na tela*

Foram usadas cores e iluminação diferenciadas nos componentes interativos para reforçar os comportamento resultante do toque, e indicar as ações que são ativadas e desativadas. Assim, sempre que um usuário toca uma área acionável ocorre uma resposta visual. Isso permite que o usuário saiba qual objeto foi tocado e que o sistema está "escutando". O feedback imediato é fundamental para tranquilizar o usuário de que o toque foi registrado.

5.2.4.2.2 *Estado do sistema*

Foi criada uma área fixa e visível em todas as telas da interface para que o sistema forneça o feedback sobre as tarefas em andamento.

Os botões e áreas editáveis da interface também apresentam algum tipo de feedback visual quanto ao seu estado (ligado/desligado, ativo/inativo, ativado, etc.)

5.2.4.2.3 *Coerência e Consistência*

Se parece o mesmo, deve agir da mesma forma, isso ajuda os usuários a discernirem as diferenças funcionais, tornando-as visualmente distintas. Dessa forma, os padrões visuais consistentes contribuem para tornar o sistema mais fácil de aprender e usar.

Logo, para promover uma maior coesão entre as telas do sistema, foi criado um estilo gráfico consistente e característico para especificar as propriedades visuais dos elementos que compõem a interface, tais como cores, efeitos 3D, formas de delimitação dos espaços, tamanhos dos botões, tipos de textos, etc.

5.2.4.3 Organização das Tarefas

A arquitetura de informação do sistema foi organizada visando facilitar e simplificar sua operação, para isso, optou-se pela divisão das tarefas maiores em subtarefas. Assim, buscou-se evitar a sobrecarga cognitiva do usuário ao dividir as tarefas complexas em pequenos passos que pudessem ser realizados facilmente.

Como nem todas as ações são iguais, foram selecionadas aquelas consideradas mais importantes para o sistema interativo, então direcionaram-se os esforços de criação para torná-las fáceis de encontrar e rápidas de usar. Logo, as seções do sistema foram organizadas de modo que cada subtarefa possuísse sua própria tela, isso permitiu que se criassem telas mais consistentes a partir da definição das sequências de ações.

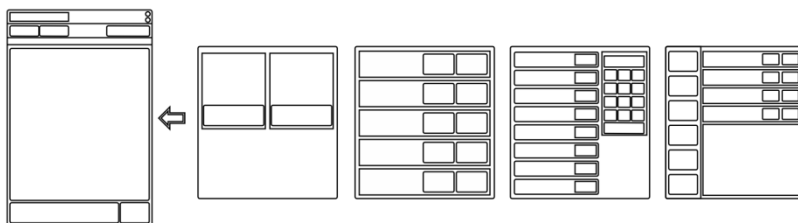
5.2.4.4 Layout das telas

Buscou-se manter a interação simples e clara, organizando os elementos da interface de modo a auxiliar o entendimento e uso do sistema. Essas características foram obtidas por meio da organização lógica das informações exibidas, agrupamento de funções semelhantes e arranjo das sequências de ações.

5.2.4.4.1 Grade de diagramação

O layout das telas foi guiado por uma grade projetada para dividir a área da tela em um número fixo de células, a partir do qual se definiram as estruturas básicas para o design conceitual da interface. Na Figura 27 é possível visualizar um esquema simplificado da estrutura padrão das telas, bem como, exemplos das variações internas na grade de diagramação.

Figura 27 - Estrutura padrão e exemplos das variações no layout de diagramação da interface



5.2.4.4.2 A distribuição de elementos de tela

Para atender aos requisitos ergonômicos, operacionais e funcionais do sistema foram criadas grades específicas para algumas subtarefas, nas quais os elementos da interface foram agrupados e organizados em áreas funcionais.

Ao dividir a tela em áreas funcionais e elementos padrões estáticos na tela, buscou-se seguir o princípio da constância na localização. Assim, foram criadas áreas funcionais estáveis, como por exemplo, botões fixos (em especial, os botões de navegação e de controle geral), áreas bem definidas para exibição e entrada de dados, e exibição de status do sistema.

5.2.4.4.3 Agrupamento de elementos da tela

Os elementos gráficos da interface foram agrupados para facilitar e destacar suas características funcionais tais como:

- Navegação e orientação;
- Exibição de dados;
- Seleção e entrada de dados;
- Botões com funções similares;
- Teclado numérico;
- Exibição do status;
- Ordenamento das sequências de ações.

Assim, com o objetivo de ajudar o usuário a perceber claramente a organização das informações e melhor entender o funcionamento do sistema, aplicaram-se os princípios básicos da escola Gestalt (Psicologia da Percepção da Forma) no agrupamento dos elementos da interface.

Os psicólogos da Gestalt, baseados numa série de experimentos, descobriram diversas leis de percepção, que são comuns a grande maioria das pessoas (FILHO J. G., 2004).

As principais Leis da Gestalt aplicadas no design das telas da interface foram:

- **A Lei da Proximidade** diz que elementos que estão próximos uns dos outros se agrupam entre si e são percebidos como uma única unidade.
- **A Lei da Semelhança** diz que objetos semelhantes tendem a se agrupar, podendo essa semelhança ser na cor, forma ou tamanho.
- **A Lei da Continuidade** diz respeito ao alinhamento de elementos que produzem um conjunto harmônico e passam a impressão de que os elementos estão relacionados.
- **A Lei do Fechamento** diz que nossa mente interpreta um objeto completo simplesmente se os elementos parecerem se agrupar.
- **A Lei da Experiência** diz que nossa experiência passada favorece a compreensão e associação de objetos incompletos, desde que nossa consciência tenha conhecimento de sua existência.

5.2.4.5 Navegação

O usuário pode navegar entre as telas de forma sequencial, com avanços e recuos. Esta técnica pode gerar problemas para o usuário novato que desconhece o percurso necessário para executar as tarefas e pode acabar perdendo a orientação. No entanto, para evitar esse tipo de problemas buscou-se criar telas com um layout e aparência consistente, para que o usuário perceba claramente qual subtarefa ele deve realizar. Além disso, para reduzir a desordem e fornecer uma orientação das sequências de ações disponíveis, foi criada uma barra de status que informa qual a ação é esperada ou está sendo executada pelo sistema.

Ainda, como suporte à navegação foram criadas duas barras fixas que exibem as opções de navegação disponíveis, o caminho percorrido até a tela atual, assim como, a sequência de retorno até o ponto de início do sistema.

5.2.4.6 Botões

Um botão consiste em um texto e/ou uma imagem que indica graficamente que uma ação irá ocorrer quando o usuário tocar sobre ele. Os botões podem ser utilizados para oferecer opções, como seleções, alternativas, etc. ou para inicialização de funções.

Ainda, em alguns casos o agrupamento de botões pode representar um menu. Neste caso, os botões dentro de grupos devem ser separados claramente para evitar que ocorra a ativação errônea. Isso pode ser obtido por meio do uso de recursos gráficos que caracterizem tais elementos como por exemplo, uso de formas, cores de fundo, e estilos de textos, etc.).

No desenvolvimento da interface do Tartilope V4 foram utilizados predominantemente botões de acionamento direto da função específica, entretanto, em alguns casos foram utilizados botões multifuncionais, como para a função ativar/desativar parada de emergência e bloquear/desbloquear teclado. Além disso, os botões foram projetados em tamanhos maiores para assegurar que a IHM fosse operada com poucos erros, e para atender a uma variedade de usuários incluindo aqueles que utilizam uma caneta *stilus* para navegar, aqueles que utilizam os dedos para pressionar diretamente sobre a tela, bem como, aqueles que vestem luvas no momento da interação.

5.2.4.7 Iconografia e Tipografia

A aplicação correta desses recursos é essencial para ajudar os usuários a compreender rapidamente as informações na tela.

Um ícone é um gráfico que ocupa uma pequena porção de tela e fornece uma representação rápida e intuitiva de uma ação, um estado, ou um objeto.

A tipografia ou a linguagem tipográfica representa uma das ferramentas mais tradicionais do design, trata-se do processo de composição de um texto, física ou digitalmente. No design gráfico em geral, o objetivo principal da tipografia é dar ordem estrutural e forma à comunicação textual valendo-se de recursos tais como escala, espaço, ritmo, contraste e alinhamento.

Para tipografia da interface optou-se pela família de fontes Arial da empresa Monotype, selecionada devido à suas características quanto à forma e espaçamento entre os caracteres que a torna mais legível e versátil para uso em telas de monitores em várias resoluções. Por padrão, a fonte Arial suporta a representação da estrutura tipográfica nos

formatos regular, negrito, itálico e negrito itálico, os quais são suficientes e adequados para atender aos requisitos das interfaces gráficas. Ex.: **Arial regular, negrito, itálico e negrito itálico.**

Além disso, foram utilizados tamanhos de fonte entre 24 e 44 pontos, estes tamanhos são maiores do que os recomendados para se obter uma boa leitura a uma distância de 1 metro, permitindo assim que os usuários com visão deficiente pudessem ler com maior facilidade.

5.2.4.8 Uso de cores

As cores são usadas principalmente para dar ênfase a determinados elementos da interface. Assim, foram escolhidas cores que se harmonizassem com a identidade visual do equipamento e cores que proporcionassem um bom contraste entre os componentes visuais.

Assim, foram utilizadas cores neutras (azul e escalas de cinza) para evitar a poluição visual das telas, dessa forma, as cores funcionam como uma simples sugestão para determinar os elementos e delimitar áreas. Também foram utilizados altos contrastes como preto-branco nos botões para melhorar a visualização e para indicar as funções críticas que podiam provocar erros.

5.2.4.9 Interação

Optou-se pela construção de um protótipo de alta-fidelidade tendo em vista os testes de interação que seriam realizados, pois de acordo com (RUDD, STERN, & ISENSEE, 1996) estes protótipos apresentam as seguintes vantagens:

- Funcionalidade completa;
- Totalmente interativo;
- Uso conduzido pelo usuário;
- Define claramente o esquema de navegação;
- Uso para exploração e teste;
- Mesmo *look and feel* do produto final.

5.3 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou o embasamento teórico e os procedimentos específicos de engenharia de usabilidade aplicados nas três etapas de desenvolvimento da IHM para um sistema interativo de

soldagem automatizada. Dessa forma, a fase de desenvolvimento teve como resultado a especificação do design da interface. A partir da qual foi produzida uma versão funcional do sistema interativo, integrando a IHM aos demais componentes do sistema de soldagem.

No próximo capítulo serão apresentados o embasamento teórico adotado na fase de avaliação de usabilidade do Tartilope V4, os procedimentos aplicados, assim como, os resultados obtidos.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na etapa de avaliação da interface. Assim, com o objetivo de tornar mais clara a forma como foi feita a coleta dos dados, a qual ocorreu durante uma simulação do uso do equipamento em ambiente controlado, serão ilustradas as tarefas realizadas, as condições propostas para os ensaios de interação, as ferramentas teóricas aplicadas na avaliação de usabilidade, além da estrutura física montada para realização dos testes.

Por fim, os dados obtidos foram sistematizados utilizando-se métodos estatísticos para que se pudesse analisar as prováveis implicações e consequências dos resultados. Dessa maneira, também foi possível apresentar sugestões para melhorias tanto da IHM quanto do sistema interativo.

6.1 INTRODUÇÃO

Um dos objetivos do presente estudo era avaliar usabilidade da IHM desenvolvida para se obterem dados que demonstrassem em que medida o sistema é usável em relação às metas de usabilidade e fornecer informações úteis para melhoraria nas futuras versões do equipamento Tartilope V4. Contudo, medir a usabilidade de um sistema/produto é particularmente difícil porque a usabilidade não é uma característica unidimensional de um produto ou do usuário, mas sim uma característica multidimensional (BEVAN, KIRAKOWSKI, & MAISSELA, 1991).

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 (ABNT, 2002). Assim, é importante destacar que 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 (NIELSEN, 1993) (LEWIS, 2002).

Enfim, após considerar os principais paradigmas de avaliação de usabilidade em função dos objetivos pretendidos e dos recursos disponíveis, optou-se pelo método denominado Teste de Usabilidade. Este método é fundamentado em um processo experimental e envolveu um contexto específico de operação no qual os participantes do estudo

empregaram um protótipo do equipamento para alcançar os objetivos propostos.

6.2 CONTEXTO DA AVALIAÇÃO

O estudo de usabilidade do Tartilope V4 foi realizado em Florianópolis, no Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina em uma área de 20 m² reservada 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 28) para atender aos cenários de uso pré-definidos e proporcionar as mesmas condições aos participantes do estudo. Nas Figuras 29 a 33 são ilustrados os estados do sistema HM no início das atividades e durante a realização das tarefas. 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 (utilizadas em caldeiras de termoeletrica) e um segmento de duto (utilizado em dutovias de petróleo e gás). Ainda, foi utilizada uma estrutura metálica para fixação das peças de trabalho, duas mesas e uma cadeira.

Figura 28 - Bancada multitarefa para teste de usabilidade

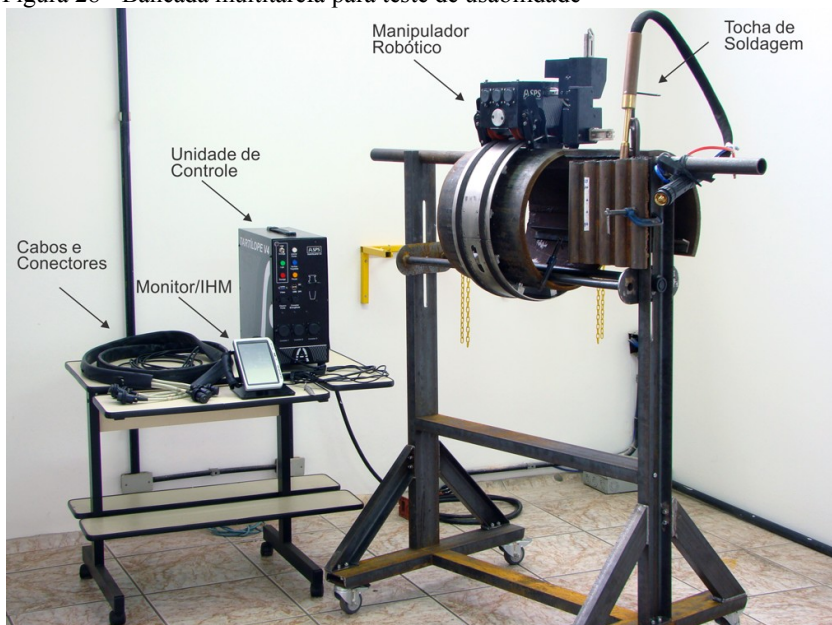


Figura 29 – Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 01 - Preparar o equipamento para uso

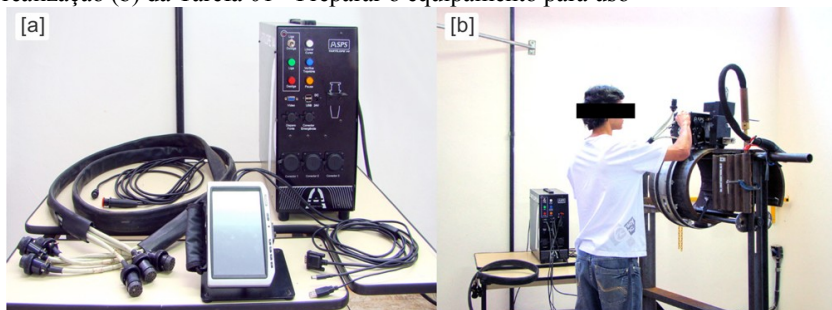


Figura 30 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 02 - Executar trajetória linear simples

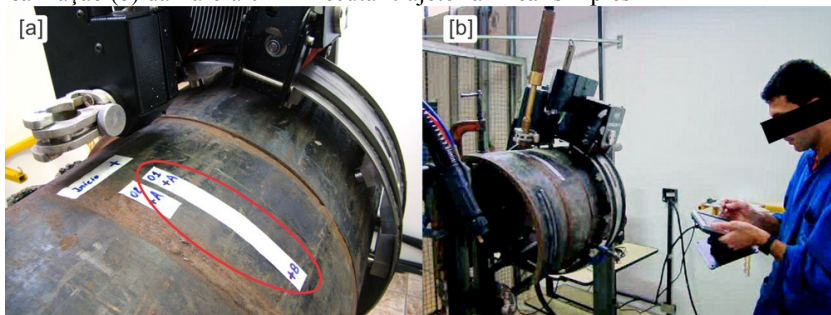


Figura 31 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 03 - Localizar um arquivo específico e executar a programação pré-definida

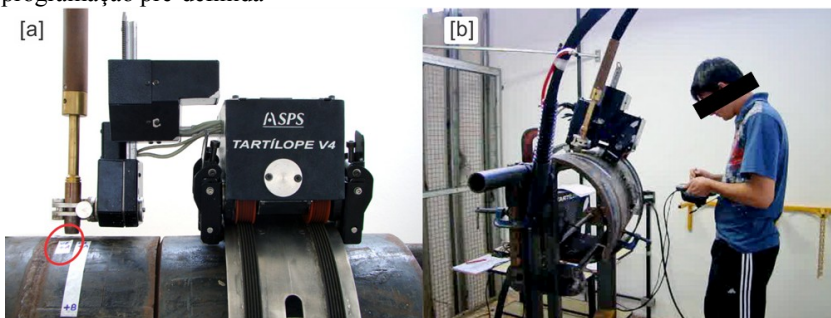


Figura 32 - Estado do sistema HM no início da atividade (a), e durante a realização (b) da Tarefa 04 - Programar e executar uma trajetória complexa

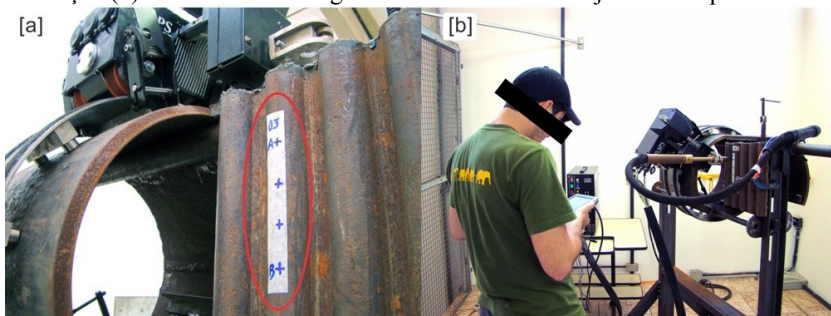
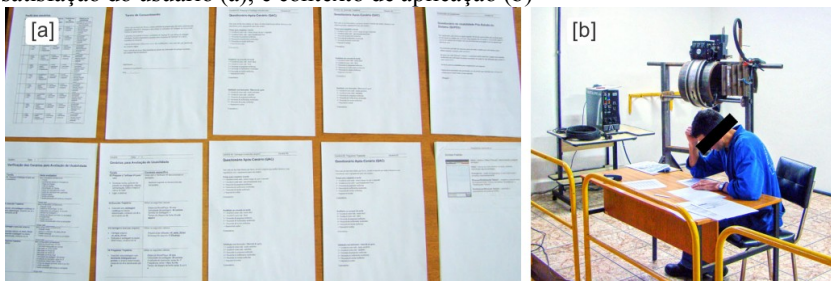


Figura 33 - Conjunto de ferramentas utilizadas para medir o desempenho e a satisfação do usuário (a), e contexto de aplicação (b)



6.3 MÉTRICAS DE USABILIDADE

Neste estudo as medidas de usabilidade do sistema foram obtidas considerando-se três variáveis: 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 como 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 gasto para conclusão das tarefas, a ocorrência ou não de erros durante a execução e o número de objetivos alcançados pelo participante.

Além disso, foram analisados os problemas e reclamações descritos pelos participantes ao realizarem as tarefas propostas. A Tabela 16 apresenta a síntese dos dados coletados com o objetivo de medir a usabilidade do sistema.

Tabela 16 - Medidas consideradas para determinar a usabilidade do sistema interativo em função das variáveis eficácia, eficiência e satisfação.

Eficácia	Eficiência	Satisfação
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de objetivos alcançados; ▪ Taxa de conclusão; ▪ Taxa de conclusão sem erros ou correções; ▪ Eficácia relativa entre usuários com e sem experiência; ▪ Porcentagem de tarefas completadas com sucesso na primeira tentativa; ▪ Número de funções aprendidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de tempo para completar cada tarefa; ▪ Taxa média de conclusão/Tempo; ▪ Eficiência relativa entre usuários com e sem experiência; ▪ Tempo gasto na primeira tentativa; ▪ Eficiência relativa na primeira tentativa; ▪ Eficiência relativa durante o aprendizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação para características gerais do sistema; ▪ Reclamações frequentes; ▪ Escala de satisfação para facilidade de uso; ▪ Escala para satisfação com material de apoio.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de desempenho e satisfação foram registradas durante e após a conclusão de cada tarefa. Entretanto, 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, porcentagem, valores máximos e mínimos.

A seguir serão apresentados os resultados gerais de satisfação obtidos a partir dos questionários ASQ, assim como, os resultados de desempenho obtidos a partir dos *checklists* específicos aplicados em cada um dos quatro cenários de uso.

6.4.1 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 completitude 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 17). É importante destacar, que os baixos resultados quanto à eficiência podem ser atribuídos, em parte, ao constante uso do material de apoio pelos participantes que não possuíam experiência no uso de equipamentos similares, os quais efetuavam a leitura do manual de instruções antes de executar cada tarefa e recorriam a este em casos de dúvidas.

Tabela 17 - Resumo dos resultados de desempenho dos participantes no teste de usabilidade do Tartilope V4

Participante	Tempos médios para concluir as tarefas (min:s)	Eficácia		Eficiência ⁽¹⁾		
		Taxa de conclusão	Taxa de conclusão sem erros ou correções ⁽²⁾	Baixa	Aceitável	Alta
COM experiência ⁽³⁾	12:35	100%	79%	-	67%	33%
SEM experiência ⁽³⁾	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.

6.4.2 Satisfação

Ao final de cada tarefa, os participantes preenchem um questionário subjetivo (ASQ) elaborado especificamente para avaliar a satisfação do usuário quanto à: (1) tempo para completar as tarefas, (2) facilidade de execução das tarefas, e (3) instruções e/ou material de apoio fornecido. Assim, para cada um destes 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 esse não foi fornecido intencionalmente.

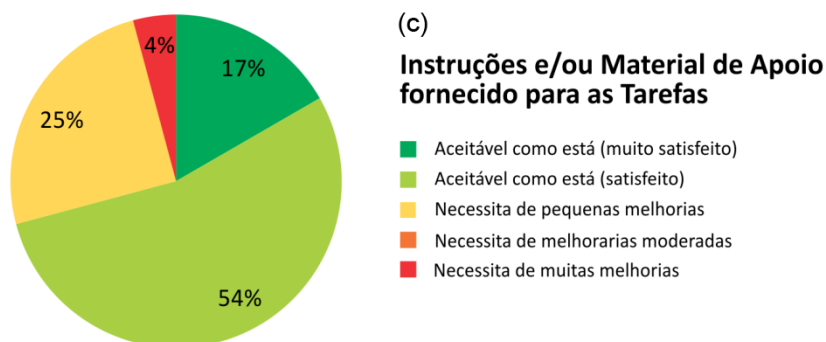
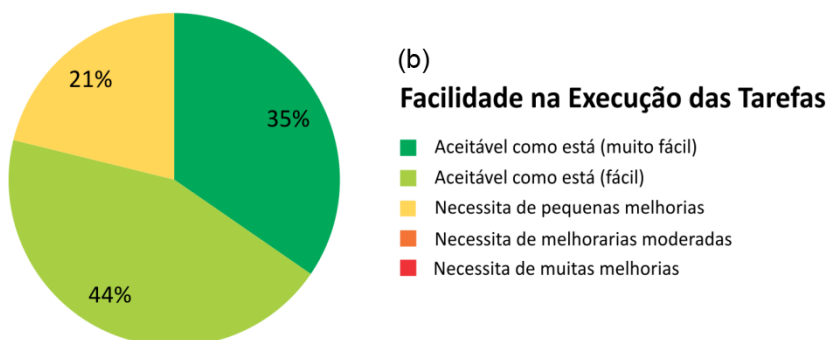
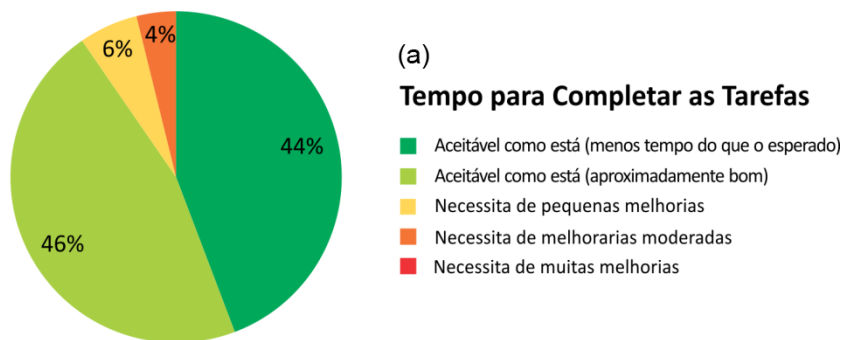
Assim, em relação ao tempo necessário para execução das tarefas, 90% dos participantes consideraram aceitável como está e 10% consideraram que o sistema necessita de melhorias. Ainda, em relação à facilidade na execução das tarefas, as avaliações foram: 79% para aceitável como está e 31% para necessita 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 34, 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 (NAUMANN, et al., 2007)", 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 interativo, em si.

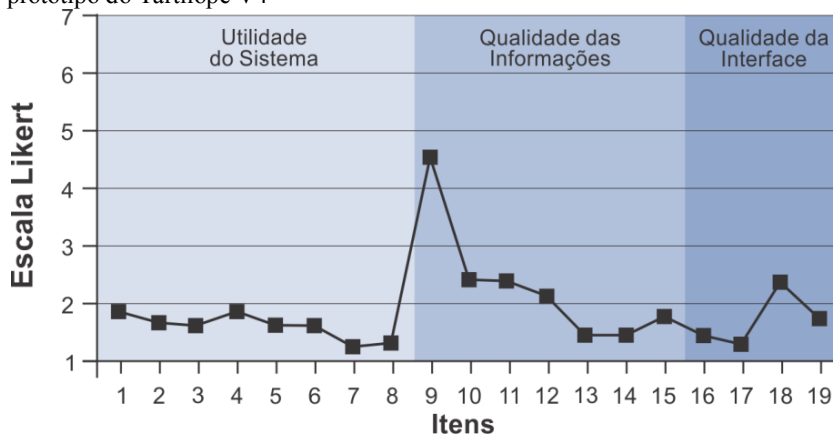
Figura 34 – Resultados gerais das avaliações considerando a percepção dos usuários quanto (a) ao tempo para completar as tarefas, (b) facilidade de execução das tarefas e (c) instruções e/ou material de apoio fornecidos



6.4.3 Avaliação global do sistema após teste 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 35 são apresentados os resultados gerais para os 19 itens avaliados. 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 35 - 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 anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem (Tabela 18).

Tabela 18 - Resumo dos resultados de satisfação dos usuários com a usabilidade do sistema interativo

Fatores de Usabilidade	Pontuação ⁽¹⁾ Média (Desvio Padrão)		
	Usuários com experiência ⁽²⁾	Usuários sem experiência ⁽²⁾	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 1: Usando uma escala *Likert* com 7 pontos, sendo 1 - concordo totalmente e 7- discordo totalmente

Nota 2: De acordo com o perfil dos participantes quanto à experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem

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 pontos acima da média do respectivo conjunto foi o Item 9 ("O sistema forneceu mensagens de erro que me disseram claramente como corrigir problemas."). Entretanto, pontuações elevadas para o item 9 já foram verificadas em diversos outros estudos, sendo inclusive considerado um padrão nas avaliações de usabilidade com o PSSUQ (LEWIS, 2002) (LEWIS, 1993). Dessa forma, as médias consistentemente desfavoráveis para o Item 9, a princípio, não indicam algo e surpreendente nos dados obtidos, pois é realmente difícil fornecer mensagens de erro úteis em todo o sistema. Porém, a baixa satisfação, somada à 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 em futuras atualizações do sistema.

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 a maioria dos participantes era novata e/ou inexperiente nas tarefas propostas, já era esperado que eles apresentassem maiores exigências tanto em relação às informações fornecidas pelo sistema, quanto à condução e orientação da interface (CYBIS, BETIOL, & FAUST, 2007).

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).

6.4.4 Comentários adicionais fornecidos pelos participantes do teste de usabilidade

Além de responder aos questionários ASQ e PSSUQ, os participantes puderam expressar suas opiniões por escrito, sendo que em cada item destes questionários havia um campo “Comentários” para que o participante complementasse sua resposta. Desta forma, a reclamação que apresentou o maior número de ocorrências foi o eventual travamento do sistema que ocorria no momento em que o participante estava ajustando o posicionamento da tocha e chegava o ponto máximo de deslocamento permitido para o eixo Y. Sendo que, neste caso, o sistema não informava a causa do travamento ou os procedimentos necessários para destravar o equipamento. Abaixo, segue uma lista com alguns dos comentários fornecidos pelos participantes:

- “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 19, 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 19- Percentual do número de reclamações em função dos fatores de usabilidade

Fator de Usabilidade	Itens (1)	Número de reclamações			Total (2)	Porcentagem de reclamações
		Usuários Com experiência (3)	Usuários Sem experiência (3)	Geral		
Utilidade do sistema	1 a 8	4	4	8	104	7,7 %
Qualidade das informações	9 a 15	12	9	21	91	23,1 %
Qualidade da interface	16 a 19	3	1	4	52	7,7 %
Global	1 a 19	19	14	33	247	13,4 %

Nota 1: Itens considerados a partir do questionário PSSUQ .

Nota 2: 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.

Pode-se ver na Tabela 19 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 geral de reclamações foi baixa (13,4%), considerando-se a opinião de todos os participantes e o total de itens avaliados.

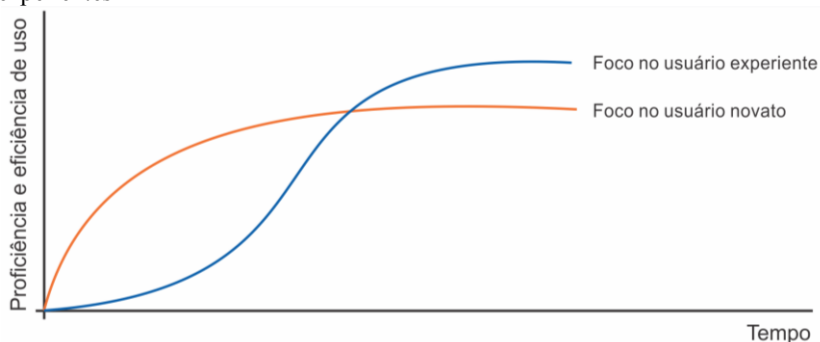
6.4.5 Análise e Interpretação geral dos Resultados

As ferramentas utilizadas para coleta de dados durante os testes de usabilidade foram selecionadas tendo em vista o confronto entre os requisitos de usabilidade e os resultados obtidos. Assim, foram aplicadas técnicas específicas para avaliar o desempenho do sistema interativo e a opinião dos usuários em relação à produtividade, prevenção de erros, satisfação, aprendizado e memorização.

Em relação ao tempo necessário para concluir as tarefas, as variações nos resultados entre os participantes já eram esperadas tendo em vista as diferenças no perfil dos participantes (com e sem experiência anterior no uso de sistemas automatizados para soldagem). Entretanto, os resultados médios para as quatro tarefas, mantiveram uma variação semelhante, não apresentando grandes diferenças entre os participantes que já possuíam conhecimentos no uso de equipamentos robóticos e os novatos. Assim, pode-se dizer que o tempo de aprendizado foi breve, mesmo para usuários novatos.

Esses resultados foram positivos, considerando que a aprendizagem é o atributo de usabilidade mais fundamental para esse projeto, pois o sistema sendo fácil de aprender e de usar, desde a primeira experiência, gera uma produção imediata e isso contribui significativamente para satisfazer o requisito produtividade. Sistemas altamente “fáceis de aprender” têm uma rampa íngreme na primeira parte da curva de aprendizado (Figura 36) e permitem que os usuários atinjam um nível razoável de proficiência em uso, dentro de um curto período de tempo.

Figura 36 - Curvas de aprendizado de um sistema hipotético com enfoque no usuário iniciante, sendo fácil de aprender, mas menos eficiente para uso, bem como aquele que é difícil de aprender, mas altamente eficiente para usuários experientes



Fonte: (NIELSEN, 1993) p.28

Praticamente toda curva de aprendizagem de interface começa com o usuário sendo capaz de fazer nada (zero de eficiência) no tempo zero (quando começam a usá-lo). Assim, as curvas de aprendizagem da Figura 36 podem dar a impressão de que se pode ter um sistema que seja fácil de aprender ou que eventualmente seja eficiente, embora inicialmente difícil de aprender. Na realidade, muitas vezes, um sistema que proporciona uma boa aprendizagem aos novatos também é bom para os especialistas. A aprendizagem de um sistema é um processo contínuo, cuja performance melhora a cada nova interação, não pode ser considerado como uma distinção entre “aprendido”/“não aprendido” (NIELSEN, 1993).

Então, para confirmar os resultados em relação à produtividade, foram medidos os tempos e as taxas de sucesso durante a realização de tarefas que simularam as principais aplicações do sistema. Assim, constatou-se que 100% dos usuários completaram todas as tarefas, entretanto, as taxas de êxito sem erros ou correções ficaram abaixo do esperado. Este ponto merece atenção especial nas futuras versões do sistema, tendo em vista que um dos requisitos de usabilidade para o projeto era a prevenção de erros. Deste modo, seguem, abaixo, algumas sugestões para prevenir ou evitar alguns erros recorrentes durante o uso do sistema.

- Os conectores do cabo de ligação entre a unidade de controle e o manipulador robótico (três para cada dispositivo) poderiam ser mais fáceis de manusear e

identificar o local correto de encaixe de cada um – se possível, utilizar apenas um cabo, ou utilizar corres diferentes para cada conexão, isso reduziria o tempo de instalação e o número de tentativas para acertar a conexão.

- O sistema inicia bloqueado com o botão de Emergência ativado “piscando”, e não informa o motivo do erro ou se isso é uma condição normal de início.
- Os usuários apresentaram dificuldades para ajustar os parâmetros de soldagem devido à necessidade de clicar em um pequeno botão ao lado do campo desejado para selecionar o mesmo e então poder entrar com um valor, assim, sugere-se que a seleção do item ocorra clicando-se em qualquer ponto do campo aonde serão introduzidos os valores.
- Se possível, utilizar avisos sonoros juntamente com as mensagens de erro e emergência, pois em alguns casos os usuários não perceberam que a parada de emergência tinha sido acionada.
- Quando o usuário clicar no botão “Voltar” nas telas em que essa ação acarrete perda dos dados já configurados, exibir mensagens de aviso em relação a perda de dados e oferecendo a opção para que o usuário salve as configurações, caso deseje, antes de deixar a tela em exibição. Isso evitaria grande parte dos retrabalhos observados.
- Melhorar a condução ou orientação do usuário nas sequencias de operações. Por exemplo, após o usuário marcar os pontos da trajetória desejada, o sistema deveria indicar claramente que para poder executar a soldagem corretamente, alguns parâmetros/variáveis deveriam ser confirmados ou configurados adequadamente antes de se iniciar o processo de soldagem. Algumas variáveis de soldagem, quando configuradas de maneira inadequada, podem causar danos ao equipamento, à peça de trabalho e até mesmo ao usuário.
- Melhorar a identificação do sentido do movimento positivo e negativo (+, -) nos eixos X, Y, Z e A.

Assim, a partir da análise dos dados fornecidos na etapa de avaliação de usabilidade foi possível gerar um diagnóstico das características e elementos que representam obstáculos para os usuários, bem como, sugestões para os problemas existentes que dificultaram a realização das tarefas.

7 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.

Os resultados e a metodologia proposta no presente estudo forneceram subsídios que permitiram identificar as relações entre fatores de usabilidade e características desejáveis em sistemas interativos. Dessa maneira, espera-se que este trabalho possa contribuir para a prática de projetar equipamentos com foco na usabilidade. Visto que, com os esforços cada vez maiores no lado do desenvolvimento da tecnologia, fica evidente uma lacuna de estudos relacionados aos fatores humanos.

Assim, os resultados obtidos com desenvolvimento da IHM, visando agregar o potencial humano às novas tecnologias, foram considerados satisfatórios. Dentre os principais resultados pode-se destacar a metodologia aplicada, tendo em vista que um dos objetivos deste estudo era fornecer uma metodologia simples e sistemática para especificar e medir a usabilidade de equipamentos destinados a automação da soldagem.

Além disso, os temas abordados na pesquisa bibliográfica concentram uma grande base de conhecimentos sobre estes assuntos e podem ajudar os projetistas a reconhecer problemas de usabilidade e indicar possíveis soluções.

Os métodos e procedimentos propostos para os testes de usabilidade do Tartilope V4 foram parcialmente derivados da base teórica e experimental descrita na literatura especializada. O diferencial deste método consiste na adequação dos fatores ergonômicos e de usabilidade aos elementos específicos que compõem o sistema Homem-Máquina-Ambiente em estudo. Assim, todo o desenvolvimento do trabalho foi direcionado, especialmente, para atender as características do sistema interativo em questão. Dessa forma, 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. E, os procedimentos adotados 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.

Dessa forma, um sistema interativo destinado a aplicação de soldagem robotizada foi desenvolvido e avaliado quanto à eficácia,

eficiência e satisfação dos usuários, por meio de um conjunto de medidas de desempenho e de satisfação dos usuários (tempo para completar as tarefas, facilidade na execução das tarefas, utilidade do sistema, qualidade das informações fornecidas, qualidade da interface e satisfação geral).

Com isso, o teste de usabilidade aplicado 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.

Então, levando-se em conta os elevados índices de eficácia e eficiência obtidos neste trabalho, a usabilidade da IHM desenvolvida foi considerada altamente satisfatória quanto à sua utilidade, facilidade de uso, facilidade de aprendizado e qualidade 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 informações fornecidas pelo sistema receberam o maior número de reclamações registradas, tanto pelos participantes que já possuíam experiência no uso de sistemas automatizados para soldagem, quanto pelos participantes que não possuíam experiência nessa área.

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.

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.

Enfim, diante do exposto, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atingido, considerando-se que os procedimentos adotados atenderam as demandas em relação à engenharia de usabilidade ao percorrer todas as etapas de um ciclo de desenvolvimento centrado no usuário. Além disso, como resultados do trabalho foram gerados conhecimentos científicos na área de interação homem-máquina, assim como se viabilizou o desenvolvimento de novas tecnologias nacionais destinadas à automação da soldagem.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho concentrou e gerou uma grande quantidade de informações relacionadas à interação homem-máquina em atividades de soldagem, especialmente quanto ao desenvolvimento e avaliação de sistemas interativos com foco na usabilidade. Assim, no decorrer do estudo, juntamente com os conhecimentos adquiridos foram identificadas vertentes para futuras pesquisas, a saber:

- Realizar um novo estudo para validar as atuais recomendações de melhorias para o sistema interativo. Assim, quando um novo protótipo, revisado e alterado com base nas sugestões propostas, estiver disponível, os mesmo procedimentos deste teste podem ser empregados para verificar se a usabilidade do equipamento aumentou.
- Realizar um novo estudo aplicando-se os mesmo procedimentos deste teste para verificar e comparar as medidas de usabilidade do equipamento, quando aplicado em outros contextos de uso, como, por exemplo, em aplicações de campo.
- Realizar um estudo comparativo aplicando-se os mesmo procedimentos deste teste em outros sistemas similares de soldagem robotizada para verificar e comparar as medidas de usabilidade destes como o Tartilope v4
- Uma investigação mais profunda para extrair as diretrizes de design mais significativas para promover a facilidade de aprendizado e uso de sistemas interativos.
- Uma investigação mais profunda para extrair as diretrizes de design mais significativas na prevenção de erros do usuário em relação ao uso de sistemas interativos.

9 REFERÊNCIAS

- ABNT. (2002). *NBR 9241-11. Requisitos ergonômicos para trabalho de escritório com computadores: Parte 11 — Orientação sobre usabilidade*. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro.
- ABNT NBR ISO 9241-11. (2011). *Requisitos ergonômicos para trabalho de escritório com computadores - Parte 11: Orientação sobre usabilidade*. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- AWS - American Welding Society. (2001). *Welding Handbook* (9ª Edição ed., Vol. Volume 1). Miami, FL.
- BEVAN, N., KIRAKOWSKI, J., & MAISSELA, J. (1991). What is usability? *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Computer Interaction* , pp. 651-655.
- BOEKHOLT, R. (2000). *The welding workplace: technology change and work management for a global welding industry*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- BRACARENSE, A. Q., & FELIZARDO, I. (2007). Soldagem Robotizada. *Mecatrônica Atual* , 4.
- BROERING, C. E. (2005). *Desenvolvimento de Sistemas para a Automação da Soldagem e do Corte Térmico*. Universidade Federal de Santa Catarina, Eng. Mecânica. Florianópolis: UFSC.
- BUG-O SYSTEMS. (2008). *GO-FER III*. Acesso em 10 de Dez. de 2008, disponível em BUG-O: <http://www.bugo.com/pdf/gofbroc.pdf>
- CARVALHO, R. S. (2009). *ROBÔ CNC PARA A AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM MIG/MAG EM POSIÇÕES E SITUAÇÕES DE EXTREMA DIFICULDADE*. Dissertação submetida à UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA, Florianópolis.
- CONSTANTINE, L., & LOCKWOOD, L. (1999). *Software for use: a practical guide to the models and methods of usage centered design*. Addison-Wesley.
- CYBIS, W., BETIOL, A. H., & FAUST, R. (2007). *Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações*. Novatec.
- DAYTON, T., MCFARLAND, A., & KRAMER, F. (1998). Bridging user needs to object oriented GUI prototype via task object design. In: L. WOOD, *User interface design: bridging the gap from user requirements to design* (pp. 15-56). London: CRC Press.
- FILHO, A. R. (2003). *Desenvolvimento de um sistema de seguimento de junta que utiliza o próprio arco como sensor*. Universidade Federal de Santa Catarina, Eng. Mecânica. Florianópolis: UFSC.
- FILHO, J. G. (2004). *Gestalt do Objeto: Sistema de Leitura Visual da Forma* (6ª ed.). São Paulo: Escrituras.
- GODOY, A. S. (1995). Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de administração de empresas* , 57-63.
- GOULD, J. D., & LEWIS, C. (1983). Designing for usability—key principles and what designers think. *Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 50 - 53). Boston, Massachusetts, United States: ACM.

- HIX, D., & HARTSON, R. (1993). *Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product and Process*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- HOELZEL, C. G. (2004). *Design ergonômico de interfaces gráficas humano computador: um modelo de processo*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- IEA. (2000). *Definição internacional de ergonomia*. INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, Santa Monica, CA 90406-1369 - USA.
- IIDA, I. (2005). *Ergonomia – Projeto e Produção* (2 Ed. ed.). São Paulo: Edgar Blücher.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1999). *ISO 13407 Human-Centred Design process for interactive systems*.
- KADEFORS, R. (2001). A Human Resource Perspective on Technological Change: The Case of the European Welding Industry. In: A. WENNERBERG, *Scientific Reports from the Workshops. Work Life 2000* (pp. 160-166). Sweden: Quality in Work.
- KADEFORS, R. (1999). The Welder as a Strategic Resource: Preservation of Health and Productivity. *INTERNATIONAL CONFERENCE THE HUMAN FACTOR*, (p. 10). Lisbon.
- KADEFORS, R. (1999). The Welder as a Strategic Resource: Preservation of Health and Productivity. p. 10.
- KADEFORS, R. (1998). Workstations. In: W. Laurant, & J. Vedder, *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* (Vol. IV, pp. p. 29.56 – 29.60). Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- KLAFTER, R. D., CHMIELEWSKI, T. A., & NEGIN, M. (1989). *Robotic Engineering - An Integrated Approach*. EUA: Prentice Hall.
- LABSOLDA. (2009). *Tartilope V4*. Acesso em 15 de Jun. de 2010, disponível em Equipamento robótico para soldagem automática com quatro graus de liberdade: http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v4.php
- LEWIS, J. R. (1991). An after-scenario questionnaire for usability studies: psychometric evaluation over three trials. *SIGCHI Bulletin*, Vol. 23.
- LEWIS, J. R. (1993). *IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. Technical Report 54.786*. Boca Raton, Flórida: Human Factors Group.
- LEWIS, J. R. (2002). Psychometric Evaluation of the PSSUQ Using Data from Five Years of Usability Studies. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 14 (3-4), 463 - 488.
- MACHADO, I. G. (1996). *Soldagem & Técnicas Conexas: Processos*. Porto Alegre: MACHADO.
- MAGUIRE, M., KIRAKOWSKI, J., & VEREKER, N. (1998). *RESPECT: User centred requirements handbook*. Official Reports (Design School).
- MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., & BRACARENSE, A. Q. (2007). *Soldagem - Fundamentos e Tecnologia*. Belo Horizonte: UFMG.

- MAYHEW, D. J. (1999). *The Usability Engineering Lifecycle: A Practitioner's Handbook for User Interface Design* (1st edition ed.). Morgan Kaufmann.
- McMILLAN, G. H. (1999). Strategies for a Healthier Workforce and Environment in the New Millenium. *Welding in the World. Supplementary Issue: THE HUMAN FACTOR AND ITS ENVIRONMENT*.
- MOTOMAN. (2005). *Motoman EA1400N Arc Weld Robot*. Acesso em 09 de 10 de 2008, disponível em <http://www.motoman.com/products/robots/models/EA1400N.php>
- NAUMANN, A., HURTIENNE, J., ISRAEL, J., MOHS, C., KINDSMÜLLER, M., MEYER, H., et al. (2007). Intuitive Use of User Interfaces: Defining a Vague Concept. In: D. Harris (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (Vol. 4562, pp. 128-136). Springer Berlin / Heidelberg.
- NIELSEN, J. (1993). *Usability Engineering* (1st edition ed.). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- OKUYAMA, M. P., MERINO, E. A., CARVALHO, R. S., & SILVA, R. H. (Out. de 2010). Engenharia de Usabilidade Aplicada no Desenvolvimento da Interface Homem-Máquina para um Sistema Interativo de Soldagem Robotizada. *XXXVI CONSOLDA*.
- PACHECO JÚNIOR, W., PEREIRA FILHO, H. D., & PEREIRA, V. L. (2007). *Pesquisa científica sem tropeços - abordagem sistêmica*. São Paulo: Atlas.
- PIRES, J. N. (2003). Os Desafios da Robótica Industrial: Da interdisciplinaridade às vantagens da cooperação entre empresas e universidades. *Robótica*.
- PIRES, J. N., LOUREIRO, A., & BOLMSJÖ, G. (2006). *Welding Robots: Technology, System Issues and Applications*. London: Springer.
- PREECE, J., ROGERS, Y., & SHARP, H. (2005). *Design de interação: além da interação homem-computador*. Porto Alegre: Bookman.
- RUDD, J., STERN, K. R., & ISENSEE, S. (January de 1996). Low vs. High-fidelity Prototyping Debate. *ACM Interactions Magazine*, 76-85.
- RUDD, J., STERN, K. R., & ISENSEE, S. (Jan de 1996). Low vs. High-fidelity Prototyping Debate. *ACM Interactions Magazine*, pp. 76-85.
- SAFFER, D. (2010). *Designing for Interaction: Creating Innovative Applications and Devices* (2ª Edição ed.). Berkeley: New Riders.
- SCIAVICCO, L., & SICILIANO, B. (2004). *Modelling and control of robot manipulators*. London: Springer.
- SHNEIDERMAN, B., & PLAISANT, C. (2005). *Designing the user interface. Strategies for effective Human-Computer Interaction*. Pearson.
- SILVA, S. A. (2003). *Análise Ergonômica do Trabalho do Soldador: Contribuição Para Projetação Ergonômica*. Dissertação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre.
- SNYDER, C. (2003). *Paper Prototyping: The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces* (1 ed.). Morgan Kaufmann.
- SPS. (2008). *Equipamento para soldagem automática com dois graus de liberdade para superfícies planas*. Acesso em 29 de Out. de 2008, disponível em TARTILOPE V2: http://www.sps-soldagem.com.br/tartilope_v2.html

UNECE. (2004). *Solid recovery of sales and production of industrial robots in Germany - the world's second largest user and producer of industrial robots*. Acesso em 2008 de Out. de 28, disponível em United Nations Economic Commission for Europe: http://www.unece.org/press/pr2004/04stat_p03e.pdf

YIN, R. (1981). *Case study research: design and methods*. Londres: Sage publications.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento

Termo de Consentimento

Afirmo que sou maior de 18 anos e desejo participar da pesquisa que está sendo conduzido pelo pesquisador Marcelo P. Okuyama e seus colegas no Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina.

O propósito da pesquisa é avaliar a usabilidade do Tartílope V4, um sistema de soldagem robotizada. Também responderei a questões sobre a interface do Tartílope V4 e sobre a experiência de utilizá-lo.

Todas as informações coletas neste estudo são confidenciais, e meu nome não será identificado em momento algum.

Estou ciente de que posso fazer perguntas ou desistir da colaboração em qualquer momento, sem qualquer tipo de penalidade.

Identificação: _____

Assinatura do participante: _____

Data: ____/____/____

APÊNDICE B – Caracterização da Amostra

Perfil dos usuários

ID	
Sexo	<input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino
Idade	
Frequência de uso do sistema (Tartilope V4)	<input type="checkbox"/> baixa(nenhuma) <input type="checkbox"/> média <input type="checkbox"/> alta
Nível de instrução (maior ou em andamento)	<input type="checkbox"/> fundamental <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> superior <input type="checkbox"/> pós-graduação
Proficiência em soldagem	<input type="checkbox"/> novato <input type="checkbox"/> intermitente <input type="checkbox"/> freqüente
Proficiência em informática	<input type="checkbox"/> novato <input type="checkbox"/> intermitente <input type="checkbox"/> freqüente
Objetivos de usabilidade (ordenar de 1 a 5 pela importância sendo 1 o mais importante)	___ produtividade ___ aprendizado ___ retenção-memória ___ prevenção erros ___ satisfação ___ outros: _____

APÊNDICE C – Checklist para avaliação dos objetivos atingidos durante a execução das tarefas

Usuário: _____ Data: / / _____

Objetivos atingidos em cada cenário de uso do equipamento

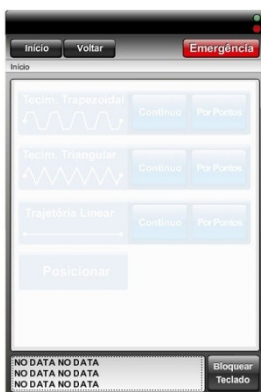
Tarefa	Itens avaliados
Preparar o Tartilope V4 para uso Comentários:	Itens conectados corretamente: <input type="checkbox"/> Tocha <input type="checkbox"/> Controle de parada de emergência <input type="checkbox"/> Vídeo do Display <input type="checkbox"/> USB do Display <input type="checkbox"/> Alimentação do Display <input type="checkbox"/> Cabos do robô-gabinete (robô) <input type="checkbox"/> Cabos do robô-gabinete (gabinete) <input type="checkbox"/> Sistema ligado <input type="checkbox"/> Tarefa concluída <input type="checkbox"/> Tarefa concluída sem erros ou correções Tempo total: _____
Executar Trajetória Comentários:	Itens configurados corretamente: <input type="checkbox"/> Posição inicial <input type="checkbox"/> Distancia Bocal/Peça: 15 mm <input type="checkbox"/> Velocidade de soldagem: 40 cm/min <input type="checkbox"/> Sentido da Soldagem: + <input type="checkbox"/> Tempo de disparo da fonte: 0 s de espera <input type="checkbox"/> Posição final <input type="checkbox"/> Tarefa concluída <input type="checkbox"/> Tarefa concluída sem erros ou correções Tempo total: _____
Carregar e executar arquivo Comentários:	Itens configurados corretamente: <input type="checkbox"/> Posição inicial <input type="checkbox"/> Arquivo a utilizado: v4_teste_02.txt <input type="checkbox"/> Tarefa concluída <input type="checkbox"/> Tarefa concluída sem erros ou correções Tempo total: _____
Programar Trajetória Comentários:	Itens configurados corretamente: <input type="checkbox"/> Distancia Bocal/Peça: 23 mm <input type="checkbox"/> Tecimento triangular por pontos <input type="checkbox"/> Marcação do Ponto inicial

-
- () Marcação do Ponto 02
 - () Marcação do Ponto 03
 - () Marcação do Ponto final
 - () 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
 - () Tarefa concluída
 - () Tarefa concluída sem erros ou correções

Tempo total: _____

APÊNDICE D – Manual de operação do equipamento

Botões Padrão



Início – aciona o “Menu Principal”, interrompendo qualquer atividade.

Voltar – aciona ao menu anterior ao atual, podendo interromper alguma atividade.

Emergência – botão de segurança, o qual interrompe o processo instantaneamente.

Bloquear/Desbloquear Teclado – impedirá o acionamento de qualquer botão, menos dos botões “Emergência” e “Desbloquear Teclado”.

Desbloquear/Bloquear Teclado – permitirá o acionamento de qualquer botão.

Posicionamento do Manipulador Robótico



Figura 1. Menu Principal



Figura 2. Menu Tecimento

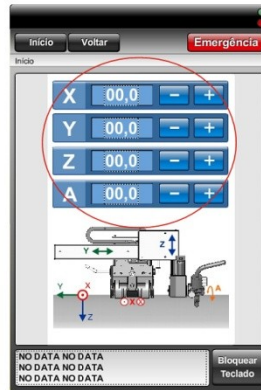


Figura 3. Menu Posicionar

1. No "Menu Principal" (Figura 1) acione o botão "Programar Trajetória".
2. No "Menu Tecimento" (Figura 2) selecione a opção "Posicionar".
3. No "Menu Posicionar" (Figura 3), posicione o manipulador no local desejado alterando os valores para as quatro juntas do manipulador.
4. Retorne ao "Início" para selecionar outra função.

Programação de Trajetória Linear Contínua



Figura 1. Menu Principal

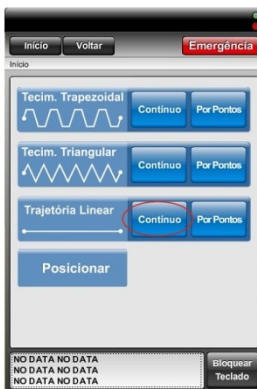


Figura 2. Menu Tecimento



Figura 3. Menu Parâmetros Linear Contínuo



Figura 4. Menu Disparo da Fonte com tempo de disparo predefinido



Figura 5. Menu Execução

1. No "Menu Principal" (Figura 1) acione o botão "Programar Trajetória" o qual o apontará para o "Menu Tecimento" (Figura 2).
2. Na barra "Trajetória Linear" acione o botão "Continuo", o qual levará para o "Menu Parâmetros Linear Contínuo" (Figura 3).
3. O usuário deve escolher a velocidade de soldagem acionando o botão "Vel. De Soldagem"
4. Em seguida, digitar o valor no teclado virtual, existente na tela do TARTILOPE V4,
5. Acionar a opção "Enter".
6. Também pode optar pelo sentido da trajetória +/-, positivo para "+" ou negativo para "-". Com o acionamento do botão "+" o mesmo é comutado para "-" e vice-versa.
- 7a. Se o disparo da fonte for manual deve acionar o botão "Finalizar Programação",
- 7b. Caso seja automático acione o botão "Ativar Disparo da Fonte"
- 7b. No "Menu Disparo Linear Contínuo" (Figura 4) o tempo de disparo, em segundos, poderá ser estipulado acionando o botão "Tempo de Disparo" e digitando o valor no teclado.
8. Em seguida acione o botão "Finalizar Programação", este levará para o "Menu Execução" (Figura 5).
9. Para iniciar deslocamento acione o botão "Iniciar".
10. Após o inicio do deslocamento, para finalizar acione o botão "Parar".

Carregar Arquivos



Figura 1. Menu Principal



Figura 2. Menu Execução

1. No "Menu Principal" (Figura 1) acione o botão "Carregar Arquivo".

No "Menu Execução" (Figura 2) o usuário pode:

- 2a. Carregar um arquivo, anteriormente criado, acionando o botão "Abrir".
- 2b. Editar este ou outro arquivo acionando o botão "Editar".
- 2c. Salvar um arquivo selecionando a opção "Salvar".

Após carregar um arquivo:

- 3a. Para iniciar a solda acione o botão "Iniciar".
- 3b. Para interromper a solda acione o botão "Pausar".
- 3c. Para parar a solda acione o botão "Parar".

Programação do Tecimento Triangular por Pontos



Figura 1. Menu Principal



Figura 2. Menu Tecimento

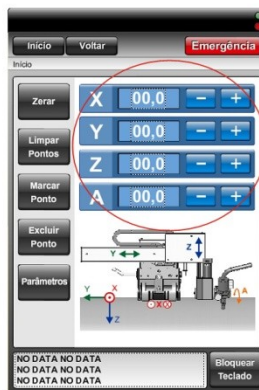


Figura 3. Menu Ponto



Figura 4. Menu Parâmetros Triangular



Figura 5. Menu Disparo Triangular



Figura 6. Menu Execução

1. No "Menu Principal" (Figura 1) acione o botão "Programar Trajetória".
2. No "Menu Tecimento" (Figura 2) selecione a opção "Por Pontos".
3. No "Menu Ponto" (Figura 3), o usuário deve movimentar o manipulador robótico para o ponto inicial de soldagem.
4. Clique no botão "Marcar Ponto".
5. Posicione o manipulador no próximo ponto desejado.
6. Clique no botão "Marcar Ponto".
5. Repetir os passos 5 e 6 até completar a marcação do trecho de solda.
6. Se os pontos marcados estão corretos clique no botão "Parâmetros".
7. No "Menu Parâmetros Triangular" (Figura 4) o usuário deve escolher os parâmetros de deslocamento.
- 8a. Se o disparo da fonte for manual deve acionar o botão "Finalizar Programação",
- 8b. Caso o disparo da fonte seja automático acione o botão "Ativar Disparo da Fonte"
- 8b. No "Menu Disparo Triangular" (Figura 5), o tempo de disparo, em segundos, poderá ser estipulado acionando o botão "Tempo de Disparo" e digitando o valor no teclado.
9. Clique no botão "Finalizar Programacao".
10. Para iniciar deslocamento acione o botão "Iniciar".

APÊNDICE E – Questionário Após-Cenário

Usuário ID:

Cenário: 01 - Preparar o equipamento para uso
 02 - Executar trajetória orbital simples
 03 - Localizar um arquivo específico e executar a programação
 pré- definida
 04 - Programar e executar uma trajetória complexa

Para cada um dos itens abaixo, por favor, circule a resposta que melhor descreve a sua experiência com o equipamento para este cenário.

Tempo para completar a tarefa

- 1 = Aceitável como está – menos tempo do que o esperado
- 2 = Aceitável como está – aproximadamente bom
- 3 = Necessita de pequenas melhorias
- 4 = Necessita de melhorias moderadas
- 5 = Necessita de muitas melhorias
- = Impossível avaliar

Comentários:

Facilidade na execução da tarefa

- 1 = Aceitável como está - muito fácil
- 2 = Aceitável como está - fácil
- 3 = Necessita de pequenas melhorias
- 4 = Necessita de melhorias moderadas
- 5 = Necessita de muitas melhorias
- = Impossível avaliar

Comentários:

Satisfação com Instruções / Material de apoio

- 1 = Aceitável como está - muito satisfeito
- 2 = Aceitável como está - satisfeito
- 3 = Necessita de pequenas melhorias
- 4 = Necessita de melhorias moderadas
- 5 = Necessita de muitas melhorias
- = Impossível avaliar

Comentários:

APÊNDICE F – Questionário Pós-Teste de Usabilidade

Usuário ID:

Questionário Pós-Teste de Usabilidade

Este questionário, que começa na página seguinte, lhe dá uma oportunidade para nos dizer quais as suas reações ao sistema que você usou. Suas respostas irão nos ajudar a compreender quais os aspectos do sistema com os quais você está particularmente preocupado e com os aspectos que satisfazem você.

Para aumentar a precisão das respostas, pense em todas as tarefas que você realizou com o sistema enquanto responde a estas perguntas.

Por favor, leia cada afirmação e indique a resposta que melhor descreve o quanto você concorda ou discorda com a afirmação circulando um número na escala. Se uma afirmação não se aplica a você, escreva N/A.

Por favor, escreva comentários para complementar suas respostas.

Depois de ter preenchido este questionário, eu vou revisar suas respostas com você para ter certeza que eu entendi todas as suas respostas.

Obrigado!

1. No geral, estou satisfeito com a facilidade de usar este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

2. Foi simples utilizar este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

3. Eu poderia cumprir de forma eficaz as tarefas e cenários utilizando este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

4. Eu fui capaz de completar as tarefas e os cenários rapidamente utilizando este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

5. Eu fui capaz de completar as tarefas e cenários de forma eficiente utilizando este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

6. Eu me senti confortável com este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

7. Foi fácil aprender a usar este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

8. Penso que poderia me tornar produtivo rapidamente utilizando este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

9. O sistema deu mensagens de erro que me disseram claramente como corrigir problemas.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

10. Sempre que eu cometi um erro usando o sistema, eu consegui recuperar de forma fácil e rapidamente.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

11. As informações (como a ajuda na tela, mensagens e outros documentos) fornecidas com este sistema foram claras.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

12. Foi fácil encontrar a informação que eu precisava.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

13. As informações fornecidas pelo o sistema foram fáceis de compreender.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

14. A informação foi eficaz para ajudar-me a concluir as tarefas e os cenários.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

15. A organização das informações nas telas do sistema esta clara.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

Nota: A interface inclui os itens que você utiliza para interagir com o sistema. Por exemplo, alguns componentes da interface são o teclado e as telas (incluindo a utilização de elementos gráficos e linguagem).

16. A interface do sistema foi agradável.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

17. Gostei de usar a interface do sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

18. Este sistema tem todas as funções e capacidades que espero que tenha.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

19. No geral, estou satisfeito com este sistema.

Concordo Totalmente	1	2	3	4	5	6	7	Discordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Comentários:

ANEXO A – Técnicas para identificação de requisitos de usabilidade

Tabela 20 - Técnicas de coleta de dados utilizadas na atividade de identificação de requisitos.

Técnica	Boa para	Tipo de dados	Vantagens	Desvantagens
Questionários	Responder a questões específicas	Dados qualitativos e quantitativos	Pode atingir várias pessoas com poucos recursos	O design é crucial. O índice de resposta pode ser baixo. As respostas podem não ser o que você deseja
Entrevistas	Explorar questões	Alguns dados quantitativos, mas mais qualitativos	O entrevistador pode guiar o entrevistado se necessário. Encoraja o contato entre desenvolvedores e usuários	Requer tempo. Ambientes artificiais podem intimidar o entrevistado
Grupos de foco e workshops	Coletar vários pontos de vista	Alguns dados quantitativos, mas mais qualitativos	Ressalta áreas de consenso e conflito. Encoraja o contato entre desenvolvedores e usuários	Possibilidade de dominarem certos tipos de personalidade
Observação natural	Entender o contexto da atividade do usuário	Qualitativos	Observar o trabalho real oferece percepções que outras técnicas não podem oferecer	Requer muito tempo. Grandes quantidades de dados

Estudo de documentação	Aprender sobre procedimentos, regulamentações e padrões	Quantitativos	Não compromete o tempo dos usuários	O trabalho diário será diferente dos procedimentos documentados
-------------------------------	---	---------------	-------------------------------------	---

Fonte: (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005) p. 235.

ANEXO B – Exemplos de medidas para usabilidade

Tabela 21 - Exemplo de medidas para propriedades desejáveis do produto

Objetivos de usabilidade	Medidas de eficácia	Medidas de eficiência	Medidas de satisfação
Usabilidade Global	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de objetivos alcançados; ▪ Porcentagem de usuários completando a tarefa com sucesso; ▪ Média da acurácia de tarefas completadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo para completar uma tarefa; ▪ Tarefas completadas por unidade de tempo; ▪ Custo monetário de realização da tarefa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de satisfação; ▪ Frequência de uso; ▪ Frequência de reclamações.
Adequado às necessidades de usuários treinados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de tarefas importantes realizadas; ▪ Porcentagem de funções relevantes usadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiência relativa comparada com um usuário experiente. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para satisfação com características importantes.
Adequado às necessidades para usar facilmente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de tarefas completadas com sucesso na primeira tentativa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo gasto na primeira tentativa⁽¹⁾; ▪ Eficiência relativa na primeira tentativa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Taxa de uso voluntário. ▪
Adequado às necessidades para uso não freqüente ou intermitente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de tarefas completadas com sucesso depois de um período específico sem uso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo gasto reaprendendo funções⁽¹⁾; ▪ Número de erros persistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frequência de reuso.

Redução de necessidade de suporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de referências para documentação; ▪ Número de chamadas ao suporte; ▪ Número de acessos para obter ajuda. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo produtivo⁽¹⁾; ▪ Tempo para aprender por critério⁽¹⁾. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para satisfação com recursos de apoio.
Facilidade de Aprender	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de funções aprendidas; ▪ Porcentagem de usuários que conseguem aprender por critério. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo para aprender por critério⁽¹⁾; ▪ Tempo para reaprender por critério⁽¹⁾; ▪ Eficiência relativa durante o aprendizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para facilidade de aprendizado.
Tolerância a erros	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de erros corrigidos ou apresentados pelo sistema; ▪ Número tolerado de erros do usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo gasto na correção de erros. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para tratamento de erros.
Legibilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentagem de palavras lidas corretamente em uma distância normal de visualização 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo para ler corretamente um número especificado de caracteres. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala para desconforto visual.

Nota 1: Convém que nesses exemplos os recursos sejam medidos em relação a um nível especificado de eficácia.

Fonte: (ABNT NBR ISO 9241-11, 2011) p. 12

ANEXO C – Características dos diferentes paradigmas de avaliação

Tabela 22 - Características dos diferentes paradigmas de avaliação

Paradigmas de avaliação	Testes de usabilidade	Rápida e suja	Estudos de campo	Avaliação preditiva
Papel dos usuários	Realizar um conjunto de tarefas.	Comportamento natural.	Comportamento natural.	Geralmente os usuários não são envolvidos.
Quem controla	Muito controle dos avaliadores.	Os avaliadores têm um mínimo de controle.	Os avaliadores tentam desenvolver relacionamentos com os usuários.	Avaliadores experientes.
Local	Laboratório.	Ambiente natural ou laboratório.	Ambiente natural.	Orientada a laboratórios, mas geralmente ocorre nas instalações do usuário.

Quando é utilizado	Com um protótipo ou produto.	A qualquer momento que você quiser obter feedback sobre um design rapidamente. Técnicas de outros paradigmas de avaliação podem ser utilizadas – p. ex.: especialistas revisam o software.	Mais frequentemente utilizada no início do design, para verificar se as necessidades dos usuários estão sendo atendidas ou para avaliar problemas ou oportunidades de design.	Revisões de especialistas (geralmente feitas por consultores) com um protótipo, que podem, no entanto, ocorrer a qualquer momento. São utilizados para avaliar aspectos específicos de um design em potencial.
Tipo de dados	Quantitativos. Algumas vezes, validados estatisticamente. As opiniões dos usuários são coletadas por meio de questionários ou entrevistas.	Geralmente qualitativos, descrições informais.	Descrições qualitativas geralmente acompanhadas de esboços, cenários, citações e outros artefatos.	Lista de problemas realizada pelos revisores especializados. Dados quantitativos do modelo; p. ex.: quanto tempo leva para realizar uma tarefa utilizando-se dois designs.

Como retornam para o design	Relatório de desempenho, erros, etc. As descobertas fornecem um parâmetro para as versões futuras.	Esboços, citações, relatório descritivo.	Descrições que incluem citações, esboços curiosidade s e algumas vezes logs.	Os revisores fornecem uma lista de problemas, geralmente com sugestões de soluções. Tempos calculados a partir de modelos são fornecidos aos designers.
Filosofia	Abordagem aplicada, baseada em experimentação o, isto é, engenharia de usabilidade.	Abordagem centrada no usuário, altamente prática.	Pode ser observação objetiva ou etnográfica.	Heurísticas práticas e a experiência dos profissionais sustentam as revisões dos especialistas. A teoria apóia os modelos.

Fonte: (PREECE, ROGERS, & SHARP, 2005) p. 364