

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Dissertação de Mestrado

**Aspectos da Consciência Situacional no Processo de
Soldagem Linear Orientado a Interação Humano-Robô:
Uma Abordagem Baseada em Ontologias**

Caroline Waschburger Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Nelson Lopes Duarte Filho
Coorientadora: Prof. Dr^a. Danúbia Bueno Espíndola

Rio Grande, 2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aspectos da Consciência Situacional no Processo de Soldagem Linear Orientado a Interação Humano-Robô: Uma Abordagem Baseada em Ontologias

Caroline Waschburger dos Santos

Banca examinadora:

Prof. Dr.ª. Sílvia Silva da Costa Botelho

Prof. Dr. Renato Henriques Ventura

Prof. Dr. Nelson Lopes Duarte Filho
Orientador(a)

Prof. Dr. Danúbia Bueno Espíndola
Coorientador(a)

Ficha catalográfica

S237a Santos, Caroline Waschburger dos.

Aspectos da consciência situacional no processo de soldagem linear orientado a interação humano-robô: uma abordagem baseada em ontologias / Caroline Waschburger dos Santos. – 2019.

101 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Computação, Rio Grande/RS, 2019.

Orientador: Dr. Nelson Lopes Duarte Filho.

Coorientadora: Dra. Danúbia Bueno Espíndola.

1. Consciência Situacional 2. Interação Humano-Robô
3. Soldagem Robotizada 4. Ontologia I. Duarte Filho, Nelson Lopes
II. Espíndola, Danúbia Bueno III. Título.

CDU 621.791:004.896

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo amor, apoio incondicional e compreensão em todos os momentos que estive distante.

Agradeço profundamente aos amigos que fiz, que estiveram ao meu lado nos momentos mais importantes e que dedicaram seu tempo para me ajudar nessa pesquisa. Angélica, Miguel, Vinícius, Camila, Tatiane, Henrique e todos os outros, obrigada por tudo! Vocês são incríveis!

Agradeço aos meus amigos do trabalho, especialmente à Letícia, Evandro e Thiago, que me apoiaram no final da jornada e suportaram meus momentos de ansiedade, meu respeito e gratidão por poder conviver com pessoas que admiro tanto.

Agradeço ao meu orientador Nelson e minha coorientadora Danúbia pela paciência, ajuda e sabedoria compartilhada durante esses anos.

Agradeço a minha banca, composta pela professora Dr^a. Sílvia e o professor Dr. Renato, pelos ensinamentos, contribuições e disponibilidade.

À todos os professores do programa e voluntários que participaram na pesquisa, muito obrigada!

Agradeço à CAPES, pelo apoio financeiro para realização dessa pesquisa.

*Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!*
—DAS UTOPIAS, MARIO QUINTANA

RESUMO

SANTOS, Caroline Waschburger. **Aspectos da Consciência Situacional no Processo de Soldagem Linear Orientado a Interação Humano-Robô: Uma Abordagem Baseada em Ontologias**. 2019. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

Segurança, eficiência e eficácia são características importantes na interação humano-robô em um contexto de fábrica. Assim, trabalhadores e operadores estão expostos a desafios de interagir com determinados sistemas, em particular com robôs de soldagem. Considerando a complexidade do contexto industrial e do próprio processo de soldagem, um fator importante para o operador é "entender o que está acontecendo" ou obter consciência situacional (SA). A SA aumenta a capacidade de tomada de decisões, reduz erros e adiciona recursos para melhorar a interface humano-robô (IHR). O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ontologia para o mapeamento dos principais aspectos da consciência situacional no contexto da soldagem robotizada. A modelagem utilizando ontologias define detalhadamente o escopo do chão de fábrica em relação ao sistema, ao ambiente, ao time de operadores, a empresa, aos robôs e a tarefa de soldagem linear. A identificação dos aspectos foi efetuada na interface original e atualizada do robô de solda MDS-1005 da fabricante BUG-O Systems, como objeto do estudo de caso. A avaliação do estudo de caso foi realizada com seis participantes que executaram tarefas pré determinadas de simulação com o robô. Para validação da ontologia, ao final das tarefas, foi aplicado um questionário SART adaptado e com aspectos voltados aos três níveis de SA. Os resultados obtidos demonstram que a interface atualizada, que contém mais aspectos da ontologia, proporcionou maior consciência situacional para os participantes, portanto maior percepção do processo de soldagem robotizada, compreensão da situação e na capacidade de prever a evolução do processo como um todo.

Palavras-chave: Consciência situacional, Interação humano-robô, Soldagem robotizada, Ontologia.

ABSTRACT

SANTOS, Caroline Waschburger. **Aspects of Situational Awareness in the Human-Robot Interaction Oriented Linear Welding Process: An Ontology-Based Approach.** 2019. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

Safety, efficiency and effectiveness are important features in human-robot interaction in a factory context. Thus, workers and operators are exposed to the challenges of interacting with particular systems, particularly welding robots. Given the complexity of the industrial context and the welding process itself, an important factor for the operator is "understanding what's going on" or gaining situational awareness (SA). SA increases decision making, reduces errors and adds features to improve the human-robot interface (IHR). The general objective of this work is to develop an ontology for mapping the main aspects of situational awareness in the context of robot welding. Modeling using ontologies defines in detail the scope of the shop floor in relation to the system, the environment, the operator team, the company, the robots and the linear welding task. Aspect identification was performed on the original and updated interface of the welding robot MDS-1005 from manufacturer BUG-O Systems, as the object of the case study. The case study evaluation was performed with six participants who performed predetermined simulation tasks with the robot. To validate the ontology, at the end of the tasks, an adapted SART questionnaire was applied, with aspects focused on the three levels of AS. The results show that the updated interface, which contains more aspects of ontology, provided greater situational awareness for the participants, thus greater understanding of the robotic welding process, understanding of the situation and the ability to predict the evolution of the process as a whole.

Keywords: Situation awareness, Human-robot interaction, Robotic welding, Ontology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Proposta de classificação industrial de IHR em quatro níveis. Adaptado de (BDIWI; PFEIFER; STERZING, 2017)	18
Figura 2	Classificação da IHR adaptada da proposta de LINDA; XENIA; THOMAS (2016) com as expressões colaboração, cooperação e coexistência.	19
Figura 3	Taxionomia para robôs. Adaptado de (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).	20
Figura 4	Padrões industriais e padrões de segurança para IHR na indústria. Adaptado de (VILLANI et al., 2018).	22
Figura 5	Métricas para avaliação IHR. Adaptado de (MURPHY; SCHRECKENHOST, 2013)	24
Figura 6	Modelo de processo dinâmico de SA. Adaptado de (ENDSLEY, 1995).	27
Figura 7	Configurações principais de robôs para operações de soldagem (CARY, 1994).	40
Figura 8	Configurações principais de robôs para operações de soldagem (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2016).	43
Figura 9	Exemplo de especificação da linguagem Ontolândia.	47
Figura 10	Exemplo de especificação da linguagem XML.	48
Figura 11	Exemplo de especificação da linguagem RDF.	48
Figura 12	Exemplo de especificação da linguagem OWL.	49
Figura 13	Exemplos de métodos de visualização de ontologias (DUDÁŠ et al., 2018).	50
Figura 14	Características que influenciam no aspecto usuário.	63
Figura 15	Características que influenciam no aspecto sistema.	63
Figura 16	Características que influenciam no aspecto ambiente.	64
Figura 17	Características que influenciam no aspecto grupo.	65
Figura 18	Características que influenciam no aspecto empresa.	65
Figura 19	Características que influenciam no aspecto robô.	66
Figura 20	Características que influenciam no aspecto tarefa de soldagem.	67
Figura 21	Exemplo de classe e subclasse.	68
Figura 22	Exemplo de uma propriedade de objeto.	69
Figura 23	Exemplo de uma propriedade do tipo dado.	69
Figura 24	Interface da ferramenta Protégé	69
Figura 25	Interface da ferramenta Astah	70
Figura 26	Ontologia em forma de grafo gerado pelo plugin OntoGraf.	71
Figura 27	Forma de representação da ontologia básica.	72

Figura 28	Forma de representação da ontologia em UML.	73
Figura 29	Layout do robô de solda linear do Sistema BUG-O MDS-1005. . . .	78
Figura 30	Layout do robô de solda linear do Sistema BUG-O MDS-1005. . . .	79
Figura 31	Interface digital móvel IHR e suas funcionalidades.	80
Figura 32	Aspectos presentes na interface inicial.	81
Figura 33	Aspectos identificados na interface de configuração.	81
Figura 34	Aspectos identificados na interface de monitoramento de parametri- zação	82
Figura 35	Aspectos presentes na interface de monitoramento de solda.	82
Figura 36	Aspectos e organização do SA no estudo de caso.	83
Figura 37	Comparação dos aspectos nas interfaces.	83
Figura 38	Resultados para SART por componente e SA global.	86
Figura 39	Resultados obtidos para os níveis e SA global.	86
Figura 40	Média das respostas obtidas para ambas as interfaces na questão treze (Q13).	87
Figura 41	Respostas do P6 para as questões Q7 a Q15 referentes a avaliação dos três níveis de SA.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Categorias e subcategorias de medição de SA (adaptado de UHLARIK (2002))	30
Tabela 2	Medidas diretas de SA: técnicas objetivas, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)	33
Tabela 3	Medidas diretas de SA: técnicas subjetivas, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)	35
Tabela 4	Medidas Indiretas de SA: medidas de processo, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)	37
Tabela 5	Medidas Indiretas de SA: medidas de comportamentais e baseadas no desempenho, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)	39
Tabela 7	Comparação de medidas de SA (adaptado de OLIVEIRA (2016))	75
Tabela 8	Mapeamento dos componentes de SART utilizados.	75
Tabela 9	Mapeamento dos componentes de SART associados as questões.	76
Tabela 10	Mapeamento das questões e o nível de SA.	77
Tabela 11	Descrição das funcionalidades mapeadas na interface original.	79
Tabela 12	Respostas obtidas para as questões Q1 a Q6 por participante.	89
Tabela 13	Respostas obtidas para as questões Q7 a Q15 por participante.	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IHR	Interação Humano-Robô
IHC	Interação Humano-Computador
SA	Consciência Situacional
SAGAT	Técnica de Avaliação Global da Consciência Situacional
SART	Técnica de Avaliação da Consciência Situacional
SWORD	Domínio de Carga de Trabalho Subjetivo
SPAM	Método de Avaliação Situação Presente
QUASA	Avaliação Quantitativa da Consciência Situacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivos específicos	15
1.2	Estrutura do texto	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Interação humano-robô	17
2.1.1	Taxionomia	18
2.1.2	Métricas de avaliação	22
2.2	Consciência situacional	23
2.2.1	Modelo de SA	26
2.2.2	Fatores que influenciam e o que não é SA	27
2.2.3	Medidas de avaliação de SA	30
2.3	Soldagem robotizada	40
2.3.1	Tipos de robôs	42
2.3.2	Riscos e considerações da soldagem robotizada	43
2.4	Modelagem ontológica	44
2.4.1	Tipos de ontologias	45
2.4.2	Elementos básicos das ontologias	46
2.4.3	Linguagens	47
2.4.4	Métodos de visualização	48
2.5	Síntese do capítulo	50
3	TRABALHOS RELACIONADOS	52
3.1	IHR e técnicas de avaliação	52
3.2	IHR e SA	55
3.3	Síntese do capítulo	61
4	PROPOSTA	62
4.1	Ontologia de SA para soldagem linear robotizada	62
4.1.1	Usuário	62
4.1.2	Sistema	63
4.1.3	Ambiente	63
4.1.4	Grupo	64
4.1.5	Empresa	65
4.1.6	Robô	65
4.1.7	Tarefa de soldagem	66

4.2	Implementação da ontologia	67
4.2.1	Linguagem	67
4.2.2	Elementos básicos	68
4.2.3	Ferramentas	69
4.2.4	Formas de visualização da ontologia	70
4.3	Método de avaliação de SA	72
5	ESTUDO DE CASO	78
5.1	Avaliação do estudo de caso	83
5.1.1	Participantes e ambiente de medição	83
5.1.2	Procedimentos de medição	84
5.1.3	Medição da SA	84
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
7	CONCLUSÕES	90
	REFERÊNCIAS	92
	ANEXO A TERMO DE CONSENTIMENTO	99
	APÊNDICE A QUESTIONÁRIO	100

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por mudanças e contínua evolução tecnológica do setor industrial, para que o usuário possa perceber os elementos, lidar com o aumento da carga cognitiva e efetuar uma tomada de decisão correta em ambientes com altos níveis de automação e robótica, a Consciência Situacional torna-se um aspecto determinante para interação humano-robô. Segundo ENDSLEY (2016), a SA (sigla de Consciência Situacional, do inglês *Situational Awareness*) aumenta a capacidade de tomada de decisão, induzindo a redução de erros e afetando significativamente a segurança do usuário no trabalho, bem como sua eficácia e efetividade.

Ambientes industriais modernos fazem com que trabalhadores, e operadores, sejam expostos aos desafios da interação de sistemas com grande volume de dados e alta complexidade de automação nos diferentes níveis da fábrica e operações.

Outra importante característica nesses ambientes é a interação humano-robô (IHR), que explora as interações entre robôs e humanos para desenvolver novas técnicas de transferência de conhecimento, projetar equipamentos robóticos mais eficazes e tornar os processos mais simples para os usuários (ARGALL; BILLARD, 2010).

Dentre as tarefas realizadas na indústria, este trabalho foca no processo de soldagem onde pequenas imperfeições na solda podem levar à consequências graves, exigindo assim trabalhadores altamente qualificados. Sendo assim, a utilização de robôs nos processos de soldagem garante benefícios importantes para a qualidade da produção (SICILIANO; KHATIB, 2016).

Ainda que a consciência situacional seja o foco de pesquisas em áreas como táticas militares e aviação, esse tema não é amplamente abordado em pesquisas com a soldagem linear robotizada, onde há o processo de interação humano-robô.

Sendo assim, os sistemas para IHR utilizados atualmente na indústria e suas interfaces fornecem suporte para que o usuário efetue ações considerando o objetivo do procedimento e questões técnicas. Porém, os mesmos raramente tratam questões comunicativas, legais, políticas e ambientais durante a interação, neste sentido, o uso da SA pelo usuário poderá permitir uma compreensão mais ampla dos processos. Muitas vezes sem o uso de SA, o estado do equipamento e planta percebido pelo humano reflete a situação de

forma incompleta ou errônea, o que além de poder causar problemas levando a acidentes, minimiza o potencial de valor agregado (OLIVEIRA, 2016).

Para dar suporte ao desenvolvimento completo da SA de um usuário imerso no contexto industrial, este trabalho propõe uma ontologia da SA para interação humano-robô no processo de soldagem linear.

A modelagem ontológica da consciência situacional servirá para esclarecer o escopo em que o trabalhador está imerso, suas especificidades, contribuir na prevenção e redução de acidentes aumentando a confiabilidade dos procedimentos. Assim auxiliar no processo de análise, *design* e avaliação de interfaces de IHR, que apoiem a SA no âmbito da soldagem robotizada, um aspecto importante para a tomada de decisão em sistemas dinâmicos e complexos.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ontologia para o mapeamento dos principais aspectos da consciência situacional no contexto da soldagem linear robotizada. A modelagem utilizando ontologias define detalhadamente o escopo do chão de fábrica em relação ao sistema, ao ambiente, ao time de operadores, a empresa, aos robôs e a tarefa de soldagem.

1.1.1 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- Elaborar quais aspectos influenciam a consciência situacional na soldagem robotizada;
- Compreender o processo de abstração de um domínio para transformá-lo em ontologia;
- Desenvolver a ontologia;
- Investigar métodos de modelagem ontológica;
- Adaptar um método de medição da consciência situacional para validar a ontologia.

1.2 Estrutura do texto

O texto está estruturado em 7 capítulos. No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica para embasar a realização deste trabalho. No Capítulo 3 estão dispostos os trabalhos relacionados. No Capítulo 4 é apresentada a ontologia e os métodos de avaliação escolhido. No Capítulo 5 é descrito o estudo de caso e o processo de avaliação do mesmo.

O Capítulo 6 expõe os resultados obtidos e discussões. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões deste trabalho, seguido das referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Interação humano-robô

De acordo com a Associação de Robótica Industrial (RIA- Robotic Industries Association) um robô industrial pode ser entendido como uma máquina programável cuja função principal é manipular peças ou executar tarefas (RIVIN, 1988). Inicialmente, robôs eram usados na indústria para substituir humanos do risco envolvido em tarefas perigosas. Porém, atualmente, seu uso está relacionado as mais diversas necessidades humanas (GARCIA et al., 2007). Ainda que esses sistemas inteligentes continuem evoluindo, sistemas completamente autônomos estão ainda distantes de serem amplamente utilizados. Então é necessário que humanos monitorem esses sistemas, intervendo quando necessário (SCHOLTZ, 2002).

No contexto da robótica, as interfaces de usuário tem a importante função de contribuir para que os humanos tenham uma melhor interação com os robôs. Os trabalhos realizados em pesquisas no *design* e avaliação de interfaces podem contribuir significativamente para incrementar a performance desses sistemas e a colaboração entre humanos e robôs. Essa colaboração também acarreta no desenvolvimento de outras pesquisas, como antecipar a intenção de um ser humano em um espaço de trabalho compartilhado e gerar trajetórias suaves que sejam intuitivas para uma pessoa prever (KRUSE; RADKE; WEN, 2015).

A interação humano-robô (IHR) é conceituada como “o estudo dos humanos, robôs e as formas que eles influenciam uns aos outros” (SCHOLTZ, 2003). Enquanto disciplina a IHR é composta de análise, *design*, modelagem, implementação e avaliação de robôs. Esse campo é fortemente relacionado com a interação humano-computador (IHC) e interação homem-máquina (IHM). No entanto, ela é distinta em alguns aspectos de interação, tendo em vista que robôs podem apresentar sistemas dinâmicos com variados níveis de autonomia que operam em um ambiente real (CAMPANA; QUARESMA, 2017).

2.1.1 Taxionomia

2.1.1.1 Classificação da interação

Uma das formas de classificar os sistemas IHR é feita de acordo com a função que o mesmo executava, sendo dividido em "compartilhamento de espaço de trabalho" e "compartilhamento de tempo". No sistema de compartilhamento de espaço de trabalho, humanos e robôs executam tarefas separadas. No sistema de compartilhamento de tempo, humanos e robôs realizam uma tarefa juntos.

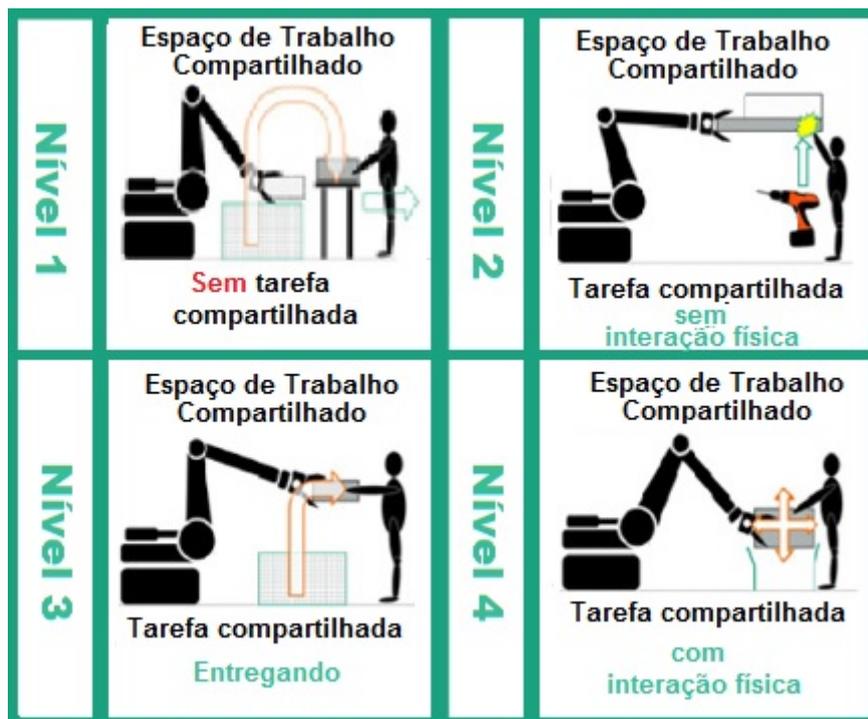


Figura 1: Proposta de classificação industrial de IHR em quatro níveis. Adaptado de (BDIWI; PFEIFER; STERZING, 2017)

Outra forma de classificar esses sistemas de IHR industriais, demonstrada na Figura 1, é organizada em quatro níveis:

- Espaço de trabalho compartilhado sem tarefa compartilhada;
- Espaço de trabalho compartilhado, tarefa compartilhada sem interação física;
- Espaço de trabalho compartilhado, tarefa compartilhada;
- Espaço de trabalho compartilhado, tarefa compartilhada com interação física.

No primeiro nível o humano precisa trabalhar perto do robô devido a um espaço de trabalho ou fluxos de processo limitados. Então, ambos têm suas próprias tarefas, porém estão agindo em um espaço de trabalho sem esforço compartilhado. No nível dois, o humano e o robô têm uma tarefa compartilhada, mas a cooperação é baixa. Não há contato

direto entre humano e robô. Um exemplo de tarefa compartilhada seria o robô segurar um componente com firmeza enquanto o humano está executando uma tarefa (montagem, soldagem, etc.). A tarefa é compartilhada no terceiro nível e consiste em uma entrega direta entre humano e robô. Um exemplo adequado desse nível é dado quando o robô traz uma ferramenta necessária e entrega diretamente ao humano na linha de montagem. No último nível, a IHR física é necessária para cumprir a tarefa. Por exemplo, o robô pode trazer componentes pesados para o trabalhador humano (BDIWI; PFEIFER; STERZING, 2017).

Outra forma de classificar a IHR é proposta por LINDA; XENIA; THOMAS (2016), Figura 2, utilizando as expressões colaboração, cooperação e coexistência. A cooperação trabalha em direção de um objetivo comum mais alto. No entanto, as ações não são diretamente dependentes umas das outras, pois há uma clara divisão de tarefas entre o humano e o robô. Humanos e robôs, portanto, trabalham em diferentes sub-tarefas do resultado final, cuja alocação é determinada antes do processamento da tarefa. Um exemplo dessa forma de cooperação é o uso de robôs *pick & place* na produção, onde os robôs e humanos trabalham juntos em uma cadeia de produção com um objetivo comum de produzir um produto específico. Nesse exemplo, o ser humano pode rotular garrafas e o robô assume colocando-as em caixas (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).

A colaboração, ao contrário da cooperação, descreve uma interação direta entre humano e robô. Sendo assim, ambos perseguem um objetivo comum. Em outras palavras, ações parciais para alcançar os objetivos também podem ser realizadas em conjunto por humanos e robôs, para que a coordenação imediata seja alcançada (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).



Figura 2: Classificação da IHR adaptada da proposta de LINDA; XENIA; THOMAS (2016) com as expressões colaboração, cooperação e coexistência.

2.1.1.2 Classificação do robô

Tendo em vista que na IHR o robô é o parceiro de interação com o homem, a operação e o *design* do mesmo têm uma grande influência na interação. Segundo LINDA; XENIA; THOMAS (2016), a classificação do robô vista na Figura 3, pode ser feita da

seguinte forma: tarefa do robô, campo de aplicação do robô, morfologia do robô e grau de autonomia do robô.

A descrição da tarefa do robô engloba cinco tipos de tarefas, de modo que uma categorização de diferentes tarefas em diferentes áreas de aplicação é possível. Sendo assim, as tarefas são definidas da seguinte forma (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016):

- **Intercâmbio de Informações:** Essa tarefa é projetada para capturar e distribuir informações do robô para os humanos quando eles não podem explorar o ambiente por si mesmos (por exemplo, veículos aéreos não tripulados transmitindo imagens de uma área).
- **Precisão:** O robô é especialmente usado em trabalhos de filigrana, pois pode executar uma tarefa com mais precisão do que a humana (por exemplo, robôs cirúrgicos que filtram o tremor do cirurgião).
- **Carga/alívio:** O robô é usado para manipular objetos ou pessoas, a fim de auxiliar no trabalho físico (carregando, levantando, consertando) (por exemplo, exoesqueleto humano).
- **Transporte:** O robô é usado para transportar objetos de um local para outro (por exemplo, robôs de transporte de pacotes em lojas de pedidos).
- **Manipulação:** O robô muda fisicamente seu ambiente (por exemplo, robôs de soldagem que realizam soldagem em um objeto).

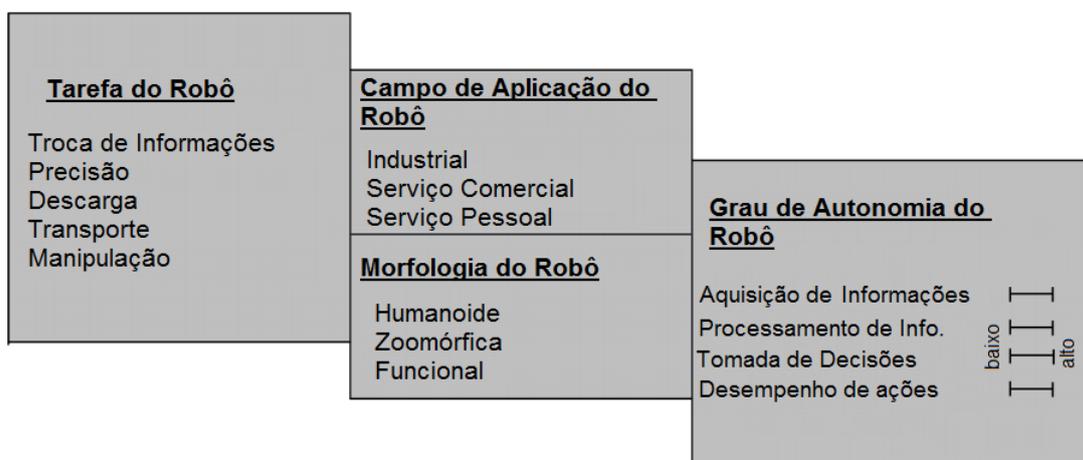


Figura 3: Taxionomia para robôs. Adaptado de (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).

O campo de aplicação do robô pode ser subdividido de acordo com a ISO 8373 (2012) em industriais e de serviços. O campo serviço é novamente subdividida em serviço comercial e serviço pessoal. O serviço comercial inclui robôs usados como prestadores de serviços como por exemplo robôs de limpeza para sistemas solares . Já os robôs de

serviço pessoal são, como o próprio nome sugere, robôs para uso pessoal, como cortadores de grama robóticos ou robôs aspiradores para limpeza doméstica (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).

A morfologia do robô é essencial para as expectativas do usuário sobre as suas capacidades, bem como sobre como se comunicar com o robô. YANCO; DRURY (2002) também descreveram a morfologia como uma característica definidora da interação, podendo ser utilizada para associá-la a certos objetos que permitem uma interação mais intuitiva. Os robôs humanoides são um exemplo disso e, quanto mais similar ao ser humano for o robô, maior a probabilidade de despertar associações humanas que afetam a maneira como as pessoas interagem com ele (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).

O grau de autonomia determina o nível de intervenção dos seres humanos nas atividades desenvolvidas pelos robôs. Quanto mais autônomo o robô opera, menos o homem tem que intervir. O nível de autonomia nessa taxonomia é estendido aos níveis propostos por WICKENS et al. (2013) de aquisição de informações, processamento de informações, tomada de decisões e desempenho de ações. Essa autonomia pode ser abordada em qualquer um dos quatro níveis e ter diferentes impactos, de "baixo" a "alto", implicitamente, implicando na intervenção humana (LINDA; XENIA; THOMAS, 2016).

2.1.1.3 Segurança em IHR

Em qualquer nível ou forma de interação, a segurança é um pré-requisito fundamental na utilização de produtos, máquinas e sistemas industriais. A fim de desenvolver estratégias de controle eficazes e confiáveis para a IHR, o conceito de segurança necessita ser claramente entendido (NAJMAEI; KERMANI, 2010). Quando se trata de segurança humana, a prevenção de acidentes sempre pode ser melhorada, tendo em vista que todo contato cria potencial para ocorrência de acidente. Uma vez que os perigos são conhecidos, eles podem ser eliminados ou reduzidos pelo *design*, proteção, controle e outros métodos (VASIC; BILLARD, 2013). Para melhorar a IHR, os padrões de segurança dispõem de requisitos e diretrizes de *design* que ajudam e simplificam o desenvolvimento de novos sistemas (VILLANI et al., 2018).

Conforme relatado em VILLANI et al. (2018) os principais padrões para soluções robóticas podem ser classificados em três categorias, as quais são apresentadas na Figura 4. A primeira categoria, padrão Tipo A, contempla os padrões básicos de segurança para requisitos gerais que podem ser aplicados a maquinários. A ISO 12100 e a IEC 61508 são os padrões que tratam, respectivamente, a terminologia e a metodologia usadas para garantir a segurança das máquinas, como a avaliação e redução de riscos em máquinas elétricas, eletrônicas e programáveis.

A classe do padrão Tipo B refere-se a padrões genéricos de segurança e está subdividida em B1 e B2. Em B1 os aspectos abordados são específicos de segurança. Por exemplo, ISO 13849-1 referem-se ao projeto do sistema de segurança de baixa comple-

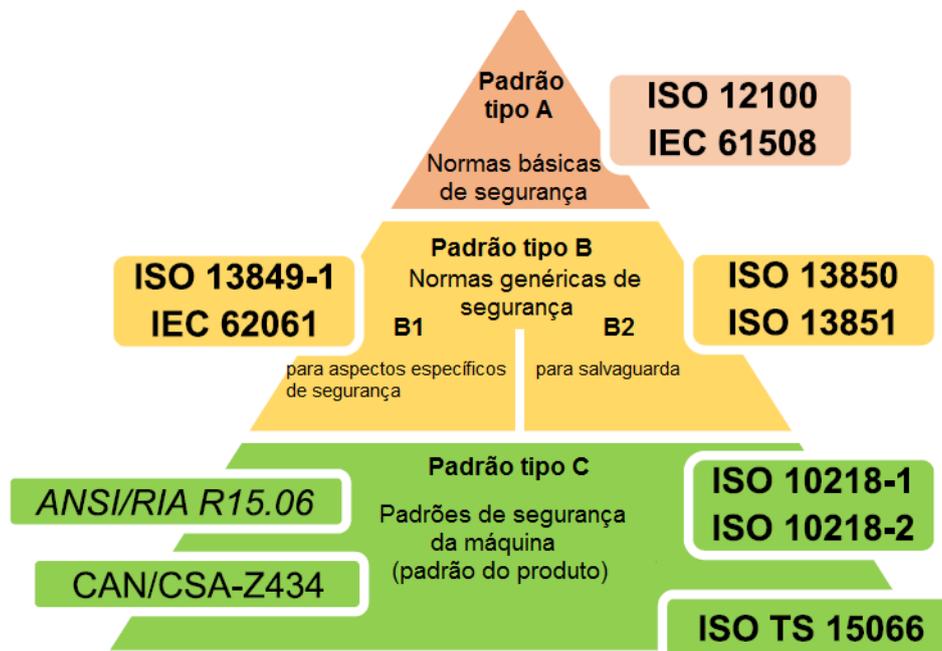


Figura 4: Padrões industriais e padrões de segurança para IHR na indústria. Adaptado de (VILLANI et al., 2018).

xidade. Já em B2, os aspectos de segurança de proteção, como ISO 13850, descrevem os aspectos funcionais específicos de dispositivos de parada de emergência. A terceira categoria, Tipo C, descreve padrões de segurança individuais que especificam as contramedidas de segurança para máquinas específicas. As duas partes da ISO 10218 regulam a segurança de robôs industriais, onde a primeira parte descreve requisitos de segurança e *design* de robôs e a segunda de sistemas integradores, descrevendo requisitos de segurança para um sistema de robôs industriais (KRUSE; RADKE; WEN, 2015). A ISO TS 15066 fornece informações adicionais e orientação sobre operações colaborativas de robôs. Nessa categoria há distinção territorial sobre qual padrão adotar. Para o continente Europeu é ISO 10218, enquanto os EUA seguem a norma nacional ANSI/RIA R15.06 e o Canadá a norma CAN/CSA-Z434, que foram atualizadas com as duas partes da ISO 10218 (VILLANI et al., 2018).

2.1.2 Métricas de avaliação

Devido às taxonomias heterogêneas da interação homem-robô e uma ampla variedade de métricas de avaliação, um método geral ou padrão de configuração para a avaliação de IHR não existe (NELLES; KWEE-MEIER; MERTENS, 2018). Para que tal experimentos sejam padronizados, eles devem poder ser aplicados a vários robôs e interfaces de diferentes capacidades. As métricas de teste devem ser amplamente aplicáveis de forma que o desempenho do robô, da interface e do operador sejam capturados (NORTON; YANCO, 2015).

As métricas de avaliação de sistemas IHR, assim como as de IHC, podem ser divi-

didadas em abordagens de avaliação baseadas em especialistas e baseadas no usuário. As avaliações de especialistas são qualitativas (por exemplo, são realizadas usando percurso cognitivo) e são guiadas por normas como ISO 9241-110 (2006), heurísticas de usabilidade, *guidelines* e outros. As avaliações baseadas no usuário podem ser tanto qualitativas (por exemplo, baseadas em questionários e método de pensamento em voz alta) ou quantitativas (por exemplo, por meio de análise de rastreamento ocular) (NELLES; KWEE-MEIER; MERTENS, 2018).

A forma de avaliação também pode ser classificada de acordo com a data em que é realizada. Para realizar uma avaliação somativa, deve haver um sistema final para ser avaliado global e coletivamente. Já para uma avaliação formativa, ela deve ocorrer durante o projeto do sistema e o procedimento é unido ao processo de desenvolvimento do mesmo. Uma forma mista dessas duas abordagens é a somativa-formativa, em que um sistema parcialmente finalizado é avaliado durante o seu processo de desenvolvimento. O teste de usuário é um exemplo de métrica de avaliação que pode ser realizado em diferentes graus de conclusão do sistema. Por exemplo, em estágios iniciais, usando modelos, cenários ou esboços, ou em estágios posteriores, usando protótipos, testes de laboratório ou validações de campo (NELLES; KWEE-MEIER; MERTENS, 2018).

Na Figura 5 estão dispostos um conjunto de métricas que foram propostas em 2006 na 1ª Conferência da IHR por STEINFELD et al. (2006) e atualizadas por MURPHY; SCHRECKENGHOST (2013). Na prática, as métricas para avaliação da interação com o sistema são frequentemente inferidas através de observações do robô ou do humano, podendo introduzir ruído ou erro na análise. Quarenta e duas métricas distintas foram identificadas, com sete medindo o humano, seis medindo o robô e vinte e nove medindo o sistema. Por exemplo, as métricas de IHR que medem o que está acontecendo no componente robô do sistema são: tolerância de negligência (quanto tempo um robô pode passar sem supervisão direta), estado do plano (progresso do robô), autoconsciência, tempo em operações autônomas, tempo em operações manuais e tempo em operações manuais não programadas.

2.2 Consciência situacional

Considerando a complexidade do contexto industrial e da própria soldagem, um fator importante para o operador é "compreender o que está acontecendo" ou obter Consciência Situacional (SA). Assim a IHR inicia-se pela necessidade de lidar com diferentes níveis de controle e tarefas, bem como desenvolver meios de interação que possibilitam aos operadores de robôs executar e monitorar suas tarefas de forma clara e efetiva (PERZANOWSKI et al., 2001).

Se os operadores puderem atingir um alto nível de conscientização da situação, eles serão componentes do sistema mais eficazes do que se a conscientização da situação for

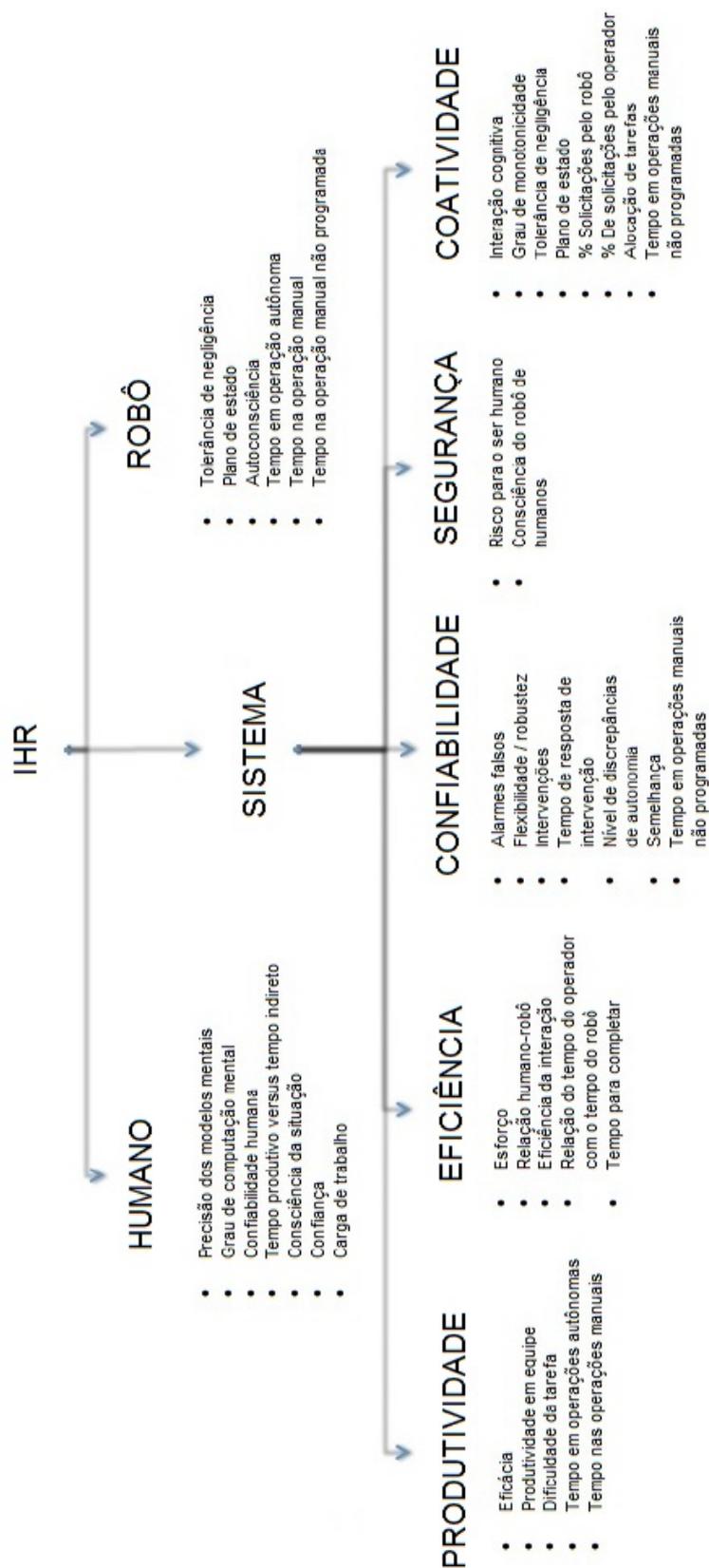


Figura 5: Métricas para avaliação IHR. Adaptado de (MURPHY; SCHRECKENGHOST, 2013)

negligenciada ou difícil de alcançar. Em ambientes complexos e dinâmicos, a tomada de decisões é altamente dependente da consciência da situação. A SA é uma imagem em constante evolução do estado do ambiente e, por conseguinte, o mecanismo que impulsiona a tomada de decisões e desempenho nesses ambientes (ENDSLEY, 2016).

Assim, o conceito de SA pode ser entendido como "a percepção dos elementos em um ambiente considerando um período e um espaço, a compreensão do que esses elementos significam e a projeção do seu status atual em um futuro próximo"(ENDSLEY, 1995).

Quando a SA é considerada perfeita, ela induz e potencializa (mas não garante) que os usuários escolham a melhor possibilidade na situação. Sem apoio a SA os usuários podem ainda tomar decisões certas, mas é um produto da adivinhação. Então, ao oferecer algum suporte a SA através de mecanismos no ambiente, os usuários podem continuar tomando as decisões erradas por falta de experiência, falta de boa vontade e outros fatores humanos e individuais (impulsão, estresse, entre outros) (ENDSLEY; ROBERTSON, 2000).

Incrementar a SA contribui diretamente no processo cognitivo do operador, bem como nos procedimentos que são utilizados para adicionar novos conhecimentos e tomar decisões baseadas nesses conhecimentos. Percepção, atenção, memória e raciocínio são algumas das funções que impactam nesse processo. Ou seja, se a SA de um usuário for o fator-chave que impulsiona o processo de tomada de decisão, um das formas de dar suporte a esse processo é desenvolver interfaces de sistema que sejam eficazes no suporte de um alto nível de SA (ENDSLEY, 2016).

Alguns estudos mostram que 88% dos erros humanos foram encontrados devido a problemas com a consciência da situação (ENDSLEY, 1995). Ou seja, na maioria dos casos, as pessoas não tomam decisões erradas ou executam mal suas ações; eles entendem mal a situação em que se encontram. Assim, a melhor maneira de apoiar o desempenho humano é apoiar melhor o desenvolvimento de altos níveis de conscientização da situação segundo (ENDSLEY, 2016).

Para DRURY et al. (2003) a SA é o entendimento de que o ser humano possui informações dinâmicas sobre localização, status e ambiente do robô, aliados as informações que o robô recebeu do humano os comandos necessários para executar sua tarefa e limitações nas quais ele deve operar.

Conforme CAMPANA; QUARESMA (2017), a SA constitui um importante fator humano na IHR onde há controle supervísório de aplicações remotas, pois ela representa um diagnóstico contínuo em um ambiente dinâmico. Estar ciente da situação é um fator importante para selecionar os elementos de *design* de interface, projetando uma interação eficiente. A escolha exata dependerá então da boa SA, mas a escolha não é a mesma que a SA. Portanto, a conscientização de IHR se concentra na pessoa que controla mais diretamente as atividades do robô, que é o operador. Por esse motivo, a conscientização para a análise de IHR pode ajudar a determinar a maioria dos incidentes críticos com robôs manipuladores em operações remotas (CAMPANA; QUARESMA, 2017).

Por fim, manter o usuário no controle é fundamental para uma boa percepção da situação. Ao desenvolver métodos de *design* que mantenham os usuários no controle e com altos níveis de consciência situacional, permite que o *design* seja centrado (focado) no usuário (ENDSLEY, 2016). Ainda, promover formas de avaliar a SA em diferentes contextos pode garantir que o sistema forneça o apoio necessário para o correto andamento da situação.

2.2.1 Modelo de SA

Um modelo de consciência situacional não deve ser assimilado como a análise dos processos psicológicos que ocorrem na mente humana, ainda que o mesmo está associado à cognição. Portanto, deve ser visto como uma estrutura que auxilia a definir o que é necessário para um processo eficiente de tomada de decisão (SATUF, 2016).

Para STANTON; CHAMBERS; PIGGOTT (2001) há diferentes definições para o termo "consciência situacional", sendo as mesmas embasadas em modelos teóricos distintos. Uma dessas definições para explicar a SA é "o conhecimento, a cognição e a previsão de eventos, fatores e variáveis que afetem a condução segura, expedita e efetiva de uma missão" (TAYLOR et al., 1996).

O conceito atrelado a SA e amplamente utilizado, proposto por ENDSLEY (1995), pode ser quebrado em três níveis: percepção, compreensão e projeção. No primeiro nível o usuário deve perceber os elementos que estão ocorrendo na situação atual. O nível de compreensão ocorre quando uma pessoa agrega várias sugestões da percepção para um nível mais elevado de entendimento. Já o terceiro nível, projeção, trata-se de conseguir prever as consequências da situação que está ocorrendo. A Figura 6 demonstra o modelo de SA em três níveis, onde as pessoas são participantes ativas na criação de seu próprio SA, direcionando a atenção, comunicando-se, usando ferramentas e alterando estratégias para processar informações (OLIVEIRA, 2016).

O processo de Avaliação da Situação ocorre quando há pessoas interagindo, reunindo e interpretando informações, a fim de formar um modelo da situação que levará a busca por mais informação, até estarem satisfeitos com o entendimento da situação para fazer uma tomada de decisão. Então o resultado do processo de SA é a própria SA (OLIVEIRA, 2016).

Seres humanos são influenciados pelas informações que recebem e em como essas informações são apresentadas. Fatores externos também mudam e influenciam o processo de conscientização da situação. Diferentes sistemas e sua interface induzem a diferentes SA, mesmo que a situação seja a mesma. Complexidade da tarefa, automação, equipes e condições ambientais também impactam a SA (OLIVEIRA, 2016).

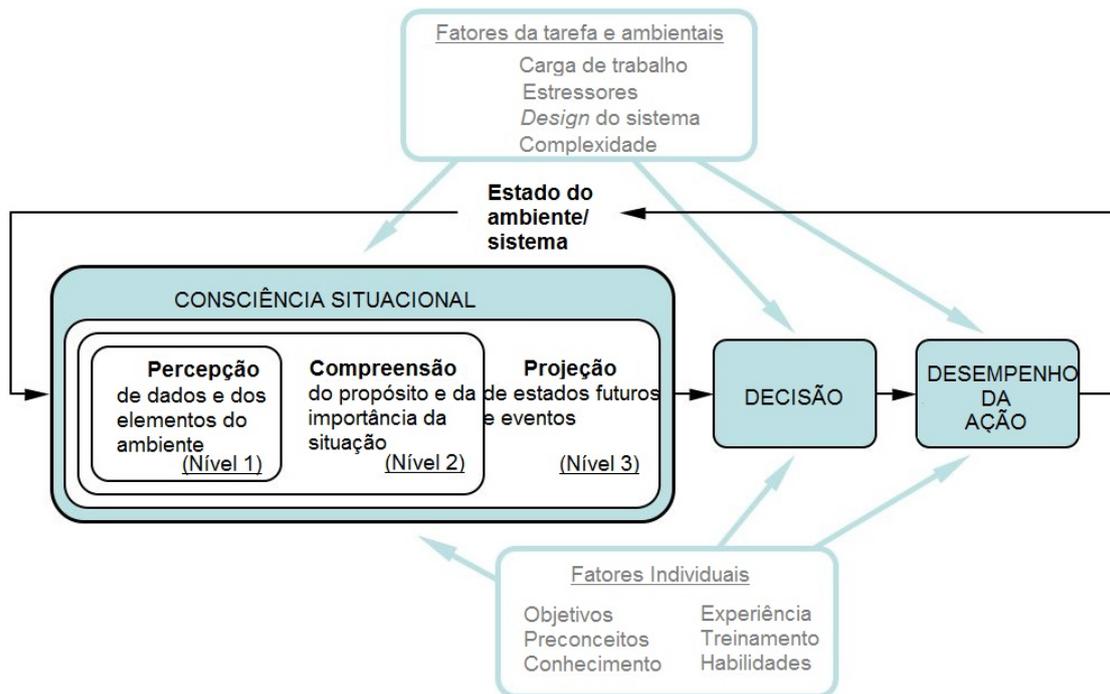


Figura 6: Modelo de processo dinâmico de SA. Adaptado de (ENDSLEY, 1995).

2.2.2 Fatores que influenciam e o que não é SA

Além de compreender o conceito e a importância de manter o usuário ciente da situação, também é essencial conhecer os problemas típicos do SA para os usuários. Em diferentes trabalhos e ambientes a construção e manutenção da SA pode ser um processo difícil para as pessoas, tendo em vista que o mesmo é influenciado pela complexidade dos ambientes. Por conseguinte, os oito fatores que mais influenciam a SA de maneira negativa, conhecidos como “SA demons”, estão listados abaixo (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003):

1. Restrição de atenção: acontece quando os usuários param de prestar atenção entre as várias fontes de informações recebidas e focam em apenas uma parte do todo. Para sistemas com qualquer nível de complexidade, uma boa SA é altamente dependente da troca de atenção entre diferentes fontes de informação. Infelizmente, as pessoas muitas vezes podem ficar presas em um fenômeno chamado restrição de atenção ou tunelamento. Esse fenômeno consiste em se basear em certos aspectos ou recursos do ambiente que estão tentando processar e abandonam seu comportamento de absorver as outras informações recebidas. Neste caso, a SA pode ser muito boa na informação em que estão se concentrando, mas rapidamente se tornará desatualizada nos aspectos que deixaram de atender.
2. Armadilha de memória requisitada: confiar fortemente na memória de curto prazo. Embora possamos desenvolver a capacidade de armazenar uma grande quantidade de informações situacionais na memória por meio do uso de um processo chamado

chunking, na essência, a memória operacional é um cache limitado para armazenar informações. Falhas de SA podem resultar de espaço insuficiente contido na memória de curto prazo. Dada a complexidade e o grande volume de informações necessárias para SA em muitos sistemas, não é de admirar que os limites de memória criem um gargalo significativo de SA.

3. Carga de trabalho, ansiedade, fadiga e outros estressores podem forçar a aquisição e manutenção de SA: Em muitos ambientes a SA é tributada pelas condições sob as quais as pessoas devem operar. Outros fatores significativos de estresse psicológico incluem pressão de tempo, carga mental e incerteza. Estressores também podem estar fisicamente na natureza. Muitos ambientes têm altos níveis de ruído ou vibração, calor ou frio excessivo ou pouca iluminação. Cada um desses estressores pode sobrecarregar significativamente a SA. Primeiro, eles podem agir para reduzir uma memória de trabalho já limitada, usando uma parte dela. Existem essencialmente menos recursos cognitivos disponíveis para processamento e armazenamento de informações na memória para formar SA. Em segundo lugar, as pessoas são menos capazes de coletar informações de maneira eficiente sob estresse. Os estressores prejudicam a SA ao tornar todo o processo de coleta de informações menos sistemático e mais propenso a erros.
4. Sobrecarga de dados: entrada de mais informações do que o que pode ser processado pelo cérebro. Nessas situações, a rápida taxa na qual os dados mudam cria uma necessidade de informações que rapidamente supera a capacidade do sistema sensorial e cognitivo de uma pessoa para suprir essa necessidade. Se houver mais mensagens auditivas ou visuais do que as que podem ser processadas, a SA da pessoa será rapidamente desatada ou contendo lacunas, o que pode ser uma desvantagem significativa na formação de uma imagem mental do que está acontecendo.
5. Saliência fora do lugar: atenção solicitada por um elemento, exacerbada pela cor, movimento ou ruído, no lugar errado. Em muitos sistemas complexos, a situação é análoga a vários monitores de sistema, alarmes e chamadas de rádio ou telefone que competem por atenção. Luzes piscando, ícones em movimento e cores brilhantes são usados em demasia. Com tanta informação chamando a atenção, é difícil processar qualquer informação da melhor maneira. O cérebro tenta bloquear todos os sinais concorrentes para atender às informações desejadas, usando recursos cognitivos significativos no processo.
6. Fluência da complexidade: um número exagerado de recursos causam dificuldade para formar um modelo mental do sistema. Embora isso possa retardar a capacidade das pessoas de obter informações, ele trabalha principalmente para minar sua capacidade de interpretar corretamente as informações apresentadas e projetar o que está

por vir. Na raiz desse problema, a complexidade dificulta que as pessoas formem representações internas suficientes sobre como esses sistemas funcionam. Quanto mais recursos, e quanto mais complicadas e ramificadas as regras que governam o comportamento de um sistema, maior a complexidade.

7. Modelos mentais itinerantes: interpretação incorreta da situação, ignorando dados que não correspondem às expectativas do usuário. Eles dizem a uma pessoa como combinar diferentes partes da informação, como interpretar o significado dessa informação e como desenvolver projeções razoáveis do que acontecerá no futuro. No entanto, se um modelo mental incompleto for usado, pode haver má compreensão e projeção (níveis 2 e 3 SA). É muito importante, portanto, evitar situações e desenhos que levem as pessoas ao uso de modelos mentais errantes. A padronização e o uso limitado de modos de automação são exemplos de princípios-chave que podem ajudar a minimizar a ocorrência de tais erros.
8. Síndrome fora do circuito: excesso de automação faz com que os usuários não consigam formar um modelo mental claro do sistema. Embora, em alguns casos, a automação possa ajudar a SA, eliminando a carga de trabalho excessiva, ela também pode agir para reduzir a SA em certos casos. Enquanto a automação está funcionando bem, estar fora do loop pode não ser um problema, mas quando a automação falha ou, com mais frequência, atinge condições situacionais que não está equipada para manipular, a pessoa está fora de loop. e muitas vezes incapaz de detectar o problema, interpretar corretamente as informações apresentadas e intervir de maneira oportuna. A automação pode enfraquecer a SA levando pessoas para fora do circuito. Nesse estado, eles desenvolvem uma SA pobre tanto no desempenho da automação quanto no estado dos elementos que a automação deveria estar controlando.

Além dos problemas mais comuns, caracterizar o que não é SA também é importante para compreender seu conceito e de que forma utilizá-lo (OLIVEIRA, 2016). Então, para (ENDSLEY, 1995) existem quatro definições principais que não devem ser confundidas com SA.

Ainda que atrelado a vários conceitos da psicologia, SA não deve ser confundida com automaticidade, memória de trabalho, confiança, objetivos, modelos mentais, correspondência de padrões, mecanismos de processamento de informação, habilidades, entre outros. Então, essa é a primeira definição do que SA não deve ser.

SA também não é uma ação ou o desempenho. SA é saber o estado da situação ou simplesmente saber o que está acontecendo, mas não é uma forma de ação. Um operador com bom SA de um sistema com falha entende a situação, mas pode não necessariamente saber como neutralizá-lo, por não conhecer o procedimento exato ou mesmo não ter as habilidades motoras necessárias para executá-lo.

SA não é o mesmo que memória de longo prazo. A SA é dinâmica e está mudando constantemente. Então não deve ser confundido com conhecimento, que é um modelo mental da experiência anterior do usuário, mapeando possíveis situações e resultados.

Ainda de acordo com ENDSLEY; ROBERTSON (2000) a SA não está necessariamente na memória de trabalho. Em um usuário especialista ela funciona instanciando entradas sensoriais nas memórias de trabalho como ponteiros para as memórias de longo prazo. Desta forma, é possível superar as limitações da memória de trabalho, especialmente ao processar informações para chegar à compreensão e projeção da situação.

2.2.3 Medidas de avaliação de SA

De acordo com UHLARIK (2002) vários pesquisadores dividem as medidas de SA em três grandes categorias: medidas explícitas, implícitas e subjetivas de SA. A Tabela 1. mostra as categorias, subcategorias e algumas técnicas de SA que são contempladas nessa organização.

Tabela 1: Categorias e subcategorias de medição de SA (adaptado de UHLARIK (2002))

Categorias	Sub-categorias	Exemplos
Medidas Explícitas	Medidas retrospectivas Medidas concorrentes Medidas utilizando a técnica de Congelamento	Protocolos verbais SAGAT
Medidas Implícitas	Medidas globais Medidas de tarefas externas Medidas de tarefas incorporadas	Questionário pós-teste
Medidas Subjetivas	Auto-avaliação direta Auto-avaliação comparativa Estatísticas do observador	SART SA-SWORD SABARS

Outra forma muito utilizada para classificar essas abordagens de medição de SA é proposta por (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003) da seguinte maneira:

- Medidas diretas
 - Medidas objetivas: coletam dados do usuário em suas percepções da situação e comparam com o que está realmente acontecendo para pontuar a acurácia de suas SA.
 - Medidas Subjetivas: solicitam aos usuários para avaliar sua SA em uma escala.
- Medidas indiretas
 - Medidas de processo: incluindo movimento do olho, aquisição da informação e análise da comunicação.

- Medidas de comportamento: tentam inferir a SA a partir da performance em tarefas *designadas*.

2.2.3.1 Medidas diretas de SA

Medidas diretas de SA, como o próprio nome sugere, tentam avaliar diretamente a consciência da situação de uma pessoa e elas podem ser divididas técnicas ou medidas subjetivas e objetivas (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

2.2.3.1.1 Medidas objetivas

As medidas objetivas, organizadas na Tabela 2, buscam avaliar a SA comparando diretamente as SA reportadas do operador com a realidade. Essa comparação é frequentemente feita consultando aspectos do ambiente e avaliando a precisão das respostas comparando-as com a realidade (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

Alguns desafios são observados no que diz respeito à coleta de medidas objetivas de SA. Quão bem uma técnica de mensuração aborda esses desafios fornece uma referência para avaliar a utilidade da ferramenta.

O primeiro desafio se dá no preparo apropriado do questionário. Por exemplo, administrar as consultas no final de um cenário fornece uma imagem válida das SA dos operadores somente no momento em que a atividade terminou e há uma dificuldade em recordar o início da simulação sendo influenciado pelo desempenho individual de cada operador (semelhante as medidas subjetivas). Ainda assim, administrar o questionário concorrente com o desempenho da tarefa gera outras preocupações em relação ao impacto negativo das consultas em questões como desempenho, carga de trabalho, atenção e SA (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

O segundo desafio envolve determinar as perguntas apropriadas a serem realizadas para obter uma indicação verdadeira da SA de um participante em relação à tarefa de interesse. Por exemplo, perguntar a um piloto quantos passageiros da primeira classe são homens e quantos são mulheres não forneceriam informações úteis sobre o nível de SA do piloto durante a operação da aeronave (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

O terceiro desafio refere-se a projetar as consultas para que elas não apenas abordem elementos essenciais para uma boa SA, mas que o façam de maneira que não altere as SA do indivíduo. Por exemplo, se fosse perguntado ao controlador de tráfego aéreo 'qual é a altitude da aeronave que entrava no setor', a atenção do controlador seria atraída para a aeronave. Se o controlador está ciente da aeronave, nenhum dano é feito. Caso contrário, o operador será artificialmente informado sobre a presença da aeronave, alterando a SA do controlador (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

O quarto desafio diz respeito à necessidade de criar perguntas que cubram toda a gama de questões relevantes de SA. Quando um conjunto limitado de perguntas é utilizado, o participante será capaz de identificar os elementos que mais interessam aos experimen-

tantes e focar nesses elementos para poder responder às consultas corretamente. Consequentemente, a verdadeira natureza da SA durante o desempenho da tarefa será alterada e indisponível para exame (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

Um exemplo de técnica que utiliza uma medida objetiva é a Técnica de Avaliação Global da Conscientização da Situação (SAGAT). Essa metodologia de avaliação usa conhecimento especializado para desenvolver perguntas que avaliam a conscientização dos usuários sobre uma situação específica. Uma simulação é usada e o usuário é interrompido durante a simulação e recebe uma rápida série de perguntas para responder. Essas questões avaliam os três níveis de consciência situacional (ENDSLEY, 1988).

O Método de Avaliação Presente da Situação (Situation Present Assessment Method - SPAM) consiste em os participantes poderem consultar a interface operacional e, em vez de medir a porcentagem correta, usa a latência de resposta como a variável dependente primária. Embora SPAM é processualmente semelhante ao SAGAT, os dois diferem de formas interessantes. Além de não exigir um componente de memória, o SPAM reconhece que, às vezes, o SA pode envolver simplesmente saber onde, no ambiente, encontrar uma determinada informação, em vez de lembrar qual é essa informação. (DURSO et al., 1995).

Avaliação Quantitativa da Consciência da Situação (Quantitative Assessment of Situation Awareness - QUASA) conforme desenvolvido por (EDGAR et al., 2000) são métodos utilizados para coletar e analisar dados sobre SA. A técnica combina a SA objetiva da precisão das respostas às consultas sobre a situação e a SA subjetiva das autoavaliações de confiança para cada resposta recebida.

Tabela 2: Medidas diretas de SA: técnicas objetivas, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)

	Medidas Objetivas		
Técnica	Técnica de Avaliação Global da Conscientização da Situação (SAGAT)		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	<p>Avalia SA entre os requisitos</p> <p>Evita o recall retrospectivo</p> <p>Boas qualidades psicométricas</p> <p>Realizado em ambientes realistas e dinâmicos</p> <p>Permite a avaliação da SA em equipe</p>	<p>Requer congelamentos nos cenários</p> <p>Pode afetar negativamente o ritmo e o fluxo de cenários em tempo real</p>	<p>Requer análise detalhada dos requisitos de SA</p> <p>Usa consultas relevantes para a missão</p> <p>Congelar pode durar de 2 a 3 minutos</p> <p>Congelar não deve ser previsível</p> <p>Pode ser mais difícil em operações de campo</p>
Técnica	Consultas Online (por exemplo, SPAM e CoRSAGE)		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	<p>Supera o problema de memória associado a consultas pós-teste</p> <p>As consultas podem ser incorporadas na tarefa</p>	<p>Pode interferir no desempenho de tarefas simultâneas</p> <p>Pode alterar a SA, mudando a atenção</p> <p>Pode aumentar a carga de trabalho</p> <p>Avalia requisitos de SA limitados</p>	<p>Requer análise detalhada dos requisitos de SA</p> <p>Consultas relevantes para a missão podem ocorrer como parte de eventos normais</p> <p>Ruídos podem interferir na coleta de dados</p> <p>A avaliação da equipe SA é limitada</p> <p>Várias perguntas para obter a sensibilidade necessária</p>

2.2.3.1.2 Medidas subjetivas

As medidas subjetivas de SA podem ser realizadas individualmente por operadores ou por observadores experientes. Além de permitir a avaliação de conceitos de projeto em estudos de simulação, as técnicas subjetivas podem ser facilmente aplicadas em ambientes menos controlados do mundo real (ENDSLEY, 1996). A Tabela 3 contempla exemplos de medidas subjetivas, bem como suas vantagens, desvantagens e considerações.

A autoavaliação geralmente envolve uma estimativa subjetiva de quanto SA um determinado operador acredita possuir ao utilizar um determinado sistema. Essa técnica pode não fornecer necessariamente uma quantificação precisa de SA. No entanto, como os operadores podem não saber sobre suas próprias imprecisões ou quais informações eles desconhecem, há uma base limitada para fazer tais julgamentos. Além disso, autoavaliações subjetivas podem ser altamente influenciadas por avaliações de desempenho, e assim tornarem-se tendenciosas por questões que estão além do construto SA (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

Uma das medidas subjetivas mais conhecidas é a Técnica de Avaliação da Consciência Situacional (SART) desenvolvida por (TAYLOR, 1989). A SART foi desenvolvida baseada na definição de SA como “o conhecimento, a cognição e a previsão de eventos, fatores e variáveis que afetem a condução segura, expedita e efetiva de uma missão” (TAYLOR et al., 1996). SART tem operadores classificando um projeto de sistema com base na quantidade de demanda em recursos tencionais, fornecimento de recursos tencionais e compreensão da situação fornecida. Como tal, considera a carga de trabalho percebida pelos operadores (oferta e demanda de recursos de atenção), além de sua percepção de compreensão da situação (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003). O questionário mede o conhecimento do operador segundo três componentes: (1) demandas (D) sobre seus recursos atencionais; (2) suprimento (S) de recursos atencionais; e (3) entendimento (U, *understanding*) da situação. A SART mede esses três componentes pelo entendimento de que a consciência situacional é uma construção complexa. Então, para medi-la, são necessárias medidas separadas (TAYLOR, 1989).

Como outra abordagem para o desenvolvimento de uma medida subjetiva padronizada de SA, VIDULICH; HUGHES (1991) usaram uma versão modificada da técnica de Domínio de Carga de Trabalho Subjetivo (SWORD) para obter avaliações subjetivas das SA fornecidas pelos displays. O SA-SWORD tem assuntos que fornecem uma preferência comparativa para exibições em uma escala de nove pontos, com base em suas crenças sobre a quantidade de SA fornecida por cada um. Eles acharam a técnica discriminada entre dois formatos de exibição e tinham confiabilidade inter-avaliadores (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

Tabela 3: Medidas diretas de SA: técnicas subjetivas, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)

	Medidas Subjetivas		
Técnica	Auto-avaliações		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Avalia o próprio grau de confiança em SA	As pessoas podem não saber que informações desconhecem Pode ser influenciado por autoavaliações de desempenho	Os dados são facilmente coletados em campo não controlado, após ou durante as simulações
Técnica	Técnica de classificação de consciência situacional (SART)		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Mede construções gerais Amplamente utilizado Correlaciona com medidas de desempenho e carga de trabalho	Elementos de carga de trabalho confundidos com SA Não correlacionado com medidas objetivas Resolução limitada de elementos individuais de SA	Facilmente administrado em laboratório ou em campo Use com outras medidas SA Útil para avaliar equipe SA
Técnica	SA-SWORD		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Boa sensibilidade e confiabilidade entre avaliadores Fornece classificação de SA para diferentes recursos de design	Pode refletir preferências subjetivas em vez de SA Limitada para investigações de SA mais amplas	Facilmente administrado em laboratório ou em campo Use com outras medidas SA Use para comparar recursos ou conceitos de design
Técnica	Classificação do observador (por exemplo, SARS)		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Os observadores podem ter um conhecimento mais completo da realidade do que os participantes da simulação ou do exercício	Observadores têm conhecimento limitado do conceito de uma pessoa sobre a situação Correlacionado com desempenho e experiência do observador Para equipes, múltiplos observadores são necessários	Comportamentos observáveis para ancorar as classificações Vários avaliadores são necessários Cenários devem permitir que comportamentos sejam exibidos Observadores não devem interferir na tarefa Avaliações podem ser problemáticas no campo

2.2.3.2 *Medidas indiretas de SA*

Medidas que inferem SA com base em uma avaliação de outros construtos são medidas indiretas. Essas medidas tentam inferir quanto SA uma pessoa tem, medindo os desempenhos relacionados à interação do operador com o sistema. Medidas de processo e medidas comportamentais e baseadas no desempenho são usadas para inferir SA de maneira indireta, de forma que possuem vantagens, desvantagens e considerações conforme Tabela 4 e Tabela 5 (ENDSLEY; BOLTE; JONES, 2003).

2.2.3.2.1 *Medidas de processo*

A consciência da situação é um estado de conhecimento derivado de numerosos processos cognitivos. Uma abordagem para avaliar a SA envolve a medição desses processos e deles inferir o nível de SA da pessoa. Em geral, a incapacidade de determinar a completude do SA inferida das medidas do processo e o grau limitado para refletir todo o processo de SA, constitui uma limitação importante dessa abordagem.

Protocolos verbais são usados quando o operador descreve verbalmente seus pensamentos, estratégias e decisões enquanto interage com o sistema. Para coletar um protocolo verbal, o operador é solicitado a "pensar em voz alta" durante a execução de uma tarefa. Esta informação é registrada e depois analisada para identificar e categorizar as informações relevantes para as SA do indivíduo. O rigor das informações coletadas varia com base nas habilidades verbais do operador. Algumas pessoas são muito melhores em expressar seus pensamentos do que outras. Embora os protocolos verbais possam fornecer muitas informações sobre a maneira como o operador conceitua uma tarefa e os processos cognitivos empregados para realizá-la, a análise de protocolos verbais pode ser difícil devido à natureza subjetiva e intensa do tempo da análise. Como meio de medir (ou inferir) SA, só se pode dizer que essas verbalizações representarão, na retaguarda, um quadro muito completo da totalidade de sua representação mental da situação. Os protocolos verbais tipicamente fornecem apenas uma imagem incompleta da parte do indivíduo que ele verbaliza ativamente. As informações que o indivíduo conhece sobre a situação na memória (ou esqueceu) não são óbvias nos protocolos. (ENDSLEY, 2016)

A análise da comunicação concentra-se nas trocas verbais entre pessoas envolvidas em uma tarefa. (ENDSLEY, 2016)

Medidas psicofisiológicas de SA incluem medidas de frequência cardíaca, atividade cerebral e movimentos oculares durante o desempenho da tarefa (SMOLENSKY, 1993). Um dispositivo de rastreamento ocular pode ser usado para determinar como a atenção do participante foi alocada. Há uma série de desvantagens associadas com o uso desse dispositivo, como o fato de ser uma técnica indireta, dificuldade de uso a natureza dos equipamentos, entre outros.

Tabela 4: Medidas Indiretas de SA: medidas de processo, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)

Medidas de Processo			
Técnica	Protocolo Verbal		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	<p>Fornece informações parciais sobre dados que são usados ou que faltam</p> <p>Fornece informações sobre estratégias e processos de SA</p> <p>Fornece informações parciais sobre como a informação é integrada e usada</p> <p>Identifica conceitos de SA que precisam de medição mais sistemática</p>	<p>Não fornece uma representação completa do que é processado</p> <p>Pode diminuir o desempenho ao responder</p>	<p>A análise de dados é problemática</p> <p>Ambientes ruidosos podem interferir na coleta de dados</p> <p>Pode fornecer avaliação parcial da equipe SA</p>
Técnica	Análise de comunicação		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	<p>Fornece informações sobre:</p> <p>Informação indisponível</p> <p>Processos verbais</p> <p>Estratégias SA</p> <p>Feedback sobre ações</p> <p>Tipos de comunicação</p> <p>Interações de operador</p>	<p>Não fornece uma representação completa do que é atendido</p> <p>Fornece informações parciais sobre a integração e uso de informações</p>	<p>A análise de dados é problemática</p> <p>Ambientes ruidosos podem interferir na coleta de dados</p> <p>Útil para avaliar os processos de equipe</p>
Técnica	Métricas psicofisiológicas: Movimento ocular		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	<p>Fornece um indicador de como a atenção é alocada</p>	<p>Não conclusivo que um objeto é visto e processado</p> <p>Nenhuma informação sobre como as informações são usadas ou combinadas</p>	<p>O equipamento é difícil de calibrar em campo</p> <p>A análise de dados é problemática</p> <p>Não avaliará a equipe</p>

2.2.3.2.2 Medidas comportamentais e baseadas no desempenho

As medidas baseadas no desempenho podem ser entendidas como "qualquer medida que infere a SA do sujeito de suas ações observáveis ou os efeitos que essas ações têm no desempenho do sistema"(PRITCHETT; HANSMAN, 2000). Analisar o desempenho do usuário em uma tarefa pode indicar que ele possui algum nível de SA, portanto, esta é uma forma indireta de avaliação. Alguns autores argumentam contra o uso de desempenho ou ainda que essa medida deve ser utilizada em conjunto com outras medidas (ENDSLEY, 1995), enquanto outros argumentam que o desempenho deveria ser o principal artefato para medir a SA (DEKKER; HOLLNAGEL, 2004) (DEKKER et al., 2010).

Medidas comportamentais como essas são objetivas e fáceis de coletar e analisar. Como desvantagem, mesmo com a criação do cenário mais cuidadoso, às vezes as pessoas não responderão como previsto. Também deve ser notado que deve ser tomado muito cuidado para evitar que um operador antecipe esses eventos incomuns se eles participarem de mais de um cenário (ENDSLEY, 2016).

Medidas de resultado de desempenho inferem SA com base em quão bem um operador executa uma determinada tarefa em comparação com um padrão pré-determinado, ou quão bons são os resultados de um cenário. Embora sejam objetivos e possuam um alto grau de validade aparente, as métricas de desempenho podem ser circulares em relação à SA, insensíveis a muitas diferenças de SA e limitadas em termos da capacidade de coletar todas as medidas necessárias. Esta abordagem pressupõe uma relação direta entre boa SA e bom desempenho. Essa relação, no entanto, não é determinística, apenas probabilística - as chances de melhor desempenho são aumentadas com uma boa SA, mas não garantidas. SA é necessário, mas não suficiente para um bom desempenho (ENDSLEY, 2016).

Tabela 5: Medidas Indiretas de SA: medidas de comportamentais e baseadas no desempenho, vantagens, desvantagens e considerações sobre a aplicação (ENDSLEY, 2016)

Medidas comportamentais e de desempenho			
Técnica	Medidas comportamentais: geral		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Medidas objetivas, observáveis e, geralmente, não intrusivas	Assume o comportamento apropriado para um determinado nível de SA Índices comportamentais podem refletir outros processos, como estratégia de decisão, em vez de SA	Requer cenários realistas Os índices comportamentais devem ser específicos e relevantes para tarefas Deve ser usado em conjunto com outras medidas de SA
Técnica	Medidas de comportamento: manipulação de cenários		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Pode produzir observações diretas de processos que levam a avaliações corretas	Afeta a atenção Afeta SA Não deve ser usado durante a carga de trabalho e desempenho Mede a conscientização de recursos específicos do cenário, não da SA global	Usa cenários realistas Manipulações devem ser relevantes para a missão Útil para avaliar a equipe SA Precisa usar com outras medidas SA
Técnica	Medidas de resultado de desempenho		
	Vantagens	Desvantagens	Considerações
	Medidas objetivas, observáveis e, geralmente, não intrusivas	Medidas de desempenho global sofrem de problemas de diagnóstico e sensibilidade Identificar medidas de desempenho de tarefas não ambíguas pode ser difícil	Deve ser usado em conjunto com outras medidas de SA Requer cenários realistas Os índices de desempenho devem ser específicos e relevantes

2.3 Soldagem robotizada

Classicamente soldagem é considerada um processo de união e definida em termos operacionais por HANDBOOK (1991) como "processo de junção de materiais usados para obter coalescência localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou material de adição".

De acordo com CARY (1994), os métodos para aplicar os diferentes processos de soldadura são categorizados de acordo com o envolvimento do operador no desempenho das operações de soldadura (Figura 7).

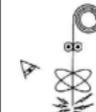
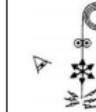
Método de Aplicação	Manual	Semi-automático	Mecanizado	Automático	Robotizado	Controle Adaptativo
Atividades						
Abertura e manutenção do arco	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Alimentação do arame/eletrodo	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor para obter penetração	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Movimento do arco ao longo da junta	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Guiar o arco ao longo da junta	Humano	Humano	Humano	Máquina (via trilha pré programada)	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Manipular a tocha para direcionar o arco	Humano	Humano	Humano	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Correções do arco para compensar desvios	Humano	Humano	Humano	Não ocorre	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)

Figura 7: Configurações principais de robôs para operações de soldagem (CARY, 1994).

Para VILLANI; MODENESI; BRACARENSE (2016) pela maneira com que é executada, a soldagem pode ser classificada em:

- Manual: toda operação é realizada e controlada manualmente pelo soldador.
- Semiautomática: soldagem com controle automático da alimentação do metal de adição, mas com controle manual pelo soldador do posicionamento da tocha e de seu deslocamento.
- Mecanizada: soldagem com controle automático da alimentação do metal de adição, controle do deslocamento do cabeçote de soldagem pelo equipamento, mas com o posicionamento, acionamento e supervisão da operação sob responsabilidade do operador de soldagem.
- Automática: Soldagem com controle automático de praticamente todas as operações necessárias. Muitas vezes, a definição de um processo como mecanizado ou automático não é clara; em outros, o nível de controle da operação, o uso de sensores, a possibilidade de programar o processo indicam claramente um processo de

soldagem automático. De forma ampla, os sistemas automáticos de soldagem podem ser divididos em duas classes: (a) sistemas dedicados, projetados para executar uma operação específica de soldagem, basicamente com nenhuma flexibilidade para mudanças nos processos e (b) sistemas com robôs, programáveis e apresentando uma flexibilidade relativamente grande para alterações no processo.

Além dos diferentes métodos de aplicação, há diferentes processos de soldagem. Na indústria os processos mais utilizados são (HANDBOOK, 1991):

- Soldagem por arco elétrico com gás de proteção GMAW (*Gas Metal Arc Welding*): processo de soldagem com eletrodo contínuo sob proteção gasosa, também conhecido como MIG/MAG (*Metal Inert Gas e Metal Active Gas*);
- Soldagem a arco elétrico com arames tubulares - FCAW (*Flux Cored Arc Welding*): processo de soldagem com arame tubular;
- Soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa - GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*): também conhecida como soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*);
- Soldagem e corte a laser - LBW (*Laser Beam Welding and cutting*): une diversos tipos de peças de metal por meio do uso de um feixe de laser;
- Soldagem a arco de plasma - PAW (*Plasma Arc Welding*): soldagem e corte a plasma;
- Soldagem por ponto de resistência - RSW (*Resistance Spot Welding*): pontos de contato no metal são unidos pelo calor de uma corrente elétrica.

Neste trabalho, o processo de soldagem estudado será o FCAW. Indústrias ligadas a construção, manutenção e reparos de estruturas navais e *offshore*, são as que mais utilizam esse processo.

A soldagem por arco é realizada manualmente na maioria das plantas. Este tipo de processo exige que os operadores estejam concentrados e mantenham um monitoramento constante do posicionamento da tocha em relação a área a ser soldada. Trata-se de um trabalho desafiador devido as condições ambientais relacionadas a fumaça, faíscas de arco, riscos elétricos e altas temperaturas. Além disso, o uso constante de capacetes de proteção faz com que a visão do operador seja obstruída, o que dificulta ainda mais o processo de soldagem (OKUYAMA et al., 2012).

Como uma aplicação que necessita segurança e oferece riscos ao trabalhador, a soldagem representa um dos principais usos de robôs industriais e esse processo é definido ao utilizar um equipamento (robô, manipulador, etc.) para operações de soldagem, a partir de uma programação, sem ajuste por parte do operador de solda (CONNOR; O'BRIEN; SOCIETY, 1991). Entretanto, sua aplicação efetiva na produção prática ainda é limitada

pela complexidade e incerteza do processo de soldagem (CHEN et al., 2004). Para (CHEN et al., 2004) é necessário incentivar tecnologias inteligentes para robôs de soldagem como detecção de visão, programação automática, orientação e rastreamento, e controle inteligente em tempo real do processo de soldagem. As abordagens atuais na soldagem implementam robótica colaborativa em termos de abordagem de robô-como-ferramenta e pouca autonomia ou capacidades cognitivas são fornecido ao robô (VILLANI et al., 2018).

De acordo com HÄGELE; NILSSON; PIRES (2008) a utilização de robôs nos processos de soldagem garante benefícios como o controle centralizado, a parametrização de posições, controle computadorizado, entre outros.

Tanto na soldagem manual como na semiautomática, o soldador interfere plenamente, e seu julgamento será o responsável pela mudança ou correção da soldagem durante a execução. Nesses tipos de soldagem, o soldador pode deslocar-se ao longo da peça, ou, em alguns casos, pode ainda fixá-la em dispositivos posicionadores. Realizada a soldagem, ele retira a peça e o ciclo se reinicia (TREMONTI, 2000). Conforme TREMONTI (2000) "se durante o processo de soldagem o soldador constatar intercambialidade inadequada entre as partes a serem soldadas, ele pode, por meio de sua habilidade e bom senso para julgar a situação, conduzir a soldagem a resultados satisfatórios". Na condição de operador, o soldador pode alterar os parâmetros de soldagem para os mesmos adêquem ao processo em questão. Portanto, a capacidade de discernimento do operador é fator muito importante, mesmo ao utilizar sistema robotizado, tendo em vista que, apesar de o robô ser dotado de sensores, os mesmos podem não ser suficientes para o reconhecimento e a correção dos problemas encontrados durante o processo de soldagem (TREMONTI, 2000).

2.3.1 Tipos de robôs

Os componentes encontrados em um robô industrial correspondem a um conjunto de elos acoplados e articulados, sendo o primeiro elo ligado a uma base fixa e no último elo, também chamado de extremidade terminal, tem-se a ferramenta (tocha de soldagem). Sendo assim, a movimentação da tocha passa a ser controlada segundo sua programação (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

A Figura 8 representa as configurações de robôs mais comuns para operações de soldagem. Os robôs de configuração retangular (ou cartesiana) movem a ferramenta dentro de um espaço de trabalho cúbico, nas direções x, y e z. São muito utilizados nos processos de soldagem para produção de cordões de solda lineares. O tipo cilindro utiliza movimento de deslizamento em duas direções (vertical z e extensão x) com uma junta de rotação, que estabelece o espaço de trabalho cilíndrico. O tipo de configuração esférica, também chamada de polar, possui um eixo deslizante e dois eixos rotativos sendo seu espaço de trabalho uma esfera. Já o robô do tipo articulado, que possui movimentos de rotação, apresenta um espaço de trabalho mais complexo e flexível, tornando útil para qualquer

tipo de soldagem (linear ou fora de posição) (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

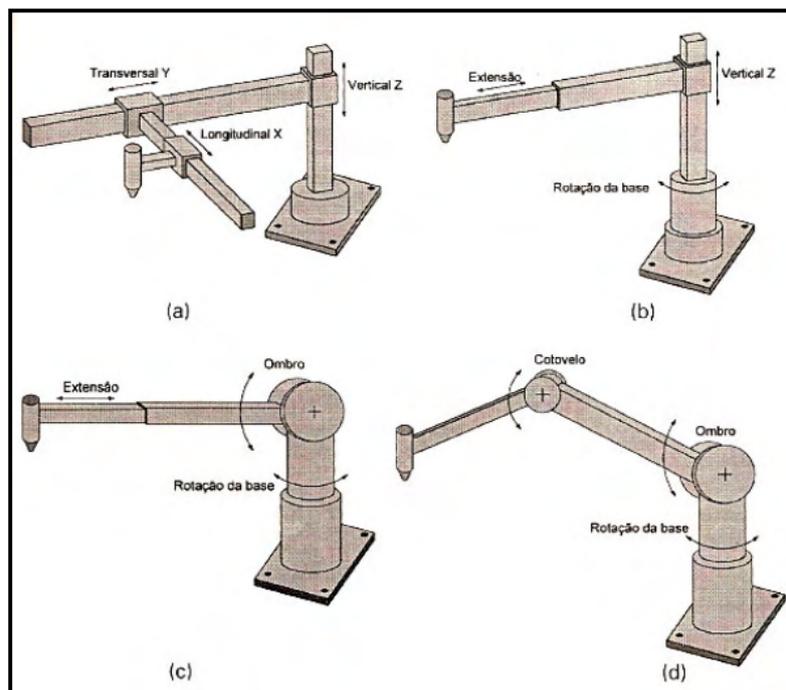


Figura 8: Configurações principais de robôs para operações de soldagem (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

2.3.2 Riscos e considerações da soldagem robotizada

As condições insalubres ou até mesmo perigosas comuns em ambientes de soldagem tornam adequado o uso de robôs. Essa ferramenta além de melhorar as condições de trabalho, também pode aumentar a produtividade pela eliminação dos intervalos que são frequentes. Ainda, benefícios são encontrados ao utilizar robôs em trabalhos altamente repetitivos onde é difícil manter a concentração e eficiência. Ao suportar as condições adversas típicas do ambiente de soldagem como o calor intenso, as radiações, gases metálicos, os robôs reforçam sua utilização (PIRES; LOUREIRO; BÖLMSJO, 2006).

Em um posto de trabalho com solda, o processo de soldagem 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 (OKUYAMA et al., 2012).

Ainda que muitos acreditam que o trabalho humano na indústria pode ser 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, onde o equipamento automatizado é a ferramenta do operador (BOEKHOLT, 2000).

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 ergonômicas que minimizem a exposição do soldador aos fatores ambientais insalubres e proporcionem a sensação de segurança e bem-estar ao trabalhador (OKUYAMA et al., 2012).

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 anatomia humana como a fisiologia e biomecânica envolvida na atividade física. Alguns temas importantes incluem um estudo da postura, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, projeto de posto de trabalho e segurança. Já as características cognitivas referem-se aos processos mentais que influenciam nas interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema, tais como percepção, memória e raciocínio. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem-máquina, stress e treinamento (ASSOCIATION et al., 2000).

2.4 Modelagem ontológica

A modelagem conceitual tem como objetivo construir uma representação fidedigna de um fenômeno selecionado em algum domínio e facilitar a compreensão dos mesmos. Para que essa modelagem possa ser uma descrição adequada do contexto que ela representa, ela necessita informações precisas e claras, não permitindo que os aspectos modelados sejam ambíguos (VILLELA; OLIVEIRA; BRAGA, 2004).

Existe uma forte semelhança entre modelagem conceitual e ontológica, tendo em vista que ambas objetivam capturar e modelar elementos do mundo real. Porém, enquanto na modelagem conceitual busca-se estabelecer as relações entre os conceitos abstraídos de um domínio, na modelagem ontológica o objetivo é identificar os objetos e entender sua natureza por meio da descrição de suas propriedades (VILLELA; OLIVEIRA; BRAGA, 2004).

Na literatura podemos encontrar diversas definições para o conceito de ontologia atrelado a área da Computação. GRUBER (2009) define como uma especificação de conceitos e relacionamentos que existem entre estes conceitos. Esta definição, ainda que genérica e diferente do sentido filosófico do termo, considera apenas como um conjunto de conceitos e definições.

Para BORST (1997), uma ontologia é definida como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada, onde especificação formal quer dizer algo que é legível para os computadores, explícita são os conceitos, propriedades, relações, funções, restrições e axiomas explicitamente definidos, conceitualização representa um modelo abstrato de algum fenômeno do mundo real e compartilhada significa conheci-

mento consensual.

Ainda que a definição possam diferir de autor para autor, é possível afirmar que o propósito central da modelagem de uma ontologia é permitir o compartilhamento e reutilização de conhecimento de um determinado domínio.

Na prática, uma ontologia define uma “linguagem”, conjunto de termos, que será utilizada para formular consultas (ALMEIDA; BAX, 2003). A ontologia define as regras de combinação entre os termos e seus relacionamentos, estes relacionamentos são criados por especialistas, e os usuários formulam consultas usando os conceitos especificados.

2.4.1 Tipos de ontologias

Segundo ALMEIDA; BAX (2003) ontologias podem ser classificadas sob os seguintes aspectos: grau de formalismo, aplicação, conteúdo ou função (estrutura).

As ontologias podem ser divididas quanto ao seu grau de formalismo da seguinte maneira:

- Altamente informais: quando expressas em linguagem natural;
- Semi-informais: quando utilizam linguagem natural de forma restrita e estruturada;
- Semi-formais: quando são escritas em linguagem artificial definida formalmente;
- Rigorosamente formais: onde os termos são definidos com semântica formal, teoremas e provas.

Já com relação à aplicação, podemos categorizar as ontologias em:

- Autoria neutra: quando, por exemplo, um aplicativo é descrito em uma única língua e depois convertido para o uso em diversos sistemas, reutilizando-se as informações;
- Especificação: baseada em uma ontologia de domínio, que é utilizada para documentação e manutenção no desenvolvimento de softwares;
- Acesso comum a informação: quando, por exemplo, um vocabulário é inacessível e a ontologia torna a informação possível de ser entendida, proporcionando conhecimento compartilhado dos termos.

Já em sua classificação quanto ao conteúdo, as ontologias podem ser

- Terminológicas: quando representam termos que serão utilizados para modelar o conhecimento de um domínio específico;
- Informação: que especificam, por exemplo, a estrutura de registros de um banco de dados;

- Modelagem de conhecimento, que especificam as conceitualizações do conhecimento;
- Aplicação: que contém as definições necessárias para modelar conhecimento em uma aplicação;
- Domínio: que expressam conceitualizações que são específicas em um domínio;
- Genéricas: que definem conceitos genéricos e comuns a várias áreas do conhecimento;
- Representação: que explicam as conceitualizações que estão por trás dos formalismos de representação do conhecimento.

Quanto à sua função, as ontologias podem ser classificadas em cinco (GUARINO, 1997) (GUIZZARDI, 2000):

- Ontologias genéricas: descrevem conceitos mais amplos, como elementos da natureza, espaço, tempo, coisas, estados, eventos, processos ou ações, independente de um problema específico ou domínio particular.
- Ontologias de domínio: descrevem conceitos e vocabulários relacionados a domínios particulares, tais como medicina ou computação, por exemplo.
- Ontologias de tarefas: descrevem tarefas ou atividades genéricas, que podem contribuir na resolução de problemas, independente do domínio que ocorrem. Sua principal motivação é facilitar a integração dos conhecimentos de tarefa e domínio em uma abordagem mais uniforme e consistente, tendo por base o uso de ontologias (GUIZZARDI, 2000).
- Ontologias de aplicação: descrevem conceitos que dependem tanto de um domínio particular quanto de uma tarefa específica. Explicam as conceitualizações que fundamentam os formalismos de representação de conhecimento, procurando tornar claros os compromissos ontológicos embutidos nestes formalismos (GUIZZARDI, 2000).

2.4.2 Elementos básicos das ontologias

Para construir uma ontologia de domínio é necessário começar restringindo o domínio para definir escopo. Uma vez definido o escopo, podem ser ainda selecionadas a metodologia, ferramentas e uma linguagem para sua especificação.

Na prática, as metodologias, ferramentas e as linguagens são utilizadas na definição da estrutura da ontologia. Nem todas as ontologias têm a mesma estrutura (ALMEIDA; BAX, 2003), mas a maioria delas possui alguns elementos básicos, como:

- Classes: são conceitos de um determinado domínio de conhecimento e podem representar conceitos concretos ou abstratos.
- Atributos: são as características, aspectos ou propriedades em um domínio de conhecimento. Os atributos aumentam a expressividade das classes.
- Relacionamentos: são as relações entre os classes em um domínio de conhecimento. Os relacionamentos aumentam a expressividade no modelo ontológico.
- Restrições: são critérios ou condições aplicadas aos atributos ou relacionamentos. Servem como um ajuste fino ao modelo.
- Indivíduos: são as realizações das classes ou abstrações de exemplares do domínio de conhecimento.

2.4.3 Linguagens

Para formalizar os elementos que compõem a ontologia e permitir que o conhecimento seja transferido, se faz necessário utilizar linguagens que possam ser interpretadas por sistemas ou pessoas.

- Ontolândia

Foi criada em 1992 pelo Laboratório de Sistemas do Conhecimento da Universidade de Stanford, combinando paradigmas de frames e predicados de cálculo de primeira ordem. Permite representar conceitos, taxonomias de conceitos, relações n-árias, axiomas, instâncias e procedimentos. A Figura 9 exibe um trecho dessa linguagem.

Código 1 – Especificação em Ontolândia

```

1      (define-class female-person (?person)
2      "female humans"
3      :iff-def (and (human ?person)
4                (= (gender ?person) female)))

```

Figura 9: Exemplo de especificação da linguagem Ontolândia.

- XML (Extensible Markup Language)

É uma meta-linguagem que possui uma sintaxe para ser utilizada na criação de outras linguagens de marcação em um domínio específico, com estrutura e semântica próprias (HAROLD, 2004). Também pode ser vista como um conjunto de regras para a definição de marcadores semânticos, que dividem um documento em partes identificáveis. A Figura 10 apresenta um trecho de código dessa linguagem.

- RDF (MANOLA et al., 2004)

Código 2 – Especificação em XML

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!DOCTYPE Agenda SYSTEM "C:\Mestrado\Biblioteca.dtd">
3 <bibliografia>
4     <livro>
5         <titulo>
6             Verdes Campinas
7         </titulo>
8         <autor webid="http://exemplo.com/#OP5">
9             Olimpio Pereira
10        </autor>.
11    </livro>
12 </bibliografia>

```

Figura 10: Exemplo de especificação da linguagem XML.

Foi desenvolvido pelo W3C como uma linguagem baseada em rede semântica para descrever recursos da Web. É uma linguagem bastante expressiva, pois permite a representação de conceitos, taxonomias e relações binárias. A Figura 11 exibe um trecho de código da linguagem.

Código 3 – Especificação em RDF

```

1     <Class ID="Female">
2         <subClassOf resource="#Animal"/>
3         <disjointWith resource="#Male"/>
4     </Class>

```

Figura 11: Exemplo de especificação da linguagem RDF.

- OWL - Ontology Web Language (MCGUINNESS; VAN HARMELEN et al., 2004)

Pode ser usada para representar explicitamente o significado de termos em vocabulários e os relacionamentos entre os termos. Possui mais facilidades para expressar significados ou semântica que XML e RDF, além de representar conteúdo interpretável por máquinas na Web. É uma revisão da linguagem DAML + OIL. A Figura 12 ilustra um trecho de código em OWL.

2.4.4 Métodos de visualização

Um dos objetivos da visualização de ontologias é exibir os conceitos e estruturas no nível de construções de linguagem e exibir o conhecimento coberto pela ontologia (DUDÁŠ et al., 2018).

Mesmo que cada ferramenta de visualização ontológica seja diferente e que não haja uma formalização geral de como representar ontologias, algumas semelhanças entre elas podem ser identificadas facilitando o abstração do conhecimento.

Código 4 – Especificação em OWL

```

1 <owl:AllDifferent>
2   <owl:distinctMembers rdf:parseType="Colecao">
3     <vin:VinhoCor rdf:about="#Tinto" />
4     <vin:VinhoCor rdf:about="#Branco" />
5     <vin:VinhoCor rdf:about="#Rose" />
6   </owl:distinctMembers>
7 </owl:AllDifferent>
8 <owl:AllDifferent>
9   <owl:distinctMembers rdf:parseType="Colecao">
10    <vin:VinhoCorpo rdf:about="#Leve" />
11    <vin:VinhoCorpo rdf:about="#Médico" />
12    <vin:VinhoCorpo rdf:about="#Cheio" />
13  </owl:distinctMembers>
14 </owl:AllDifferent>
15 <owl:AllDifferent>
16   <owl:distinctMembers rdf:parseType="Colecao">
17     <vin:VinhoSabor rdf:about="#Suave" />
18     <vin:VinhoSabor rdf:about="#Moderado" />
19     <vin:VinhoSabor rdf:about="#Forte" />
20   </owl:distinctMembers>
21 </owl:AllDifferent>
22 <owl:AllDifferent>
23 wine.xml

```

Figura 12: Exemplo de especificação da linguagem OWL.

Na Figura 13 alguns dos diferentes métodos de visualização são esquematizados. Todos os esboços retratam o mesmo fragmento de ontologia que consiste em cinco classes com relações hierárquicas entre elas, um propriedade de objeto e uma propriedade de tipo de dados.

A lista indentada, Figura 13 (a), é um método de visualização simplificado que exhibe uma lista de entidades, onde as entidades inferiores na hierarquia são mostradas recuadas sob sua entidade pai. Esse tipo de método usa a posição relativa dos itens da lista para indicar a hierarquia da ontologia. Os elementos gráficos usados pela lista indentada são rótulos, geralmente em combinação com símbolos ou fragmentos de linha (DUDÁŠ et al., 2018).

O método de visualização do nó-link (ou grafo), Figura 13 (b), faz uso de nós rotulados e conectados por links (opcionalmente rotulados). Nessa representação, comumente, os nós representam entidades, como classes, e os links representam as relações entre eles. De acordo com DUDÁŠ et al. (2018) esse método pode ser subdividido em:

- Categorização baseada em rótulos: de acordo com na quantidade de informações textuais mostradas nos nós, essa subcategoria é dividida em dois grupos:
 - Inspirados em UML: o rótulo do nó não consiste somente no nome da entidade que representa, mas também inclui outras informações, como a lista de dados propriedades relacionadas a uma classe representada pelo nó

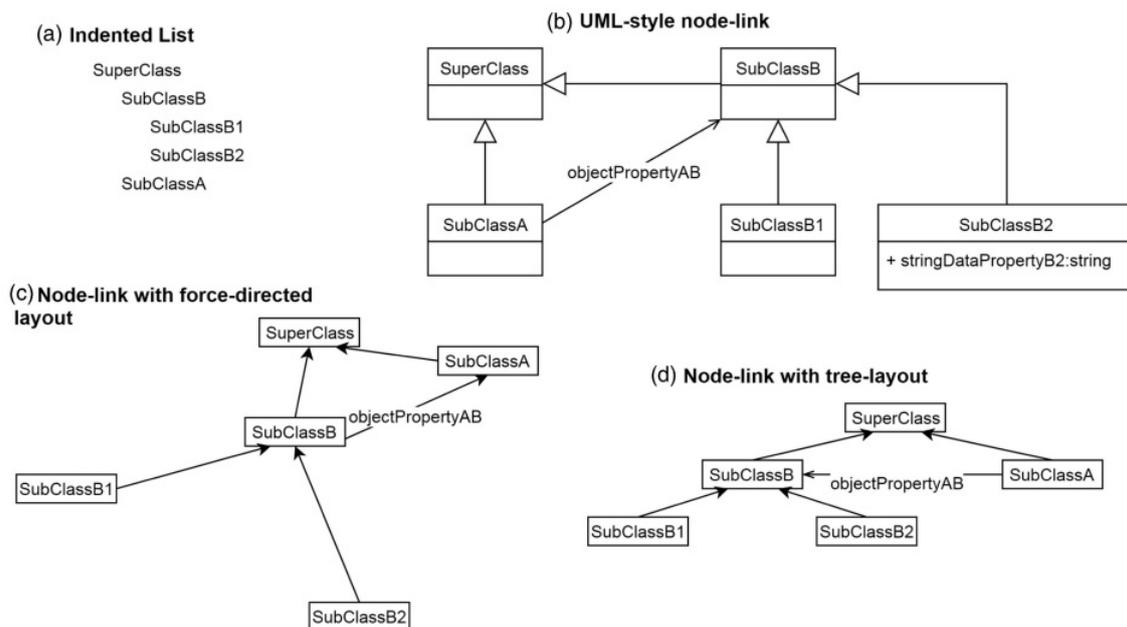


Figura 13: Exemplos de métodos de visualização de ontologias (DUDÁŠ et al., 2018).

- Visualizações somente com rótulo de nome: onde cada nó é rotulado apenas pelo seu nome e não há outra informação textual.
- Categorização baseada em layout: pode ser dividido em cinco layouts aplicável a ambos os métodos, inspirados em UML e somente com rótulo de nome. Abaixo dois layouts, que fornecem outra dimensão para essa classificação, são descritos:
 - Layout direcionado à força: é um dos layouts mais comuns para visualizações de nós, Figura 13 (c) . A visualização atinge um equilíbrio no qual os nós com a maioria das conexões para outros nós estão dispostos no centro da visualização e os nós menos conectados estão na borda externa do grafo resultante. Uma desvantagem é a aleatoriedade inerente da maioria dos algoritmos forçados, resultando em diferentes arranjos de nós cada vez que eles são executados.
 - Layout da árvore: é particularmente adequado para representar relacionamentos hierárquicos em ontologias e pode ser visto na Figura 13 (d). A entidade no topo da hierarquia de ontologia é visualizada no topo da área de exibição e seus filhos são alocados um nível abaixo do nó raiz, um ao lado do outro.

2.5 Síntese do capítulo

Esse capítulo apresentou os conceitos relativos a IHR, SA, soldagem robotizada e modelagem ontológica.

O uso de robôs está associado as mais diversas necessidades humanas, como a execu-

ção de tarefas de risco e precisão, sendo assim necessário que ambos interajam no ambiente. Existem diversas formas de classificar essa interação, seja por tempo ou espaço, é importante que os padrões de segurança sejam respeitados. Ainda, devido as diversas formas de interação e classificação de IHR, não há um método padrão para avaliação desses sistemas, porém é possível utilizar algumas métricas, como tempo para executar a tarefa e o progresso do robô.

Em ambientes complexos e dinâmicos, a SA influencia diretamente na tomada de decisão do operador, atuando como um diagnóstico contínuo nesses ambientes. Essa consciência pode ser modelada em três níveis: percepção, compreensão e projeção do estado atual em um futuro próximo. Incrementar a SA potencializa que os operadores tomem decisões certas e isso pode ser feito através das interfaces de sistemas. Há diversas medidas utilizadas para avaliar a SA, como as medidas diretas (SAGAT) e indiretas (protocolos verbais), podendo ser adaptadas as especificações do contexto de aplicação.

O processo de soldagem é utilizado em diversas aplicações e plantas industriais. As condições ambientais provocadas pelo processo, entre elas fumaça, faíscas e riscos elétricos, oferecem perigos reais ao trabalhador e reforça a utilização de robôs para a execução dessas tarefas.

Para identificar os objetos e suas propriedades, considerando o domínio da soldagem robotizada e SA, tem-se a modelagem ontológica. Em uma ontologia é possível definir uma linguagem, metodologia e ferramentas para auxiliar na especificação da mesma. Ainda, há diferentes métodos para visualização de ontologias, inspirados em UML e rótulos, facilitando que os conceitos e estruturas sejam exibidos.

No próximo capítulo, são apresentados os trabalhos relacionados à interação humano-robô, técnicas utilizadas para medir IHR e trabalhos que contemplam SA.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Os trabalhos relacionados apresentados nesse capítulo buscam identificar o que é abordado sobre a consciência situacional na interação humano-robô e quais são as técnicas utilizadas para avaliar essa interação. Os mecanismos de busca acadêmica foram utilizados, entre eles Google Scholar, IEEE Explorer e Scopus, com strings de busca contendo as palavras-chave "Situational Awareness", "SA", "Human-robot interaction", "HRI", "evaluation techniques or methods or metrics" e "SPAM or SAGAT or SART". A Tabela 6 apresenta um resumo dos trabalhos relacionados com informações de autor, objetivo, método, amostra, forma de avaliação, SA e os resultados destes estudos.

3.1 IHR e técnicas de avaliação

ROSEN; SOMMER; WISCHNIWSKI (2018) descrevem critérios de avaliação, bem como um kit de ferramentas com medidas concretas, a fim de permitir uma avaliação holística dos aspectos cognitivos nas interações humano-robô. Os critérios de avaliação compreendem tecnologia (princípios de diálogo aceitação de tecnologia) e parâmetros humanos relacionados (tensão e estados afetivos). Um sistema de trabalho humano-robô foi montado dando aos sujeitos uma tarefa de montagem recorrente cíclica consistindo de componentes eletrônicos. Para o cenário de validação foi utilizado o robô UR5. No total, participaram do estudo 44 trabalhadores (21 do sexo feminino e 23 do sexo masculino) com idades entre 18 e 45 anos e realizaram a tarefa. O objetivo do trabalho foi identificar critérios relevantes que possam ser utilizados para avaliar a qualidade da interação homem-robô. Em geral, os resultados do estudo de laboratório indicam que os critérios selecionados parecem úteis para avaliar a qualidade da IRH. O trabalho apresentou a primeira evidência empírica de que os princípios do diálogo podem ser adaptados ao IHR.

ADAMIDES et al. (2015) em seu artigo apresentam uma taxonomia de diretrizes de projeto para teleoperação de robôs, desenvolvida a partir de uma revisão de literatura focada em robô de teleoperação. Uma lista de diretrizes de *design* da interface do usuário foi montada, a classificação de cartões abertos e um grupo de foco foram usados para

classificá-los, e a classificação de cartões fechados foi empregada para validar e refinar ainda mais a taxonomia proposta. O conjunto de 70 diretrizes inicialmente obtido é agrupado em oito categorias: arquitetura de plataforma e escalabilidade, prevenção e recuperação de erros, *design* visual, apresentação de informações, percepção do estado do robô, eficácia e eficiência da interação, conhecimento do ambiente / ambiente robótico e fatores cognitivos. Robôs agrícolas foram usados como um estudo de caso de aplicação para implementação e avaliação de campo. A taxonomia da diretriz proposta foi utilizada heurísticamente para avaliar a usabilidade de uma interface de usuário existente de um robô agrícola teleoperado.

JACKOWSKI; GEBHARD (2017) apresentam um estudo de usabilidade sobre a interação homem-robô em movimentos e gestos da cabeça. A interface mãos-livres foi desenvolvida para apoiar pessoas com deficiência que não podem usar seus membros superiores. O estudo piloto apresentado foi realizado com 24 pessoas saudáveis e divididos em dois grupos. O grupo júnior foi formado por 12 pessoas com a idade de 19 a 30 anos. Os 12 membros do grupo sênior tinham entre 43 e 67 anos. Os mesmos foram apresentados ao *design* de interação com um vídeo de introdução. Depois, interação humano-robô foi testada por cerca de dez minutos em um estágio de exploração livre. Na seguinte tarefa, os participantes tiveram que executar os passos predefinidos. Os gestos foram gravados onde, por exemplo, que gesto de cabeça eles tiveram que executar e como eles tem que mover e posicionar os cubos. Finalmente, os participantes tinha que empilhar três cubos em cima uns dos outros na correta posição e orientação. O nível de dificuldade aumentou do cubo 1 ao cubo 3. Para avaliação subjetiva, os participantes avaliaram várias afirmações em relação à interface gráfica do usuário, os gestos da cabeça e controle do robô nos diferentes grupos de controle. Foram analisados objetivamente o tempo que os sujeitos necessitaram para completar os diferentes tarefas de controle foram medidas e analisadas, dependendo da fatores idade, sexo e experiência anterior. Os participantes avaliaram que o desempenho correto dos gestos de cabeça foi fácil no questionário. Mesmo assim, a avaliação objetiva mostra que a taxa de erro é relativamente alta.

ADAMIDES et al. (2017) investigam a usabilidade em diferentes modos de interação para a teleoperação de robôs agrícolas. A influência da usabilidade de três fatores importantes foram examinados: dois tipos de dispositivos de saída (tela de PC, monitor de cabeça), dois tipos de mecanismos de suporte de visão periférica (visão única, múltiplas visualizações) e dois tipos de dispositivos de entrada de controle (teclado de PC, PS3 gamepad). Uma interface de usuário para tele-operar o robô agrícola foi construída e testada em campo. Trinta participantes representativos usaram cada modo de interação para navegar no robô ao longo de uma vinha e spray de cachos de uva. Métricas objetivas da eficácia e eficiência da colaboração humano-robô foram coletadas. Os participantes também preencheram questionários relacionados à experiência do usuário com o sistema em cada modo de interação. Os resultados mostram que o fator mais importante para a

usabilidade da interface homem-robô é o número e o posicionamento de visualizações. O tipo de dispositivo de entrada do controle do robô também foi um fator significativo, enquanto o efeito do tipo de saída da tela foi significativo apenas no índice de carga de trabalho percebido pelos participantes. Recomendações específicas para a teleoperação de robô de campo móvel para melhorar a consciência IHR para a tarefa de pulverização agrícola são apresentadas.

XU et al. (2015) utilizam cenários para avaliar as interações humano-robô (IHR) e relatar sobre a utilização sistemática de diferentes tipos de mídia para a implantação de cenários IHR. Então, o objetivo desse estudo é investigar as questões metodológicas na avaliação IHR baseada em cenários, com foco no efeito da mídia do cenário sobre as atitudes do usuário em relação aos robôs. Para isso, dois experimentos são projetados a fim de examinar como a influência das atitudes dos adultos mais velhos em relação aos robôs sociais. Diferentes tipos de mídia de cenário, incluindo texto, vídeo, vídeo interativo e interação ao vivo, foram comparados sistematicamente com relação aos critérios de avaliação estabelecidos. Este experimento incluiu 69 participantes, entre os quais 28 eram do sexo masculino, 41 do sexo feminino, com média de idade de 65,1 anos. No experimento, cenários de três formatos foram apresentados a três grupos de sujeitos. O grupo 1 tinha 24 participantes que leram uma descrição textual. O grupo 2 tinha 20 participantes que visualizaram o vídeo interativo. O grupo 3 tinha 25 participantes que interagiram diretamente com o robô. Após a interação, os participantes responderam um questionário para avaliação de atitude utilizando os cenários como referência. Os resultados mostraram que as características da mídia do cenário influenciaram a aceitação dos robôs pelos usuários e afetaram suas atitudes. O resultado do estudo ajuda os projetistas a selecionar a mídia do cenário para implantar as informações contextuais do IHR.

PROFANTER et al. (2015) em seu trabalho avaliaram quatro modalidades de entrada diferentes (toque, gesto, fala, dispositivo de rastreamento 3D) em relação à sua preferência, usabilidade e intuição para a programação do robô. Em seu estudo de usuários cobriu três importantes casos de uso para robôs industriais usados em pequenas e médias empresas: Pick & Place, Assembly e Soldagem. O objetivo principal foi determinar a modalidade de entrada preferida para diferentes tipos de parâmetros e se o uso de diferentes modalidades de entrada é adequado para a programação de robôs industriais. Foi utilizada a abordagem Mágico-de-Oz, onde um observador humano simula os valores de entrada do sensor sem o conhecimento do participante. O experimento foi conduzido com 30 participantes e seus resultados mostram que a maioria dos usuários prefere a entrada por toque e por gestos na entrada do dispositivo de rastreamento 3D, enquanto a entrada de fala é a modalidade de entrada menos preferida. A interação de cada participante foi registrada usando uma câmera de vídeo e os resultados do questionário foram coletados em uma planilha. A avaliação desses resultados é dividida em quatro categorias principais: o histórico do participante, o comportamento esperado do sistema, as modalidades

de input preferidas e a opinião sobre o sistema. Para cada participante, levou cerca de 30 minutos para completar os questionários e experimentos. Os resultados também indicam que existem diferenças específicas de gênero para as modalidades de entrada preferidas.

3.2 IHR e SA

GATSOULIS; VIRK; DEGHANI-SANIJ (2010) desenvolveram um estudo comparativo entre vários métodos para medir o SA de uma interação humano-robô para teleoperação em um simulador de tarefas USAR. Seu objetivo foi identificar os métodos com o maior potencial para uso na medição eficaz de SA, levando a melhores teleoperações de robôs e interações mais efetivas entre humanos e robôs. Esses métodos foram adotados e modificados de acordo a atender às necessidades de teleoperação de sistemas robóticos do domínio relacionado ao controle de tráfego aéreo, no qual a SA tem um longo histórico de pesquisa. Os métodos foram comparados entre si e com as medidas existentes, como SAGAT e CARS. O SAGAT é um método bem aceito e foi demonstrado neste estudo como tendo bom potencial. CARS, por outro lado, apresentou alguns bons resultados, mas não na mesma medida, possivelmente explicados por sua abstração, o que leva a uma maior subjetividade. Dois dos três novos métodos (QASAGAT e SPASA) produziram bons resultados e estão em boa concordância com a SAGAT, o que encoraja seu uso posterior no domínio da robótica.

DINI et al. (2017) descrevem uma nova metodologia para medir e prever a SA. A conscientização sobre objetos de cena de interesse é descrita pela análise de olhar 3D usando dados de óculos de rastreamento oculares e um sistema de rastreamento óptico preciso. Este trabalho elabora uma estrutura sobre a SA humana no domínio da manufatura na interação homem-robô, com base em medidas concretas dos movimentos oculares em direção a processos relevantes de produção que precisam ser observados e avaliados pelo ser humano. O trabalho apresentado estende as medições de fatores humanos em IHR no âmbito de SA nas seguintes dimensões: (i) medição em tempo real usando óculos de rastreamento ocular móvel, (ii) mapeamento do olhar em um quadro de incerteza, (iii) conhecimento da situação baseado em processos de distribuição de pontos 3D e (iv) aplicação na área de IHR com base em reconhecer e prever o estado mental humano que permite o processamento da consciência da situação com o ser humano no ciclo. A questão de pesquisa é se os questionários podem ser substituídos por estimativa automatizada e classificação de medida dos processos de atenção humana durante a operação da tarefa. O estudo de laboratório envolveu 19 participantes que foram utilizados na análise do trabalho apresentado. Cada participante do estudo foi envolvido em 4 fases dentro de uma sessão completa, levando cerca de 1,5 horas. Cada fase consistia em 10 ciclos de robô com sequência idêntica de ações do robô (posturas). A consciência da situação foi investigada pelo (i) questionário SAGAT de medições, interrompendo a tarefa, fornecendo 196

questionários SAGAT com uma pontuação entre 1 e 10 para classificar a previsão do trabalhador sobre o evento de handover e (ii) medindo o SART em questionários pós-tarefa.

SCHOLTZ; ANTONISHEK; YOUNG (2004) descrevem uma metodologia para avaliar interfaces de supervisão para veículos robóticos, baseados numa avaliação da consciência situacional. O trabalho foi modelado a partir da Técnica de Avaliação Global de Consciência Situacional (SAGAT). Depois de responder a essas perguntas, os usuários retornam à simulação. Os objetivos incluíram desenvolver uma metodologia de avaliação para interface para o papel de supervisão na IHR e efetuar estudos empíricos necessários para produzir um interface de usuário que pode ser usada como referência. Os participantes do estudo monitoraram uma simulação que mostrou veículos navegando pelo meio ambiente. As informações de veículo, ambiente e rota foram continuamente atualizadas. Em tempos predeterminados, a simulação foi congelada e ao participante foi solicitado que utilizasse um computador para coleta de dados, onde foi solicitado a indicar a situação atual do veículo na simulação. Três tipos de perguntas foram utilizadas, onde foi avaliado cada nível de consciência situacional. Uma interface de usuário do Visual Basic foi desenvolvida para coletar esses dados. As perguntas para o nível 1 de SA e o nível 2 de SA eram sempre as mesmas, enquanto a pergunta para o nível 3 do SA diferiu dependendo do cenário. Também foi utilizado um sistema de pontuação para avaliar as respostas. Com isso, conclui-se que a tecnologia de avaliação aplicada é viável, mas que seria necessário refinar os cenários para garantir que os participantes possam interpretá-los sem ambiguidade.

NORTON; YANCO (2015) afirmam que os "*testbeds*" para avaliar a interação homem-robô (IHR) são geralmente desenvolvidos para se adequar a um experimento em particular, sem um conjunto comum de tarefas. Os métodos de teste padrão para robôs de resposta especificados pela ASTM E54.08.01 são usados para avaliar a mobilidade, manipulação, sensores e proficiência do operador do robô. Existem quatro métodos de teste que se concentram na percepção adequada da situação (SA): Linha Seguinte (LS), Centro nos Becos (CB), Alinhar Bordas (AB) e Zoom Pan Tilt (ZPT). Esses testes servem como candidatos para montagens experimentais padronizadas da IHR, pois elas captam de forma simples e eficiente muitas características do robô, da interface e do operador. O objetivo desse trabalho é discutir um exemplo de conjunto de dados do desempenho do método de teste e como eles podem ser usados para avaliar o IHR. A métrica de desempenho usada para os métodos de teste é o número de tarefas concluídas por minuto ou taxa de adiantamento. Para LS, CB e AB, uma tarefa refere-se a atravessar de uma extremidade do aparelho de teste para a outra e vice-versa, com algum tipo de obstáculo a ser negociado entre elas. A primeira metade de uma tarefa é executada ao avançar e a segunda metade ao contrário. Para ZPT, uma tarefa refere-se à visualização de alvos próximos e distantes da acuidade no aparelho. Cada método de teste é definido pelo nível 1, 2 e 3 SA. Esses métodos de teste são exemplos de projetos que podem ser usado para experimentos

padronizados de IHR, particularmente para robôs que operam remotamente.

Para ajudar os operadores de sistemas autônomos a manter uma boa consciência situacional, os autores ROBB et al. (2018) desenvolveram uma interface multimodal abrangendo uma interface de bate-papo de texto em linguagem natural para aumentar as interfaces de comando e controle (C2) existentes. Em um estudo observacional de métodos mistos, avaliaram o novo sistema com operadores especialistas da interface C2 original. Foram reunidas medidas objetivas: SA, a frequência com que os usuários obtinham informações da interface do usuário original ou do bate-papo e o desempenho do sistema de diálogo. Também foram medidos os estilos cognitivos dos usuários caso eles tenham um efeito sobre a interação com essa combinação de interfaces visuais e verbais. Também foi coletado avaliações de usabilidade, classificações de satisfação do usuário e comentários qualitativos sobre o sistema. A partir disso, constatou-se que os participantes (usuários especialistas da interface original) quando solicitados a extrair informações da interface aumentada, usavam o bate-papo estatisticamente significativamente maior do que o mapa original e os componentes da interface de tabela. Uma análise de correlação foi utilizada para expor correlações fortes e estatisticamente significativas, demonstrando que quanto mais os indivíduos usaram o bate-papo, maior a SA. Além disso, a interface combinada foi bem avaliada quanto à usabilidade. Em suma, o estudo aplicado forneceu evidências de que a combinação de uma interface de controle de autonomia com interação de linguagem natural apoia a SA em operadores de sistemas autônomos e é considerada eficaz pelos usuários.

Para BUXBAUM; KLEUTGES; SEN (2018) robôs com comportamento autônomo e trabalhando em colaboração direta com humanos, criam situações com potencial de risco, influenciadas por fatores humanos em ambientes complexos de trabalho. Neste artigo, apresenta-se um conceito de simulador de escopo completo como uma plataforma experimental de IHR, seguido por uma instalação piloto do simulador. O uso do simulador permite investigações científicas na colaboração entre humanos e robôs. Em um experimento de simulação típico, duas fases são usadas: simulação de preparação e experimentos. Na preparação, o procedimento é definido, o robô e o controlador lógico programável (PLC) são configurados. Na fase de experimentos, a simulação é realizada em 7 etapas, dentre elas a etapa 5, onde o PCL é responsável pelo congelamento e aplicação da medição SAGAT. Para esse fim, a tarefa é interrompida inesperadamente para o usuário. A iluminação é alterada para escurecer o local de trabalho, de modo que o usuário perca o foco. O ruído ensaiado do sistema de áudio também é interrompido. Em vez disso, o usuário deve responder sobre aspectos de SA. Depois que as perguntas são respondidas, a tarefa é normalizada e segue para a etapa 6. O objetivo dessas experiências em um simulador é obter informações sobre aspectos ergonômicos e psicológicos, como, por exemplo, a consciência situacional e permitir investigações com diferentes tecnologias de segurança.

Autor	Objetivo	Método	A	Forma de Avaliação	SA	Resultados
(ROSEN et al., 2018)	Identificar critérios relevantes para avaliar a qualidade da IHR	Tarefa de montagem com robô (UR5)	44	Duas dimensões: tecnologia e parâmetros humanos (tensão e estados afetivos)	Não	Os critérios identificados são úteis para avaliar a qualidade em IHR
(ADAMIDES et al., 2015)	Propor uma taxionomia de diretrizes de projeto para tele-operação	Revisão da literatura, grupos de foco, técnica de cartões abertos para classificação e fechados para refinamento		Avaliação da usabilidade com as 70 diretrizes	Não	
(JACKOWSKI et al., 2017)	Estudar a usabilidade na IHR a partir de movimentos com a cabeça	Desenvolvimento da interface e execução com o robô em tarefas pré-definidas	24	Subjetiva com questionários sobre a interface, gestos e controle do robô. Objetiva com relação ao tempo de execução das tarefas	Não	Resultados positivos no questionário referente aos gestos. Taxa de erro alta

Continuação da Tabela 6

Autor	Objetivo	Método	A	Forma de Avaliação	SA	Resultados
(ADAMIDES et al., 2017)	Avaliar a usabilidade em diferentes formas de interação na teleoperação de robôs	Desenvolvimento de interface para testar os dispositivos e execução de cada modo de interação com o robô ao longo de uma vinha	30	Questionários de experiência do usuário (UX)	Não	O fator demonstrado como mais importante para usabilidade na interface é o de posicionamento de visualizações
(XU et al., 2015)	Investigar as questões metodológicas na IHR com foco em cenários e mídias	Desenvolvimento de dois cenários e utilização de três formatos de mídia (textual, vídeo e interação direta com o robô)	69	Questionário utilizando os cenários como referência	Não	As mídias influenciam na aceitação dos robôs
(PROFANTER et al., 2015)	Determinar qual a modalidade de entrada (touch, gesto, fala) preferida e se é adequada na indústria	Mágico de OZ	30	Questionário	Não	As modalidades preferidas são toque e gestos, já a fala a menos preferida

Continuação da Tabela 6

Autor	Objetivo	Método	A	Forma de Avaliação	SA	Resultados
(GATSOULIS et al., 2010)	Identificar os métodos com mais potencial para medição de SA, melhorando a IHR na tele-operação	Estudo comparativo em um simulador USAR		SAGAT, CARS, SPASA, QASAGAT	Sim	Assim como o SAGAT, dois dos métodos adaptados produziram bons resultados
(DINI et al., 2017)	Medir e prever SA usando óculos de rastreamento	Desenvolvimento em quatro fases, onde cada fase contém dez ciclos com o robô	19	SAGAT	Sim	
(SCHOLTZ et al., 2004)	Avaliar interfaces de supervisão de veículos robóticos	Simulação de veículos navegando pelo ambiente e desenvolvimento de uma interface para coleta dos dados		SAGAT	Sim	A tecnologia de avaliação é viável, mas é necessário um refinamento dos cenários
(NORTON; YANCO, 2015)	Discutir métodos de "test bed" e como eles podem ser usados para IHR			Desempenho. Cada tarefa o método acessava níveis de SA	Sim	

3.3 Síntese do capítulo

Este capítulo apresentou trabalhos relacionados a IHR e formas de avaliar essa interação, bem como as pesquisas que abordam a SA nesse contexto.

Para o escopo de técnicas de avaliação de IHR, métricas como usabilidade são amplamente utilizadas em contextos como a teleoperação (ADAMIDES et al., 2015)(ADAMIDES et al., 2017) e modalidades de interação (PROFANTER et al., 2015) (JACKOWSKI; GEBHARD, 2017).

Ainda, são utilizadas outras formas para avaliar essa IHR, como em XU et al. (2015). Nessa pesquisa, investigou-se questões metodológicas sobre a avaliação da interação com robôs sociais baseada em cenários e mídias (texto, vídeo, interação ao vivo).

Para o contexto de IHR e SA, as pesquisas abordam as técnicas de medição de SA, como em GATSOULIS; VIRK; DEHGHANI-SANIJ (2010), onde um simulador de tarefas USAR serviu para que um estudo comparativo fosse aplicado. O objetivo foi identificar os métodos com maior potencial para avaliação de SA e tornar a teleoperação de robôs mais efetiva.

Também é proposto a utilização de um simulador em BUXBAUM; KLEUTGES; SEN (2018), que desenvolveram um simulador de escopo completo para realizar experimentos onde há colaboração direta de humano e robô. O objetivo dessas experiências em um simulador é obter informações sobre aspectos ergonômicos e psicológico, como a SA do usuário, utilizando a técnica de SAGAT.

No contexto de incrementar a SA a partir de uma interface, em (ROBB et al., 2018) o objetivo foi auxiliar os operadores de sistemas autônomos a manter uma boa SA, desenvolvendo uma interface multimodal. Foi mensurada usabilidade com questionário SUS e, para medição de SA, oito questões focando os níveis de SA foram desenvolvidas, utilizadas conjuntamente com a técnica de congelamento.

No próximo capítulo, é apresentada a proposta do trabalho, que contempla o desenvolvimento de uma ontologia com os aspectos de SA necessários para auxiliar a IHR, através das interfaces de operação, em um ambiente industrial de soldagem.

4 PROPOSTA

O presente trabalho objetiva o desenvolvimento de uma ontologia específica sobre os aspectos de SA necessários para interação humano-robô no ambiente de soldagem linear.

4.1 Ontologia de SA para soldagem linear robotizada

Um projeto abrangente deve considerar que o domínio da aplicação pode conter múltiplos aspectos (ou tipos) de SA, como afirma GOLIGHTLY et al. (2013), ou o próprio conhecimento poderia ser composto por vários fatores, conforme identificado por CARROLL et al. (2003). PEW (2000) definiu aspectos de SA, posteriormente adaptados por OLIVEIRA et al. (2015), da seguinte maneira: consciência espacial, consciência da missão ou conscientização de objetivos, conscientização do sistema, consciência de recursos e conscientização da equipe. Então, para definir o escopo da ontologia, foram categorizadas as principais informações sobre o processo de soldagem de modo a auxiliar na tomada de decisão do usuário.

Ainda que algumas informações pareçam triviais ao usuário, como os passos para efetuar um procedimento ou os riscos em ambientes insalubres, mantê-las através de interfaces pode reforçar os critérios para garantir um trabalho seguro e eficaz e permitir que usuários não especialistas operem o sistema.

4.1.1 Usuário

O aspecto de consciência relacionada ao usuário engloba as características pessoais e os fatores que podem influenciar na compreensão individual da situação, como o nível de conhecimento técnico, competências, fatores emocionais (ENDSLEY; ROBERTSON, 2000). Porém, são informações que os usuários não precisam saber, mas que podem ser usadas para alterar a visualização dos aspectos na interface .

Essas particularidades dos usuários podem gerar problemas de SA, como a ausência de experiência e treinamento no ambiente de trabalho ou ausência de capacidade para avaliar riscos. Na Figura 14 as características que influenciam no aspecto do usuário estão agrupadas.

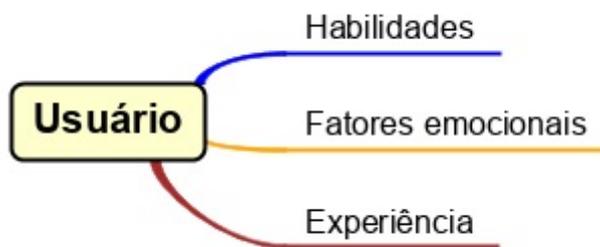


Figura 14: Características que influenciam no aspecto usuário.

4.1.2 Sistema

O aspecto sistema diz respeito ao usuário, seu conhecimento sobre quais funções são desempenhadas pelo sistema de forma autônoma ou que podem ser desempenhadas pelo usuário de forma manual. Então, para manter esse aspecto da consciência, os usuários devem ser informados sobre as funções automatizadas do sistema ou opções manuais a serem utilizadas, que podem afetar seu trabalho e causar riscos a ele (LYNAS; HORBERRY, 2011).

Outro fator importante em sistemas automatizados é possibilitar algum nível de controle para o usuário, como a possibilidade de interromper o processo de soldagem quando percebe-se algo errado com o mesmo (OLIVEIRA et al., 2015).

Além disso, fornecer consciência sobre o andamento do processo, diagnóstico e problemas no mesmo, para que os usuários possam entender o sistema e tomar a decisão final, é outra questão de consciência adquirida por informações oriundas do sistema. Na Figura 15 estão as características principais que influenciam no aspecto do sistema.

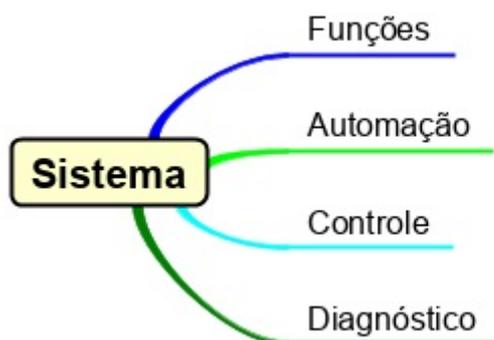


Figura 15: Características que influenciam no aspecto sistema.

4.1.3 Ambiente

O aspecto de consciência do ambiente faz com que o usuário esteja ciente de algumas condições de trabalho, como o layout da planta, segurança e riscos presentes no ambiente para que o mesmo possa compreender e obter uma projeção da situação.

Um fator a ser considerado no ambiente é o de riscos. Nesse contexto estão associadas questões como ruído, a visibilidade e a temperatura presentes no ambiente (OLIVEIRA et al., 2015). O impacto causado por fatores como o ruído podem afetar as tarefas baseadas na concentração e conhecimento, como o acompanhamento da tarefa ou diagnóstico do equipamento.

Também, de acordo com PARSONS (2014) condições extremas podem reduzir as funções físicas e psicológicas. O calor pode causar suor (afetando a aderência), distrações e tensão psicológica. Já o frio pode induzir à uma perda de sensibilidade, rigidez dos dedos, desconforto geral e tremores, causando distrações que podem aumentar o estresse do usuário (PARSONS, 2014).

Conhecer a localização em que o usuário se encontra no ambiente e o status dos componentes de segurança, como alarmes e cercas de proteção, também são fatores que influenciam para que a composição do ambiente esteja clara e auxiliam no desenvolvimento da tarefa. Na Figura 16 estão reunidas as principais características que compõem esse aspecto.

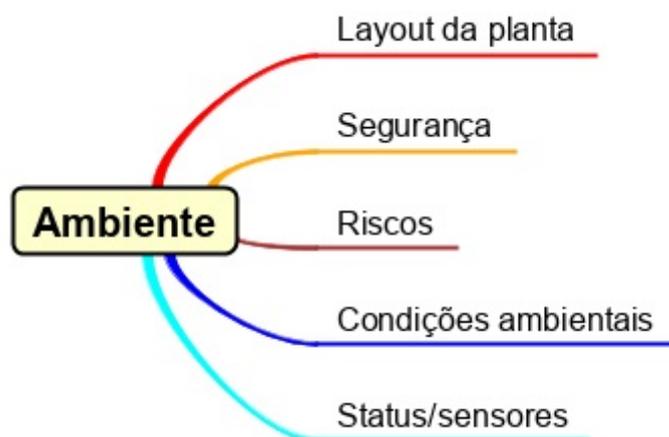


Figura 16: Características que influenciam no aspecto ambiente.

Em um ambiente industrial grande parte dessas informações essenciais que estão presentes são obtidas através de diferentes sensores espalhados pela planta.

4.1.4 Grupo

A consciência em grupo é outro ponto importante para interação no ambiente industrial, que é diretamente impactada pela SA de cada usuário. Estabelecer um canal de comunicação no grupo, que permita transparência e visibilidade, é uma das metas para que a SA se viabilize.

Mesmo uma tarefa individual pode influenciar a consciência do grupo, pois o espaço de trabalho é compartilhado. A troca de informações serve para informar aos outros trabalhadores sobre as ações executadas, especialmente quando esta ação pode interferir

no trabalho de outra pessoa (OLIVEIRA et al., 2015).

De acordo com ENDSLEY; ROBERTSON (2000), a comunicação é a principal fator do trabalho em equipe, mas as condições adversas do ambiente podem tornar isso difícil. Manter essa consciência através da interface pode corrigir esse problema.

A cooperação pode ocorrer onde o trabalho em grupo é separado por longas distâncias (espaço e tempo). Então, ela pode ser utilizada de forma a fornecer assistência em tempo real de um usuário distante e mais experiente, que ajuda o usuário a entender ou consertar a tarefa (OLIVEIRA et al., 2015). Na Figura 17 estão dispostas as características do aspecto grupo.

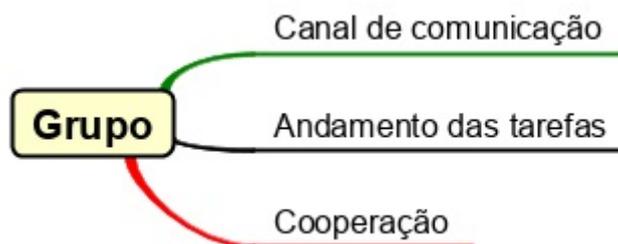


Figura 17: Características que influenciam no aspecto grupo.

4.1.5 Empresa

A consciência da empresa dispõe informações importantes de organização, como turnos, prazos, políticas e regras presentes no ambiente de trabalho. Algumas dessas informações impactam no aspecto de consciência do usuário por causarem problemas como estresse, risco e fadiga (GOLIGHTLY et al., 2013). Na Figura 18 estão dispostas as características do aspecto empresa.

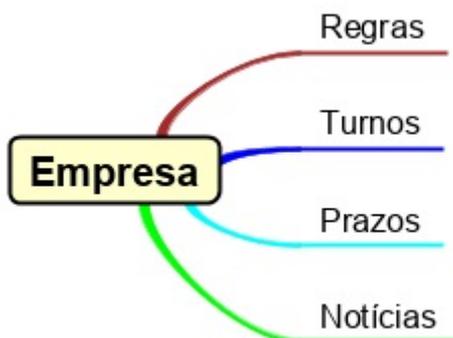


Figura 18: Características que influenciam no aspecto empresa.

4.1.6 Robô

A consciência relacionada a ferramenta utilizada no processo industrial e que maior caracteriza a necessidade de uma interação humano-robô bem sucedida, é a relacionada

ao robô de soldagem. É importante destacar que o usuário deve compreender os aspectos relacionados as funcionalidades do mesmo, ter constantemente um acompanhamento da tarefa, visualizar o diagnóstico e riscos associados ao robô (TREMONTI, 2000).

É importante dispor, de forma clara, as funcionalidades do robô e como utilizá-las através da interface, bem como um menu de ajuda para usuários iniciantes ou não especialistas.

Os riscos inerentes a utilização do robô, como falhas na realização da soldagem, podem ocorrer quando o diagnóstico não é efetuado. O status do funcionamento pode ser verificado através dos sensores presentes no robô e a manutenção pode ser agendada conforme for necessário.

Outro aspecto a ser apontado, é a interação entre robôs que pode ocorrer em alguns ambientes e que está associada aos que possuem níveis de automação e tecnologia elevados. Assim como há interação com humanos, também há entre robô-robô. Nesses ambientes os robôs podem colaborar, quando há algum tipo de tarefa que depende de mais de um robô; cooperar, quando há uma certa interação em algum ponto da tarefa; coexistir, quando há outros robôs no ambiente mas não há uma interação na tarefa.

Na Figura 19 estão as principais características que compõem o aspecto do robô.

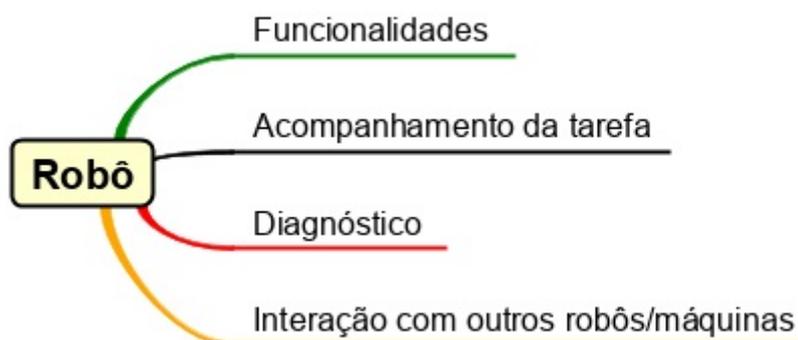


Figura 19: Características que influenciam no aspecto robô.

4.1.7 Tarefa de soldagem

Tarefa de soldagem diz respeito a consciência que usuário deve ter sobre o procedimento ou ação a ser executado. A experiência auxilia o usuário a realizar a tarefa de forma automática, mas, de acordo com ENDSLEY (2016), ao utilizar a memória de trabalho o usuário está sujeito a uma limitação da SA. Portanto, é preciso que os sistemas e sua interface suportem essa consciência.

Esse aspecto pode depender da complexidade da tarefa, ou seja, a dificuldade inerente ao procedimento de soldagem. Então, o fator de complexidade pode ser usado para exibir informações como configuração de parâmetros, procedimentos, inspeção ou o acompanhamento do andamento da tarefa pode ser considerado para compensar a falta de

experiência do usuário.

Para promover mais segurança ao usuário durante a realização da soldagem, os riscos podem ser informados. Normalmente esses riscos são associados ao calor, faíscas ou gases provenientes do processo. As ferramentas comuns para evitar riscos são os equipamentos de proteção individual (EPIs), juntamente com a aderência em normas e procedimentos de segurança (OLIVEIRA et al., 2015). Também são necessárias informações sobre os riscos ergonômicos, uma vez que algumas tarefas precisam ser executadas durante um longo período de tempo.

Estão organizadas as principais características do aspecto envolvendo a tarefa de soldagem na Figura 20.

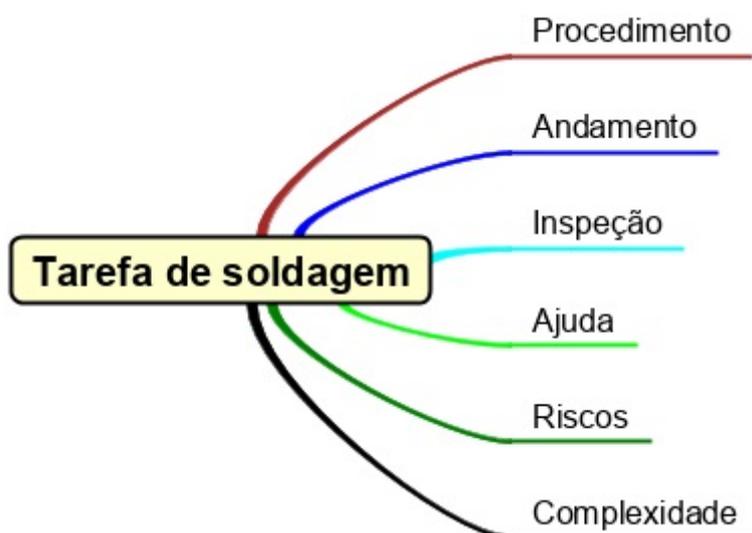


Figura 20: Características que influenciam no aspecto tarefa de soldagem.

4.2 Implementação da ontologia

Nessa seção, o processo de representação dos conceitos presentes na ontologia, definidos anteriormente, são abordados em uma linguagem formal e estruturada.

4.2.1 Linguagem

A OWL é uma linguagem para definição e instanciação de ontologias que permite formalizar um domínio, classes, propriedades e indivíduos. Ainda, com a semântica formal OWL é possível especificar fatos que não estão presentes na ontologia, mas são vinculados pela semântica (BECHHOFER et al., 2004). Por conseguinte, esta é a linguagem utilizada para geração da ontologia deste trabalho.

4.2.2 Elementos básicos

Os elementos básicos da ontologia presente neste trabalho são as classes e tipos de propriedades.

4.2.2.1 Classes e taxionomia

Uma classe define um grupo de indivíduos que compartilham algumas propriedades, então, uma classe em OWL provê uma forma de abstração para agrupar recursos com características similares.

Cada classe adicionada em OWL é membro da superclasse owl:Thing. Uma classe é sintaticamente representada como uma instância nomeada da owl:Class, que é uma sub-classe da rdfs:Class e pode ser representada como:

```
<owl:Class rdf:about="#Usuario"/>
```

De acordo com BECHHOFER et al. (2004), esta classe, dentro do documento em que ela foi definida, pode ser referenciada usando-se a expressão #Usuario.

Podem ser declaradas hierarquias para as classes usando a construção rdfs:subClassOf. Essas subclasses funcionam herdando as características da classe pai. A Figura 21 demonstra a classe #Ambiente que possui as subclasses CondicoesAmbientais, Layout, Seguranca e RiscosAmbiente.

```

<!-- #Ambiente -->
<owl:Class rdf:about="#Ambiente"/>

<!-- #CondicoesAmbientais -->
<owl:Class rdf:about="#CondicoesAmbientais">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Ambiente"/>
</owl:Class>

```

Figura 21: Exemplo de classe e subclasse.

4.2.2.2 Tipos de propriedades

Na linguagem OWL as propriedades são classificadas em dois tipos: propriedade de objeto (*ObjectProperty*) e propriedade do tipo de dados (*DatatypeProperty*). A propriedade de objeto faz relacionamentos entre os objetos de um domínio, já a propriedade do tipo de dados associa classes com atributos - tipos de dados.

A Figura 22 apresenta um trecho do código OWL, onde é estabelecida uma relação entre duas classes. Primeiramente, é definido o nome da relação - executa. Logo a seguir, são definidas as classes onde essa relação se estabelece - Robo e TarefaSoldagem.

A Figura 23 apresenta um trecho do código OWL, onde é definida uma propriedade do tipo de dado, ou seja, um atributo para uma classe. A propriedade do tipo dado é definida

```

<!-- executa -->

<owl:ObjectProperty rdf:about="#executa">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Robo" />
  <rdfs:range rdf:resource="#TarefaSoldagem" />
</owl:ObjectProperty>

```

Figura 22: Exemplo de uma propriedade de objeto.

como "acompanhamentoTarefa", associada a classe robô.

```

<!-- #acompanhamentoTarefa -->

<owl:DatatypeProperty rdf:about="#acompanhamentoTarefa">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Robo" />
</owl:DatatypeProperty>

```

Figura 23: Exemplo de uma propriedade do tipo dado.

4.2.3 Ferramentas

A modelagem da ontologia foi trabalhada sob a ferramenta Protégé¹. Esta ferramenta foi desenvolvida em uma parceria entre as universidades de Manchester e Stanford. A interface gráfica da ferramenta é apresentada na Figura 24. É uma ferramenta open-source, desenvolvida em Java, com plugins que auxiliam no processo de desenvolvimento e visualização de ontologias. A ferramenta funciona permitindo o desenvolvimento sob uma interface gráfica e posteriormente a geração do arquivo com o formato desejado - OWL, RDF, XML, entre outros.

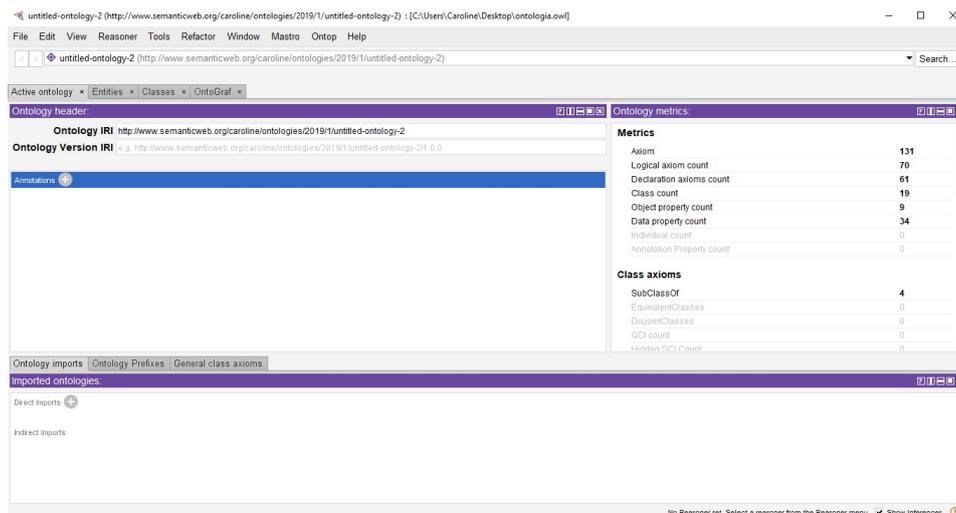


Figura 24: Interface da ferramenta Protégé

A ferramenta Astah² foi utilizada para criar o diagrama de domínio. Essa ferramenta

¹Protégé: <https://Protégé.stanford.edu/>

²Astah UML: <http://astah.net/editions/uml-new>

é utilizada para modelagem UML(uma linguagem de modelagem que permite representar um sistema ou domínio de forma padronizada e permite a criação de diversos diagramas: domínio, classes, sequência, casos de uso, entre outros), sua interface gráfica é apresentada na Figura 25. Vale destacar que a ferramenta Astah disponibiliza uma versão grátis para estudantes.

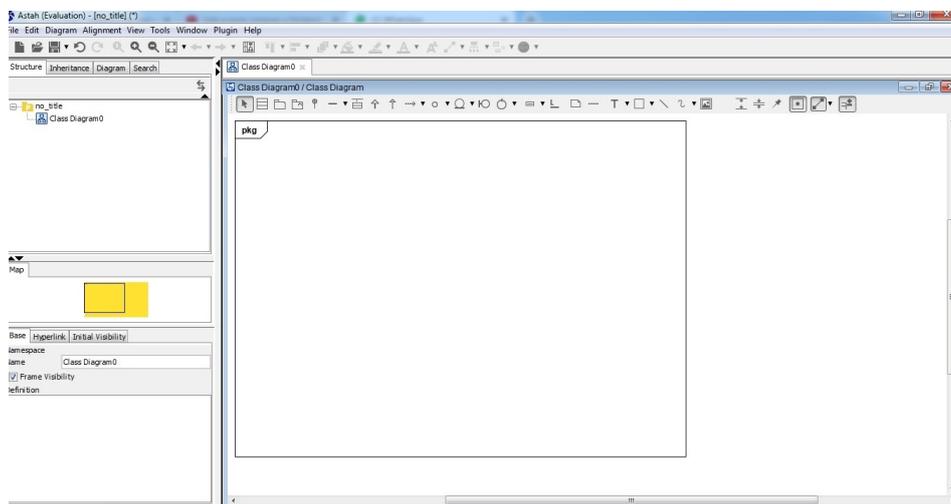


Figura 25: Interface da ferramenta Astah

4.2.4 Formas de visualização da ontologia

Como visto na Seção 2.4.4, há diferentes métodos para visualização de ontologias, porém o objetivo é o mesmo: representar graficamente os conceitos do domínio abordado.

Inicialmente, a modelagem ontológica é gerada através do plugin OntoGraf³, disponível na ferramenta Protégé e representado na Figura 26, ilustrando apenas classes e respectivas ligações.

Outra forma simplificada de visualização da modelagem é ilustrada pela Figura 27. Essa forma de representação incorpora o nome das relações que ocorrem entre as classes do domínio, tornando o entendimento do contexto mais consistente.

Para obter uma representação mais robusta e completa da ontologia, com classes, atributos e relações, um modelo de domínio utilizando a representação UML foi elaborado conforme ilustra a Figura 28. Os aspectos Usuário, Sistema, Empresa, Grupo, Robô, Tarefa de Soldagem e Ambiente, levantados na Seção 4.1, são a base das entidades - transformadas em sete classes principais e posteriormente expandidas de acordo com o domínio representado.

Os atributos adicionados nas classes são características identificadas como necessárias para complementar a compreensão do domínio. Por exemplo, na classe RiscoTarefaSoldagem os atributos identificados são os riscos ergonômicos, as faíscas, a temperatura e os gases provenientes do processo de soldagem.

³Ontograf: <https://Protégéwiki.stanford.edu/wiki/OntoGraf>

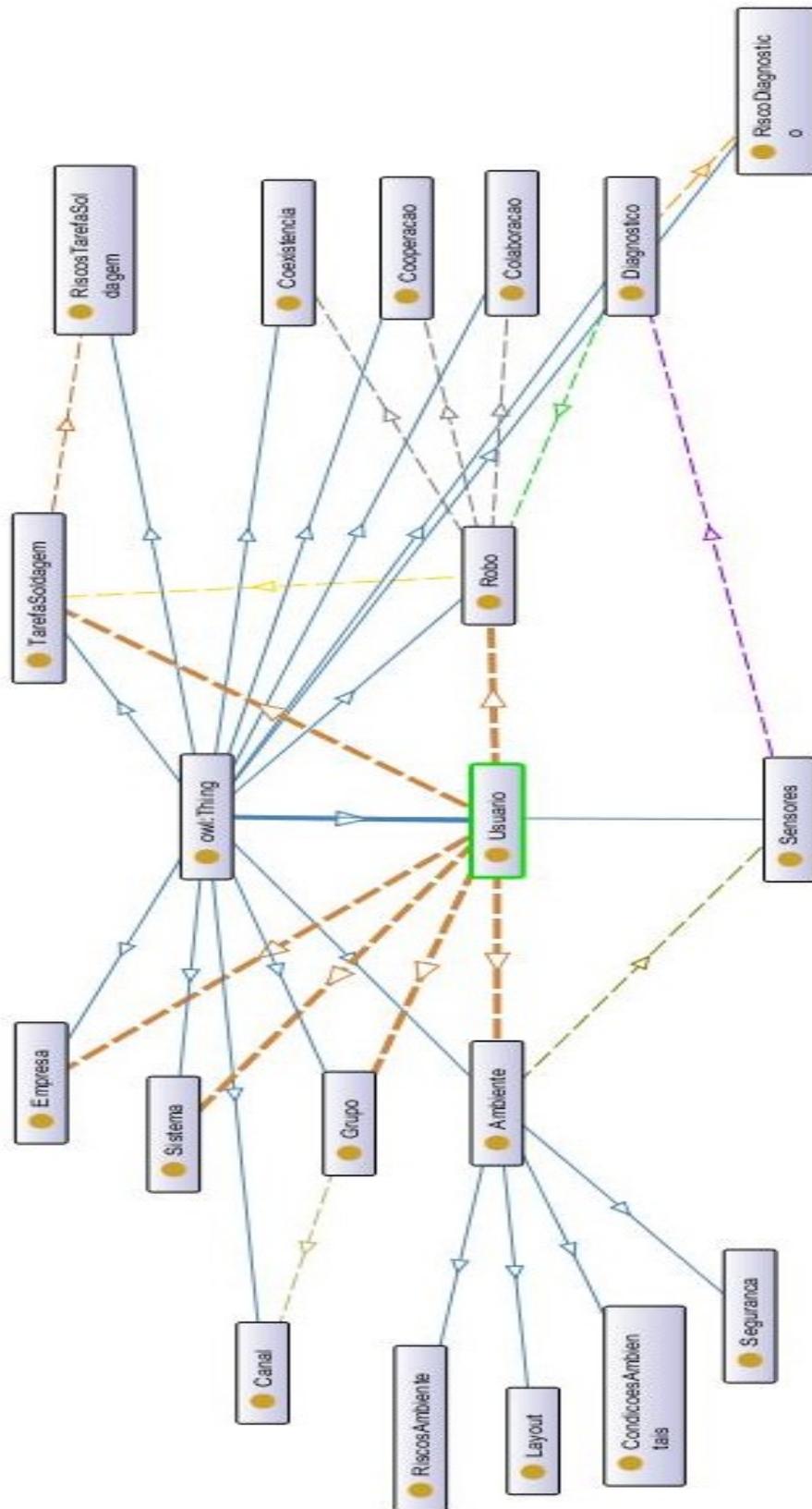


Figura 26: Ontologia em forma de grafo gerado pelo plugin OntoGraf.

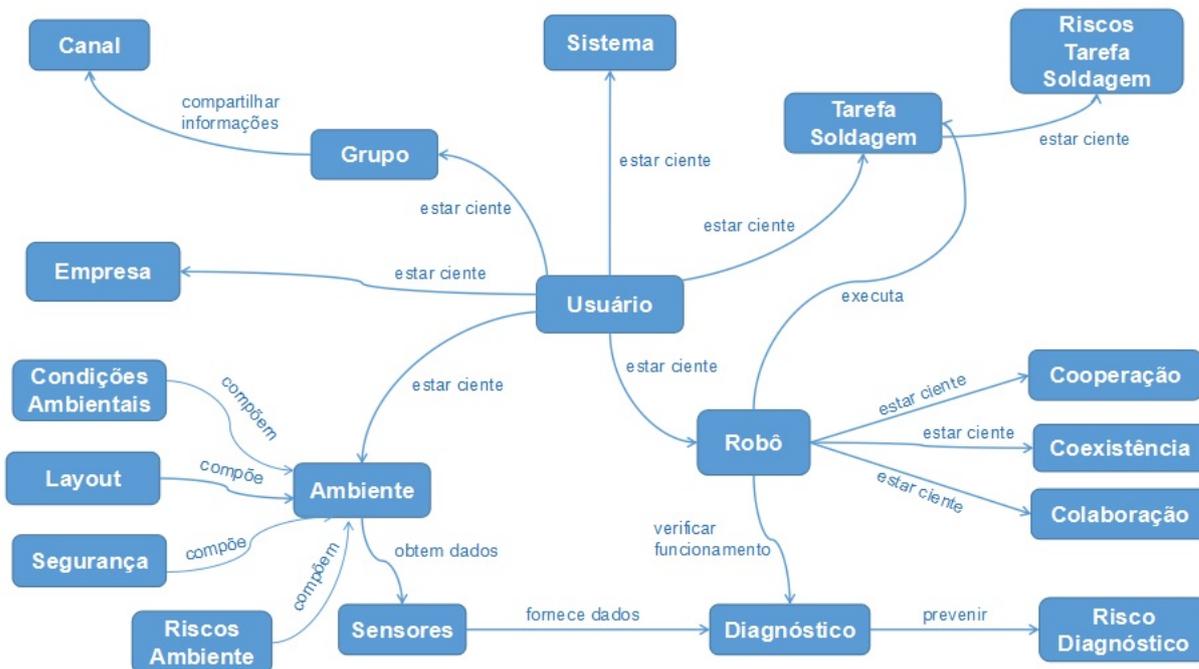


Figura 27: Forma de representação da ontologia básica.

As relações identificadas entre as classes fornecem a compreensão de como as mesmas interagem. A relação estabelecida da classe Usuário com as demais classes base foi definida como "estarCiente", pois o usuário deve ter consciência sobre todos os outros aspectos modelados.

Visto que, o diagrama do domínio é um artefato com maior nível de detalhamento que os modelos anteriormente apresentados, a quantidade de informação visualmente disponível é maior, como na adição de atributos as classes iniciais e na manutenção das relações entre as classes. Por conseguinte, com a finalidade de adicionar informações auxiliares, algumas notas de observação foram incluídas, mas estas são de caráter não-obrigatório.

4.3 Método de avaliação de SA

A partir da ontologia modelada, é importante revisar e definir um método de avaliação de SA com base nas definições apresentadas no Capítulo 2.

Como visto anteriormente, as medidas diretas foram desenvolvidas para avaliar a SA durante a execução de uma tarefa. A maioria das medidas diretas objetivas são métodos de consulta, onde são feitas perguntas ao usuário relacionadas ao cenário durante toda a tarefa (DURSO et al., 1995),(ENDSLEY, 1995)).

Medidas diretas subjetivas envolvem perguntas subjetivas aos participantes para determinar os seus níveis de SA. Ao mesmo tempo, medidas indiretas podem envolver combinação de informações em um cenário para extrair determinados comportamentos dos participantes e, em seguida, inferir SA do comportamento. A performance do usuário,

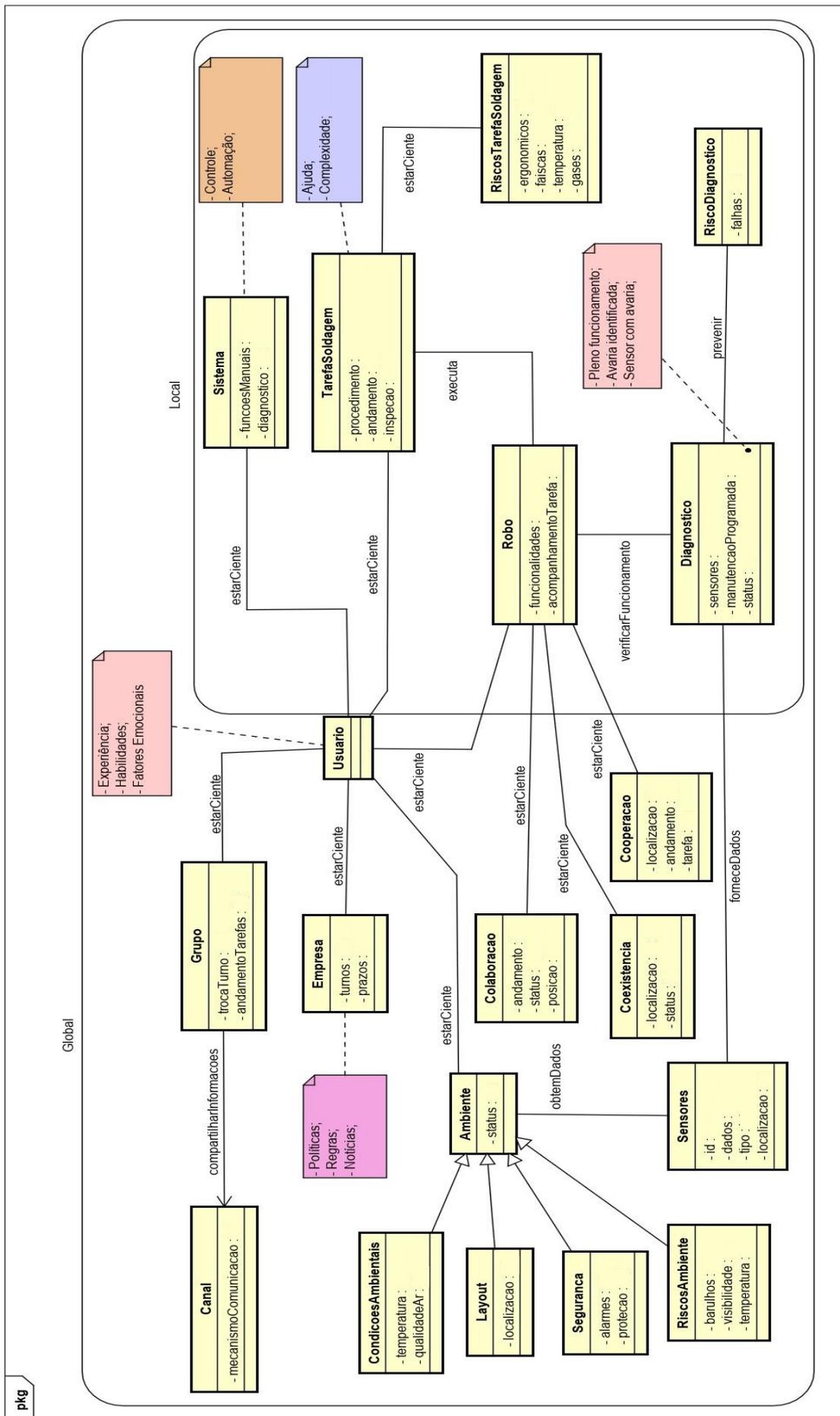


Figura 28: Forma de representação da ontologia em UML.

ao executar tarefas pré-determinadas e coletar informações de tempo, também pode ser medida.

Por conseguinte, existem diversas medidas de avaliação, estas apresentam vantagens e desvantagens. Métodos diretos e objetivos demonstraram alta validade em vários estudos. Entretanto, em alguns casos, eles podem interferir na execução da tarefa ou não serem adequados para qualquer tarefa.

Geralmente, os métodos indiretos têm pouca intrusividade, o que os torna adequados para vários tipos de tarefas. No entanto, os pesquisadores os abordam com cautela, pois estes métodos podem estar baseados em suposições, e estas podem não ser bem compreendidas. Já técnicas subjetivas, na maioria dos casos, possuem facilidade no uso e pouca intrusividade, o que as torna aplicáveis em todos os cenários. Porém, são criticadas devido a sua questão subjetiva, já que as medições obtidas a partir desse método também podem ser influenciadas por outros fatores.

Na Tabela 7, as medidas de SA foram comparadas por (OLIVEIRA, 2016) de acordo com cinco características seguintes:

- Categoria da medida {processo, subjetiva, objetiva, desempenho}: as técnicas podem medir um processo ou fornecer uma medida subjetiva ou objetiva de SA;
- Tempo de medição {interromper, pós-execução, durante a execução}: a medição pode ocorrer durante a execução do sistema, após a execução do sistema/simulação, ou o usuário pode ser interrompido (ou congelado) para ser analisado;
- Tempo real {sim, não}: algumas técnicas são capazes de medir o SA em tempo real;
- Método de análise {computador, observador, usuário}: técnicas analisam SA computando automaticamente os resultados, por uma análise do observador ou pelo próprio usuário classificando sua SA.
- Abstração de medição de SA {indireta, direta}: técnicas podem inferir um valor direto de SA, ou um valor relacionado que provavelmente é influenciado por SA.

A partir dessa revisão, duas técnicas foram escolhidas e adaptadas para validar a ontologia: *Situational Awareness Rating Technique* (SART, Técnica de Avaliação de Consciência Situacional) (TAYLOR, 1989) e uma avaliação dos três níveis de SA orientada a aspectos.

Em SART, os participantes respondem a um questionário padronizado, onde não há respostas “certas” ou “erradas”. Esse questionário mede o conhecimento do operador segundo três componentes: demandas (D) sobre seus recursos atencionais; suprimento (S) de recursos atencionais; e entendimento (U, *understanding*) da situação.

Tabela 7: Comparação de medidas de SA (adaptado de OLIVEIRA (2016))

Técnica	Categoria	Tempo de Medição	Tempo Real	Método de Análise	Abstração de SA
Cenário	Comportamento	Durante	Não	obser+usuário	Indireto
Desempenho	Comportamento	Durante	Não	obser+usuário	Indireto
Auto-avaliação	Subjetiva	pós	Não	usuário	Direto
SART	Subjetiva	pós	Não	usuário	Direto
SA-SWORD	Subjetiva	pós	Não	usuário	Direto
SABARS	Subjetiva	durante	Não	observador	Direto
SAGAT	Objetiva	interromper	Não	computado	Direto
CoRSAGE	Objetiva	durante	Sim	computado	Direto
SPAM	Objetiva	durante	Sim	obser + usuário	Direto
Protocolos verbais	Processo	durante	Não	obser + usuário	Indireto

Os três componentes básicos de SART, podem ser mapeados em dez dimensões, avaliadas pelo próprio participante, numa escala de “baixo” a “alto” (de 1 a 7), após a execução ou simulação dos testes. Para o contexto dessa pesquisa, somente seis dimensões foram avaliadas, seguindo a escala de "baixo" a "alto" (de 1 a 5) (Tabela 8). A Tabela 9, exibe a relação dos componentes e questões avaliadas.

Tabela 8: Mapeamento dos componentes de SART utilizados.

Demanda	Instabilidade da situação
Suprimento	Vigilância
	Concentração da atenção (na tarefa)
Entendimento	Quantidade de informação
	Familiaridade com a situação

Para TAYLOR (1989) a consciência situacional depende da diferença entre a demanda e o suprimento atencional, subtraída do entendimento. Então, se a demanda é maior que o suprimento, esse valor seria subtraído do entendimento, resultando em menor consciência situacional (e vice-versa). A Fórmula (1) expressa a consciência situacional, sendo U o somatório do entendimento, D, o somatório da demanda, e S, o somatório do suprimento

$$SA = U - (D - S) \quad (1)$$

De acordo com ENDSLEY; ROBERTSON (2000), SART é uma das escalas de classificação mais utilizadas para estimar a SA. Ainda que subjetiva, é simples e possui facilidade no uso.

Para avaliar as três dimensões ou níveis de SA, de acordo com alguns aspectos definidos na ontologia, as mesmas podem ser percebidas e, conseqüentemente, avaliadas da seguinte forma:

Tabela 9: Mapeamento dos componentes de SART associados as questões.

Demanda	Q5	O quão instável é a situação durante a soldagem? A situação é altamente instável e tende a mudar repentinamente (Alta) ou é bastante estável e clara (Baixa)?
Suprimento	Q1	Como sua atenção estava concentrada na situação? Você estava concentrado na situação e acompanhando a soldagem (Alta) ou disperso entre a situação e outras ocorrências ao seu redor (Baixa)?
	Q2	A interface disponibilizou as condições ambientais durante o processo de soldagem? Permitiu acompanhar a temperatura do ambiente e estar pronto para atuar (Alta) ou induziu um baixo estado de alerta sobre essas condições (Baixa).
	Q6	A interface disponibilizou informações sobre o funcionamento do robô de solda linear? Permitiu verificar seu funcionamento e problemas no mesmo (Alta) ou induziu a um baixo estado de alerta sobre as condições do mesmo (Baixa).
Entendimento	Q3	O quão familiarizado você está com o processo de soldagem? Você tem muita experiência relevante (Alta) ou é uma nova situação (Baixa)?
	Q4	A interface disponibilizou a comunicação com outros operadores através da interface? Permitiu um canal de troca de informações e ajuda (Alta) ou induziu uma baixa troca de informações (Baixa).

- N1 - Percepção: perceber status, atributos e dinâmicas do sistema.
- N2 - Compreensão: compreender, interpretar e avaliar padrões do nível 1.
- N3 - Projeção: projetar as futuras ações dos elementos no ambiente

Avaliar os três níveis de SA é uma forma de medição já abordada por diversos autores, como (SATUF, 2016) (NORTON; YANCO, 2015). A mesma é também uma técnica subjetiva e autodeclaratória.

Foram elaboradas duas questões para acessar cada um dos três níveis de SA, onde a escala de avaliação proposta é "discordo" a "concordo" (de 1 a 5) (Tabela 10). Assim, objetiva-se avaliar o quanto o operador concorda que uma dada os aspectos presentes na interface ajudaria na percepção do processo de soldagem robotizada, o quanto auxiliaria na compreensão da situação e na capacidade de prever a evolução do processo (projeção).

O resultado é calculado com o somatório das médias obtidas nos três níveis de SA.

Tabela 10: Mapeamento das questões e o nível de SA.

		Questão
N1 - Percepção	Q7	A interface ajuda a visualizar a posição inicial da tocha (robô)
	Q10	Através da interface é possível verificar se o robô executou a parametrização
	Q13	A interface ajuda a acompanhar o progresso da soldagem
N2 - Compreensão	Q8	A interface ajuda a compreender como ajustar a posição inicial do robô (tocha)
	Q11	É possível perceber se os parâmetros foram selecionados corretamente
	Q14	É possível compreender se o processo de soldagem está sendo realizado corretamente
N3 - Projeção	Q9	Se a parametrização iniciar sem a tocha estar alinhada, a solda será prejudicada
	Q12	A partir dos parâmetros selecionados é possível projetar que a soldagem seja efetuada com sucesso
	Q15	Através da interface pode ser previsto algum problema no processo de soldagem

5 ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo de caso visa, primeiramente, identificar os aspectos da ontologia fornecidos na interface do equipamento robotizado do tipo MDS-1005 da fabricante BUG-O Systems e validar a utilização da mesma.

O MDS-1005 é um robô do tipo trator que realiza o processo de soldagem de forma autônoma ou manual. O robô é disposto em trilhos paralelos sobre as chapas a serem soldadas e realiza a movimentação da tocha por parâmetros configurados a partir de visão computacional. No entanto, os parâmetros também podem ser ajustados pelo usuário sempre que necessário. A unidade de controle acoplada a parte superior do robô é responsável pelo controle do mesmo (ver Figura 29).

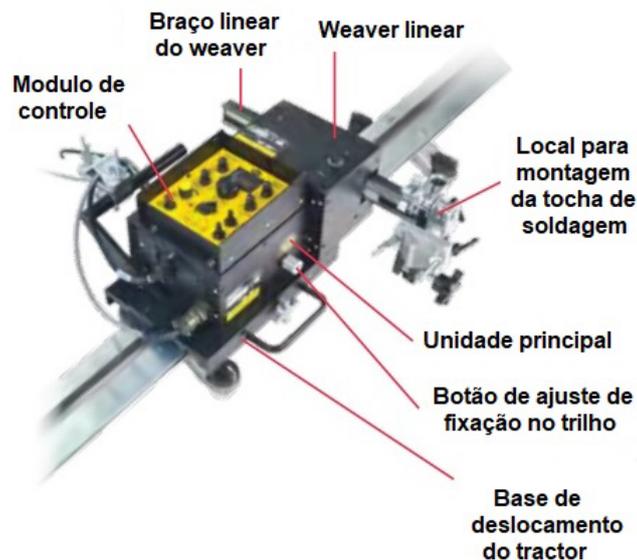


Figura 29: Layout do robô de solda linear do Sistema BUG-O MDS-1005.

A interface original, Figura 30, está presente do módulo de controle do robô e possui as funcionalidades demonstradas na Tabela 11.



Figura 30: Layout do robô de solda linear do Sistema BUG-O MDS-1005.

Tabela 11: Descrição das funcionalidades mapeadas na interface original.

Signo	Funcionalidade	Descrição
A	Velocidade de tecimento	Controle de velocidade do tecimento
B	Habitar à esquerda	Tempo de permanência na esquerda (tecimento)
C	Controle de Velocidade	Controle de Velocidade fazer trator
D	Chave liga / desliga	Ligar e desligar
E	Leitura digital	Mostrador digital
F	Controle de direção	Alinhamento inicial do tecimento
G	Chave seletora de modo	Seletor de modo de tecimento
H	Amplitude	Amplitude de deslocamento do tecimento
I	Habitar à direita	Tempo de permanência na direita (tecimento)
J	Interruptor de Direção	Direção do deslocamento do robô
K	Contato de solda	Contato de solda (faz uma soldagem)

Como visto no capítulo 2, pela maneira como o operador necessita atuar, o processo é classificado como robotizado (CARY, 1994). Já classificação da interação entre humano e robô, pode ser entendida com o compartilhamento do espaço de trabalho, porém sem compartilhar a tarefa e sem necessariamente uma interação física (BDIWI; PFEIFER; STERZING, 2017).

É importante destacar que não há elementos da ontologia na interface original que representem informações e aspectos referentes ao ambiente (condições, riscos, sensores,

etc) e a tarefa que esta sendo realizada (acompanhamento, diagnóstico, etc).

Um dispositivo digital portátil para operar o robô foi desenvolvido por (SCHOTT, 2018), o qual disponibiliza ao operador uma nova interface conforme ilustrado na Figura 31. A configuração inicial da interface apresenta em (A) os dados referentes a configuração do posicionamento inicial do robô, com o objetivo de colocá-lo no centro do chanfro e iniciar a parametrização manual ou autônoma. Em (B) é possível visualizar os recursos de parametrização do equipamento robótico e três formas de costura para soldagem. A funcionalidade de feedback é demonstrada em (C), informando ao operador o andamento da soldagem, com dados referentes a velocidade do robô e configurações da máquina de solda, bem como imagens do andamento da soldagem.

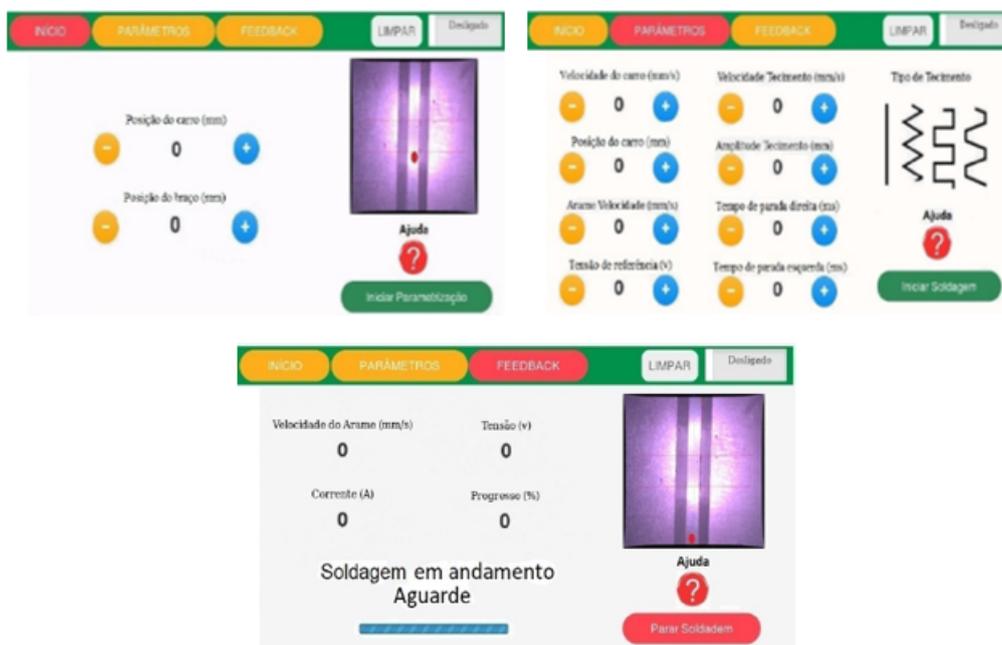


Figura 31: Interface digital móvel IHR e suas funcionalidades.

A partir da interação com o dispositivo para controle do robô e a compreensão das suas funcionalidades, foram destacados os aspectos da ontologia que a interface atualizada disponibiliza.

O aspecto de sistema encontrado na tela inicial, mostrada na Figura 32, conscientiza o operador de que a configuração da posição do carro e do braço é feita de forma automática pelo sistema, a partir de visão computacional, ou de forma manual, através dos botões de controle da tela. Essa possibilidade de configuração também está associada ao aspecto de tarefa de soldagem. Ainda é possível identificar a situação em que o robô se encontra através de imagem, informando ao usuário a posição do mesmo na chapa.

A Figura 33 mostra os mesmos aspectos de sistema, onde a tarefa de soldagem e robô são identificados. O usuário tem a informação de que a parametrização, ou configuração do robô está sendo efetuada. É possível acompanhar através da imagem essa configuração do robô e a posição onde o trator encontra-se.



Figura 32: Aspectos presentes na interface inicial.



Figura 33: Aspectos identificados na interface de configuração.

A Figura 34, onde a parametrização também é identificada, não há uma informação direta sobre o aspecto do robô. Porém, é possível compreender os parâmetros que foram configurados pelo sistema para executar a tarefa de soldagem. Também é perceptível ao usuário a possibilidade de modificar essa configuração, antes de iniciar a soldagem.

Os aspectos de tarefa de soldagem, sistema e robô estão novamente presentes na tela para acompanhamento do processo de soldagem, conforme ilustrado na Figura 35. O usuário consegue compreender as informações dispostas e acompanhar o andamento através da imagem.

Na interface de IHR atualizada, os aspectos de SA presentes são organizados de maneira simplificada como no esquema ilustrado pela Figura 36. A IHR é feita através do sistema e a tarefa de soldagem é executada pelo robô. Os aspectos de grupo, empresa e ambiente não estão contemplados nessa interface.

Comparando as duas interfaces a nível de aspectos da ontologia contemplados, é pos-



Figura 34: Aspectos identificados na interface de monitoramento de parametrização



Figura 35: Aspectos presentes na interface de monitoramento de solda.

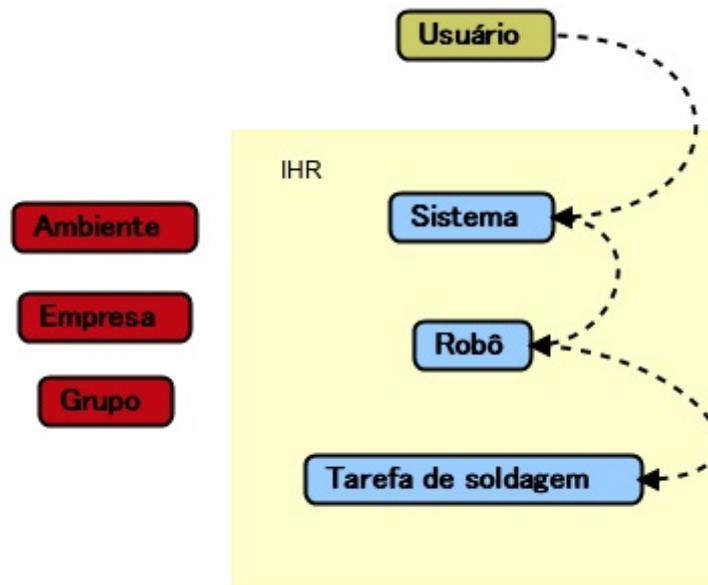


Figura 36: Aspectos e organização do SA no estudo de caso.

sível compreender que, embora sem atender a maioria dos aspectos, a interface atualizada atende um pouco mais as características de SA como pode ser visto na Figura 37.

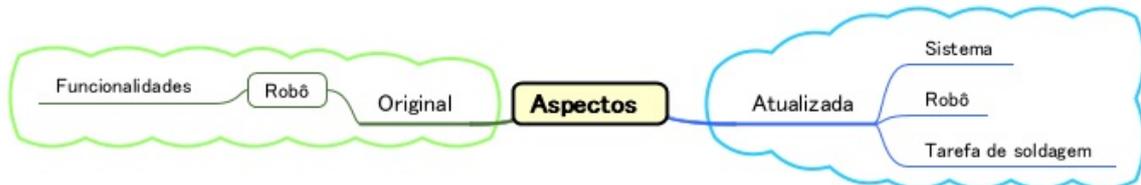


Figura 37: Comparação dos aspectos nas interfaces.

5.1 Avaliação do estudo de caso

Esta seção aborda a avaliação da ontologia aplicada a interface original e atualizada do robô MDS-1005. Participantes foram convidados para executar as tarefas pré-determinadas de simulação com o robô de solda linear, nas interfaces demonstradas acima. Para fins de avaliação da ontologia, ao final da execução dos testes, foi aplicado um questionário SART adaptado e com os aspectos voltados aos três níveis de SA.

5.1.1 Participantes e ambiente de medição

A avaliação foi realizada com seis participantes que possuem alguma experiência em soldagem. A aplicação dos testes foi realizada no LaPES - Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Este local foi selecionado devido a localização física do robô.

Primeiramente foi realizado um teste exploratório que buscou verificar se as etapas para a parametrização do equipamento estavam ocorrendo normalmente, a fim de prevenir possíveis problemas durante o processo de testes.

Os testes foram elaborados em cenários, onde os participantes usaram o equipamento robótico com ambas as interfaces para realizar as tarefas. O ambiente dos testes possui bancada para simular as atividades que envolveram configuração de parâmetros e o processo de soldagem. Também encontra-se numa mesa para que os participantes respondessem aos questionários após a conclusão dos testes.

5.1.2 Procedimentos de medição

A realização dos testes foi de forma individual, onde ocorreu a explicação sobre os mesmos e as tarefas a serem realizadas nas duas interfaces.

O termo de consentimento foi entregue para que o participante esteja ciente do objetivo da avaliação e solicitar a autorização para uso dos dados obtidos (Anexo A).

Com o preenchimento do termo finalizado, foi entregue ao participante os cenários e etapas a serem realizados durante os testes.

Na realização dos testes, os cenários considerados representam as principais possibilidades de uso do equipamento. Sendo assim, foram considerados como cenários a configuração dos parâmetros de soldagem, a verificação dos dados gerados e a execução de um passe de soldagem.

Após a realização dos testes na interface original, os participantes responderam os questionários. O mesmo procedimento foi adotado para interface desenvolvida.

5.1.3 Medição da SA

Uma versão adaptada da técnica da Técnica de Avaliação de Consciência Situacional – SART (TAYLOR, 1989) foi usada para medir a consciência situacional global dos participantes sob o contexto da soldagem robotizada na interface original e desenvolvida. Essa técnica está entre os métodos mais populares na literatura pertinente para medir a SA. Para fins de compatibilidade, a mesma foi traduzida para o português e adaptada ao contexto, como visto na Seção 4.3. No Apêndice A, é mostrada a versão do questionário aplicada aos participantes.

A avaliação dos três níveis de SA orientada aos aspectos da ontologia, presentes ou não na interface, tem por finalidade avaliar o quanto os participantes concordam que uma dada os aspectos presentes na interface ajudaria na percepção do processo da soldagem robotizada, o quanto auxiliaria na compreensão da situação e na capacidade de prever a evolução do processo. Sendo assim, ambas as técnicas aplicadas após a execução das tarefas são subjetivas e autodeclaratórias.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos com os testes e avaliação da SA aplicada ao estudo de caso. Os seis participantes dos testes - chamados de P1, P2, P3, P4, P5 e P6 - executaram os cenários para ambas as interfaces e responderam o questionário (Apêndice A) ao final das mesmas.

A pontuação obtida com a técnica SART é calculada a partir do somatório individual dos componentes entendimento (U), suprimento (S) e demanda (D). Ou seja, é subtraído a demanda menos o suprimento ($D - S$) e o resultado é somado ao entendimento (U). Sendo assim, o resultado da SA definido por $SA = U - (D - S) = U + S - D$, na equação (1).

A SART mede esses três componentes pelo entendimento de que a consciência situacional é uma construção complexa, então, para medi-la, são necessárias medidas separadas (TAYLOR, 1989).

O resultado obtido com a aplicação do método SART adaptado foi de SA 48% para a interface original e 59% para interface desenvolvida, que podem ser mapeadas para médias de 8 a 11 na escala adaptada de cinco pontos.

Para os componentes demanda atencional (D), suprimento atencional (S) e entendimento (U), a interface original pontuou 14%, 36% e 26% cada um respectivamente. A interface desenvolvida pontuou 17%, 43% e 33%. Vale notar que a menor diferença foi encontrada no componente demanda, para o qual a interface desenvolvida teve desempenho um pouco melhor. A Figura 38 demonstra os resultados distribuídos pelos componentes e pelo somatório da SA global.

O questionário para avaliar os aspectos interligados com os níveis de SA é composto por nove questões. As questões Q7, Q10 e Q13 se referem ao primeiro nível de SA - Percepção. O segundo nível de SA - Compreensão - é avaliado pelas questões Q8, Q11 e Q14. Já as questões restantes - Q9, Q12 e Q15- são direcionadas a projeção, ou seja, tem por objetivo acessar o terceiro nível de SA.

Como aplicado em SART, cada questão foi respondida para a interface original presente no robô e para a interface desenvolvida. Porém, a escala para avaliar os níveis era "discordo" e "concordo" (1 a 5). Os resultados médios obtidos de SA global são 42% para

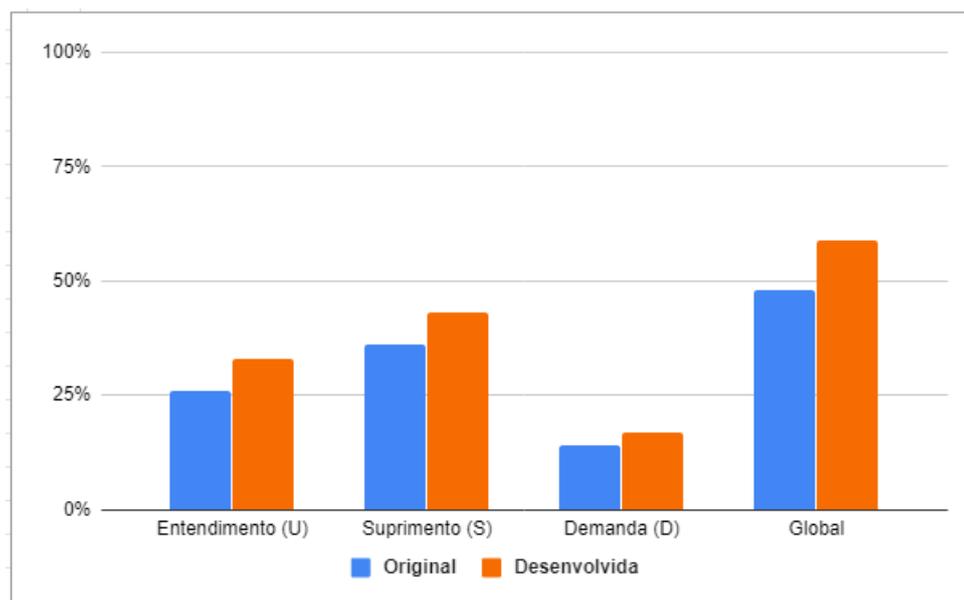


Figura 38: Resultados para SART por componente e SA global.

a interface original e 71% para interface desenvolvida, ou seja, uma diferença de 29 pp entre ambas. A Figura 39 demonstra os resultados obtidos nos níveis e globalmente.

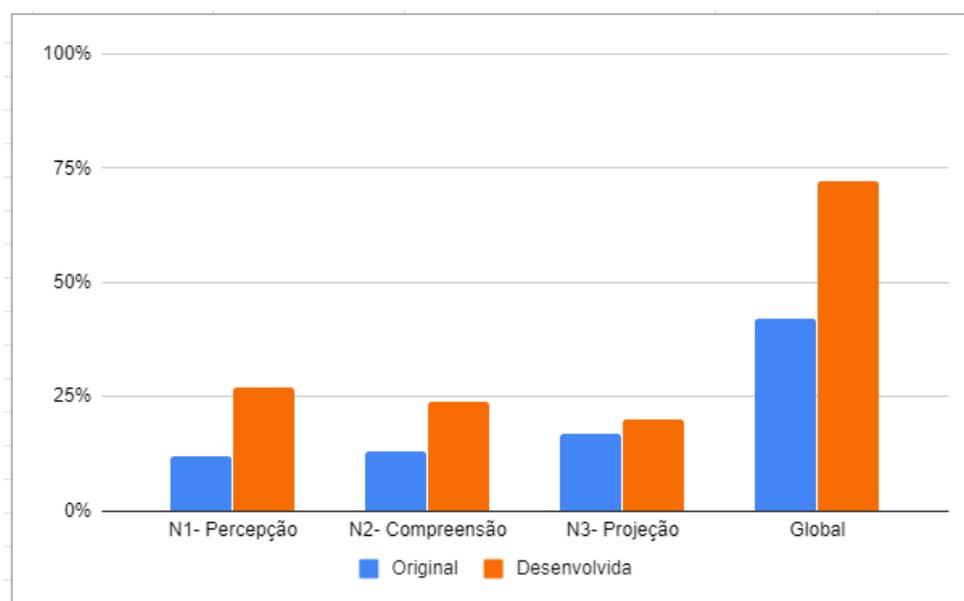


Figura 39: Resultados obtidos para os níveis e SA global.

Para o nível 1 as interfaces, original e desenvolvida, resultarem em respectivamente em 12% e 27% de percepção (15 pp de diferença). Ou seja, para o participante pode-se perceber mais os elementos do ambiente, por conseguinte os aspectos contemplados como a execução da parametrização, através da interface desenvolvida.

Para o nível 2, os resultados obtidos foram de 13% para interface original e 24% para a interface desenvolvida. A diferença dos pontos percentuais foi um pouco menor para a

compreensão (11pp), porém os aspectos ainda foram melhores avaliados e entendidos na interface desenvolvida. Ou seja, para o participante, a interface desenvolvida proporciona maior compreensão em funcionalidades como ajustar a posição inicial do robô.

A menor diferença entre os resultados é observada para o nível 3, 17% interface original e 20% desenvolvida. A média normalizada de respostas foi respectivamente de 1 e 3, indicando que os participantes não concordam que ambas possam ajudar a prever comportamentos, como o diagnóstico de problemas no processo de soldagem.

Também é possível comparar a média das respostas obtidas nas questões que envolvem os níveis de SA. A Figura 40 dispõe dos resultados obtidos na Q13 para ambas as interfaces. Onde a média normalizada obtida é de 2 para interface original e 4 para interface desenvolvida. Então, para o participante, através da interface desenvolvida, é possível perceber e acompanhar o andamento da soldagem.

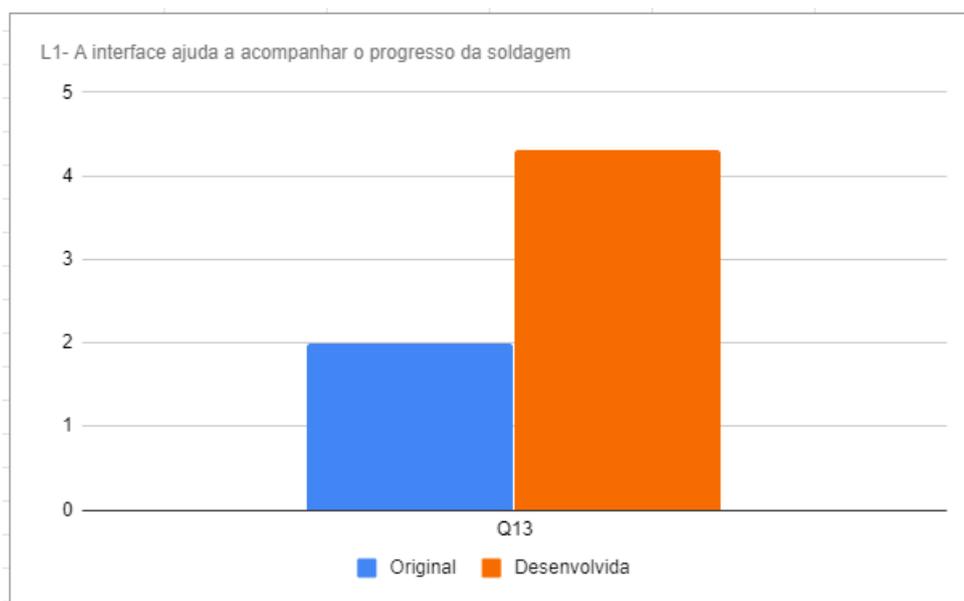


Figura 40: Média das respostas obtidas para ambas as interfaces na questão treze (Q13).

A Figura 41 agrupa as respostas obtidas com a avaliação das interfaces pelo do P6. Para a maioria das questões o participante respondeu 1 para original e 5 para desenvolvida, destacando a interface como a que melhor auxilia a SA. Visualmente a disparidade das respostas está na Q9, que diz respeito a solda ser prejudicada caso a parametrização incie sem o alinhamento necessário, porém o participante avaliou negativamente a interface original inferindo que na mesma a solda seria prejudicada. Já na Q15, para o participante ambas interfaces não contemplam o aspecto de diagnóstico (tanto de tarefa, quanto de robô).

Na Tabela 12, são apresentados os resultados obtidos nas questões Q1 a Q6 e a média das respostas nas mesmas. A Q1, referente a concentração na situação, foi melhor avaliada na interface original tendo em vista que os participantes executaram primeiro a simulação

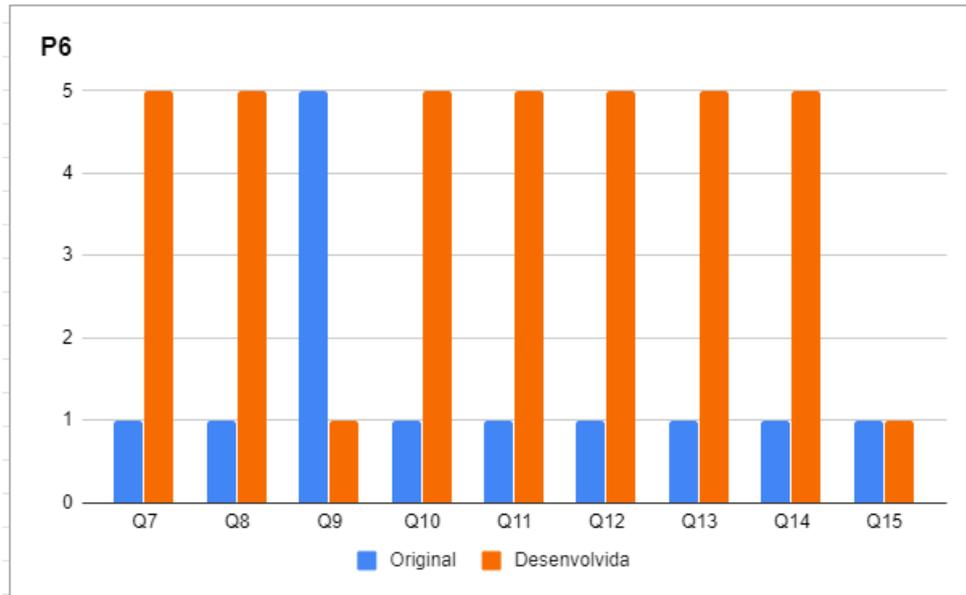


Figura 41: Respostas do P6 para as questões Q7 a Q15 referentes a avaliação dos três níveis de SA.

com a interface original e o P4 avaliou sua concentração um pouco "menos baixa" que na interface desenvolvida. Para P3, a interface original proporcionou um maior estado de alerta sobre as condicionais ambientais, portanto, foi um pouco melhor avaliada na interface original. As demais questões, envolvendo funcionamento do robô e instabilidade da situação (que estão diretamente relacionadas a SA dos aspectos de robô e tarefa de soldagem), foram melhores avaliadas na interface desenvolvida.

Na Tabela 13, são apresentados os resultados obtidos nas questões Q7 a Q15 e a média das respostas nos mesmos. Em todas as questões, a interface desenvolvida teve uma média superior. Na Q9, conforme já comentado no caso do P6, o desempenho obtido foi adequado.

Tabela 12: Respostas obtidas para as questões Q1 a Q6 por participante.

ORIGINAL		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
	P1	4	1	2	1	2	1
	P2	5	1	1	1	2	3
	P3	1	5	1	1	4	4
	P4	2	1	3	1	2	1
	P5	2	1	2	3	1	2
	P6	4	1	4	1	3	1
	MÉDIA	3,0	1,67	2,17	1,33	2,33	2,00
DESENVOLVIDA		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
	P1	4	1	2	4	3	3
	P2	5	1	4	1	4	1
	P3	1	1	4	3	4	2
	P4	1	4	3	3	2	4
	P5	2	1	2	2	1	4
	P6	4	1	4	1	3	3
	MÉDIA	2,83	1,50	3,17	2,33	2,83	2,83

Tabela 13: Respostas obtidas para as questões Q7 a Q15 por participante.

ORIGINAL		Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
	P1	1	1	5	1	2	2	1	1	1
	P2	1	1	5	1	1	1	1	1	1
	P3	4	4	5	1	5	4	3	5	2
	P4	1	1	5	1	2	3	1	2	2
	P5	5	4	3	5	4	3	5	3	1
	P6	1	1	5	1	1	1	1	1	1
	MÉDIA	2,17	2,00	4,67	1,67	2,50	2,33	2,00	2,17	1,33
DESENVOLVIDA		Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
	P1	3	2	5	4	4	4	4	2	1
	P2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	P3	5	5	1	5	5	5	5	5	5
	P4	5	5	1	5	5	4	5	5	3
	P5	2	1	5	5	1	3	2	3	1
	P6	5	5	1	5	5	5	5	5	1
	MÉDIA	4,17	3,83	3,00	4,83	4,17	4,33	4,33	4,17	2,67

7 CONCLUSÕES

Auxiliar a SA do operador faz com que o mesmo perceba os elementos, lide com o aumento da carga cognitiva e efetue uma tomada de decisão correta em ambientes complexos, tornando-se um fator determinante para interação humano-robô.

Dentre as tarefas realizadas na indústria, este trabalho focou no processo de soldagem linear, tendo em vista que imperfeições na solda podem causar problemas graves e que o processo gera um ambiente insalubre, complexo e indicado para o uso de equipamentos robóticos.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma ontologia para o mapeamento dos principais aspectos da consciência situacional no contexto da soldagem linear robotizada. A modelagem ontológica contribuiu para o detalhamento do domínio industrial em relação ao sistema, ao ambiente, ao grupo de operadores, a empresa, aos robôs e a tarefa de soldagem.

O estudo de caso apresentado trata a interação entre operador e o robô de soldagem. Essa forma de interação é abordada no primeiro nível, onde o humano precisa trabalhar perto do robô devido a um espaço compartilhado mas sem compartilhar a tarefa. Então, o humano e o robô têm suas próprias atividades. A IHR é feita através da interface de controle do robô e do processo de soldagem.

Em grande parte da interface atualizada presente no estudo de caso, os aspectos que são abordados para informar o operador são: tarefa de soldagem, sistema e robô. Não há informações como condições do ambiente ou possibilidade de compartilhar a situação em grupo. É necessário que as interfaces contemplem mais aspectos para incrementar a SA do operador e facilitar o processo de IHR.

Em uma visão geral da soldagem robotizada abordada aqui, é importante destacar que as funcionalidades do sistema devem garantir que os parâmetros sejam configurados com precisão. Além disso, é importante que o sistema permita acompanhar o processo de forma a evitar diversos defeitos na solda.

Outro fator a ser citado, é que uma melhora na IHR, através de sua interface de operação, pode evitar que o operador se posicione próximo a faíscas, fumaça, riscos elétricos e altas temperaturas geradas pela soldagem. Esses riscos operacionais tornam o ambiente

insalubre ao pôr em risco a segurança do operador.

A ontologia desenvolvida para modelar a consciência situacional dos operadores, conecta as informações que compõem a consciência do usuário sobre o ambiente industrial e o processo de soldagem. A estrutura foi adaptada a partir de uma análise da literatura nos campos de IHR, soldagem e SA.

Para a aplicação dos testes os participantes foram convidados a executar tarefas de ajustes iniciais, parametrização e realização de simulação de um passe de soldagem com o robô de solda linear, na interface original e desenvolvida. Para fins de avaliação da ontologia, ao final da execução dos testes, foi aplicado um questionário SART adaptado e um questionário com os aspectos voltados aos três níveis de SA.

Os resultados obtidos demonstram que fornecer suporte a SA de um usuário durante a IHR, além de melhorar a eficiência e eficácia do processo, também diminui o número de erros e seu impacto no ambiente de produção.

Vislumbra-se como trabalhos futuros a inclusão dos demais aspectos presentes na ontologia em uma interface de IHR para soldagem linear, afim de ampliar a avaliação dos mesmos, bem como a realização de testes com operadores experientes em um processo de soldagem não simulado e aplicação de outras técnicas para medição de SA.

REFERÊNCIAS

- ADAMIDES, G.; CHRISTOU, G.; KATSANOS, C.; XENOS, M.; HADZILACOS, T. Usability guidelines for the design of robot teleoperation: A taxonomy. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v.45, n.2, p.256–262, 2015.
- ADAMIDES, G.; KATSANOS, C.; PARMET, Y.; CHRISTOU, G.; XENOS, M.; HADZILACOS, T.; EDAN, Y. HRI usability evaluation of interaction modes for a teleoperated agricultural robotic sprayer. **Applied ergonomics**, v.62, p.237–246, 2017.
- ALMEIDA, M. B.; BAX, M. P. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. **Ciência da informação**, v.32, n.3, p.7–20, 2003.
- ARGALL, B. D.; BILLARD, A. G. A Survey of Tactile Human-Robot Interactions. **Robotics and Autonomous Systems**, v.58, n.10, p.1159–1176, 2010.
- ASSOCIATION, I.-I. E. et al. Definição internacional de ergonomia. **San Diego, USA**, 2000.
- BIDIWI, M.; PFEIFER, M.; STERZING, A. A new strategy for ensuring human safety during various levels of interaction with industrial robots. **CIRP Annals**, v.66, n.1, p.453–456, 2017.
- BECHHOFFER, S.; VAN HARMELEN, F.; HENDLER, J.; HORROCKS, I.; MCGUINNESS, D. L.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; STEIN, L. A. et al. OWL web ontology language reference. **W3C recommendation**, v.10, n.02, 2004.
- BOEKHOLT, R. **The welding workplace: technology change and work management for a global welding industry**. Elsevier, 2000.
- BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse**. 1997. Tese — University of Twente, Netherlands.
- BUXBAUM, H.; KLEUTGES, M.; SEN, S. Full-scope simulation of human-robot interaction in manufacturing systems. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE (WSC), 2018., 2018. **Anais...** 2018. p.3299–3307.

CAMPANA, J. R.; QUARESMA, M. The Importance of Specific Usability Guidelines for Robot User Interfaces. In: 2018 , 2017. **Anais...** 2017. p.471–483.

CARROLL, J. M.; NEALE, D. C.; ISENHOUR, P. L.; ROSSON, M. B.; MCCRIC-KARD, D. S. Notification and awareness: synchronizing task-oriented collaborative activity. **International Journal of Human-Computer Studies**, v.58, n.5, p.605–632, 2003.

CARY, H. **Modern Welding Technology**. Regents/Prentice Hall, 1994.

CHEN, S.; QIU, T.; LIN, T.; WU, L.; TIAN, J.; LV, W.; ZHANG, Y. Intelligent technologies for robotic welding. In: **Robotic Welding, Intelligence and Automation**. Springer, 2004. p.123–143.

CONNOR, L.; O'BRIEN, R.; SOCIETY, A. W. **Welding Handbook: Welding processes**. American Welding Society, 1991. (Welding Handbook).

DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. Human factors and folk models. **Cognition, Technology & Work**, v.6, n.2, p.79–86, 2004.

DEKKER, S. W.; NYCE, J. M.; WINSEN, R. van; HENRIQSON, E. Epistemological self-confidence in human factors research. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v.4, n.1, p.27–38, 2010.

DINI, A.; MURKO, C.; YAHYANEJAD, S.; AUGSDÖRFER, U.; HOFBAUR, M.; PALLETTA, L. Measurement and prediction of situation awareness in human-robot interaction based on a framework of probabilistic attention. In: INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS), 2017 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2017. **Anais...** 2017. p.4354–4361.

DRURY, J. L.; SCHOLTZ, J.; YANCO, H. A. et al. Awareness in human-robot interactions. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS, 2003. **Anais...** 2003. v.1, p.912–918.

DUDÁŠ, M.; LOHMANN, S.; SVÁTEK, V.; PAVLOV, D. Ontology visualization methods and tools: a survey of the state of the art. **The Knowledge Engineering Review**, v.33, 2018.

DURSO, F. T.; TRUITT, T. R.; HACKWORTH, C. A.; CRUTCHFIELD, J. M.; NIKOLIC, D.; MOERTL, P. M.; OHRT, D.; MANNING, C. A. Expertise and chess: A pilot study comparing situation awareness methodologies. **Experimental analysis and measurement of situation awareness**, p.295–303, 1995.

EDGAR, G. K.; SMITH, A.; STONE, H.; BEETHAM, D.; PRITCHARD, C. QUASA: Quantifying and analysing situational awareness. In: IMCD PEOPLE IN DIGITIZED COMMAND AND CONTROL SYMPOSIUM, RMCS SHRIVENHAM, UK (CD-ROM), 2000. **Anais...** 2000.

ENDSLEY, M. Situation awareness measurement in test and evaluation. **Handbook of human factors testing and evaluation**, p.159–180, 1996.

ENDSLEY, M. **Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design**. 2.ed. CRC Press, 2016.

ENDSLEY, M.; BOLTE, B.; JONES, D. **Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design**. Taylor & Francis, 2003.

ENDSLEY, M. R. Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In: AEROSPACE AND ELECTRONICS CONFERENCE, 1988. NAECON 1988., PROCEEDINGS OF THE IEEE 1988 NATIONAL, 1988. **Anais...** 1988. p.789–795.

ENDSLEY, M. R. Measurement of situation awareness in dynamic systems. **Human factors**, v.37, n.1, p.65–84, 1995.

ENDSLEY, M. R.; ROBERTSON, M. M. Situation awareness in aircraft maintenance teams. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.26, n.2, p.301–325, 2000.

GARCIA, E.; JIMENEZ, M. A.; DE SANTOS, P. G.; ARMADA, M. The evolution of robotics research. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v.14, n.1, p.90–103, 2007.

GATSOULIS, Y.; VIRK, G. S.; DEGHANI-SANIJ, A. A. On the measurement of situation awareness for effective human-robot interaction in teleoperated systems. **Journal of cognitive engineering and decision making**, v.4, n.1, p.69–98, 2010.

GOLIGHTLY, D.; RYAN, B.; DADASHI, N.; PICKUP, L.; WILSON, J. Use of scenarios and function analyses to understand the impact of situation awareness on safe and effective work on rail tracks. **Safety science**, v.56, p.52–62, 2013.

GRUBER, T. **Ontology**. Springer US, 2009. 1963–1965p.

GUARINO, N. Understanding, building and using ontologies. **International Journal of Human-Computer Studies**, v.46, n.2-3, p.293–310, 1997.

GUIZZARDI, G. Desenvolvimento para e com reuso: Um estudo de caso no domínio de Vídeo sob Demanda. **Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico**, v.11, 2000.

HÄGELE, M.; NILSSON, K.; PIRES, J. N. Industrial robotics. In: **Springer handbook of robotics**. Springer, 2008. p.963–986.

HANDBOOK, W. Welding processes. **American Welding Society**, v.2, p.8, 1991.

HAROLD, E. R. **XML 1.1 Bible**. John Wiley & Sons, 2004. v.136.

ISO 8373, I. D. 8373: 2012. Robots and robotic devices–Vocabulary. **International Standardization Organization (ISO)**, 2012.

ISO 9241-110, D. ISO 9241-110: 2006–Ergonomics of human-system interaction–Part 110: Dialogue principles. **ISO.org**, 2006.

JACKOWSKI, A.; GEBHARD, M. Evaluation of hands-free human-robot interaction using a head gesture based interface. In: COMPANION OF THE 2017 ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-ROBOT INTERACTION, 2017. **Proceedings...** 2017. p.141–142.

KRUSE, D.; RADKE, R. J.; WEN, J. T. Collaborative human-robot manipulation of highly deformable materials. In: OF THE , 2015. **Anais...** 2015. p.3782–3787.

LINDA, O.; XENIA, M.; THOMAS, J. Mensch-Roboter-Interaktion–Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle (BAuA: fokus). **Berlin: BAuA**, 2016.

LYNAS, D.; HORBERRY, T. Human factor issues with automated mining equipment. **The Ergonomics Open Journal**, v.4, n.1, 2011.

MANOLA, F.; MILLER, E.; MCBRIDE, B. et al. RDF primer. **W3C recommendation**, v.10, n.1-107, p.6, 2004.

MCGUINNESS, D. L.; VAN HARMELEN, F. et al. OWL web ontology language overview. **W3C recommendation**, v.10, n.10, p.2004, 2004.

MURPHY, R.; SCHRECKENGHOST, D. Survey of metrics for human-robot interaction. In: ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-ROBOT INTERACTION, 8., 2013. **Proceedings...** 2013. p.197–198.

NAJMAEI, N.; KERMANI, M. R. Prediction-based reactive control strategy for human-robot interactions. In: ROBOTICS AND AUTOMATION (ICRA), 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2010. **Anais...** 2010. p.3434–3439.

NELLES, J.; KWEE-MEIER, S. T.; MERTENS, A. Evaluation Metrics Regarding Human Well-Being and System Performance in Human-Robot Interaction–A Literature Review. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 2018. **Anais...** 2018. p.124–135.

NORTON, A.; YANCO, H. Using Standard Test Methods for Response Robots to Evaluate Remote Human-Robot Interaction. In: 2015. **Anais...** 2015.

OKUYAMA, M. P.; MERINO, E. A. D.; DUTRA, J. C.; CARVALHO, R. S. Engenharia de usabilidade aplicada no desenvolvimento de um sistema interativo para soldagem robotizada. **Soldagem e Inspeção, São Paulo**, v.17, n.4, 2012.

OLIVEIRA, Á. C. M. d. **Model-Based Design of User Interfaces to Support Situation Awareness in Maintenance**. 2016. Tese — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

OLIVEIRA, A. C. M. de; VAN VOLKENBURG, C. A.; JARDINE, A. K.; ARAUJO, R. B. de. The electronic maintenance situational awareness interface. In: RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM (RAMS), 2015 ANNUAL, 2015. **Anais...** 2015. p.1–6.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**. CRC press, 2014.

PERZANOWSKI, D.; SCHULTZ, A. C.; ADAMS, W.; MARSH, E.; BUGAJSKA, M. Building a multimodal human-robot interface. **IEEE intelligent systems**, v.16, n.1, p.16–21, 2001.

PEW, R. W. The state of situation awareness measurement: Heading toward the next century. In: **Situation awareness analysis and measurement**. Erlbaum, 2000. p.33–47.

PIRES, J. N.; LOUREIRO, A.; BÖLMSJO, G. **Welding robots: technology, system issues and application**. Springer Science & Business Media, 2006.

PRITCHETT, A. R.; HANSMAN, R. J. Use of testable responses for performance-based measurement of situation awareness. **Situation awareness analysis and measurement**, p.189–209, 2000.

PROFANTER, S.; PERZYLO, A.; SOMANI, N.; RICKERT, M.; KNOLL, A. Analysis and semantic modeling of modality preferences in industrial human-robot interaction. In: INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS), 2015 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2015. **Anais...** 2015. p.1812–1818.

RIVIN, E. **Mechanical design of robots**. McGraw-Hill Ryerson, Limited, 1988. (Mechanical engineering).

ROBB, D. A.; CHIYAH GARCIA, F. J.; LASKOV, A.; LIU, X.; PATRON, P.; HASTIE, H. Keep Me in the Loop: Increasing Operator Situation Awareness through a Conversational Multimodal Interface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMODAL INTERACTION, 2018., 2018. **Proceedings...** 2018. p.384–392.

ROSEN, P. H.; SOMMER, S.; WISCHNIWSKI, S. Evaluation of Human-Robot Interaction Quality: A Toolkit for Workplace Design. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 2018. **Anais...** 2018. p.1649–1662.

SATUF, E. N. **UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL PARA AVALIAR INTERFACE ECOLÓGICA DE ALARMES**. 2016. Tese — Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SCHOLTZ, J. **Evaluation methods for human-system performance of intelligent systems**. NATIONAL INST OF STANDARDS AND TECHNOLOGY GAITHERSBURG MD MANUFACTURING ENGINEERING LAB, 2002.

SCHOLTZ, J. Theory and evaluation of human robot interactions. In: 2003. **Anais...** 2003. p.10–pp.

SCHOLTZ, J.; ANTONISHEK, B.; YOUNG, J. Evaluation of a human-robot interface: Development of a situational awareness methodology. In: SYSTEM SCIENCES, 2004. PROCEEDINGS OF THE 37TH ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2004. **Anais...** 2004. p.9–pp.

SCHOTT, M. **Interação humano-robô em processos de soldagem**: uma proposta de desenvolvimento e avaliação de interfaces baseado em semiótica. 2018. Dissertação — Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, Brazil.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. **Springer handbook of robotics**. Springer, 2016. 1-6p.

SMOLENSKY, M. Toward the physiological measurement of situation awareness: The case for eye movement measurements. In: HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 37TH ANNUAL MEETING, 1993. **Proceedings...** 1993. v.41.

STANTON, N. A.; CHAMBERS, P. R.; PIGGOTT, J. Situational awareness and safety. **Safety science**, v.39, n.3, p.189–204, 2001.

STEINFELD, A.; FONG, T.; KABER, D.; LEWIS, M.; SCHOLTZ, J.; SCHULTZ, A.; GOODRICH, M. Common metrics for human-robot interaction. In: ACM SIGCHI/SIGART CONFERENCE ON HUMAN-ROBOT INTERACTION, 1., 2006. **Proceedings...** 2006. p.33–40.

TAYLOR, R. M. Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In: NATO ADVISORY GROUP ON AEROSPACE RESEARCH AND DEVELOPMENT (AGARD) SYMPOSIUM ON SITUATIONAL AWARENESS IN AEROSPACE OPERATIONS, 1989, Neuilly Sur Seine, France. **Anais...** 1989.

TAYLOR, R. M.; SHADRAKE, R.; HAUGH, J.; BUNTING, A. Situational Awareness, Trust, and Compatibility: Using Cognitive Mapping Techniques to Investigate the Relationships Between Important Cognitive Systems Variables. In: AGARD CONFERENCE PROCEEDINGS, 1996. **Anais...** 1996. p.6–6.

TREMONTI, M. A. Incorporar a Robótica Aplicada à Soldagem: As Questões Organizacionais para se Obter Sucesso. **Departamento de Soldagem da Fatec. São Paulo**, 2000.

UHLARIK, J. **A review of situation awareness literature relevant to pilot surveillance functions**. DIANE Publishing, 2002.

VASIC, M.; BILLARD, A. Safety issues in human-robot interactions. In: ROBOTICS AND AUTOMATION (ICRA), 2013 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2013. **Anais...** 2013. p.197–204.

VIDULICH, M. A.; HUGHES, E. R. Testing a subjective metric of situation awareness. In: HUMAN FACTORS SOCIETY ANNUAL MEETING, 1991. **Proceedings...** 1991. v.35, n.18, p.1307–1311.

VILLANI, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. Elsevier Editora Ltda., 2016.

VILLANI, V.; PINI, F.; LEALI, F.; SECCHI, C. Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. **Mechatronics**, 2018.

VILLELA, M. B.; OLIVEIRA, A. P.; BRAGA, J. L. Modelagem ontológica no apoio à modelagem conceitual. **Simpósio brasileiro de engenharia de software**, v.18, 2004.

WICKENS, C.; HOLLANDS, J.; BANBURY, S.; PARASURAMAN, R. **Engineering Psychology & Human Performance**: Pearson Education. **Google Scholar**, 2013.

XU, Q.; NG, J.; TAN, O.; HUANG, Z.; TAY, B.; PARK, T. Methodological issues in scenario-based evaluation of human-robot interaction. **International Journal of Social Robotics**, v.7, n.2, p.279–291, 2015.

YANCO, H. A.; DRURY, J. L. A taxonomy for human-robot interaction. In: AAAI FALL SYMPOSIUM ON HUMAN-ROBOT INTERACTION, 2002. **Proceedings...** 2002. p.111–119.

ANEXO A TERMO DE CONSENTIMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO AO VOLUNTÁRIO

Título do projeto: Aspectos da Consciência Situacional no Processo de Soldagem Linear Orientado a Interação Humano-Robô: Uma Abordagem Baseada em Ontologias

Você está sendo convidado (a) a participar do projeto de pesquisa “Aspectos da Consciência Situacional no Processo de Soldagem Linear Orientado a Interação Humano-Robô: Uma Abordagem Baseada em Ontologias”, de responsabilidade da aluna Caroline Waschburger dos Santos como premissa da obtenção do grau de mestre em Engenharia de Computação. Sua participação não é obrigatória e a qualquer momento você pode retirar o consentimento e desistir de participar. Uma possível recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador.

O objetivo geral é avaliar a ontologia para o mapeamento dos principais aspectos da consciência situacional no contexto da soldagem robotizada, utilizando a interface do robô de solda MDS-1005 da Bug-O System.

A participação nesta pesquisa é voluntária e consistirá em responder um questionário durante e ao final da execução de algumas tarefas com o robô.

As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação.

Assinatura do Pesquisador

Eu, _____, RG nº _____, declaro ter sido informado e concordo com a minha participação, como voluntário, no trabalho acima descrito.

Rio Grande, ____ de _____ de 20__.

Voluntário

Pesquisadora: Caroline Waschburger dos Santos
Endereço Institucional: Universidade Federal do Rio Grande
Centro de Ciências Computacionais
Av. Itália, Km 8 – Campus Carreiros – Rio Grande – RS – Brasil – 96201-900
Telefone: +55 53 3237-3080
Email: carolinewaschburger@gmail.com
Orientadora: Danúbia Espíndola
Co-orientador: Nelson Lopes Duarte Filho

APÊNDICE A QUESTIONÁRIO

Como sua atenção estava concentrada na situação? Você estava concentrado na situação e acompanhando a soldagem (Alta) ou disperso entre a situação e outras ocorrências ao seu redor (Baixa)?

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

A interface disponibilizou as condições ambientais durante o processo de soldagem? Permitiu acompanhar a temperatura do ambiente e estar pronto para atuar (Alta) ou induziu um baixo estado de alerta sobre essas condições (Baixa).

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

O quão familiarizado você está com o processo de soldagem? Você tem muita experiência relevante (Alta) ou é uma nova situação (Baixa)?

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

A interface disponibilizou a comunicação com outros operadores através da interface? Permitiu um canal de troca de informações e ajuda (Alta) ou induziu uma baixa troca de informações (Baixa).

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

O quão instável é a situação durante a soldagem? A situação é altamente instável e tende a mudar repentinamente (Alta) ou é bastante estável e clara (Baixa)?

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

A interface disponibilizou informações sobre o funcionamento do robô de solda linear? Permitiu verificar seu funcionamento e problemas no mesmo (Alta) ou induziu a um baixo estado de alerta sobre as condições do mesmo (Baixa).

Baixa 1 2 3 4 5 Alta

A interface ajuda a visualizar a posição inicial da tocha (robô)

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

A interface ajuda a compreender como ajustar a posição inicial do robô (tocha)

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

Se a parametrização iniciar sem a tocha estar alinhada, a solda será prejudicada

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

Através da interface é possível verificar se o robô executou a parametrização

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

É possível perceber se os parâmetros foram selecionados corretamente

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

A partir dos parâmetros selecionados é possível projetar que a soldagem seja efetuada com sucesso

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

A interface ajuda a acompanhar o progresso da soldagem

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

É possível compreender se o processo de soldagem está sendo realizado corretamente

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo

Através da interface pode ser previsto algum problema no processo de soldagem

Discordo 1 2 3 4 5 Concordo